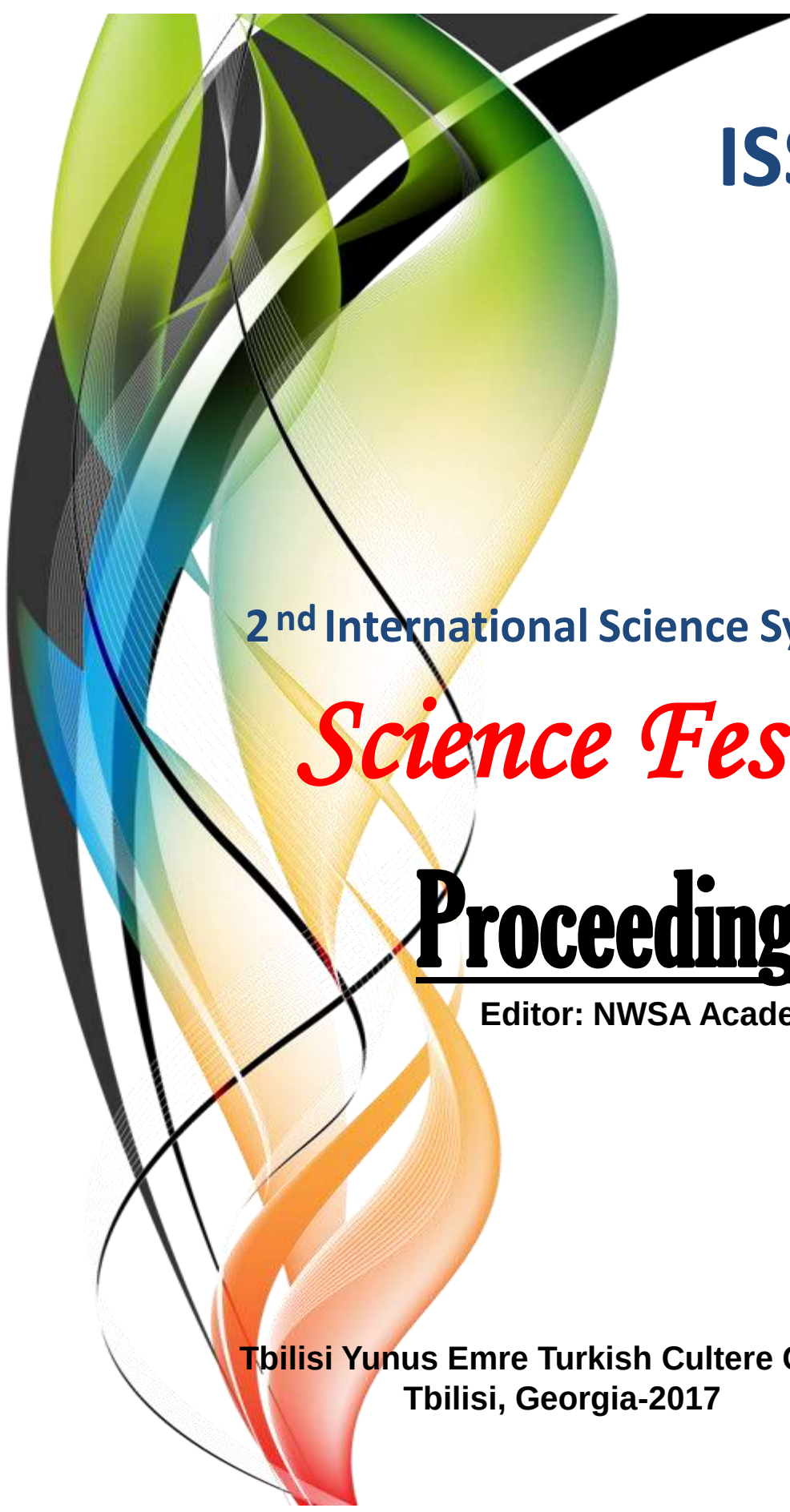




ISS2017



2nd International Science Symposium

Science Festival

Proceeding Book

Editor: NWSA Academic Journals

**Tbilisi Yunus Emre Turkish Cultrere Center
Tbilisi, Georgia-2017**

Yayın Adı
BİLDİRLER KİTABI
(Proceedings Book)

Yazar
NWSA Akademik Dergiler Editörlüğü

©

Bu kitabın bütün hakları kısa adı Fırat Akademisi A.Ş. (Fırat Akademisi Yay.Eğt.İnş. San. ve Tic. A.Ş.).'ye aittir. Yayıncının yazılı izni olmaksızın, kitabın tümünün veya bir kısmının elektronik, mekanik ya da fotokopi yoluyla basımı, yayımı, çoğaltılması ve dağıtımı yapılamaz.

BU KİTAP PARA İLE SATILMAZ.

ISBN
978-605-666789-0-5

Yayın No
2017.2

Sertifika
34290

Sayfa Tasarımı
Belkıs Elyiğit
Fırat Akademisi A.Ş.
NWSA Yayın Sekreterliği

Kapak Tasarımı
Cevdet Emin Ekinci

Baskı ve Cilt



Fırat Akademisi A.Ş.
Fırat Teknokent TGB ArGe-2 Binası No:63/18 Elazığ-Türkiye
Tel:0090424.2413233
nwsa.akademi@hotmail.com

Dr. Cevdet Emin EKİNCİ

ISS2017 Düzenleme Kurulu Başkanı
NWSA Akademik Dergiler Genel Yayın Yönetmeni
Fırat Üniversitesi Öğretim Üyesi

Sempozyumlar uzman kişilerin bilimi ve toplumu yakından ilgilendiren temel konu, sorun ya da olaylar hakkındaki araştırmaların yer aldığı akademik buluşma platformlarıdır. NWSA Akademik Dergiler olarak ikincisini düzenlediğimiz ve Bilim Şenliği ortamında 80'nin üzerinde farklı yükseköğretim kurumlarının yanı sıra mesleki kurum ve kuruluşlarla birlikte olmanın gururunu yaşamaktayız. Farklı bilim dallarında üretilen, geliştirilen çalışmaların evrensel bilimle paylaşma sorumluluğu ve gururu içerisindeyiz. Bu vesile ile ISS2017 Bilim Festivali'ne tebliğ ve poster bildiri sunan bütün taraflara sonsuz şükranlarımı sunarım.

NWSA Ailesi bilimi sevgi yumağı olarak görmektedir. Sevginin paylaşıldıkça çoğalması-büyümesi gibi, biliminde paylaşıldıkça daha da gelişeceğine inanmaktadır. Farklı bilim dallarını bir araya getirerek, bilim dalları arasında, ortak projeler, ortak araştırma alanları oluşturmak, tanışmak, fikir ve görüş birliğine sahip olmaktır.

ISS2017 Bilim Şenliği'ne yaklaşık 300 akademik çalışma başvurusu yapılmıştır. Düzenleme ve Bilim Kurulunun incelemesi sonucu bu çalışmalardan 210 tanesinin sözlü sunum ve 20 tanesinin de poster sunum olarak yer alması uygun görülmüştür. Bu çalışmaların hakemlik sürecinden geçirildikten sonra NWSA Akademik Dergilerde ve Sempozyum Kitapçığında tam metin olarak ayrıca yayınlanacaktır.

Bu bildiriler kitabında biri Keynote Speaker makalesi olmak üzere toplam 40 sözlü sunum çalışması yayınlanmıştır. Diğer çalışmalar NWSA Akademik Dergiler'in ilgili dergi serilerinde hakemlik sürecinden geçirildikten sonra yayınlanacaktır.

Sempozyumun gerçekleştirilmesinde her türlü özveriye gösteren Düzenleme Kurulu, Bilim Kurulu üyelerine ve Yunus Emre Enstitüsü'ne teşekkürlerimi sunuyorum. ISS2017 Bilim Sempozyumu Bildiriler Kitabının (Proceeding Book) evrensel bilime yararlı olmasını diliyorum.

3. Bilim Şenliğinde tekrar görüşmek ve bildiklerimizi ilgili taraflarla paylaşmak dileğiyle...

Mehmet Şen

Yunus Emre Enstitüsü Tiflis Türk Kültür Merkezi Müdürü

NWSA tarafından ikincisi düzenlenen, 80'nin üzerinde yükseköğretim kurumu ve mesleki kurum ve kuruluşların katılacağı Bilim Şenliğine ev sahipliği yapacağımız için mutluyuz. Dünyada 40'tan fazla kültür merkezi olan, Türk kültür, sanat ve dilini tanıtma, öğretme misyonuna sahip Yunus Emre Enstitüsü olarak farklı ülkeler, üniversiteler ve kuruluşlardan bilim sevdalılarını biraraya getirerek hedeflerimiz doğrultusunda yeni bir faaliyete aracılık etmenin hazzını duymaktayız. Çünkü biliyoruz ki farklı bilim dallarından akademisyen ve uzmanların bir araya gelmesi ortak projeler ve araştırma alanlarının oluşturulmasını sağlayacağı gibi tanışmaya, kültürel etkileşim ve hoşgörünün inşasına da yol açacaktır.

Sempozyumun gerçekleştirilmesinde emeği geçen Düzenleme Kurulu ve Bilim Kurulu üyelerini tebrik ediyorum. Sempozyuma katılacak 210 sözlü ve 20 poster sunum arasından teknik süreçler sonucunda seçilip dergilerde tam metin olarak yer alacak sunumların ve yayınlanacak ISS2017 Bilim Sempozyumu Özetler Kitabının bilime önemli katkılar sağlamasını diliyorum.

Bundan sonraki faaliyetlerinizde de sizleri ağırlamaktan onur duyacağımızı belirtmek isterim.

ISS2017
2nd International Science Symposium
"Science Festival"

ISS2017 Organizing Committee

Dr. Aydın Durmuş	Ondokuz Mayıs University
Dr. Cevdet Emin Ekinici	Fırat University
Dr. Cihad Demirli	Istanbul Commerce University
Dr. Ebru Temiz	Niğde Ömer Halisdemir University
Dr. Zeka Pehlevan	Mersin University
Dr. Hafize Öztürk Can	Ege University
Dr. Hakan Arslan	Mersin University
Dr. Harun Tuncel	Bilecik Seyh Edebali University
Dr. Mustafa Akdağ	Erciyes University
Dr. Nihal Yayla	Pamukkale University
Dr. Nino Kvachantiradze	Fırat University
Dr. Nuri Başusta	Fırat University
Dr. Ş.Kerem Özel	Istanbul Bilim University
Dr. Melda Özdemir	Gazi University
Dr. Uğur Çalığülü	Fırat University
Dr. Zafer Gonülalan	Erciyes University

Composing

Belkıs Elyiğit

Editor and Publisher

Fırat Akademi Co. / NWSA Academic Journals

Notice

Responsibility for the articles in the book belong to the authors.

ISS2017 Keynote Speaker

Prof. M.Asım Yeğınobalı The Past, Present and the Future of Concrete

ISS2017 Scientific Committee

Dr. A.Harun Evren	Fırat University	Dr. A.Kemal Yakut	Süleyman Demirel University
Dr. A.Şinasi İşler	Uludağ University	Dr. Abdulkadir Eksi	Çukurova University
		Dr. Abdülkadir Şengür	Fırat University
Dr. Abdullah Şahin	Çanakkale Onsekiz Mart University	Dr. Abdülmecit Gültaş	Gazi University
Dr. Adem Kurt	Gazi University	Dr. Adem Yılmaz	Batman University
Dr. Adnan Kakilli	Marmara University	Dr. Ahmet Asan	Trakya University
Dr. Ahmet Ayar	Karadeniz Teknik University	Dr. Ahmet Gündoğdu	Batman University
Dr. Ahmet K. Binark	Marmara University	Dr. Ahmet Kalaycıoğlu	Karadeniz Teknik University
Dr. Ahmet Kalkan	Karadeniz Teknik University	Dr. Ahmet Pehlivan	International Cyprus University
Dr. Alaattin Kızılcaoğlu	Balıkesir University	Dr. Alan A. Lew	Northern Arizona University
Dr. Ali Jamshidi	Hokkaido University	Dr. Ali Kaya Gür	Fırat University
Dr. Ali Sırrı Yılmaz	Fırat University	Dr. Ali Yeşil	Fırat University
Dr. Ali Yiğit	Bilecik Şeyh Edebali University	Dr. Ali Yıldırım	Fırat University
Dr. Alpaslan Dayangaç	Ahi Evran University	Dr. Alper Bideci	Düzce University
Dr. Anna Stoyanova	Technical University of Sofia	Dr. Apostolos E. Papalois	E.R.C. Elpen S.A. Papalois
Dr. Asaf Varol	Fırat University	Dr. Asiye Başusta	Fırat University
Dr. Aslı Uçar	Ankara University	Dr. Asude Bilgin	Uludağ University
Dr. A. Seda Saracaloğlu	Adnan Menderes University	Dr. Aybala Demirci Aksoy	Gazi University
Dr. Aydın Durmuş	Ondokuz Mayıs University	Dr. Ayfer Kocabaş	Dokuz Eylül University
Dr. Ayhan Erdem	Gazi University	Dr. Ayhan Helvacı	Uludağ University
Dr. Ayhan Orhan	Fırat University	Dr. Ayhan Selçuk	Selçuk University
Dr. Aykut Çanakçı	Karadeniz Teknik University	Dr. Ayla Keçeci	Düzce University
Dr. Aynur Yürekli	İzmir Ekonomi University	Dr. Ayşe Bedeloğlu	Bursa Teknik University
Dr. Ayşe Nur Türkeri	İstanbul Teknik University	Dr. Ayşen Şentürk	Uludağ University
Dr. Aytaç Kurtulmuş	Eskişehir Osmangazi University	Dr. Azize Toper Kaygın	Bartın University
Dr. A. Azzar Bin Abdul	Int. Islamic Uni. Malaysia Hamid	Dr. Bahadır Yüzbaşı	İnönü University
Dr. Bahir Selçuk	Fırat University	Dr. Bahri Aydın	Abant İzzet Baysal University
Dr. Banu Hatice Gürcüm	Gazi University	Dr. Barış Özkul	Balıkesir University
Dr. Bayram Özer	Ondokuz Mayıs University	Dr. Bayram Yılmaz	İstanbul Yeditepe University
Dr. Bedii Ciciik	Mersin University	Dr. Behçet Gülenç	Gazi University
Dr. Bekir Oruncak	Afyon Kocatepe University	Dr. Berna C. Günhan	Dokuz Eylül University
Dr. Berrin Okka	Necmettin Erbakan University	Dr. Bilal Arık	Akdeniz University
Dr. Bilal Çoban	Fırat University	Dr. Bilal Üstündağ	Fırat University
Dr. Bilge Can	Pamukkale University	Dr. Boris T. Rachev	University of Veliko Turnovo
Dr. Bülent Aydoğan	Afyon Kocatepe University	Dr. Bülent Kaygın	Bartın University
Dr. Burak Kaan Temiz	Niğde Ömer Halisdemir University	Dr. Cihad Demirli	İstanbul Ticaret University
Dr. Cafer Sırrı Sevimay	Ankara University	Dr. Coşkun Harmanşah	Ege University
Dr. Bülent Kırmızı	Fırat University	Dr. Çiğdem Belgin Dikmen	Bozok University
Dr. Bülent Şen	Fırat University	Dr. Çiğdem Kan	Fırat University
Dr. Canan Çetin	Marmara University	Dr. Dadaroddi Mohamed	Sains University
Dr. Celalettin Başyigit	Süleyman Demirel University	Dr. Daniela Dasheva	National Sport Academy
Dr. Cem Ayden	Fırat University	Dr. Davut Aydoğan	Vasil Levski
Dr. Cemalettin Camcı	İstanbul Bilişim University	Dr. Debra Bick	İstanbul University
Dr. Cengiz Yıldız	Fırat University	Dr. Denis Walsh	King's Collage London
Dr. Çetin Özey	Fırat University	Dr. Dinçer Buran	University of Nottingham
Dr. Çetin Semerci	Bartın University	Dr. Ebru Akpınar	Süleyman Demirel University
Dr. Cevdet Emin Ekinici	Fırat University	Dr. Ebru Temiz	Fırat University
			Niğde Ömer Halisdemir University

Dr. Cevdet Kılıç	Trakya University	Dr. Ebru Yüce	Munzur University
Dr. Chiwon W. Lee	North Dakota State University	Dr. Ehsan N. Farsangi	Tehran University
Dr. Çiğdem Arslan	İstanbul University	Dr. Ekrem Karayılmazlar	Pamukkale University
Dr. Elenora Mivela	National Sport Academy Sofia	Dr. Esad R. Kurejsepi	Prizen University
Dr. Elias M. Elias	North Dakota State University	Dr. Esra Bukova Güzel	Dokuz Eylül University
Dr. Emine Ayaz	İstanbul Teknik University	Dr. Eyüp Sabah	Afyon Kocatepe University
Dr. Emine Figen Dilek İlke	Ankara University	Dr. Fahrettin Yakuphanoğlu	Fırat University
Dr. Emine Koca	Gazi University	Dr. Fahri Birinci	Ondokuz Mayıs University
Dr. Emine Kolaç	Anadolu University	Dr. Fahrul Zaman Bin Huyop	University Technology Malaysia
Dr. Emre Sancak	Süleyman Demirel University	Dr. Fatih Arslan	Fırat University
Dr. Emre Ünal	Niğde Ömer Halisdemir University	Dr. Fatih Cedden	Ankara University
Dr. Emrullah Yılmaz	Bartın University	Dr. Fatih Tepebaşılı	Necmettin Erbakan University
Dr. Engin Avcı	Fırat University	Dr. Fatih Yapıcı	Ondokuz Mayıs University
Dr. Engin Şahna	Fırat University	Dr. Fatma Arpacı	Gazi University
Dr. Ensar Arslan	Ahi Evran University	Dr. Fatma Nur Başaran	Gazi University
Dr. Ercan Özgan	Düzce University	Dr. Fatma Şaşmaz Ören	Celal Bayar University
Dr. Erdal Eren	Bilecik Seyh Edebali University	Dr. Fehim Fındık	Sakarya University
Dr. Erdal Karakaş	Bilecik Seyh Edebali University	Dr. Fehiman Çiner	Niğde Ömer Halisdemir University
Dr. Erdoğan Çiçek	Nevşehir Hacı Bektaş Veli University	Dr. Feyza K. İnce	Gazi University
Dr. Erdoğan Tezci	Balıkesir University	Dr. Fırat Özçelik	Fırat University
Dr. Erdoğan Güneş	Ankara University	Dr. Filiz Nurhan Ölmez	Süleyman Demirel University
Dr. Erkan Turan Demirel	Fırat University	Dr. Firegoudar Yerrennagoudaru	Visvesvaraya Technological University
Dr. Erol Asiltürk	Fırat University	Dr. Flora Alesgerova	Azerbaycan Turizm ve Menecment Uni.
Dr. Erol Tutumluer	Illinois University	Dr. Hans W. Giessen	Saarlandes University
Dr. Ersin Bahçeci	İskenderun Teknik University	Dr. Harun Tuncel	Bilecik Şeyh Edebali University
Dr. Gazanfer Doğu	Abant İzzet Baysal University	Dr. Hasan Altan Çabuk	Çukurova University
Dr. Gökhan Durmuş	Gazi University	Dr. Hasan Bayındır	Dicle University
Dr. Gökhan Gökmen	Marmara University	Dr. Hasan Hüseyin Şahna	Balıkesir University
Dr. Gökhan Kılıç	Eskişehir Osmangazi University	Dr. Hasan Karabulut	Karabük University
Dr. Gözde Özalp	Uludağ University	Dr. Hasan Kasap	Gedik University
Dr. Gülbuğ Erol	Cumhuriyet University	Dr. Hasan Kılıç	Doğu Akdeniz University
Dr. Gülsüm Gülnaz Gültekin	Gazi University	Dr. Hasan Kılıç	Marmara University
Dr. Gültekin Basmacı	Mehmet Akif Ersoy University	Dr. Hasan Yüksel	Cumhuriyet University
Dr. Gürcan Gürgen	Ankara University	Dr. Hatice Kıran Çakır	Trakya University
Dr. Hamdi Soner Altundoğan	Fırat University	Dr. Hilal Aktamış	Adnan Menderes University
Dr. Hacı Duran	Adıyaman University	Dr. Hülya Argunşah	Erciyes University
Dr. Hafize Öztürk Can	Ege University	Dr. Hülya Durmuş	Celal Bayar University
Dr. Hakan Arslan	Çankırı Karatekin University	Dr. Hülya Gülay Ogelman	Pamukkale University
Dr. Hakan Arslan	Mersin University	Dr. Hürrem Sinem Şanlı	Gazi University
Dr. Hakan Dilipak	Gazi University	Dr. Hüseyin Ali Yalım	Afyon Kocatepe University
Dr. Hakan Karakaya	Batman University	Dr. Hüseyin Altun	Fırat University
Dr. Hakan Ulukan	Ankara University	Dr. Hüseyin Anılan	Eskişehir Osmangazi University
Dr. Hale Uyar Hazar	Adnan Menderes University	Dr. Hüseyin Bağ	Pamukkale University
Dr. Halil Ceylan	Iowa State University	Dr. Hüseyin Demir	Ondokuz Mayıs University
Dr. Halil Demir	Karabük University	Dr. Hüseyin Gül	Kocaeli University
Dr. Halil Fidan	Ankara University	Dr. Hüseyin Kaygın	Bartın University
Dr. Haluk Mergen	Uludağ University	Dr. Hüseyin Yapıcı	Erciyes University
Dr. Haluk Yavuzer	İst. Ticaret University	Dr. İbrahim Kocabaş	Yıldız Teknik University
Dr. Hamil Nazik	Gazi University	Dr. İbrahim Türkoğlu	Fırat University

Dr. Handan Asude Başal	Uludağ University	Dr. İbrahim Yücedağ	Mardin Artuklu University
Dr. Hanifi Güldemir	Fırat University	Dr. İhsan Çiçek	Ankara University
Dr. Kafiye Ozlem Alp	Gazi University	Dr. İlhan Turan	Recep Tayyip Erdoğan University
Dr. Kaan Günay	Cumhuriyet University	Dr. İlker Bekir Topçu	Eskişehir Osmangazi University
Dr. Kadir Gök	Celal Bayar University	Dr. İrfan Arıkan	Krems University
Dr. Kadir Özkaya	Pamukkale University	Dr. İsmail Arıcı	Atatürk University
Dr. Kadir Turan	Dicle University	Dr. İsmail Aytaç	Fırat University
Dr. Kadriye Dilek Akpınar	Gazi University	Dr. İsmail Gelen	Ondokuz Mayıs University
Dr. Kamal Bouarab	University de Sheerbrooke	Dr. İsmail Hakkı Akçay	Süleyman Demirel University
Dr. Kamil Alakuş	Ondokuz Mayıs University	Dr. İsmail Küçükaksoy	Dumlupınar University
Dr. Kamil Durdu	İnönü University	Dr. İsmail Sarıtaş	Selçuk University
Dr. Kamil İşeri	Niğde Ömer Halisdemir University	Dr. İsmet Temaj	Prizren University
Dr. Kazım Özkan Ertürk	Niğde Ömer Halisdemir University	Dr. Jasmina Harvanek	Zagreb University
Dr. Muhsin Tunay Gençöğlu	Fırat University	Dr. M. Azrul Naim Bin Mohamad	International Islamic University Malaysia
Dr. Memet Şekerci	Fırat University	Dr. M. Hamzah Bin Mohd Nasir	International Islamic University Malaysia
Dr. Lale Güremen	Amasya University	Dr. Ma. Binti Mohd. Ashaari	International Islamic University Malaysia
Dr. Kenan Çelik	Karadeniz Teknik university	Dr. Mahir Dursun	Gazi University
Dr. K.B. Binti Abdul Halim	International Islamic University Malaysia	Dr. Mahmut Ali Gökçe	Çukurova University
Dr. Koray Tunçalp	Haliç University	Dr. Mahmut Doğru	Bitlis Eren University
Dr. Kürsat Yenilmez	Eskişehir Osmangazi University	Dr. Manaf Manafli	Adıyaman University
Dr. Kurtuluş Öngel	Izmir Tepecik Eğitim Araştırma	Dr. Mara Kandeve	Technical University of Sofia
Dr. Latif Kalın	Auburn University	Dr. Margaret C. Perivoliotis	TEI of Athens
Dr. Leyla Ercan	Gazi University	Dr. Marlene Sinclair	University of Ulster Northern Ireland
Dr. Lütfi Namlı	Ondokuz Mayıs University	Dr. Maryam Jalali	Shahid Beheshti University
Dr. Mehmet Gürol	Yıldız Teknik University	Dr. Mehmet Ali Akçayol	Gazi University
Dr. Mehmet İnceoğlu	Anadolu University	Dr. Mehmet Ali Ulubaşoğlu	Deakin University
Dr. Mehmet Nuri Gömleksiz	Fırat University	Dr. Mehmet Aygün	Fırat University
Dr. Loe D'acquisto	Central Washington University	Dr. Mehmet Bayburt	Ege University
Dr. Mehmet Öztürk	Fırat University	Dr. Mehmet Bektaş	Fırat University
Dr. Mehmet Veysel Çakır	Gaziantep University	Dr. Mehmet Demirci	Namak Kemal University
Dr. Mehmet Sezai Türk	Gazi University	Dr. Mehmet Güngör	İnönü University
Dr. Mehmet Somuncu	Ankara University	Dr. Mehmet Gürcan	Fırat University
Dr. M. Yaşar Sepetcioğlu	Harran University	Dr. Mehmet Özkaymak	Karabük University
Dr. M. Tahir Nalbantçılar	Batman University	Dr. Mehmet Ülker	Fırat University
Dr. Mehmet Taşpınar	Gazi University	Dr. Meor Othman Hamzah	Sains Malaysia University
Dr. Mehmet Tektaş	Marmara University	Dr. Messaoud Saidani	Coventry University
Dr. Mehmet Turan	Fırat University	Dr. Metin Arslan	Mersin University
Dr. Mehmet Yasin Aslan	Sinop University	Dr. Metin Bayraktar	Fırat University
Dr. Mehmet Yılmaz	Harran University	Dr. Metin Dalip	State University of Tetovo
Dr. Mehmet Zaman	Atatürk University	Dr. Metin Işık	Sakarya University
Dr. Mehmet Tokdemir	Fırat University	Dr. Metin Kaya	Karabük University
Dr. Mehtap Muratoğlu	Fırat University	Dr. Metin Koparır	Fırat University
Dr. Melda Özdemir	Gazi University	Dr. Mikail Et	Siirt University
Dr. Meltem Saplıoğlu	Süleyman Demirel University	Dr. Mircea Nicusor Nicoara	University of Iasi
Dr. M. Seden Tapan Broutin	Uludağ University	Dr. Mohamed Mergoum	The University of Georgia
Dr. Mukadder Boydan Ozan	Fırat University	Dr. Mohd. Faez Bin Sharif	International Islamic University Malaysia
Dr. Murat Elibol	Ege University	Dr. Muammer Bahşi	Fırat University
Dr. Murat Ciniviz	Selçuk University	Dr. M. Arshad Javed	Uni. Teknologi Malaysia

Dr. Murat Demir	Harran University	Dr. M. Emin Emiroğlu	Fırat University
Dr. Murat Özgür	Ankara University	Dr. Muhammed Turhan	Fırat University
Dr. Müslüm Murat Saç	Ege University	Dr. Mustafa Sarıtaş	Uludağ University
Dr. Mürsel Erdal	Gazi University	Dr. Mustafa Şahin	Dokuz Eylül University
Dr. Musa Kılıç	Batman University	Dr. Mustafa Taşkın	Mersin University
Dr. Mustafa Çullu	Gümüşhane University	Dr. Mustafa Tekke	International Islamic University Malaysia
Dr. Mustafa Kaya	Fırat University	Dr. Mustafa Türkmen	Kocaeli University
Dr. Mustafa Akdağ	Erciyes University	Dr. Mustafa Yağbasan	Fırat University
Dr. Mustafa Altın	Selçuk University	Dr. Mustafa Yılmaz	Atatürk University
Dr. Murat Atan	Gazi University	Dr. Müfit Kömleksiz	Cyprus International University
Dr. Mustafa Avcı	Süleyman Demirel University	Dr. Namık Yaltay	Yüzüncü Yıl University
Dr. Mustafa Boz	Karabük University	Dr. Narayan Ramappa Birasal	KLE Society's GH College
Dr. Mustafa Ergün	Ondokuz Mayıs University	Dr. Nazan Tuna Oran	Ege University
Dr. Mustafa Korkmaz	Erzincan University	Dr. Necati Hırça	Bartın University
Dr. Mustafa Mutluer	Ege University	Dr. Necip Fazıl Yılmaz	Gaziantep University
Dr. Mustafa Oskay	Celal Bayar University	Dr. Nedim Bayuk	Harran University
Dr. Mustafa Özden	Harran University	Dr. Nergis Bulut Serin	Lefke Avrupa University
Dr. Mustafa Öztürk	Süleyman Demirel University	Dr. Neriman Aral	Ankara University
Dr. Nino Kvachantiradze	Fırat University	Dr. Nesrin Karaca Şanyürek	Munzur University
Dr. Niyazi Özdemir	Fırat University	Dr. Nevin Çankaya	Uşak University
Dr. Nizamettin Kahraman	Karabük University	Dr. Nevin Şanlıer	Gazi University
Dr. Nor'ain H.J. Othman	University Technology Mara	Dr. Nevzat Gümüş	Dokuz Eylül University
Dr. Nuran Malta Muhaxheri	Lefke Avrupa University	Dr. Nevzat Yiğit	Karadeniz Teknik University
Dr. Nuray Özdiçiner	Pamukkale University	Dr. Nihal Yayla	Pamukkale University
Dr. Nurettin Doğan	Gazi University	Dr. Nik Ahmad Hisham B. Ismail	International Islamic University Malaysia
Dr. Nuri Başusta	Fırat University	Dr. Nilgün Sazak	Sakarya University
Dr. Nuriye Semerci	Bartın University	Dr. Nilgün Tosun	Trakya University
Dr. Nursel Arıcı	Gazi University	Dr. Nilüfer Akıncıtürk	Uludağ University
Dr. Nurşen Suçsuz	Trakya University	Dr. Nimet Haşıl Korkmaz	Uludağ University
Dr. Ömer Aytaç	Fırat University	Dr. R. Bin Mohamed Zulkifli	University Teknologi Malaysia
Dr. Nurten Çekal	Pamukkale University	Dr. Rahman Safarov	Azerbaycan Turizm ve Menecment University
Dr. Nurullah Kıratlı	Dumlupınar University	Dr. Ramazan Çağlar	İstanbul Teknik University
Dr. Nurullah Kurt	Kuwait University	Dr. Ramazan Gürbüz	Adıyaman University
Dr. Oğuz Serin	Cyprus International University	Dr. Ramazan Kaçar	Karabük University
Dr. Oksan K. Koral	Ege University	Dr. Ramazan Yılmaz	Sakarya University
Dr. Oktay Pamuk	Ege University	Dr. Ramwanta Gupta	Fac. of Science College, Lautoka, Fiji
Dr. Ömer Çaha	Yıldız Teknik University	Dr. Recep Kanıt	Gazi University
Dr. Ömer Kara	Karadeniz Teknik University	Dr. Recep Özkan	Niğde Ömer Halisdemir University
Dr. Ömer Keleşoğlu	Fırat University	Dr. Reha Saydan	Yüzüncü Yıl University
Dr. Onur Çelik	Celal Bayar University	Dr. Roswanira Abdul Wahab	University Teknologi Malaysia
Dr. Orhan Dikener	Selçuk University	Dr. Rovens Kerimov	Azerbaycan Milli Elmler Akademisi
Dr. Orhan Torkul	Sakarya University	Dr. Rukiye Aylaz	İnönü University
Dr. Osman Aytekin	Yüzüncü Yıl University	Dr. Rüçhan Özkılıç	Uludağ University
Dr. Osman Şimşek	Gazi University	Dr. Sabit Oymael	İstanbul Arel University
Dr. Özge Özmen	Ankara University	Dr. Sadik Idrizi	Prizren University
Dr. Özlem Pelin Can	Cumhuriyet University	Dr. Salih Taner Yıldırım	Kocaeli University
Dr. Özlem Sallı Bideci	Düzce University	Dr. Saliha Ağaç	Gazi University
Dr. Perihan Güler	Kırıkkale Üniversitesi	Dr. Seher Mandacı Şahin	Niğde Ömer Halisdemir University
Dr. Pınar Göklüberk Özlü	Gazi University	Dr. Selahattin Akşit	Erciyes University
Dr. Piotr Romanowski	Warsaw University	Dr. Selami Aydın	Balıkesir University
Dr. Rukiye Eser Gültekin	Akdeniz University	Dr. Selçuk Kürşat İşleyen	Gazi University
Dr. Ragıp İnce	Fırat University	Dr. Selim Kul	Fırat University
Dr. Sezer Korkmaz	Gazi University	Dr. Selima Khatun	Burdwan University
Dr. Sezgin Kaçar	Sakarya University	Dr. Selma Çelikyay	Bartın University
Dr. Sibel Erkal	Ankara University	Dr. Semra Günay Aktaş	Anadolu University

Dr. Sibel Yoleri	Uşak University	Dr. Semra Sevimay	Ankara University
Dr. Soner Polat	Kocaeli University	Dr. Serap Kahraman	Dokuz Eylül University
Dr. Şükrü Özen	Akdeniz University	Dr. Serdal Terzi	Süleyman Demirel University
Dr. Süleyman Gündüz	Karabük University	Dr. Serdar Günaydın	Kırıkkale University
Dr. Süleyman Korkut	Düzce University	Dr. Serdar Mercan	Cumhuriyet University
Dr. Sunil K. Khan	Sreegopal Banerjee College Indiana	Dr. Serdar Salman	Marmara University
Dr. Tahir Çetin Akıncı	İstanbul Teknik University	Dr. Serhat Şeker	İstanbul Teknik University
Dr. Tahsin Aktaş	Gazi University	Dr. Serkan Islak	Kastamonu University
Dr. Tayfun Tutak	Fırat University	Dr. Serkan Subaşı	Düzce University
Dr. Temel Yeşilyurt	Erciyes University	Dr. Sertaç Güngör	Selçuk University
Dr. T. H. Tengku Abdul Hamid	International Islamic University Malaysia	Dr. Sevil Akçağlar	Dokuz Eylül University
Dr. Teoman Ayhan	Bahrain University	Dr. Sevim Akçağlar	Uludağ University
Dr. Tsung-chiung (Emily) Wu	National Dong Hwa University	Dr. Seyit Uğurlu	Yüzüncü Yıl University
Dr. Simin Ghavifekr	University of Malaya	Dr. Şemsettin Kılıçarslan	Süleyman Demirel University
Dr. Sinan Çalık	Fırat University	Dr. Şener Demirel	Fırat University
Dr. Temel Göktürk	Artvin Çoruh University	Dr. Şermin Ozan	Fırat University
Dr. Osman Celbiş	İnönü University	Dr. Şeyhmus Kerem Özel	İstanbul Bilim University
Dr. Tülay Esin	Gebze Teknik University	Dr. Yahya Taşgın	Munzur University
Dr. Tuncay Sevindik	Yıldız Teknik University	Dr. Yasemin Açık	Fırat University
Dr. Turhan Çetin	Gazi University	Dr. Yasemin Özkan	Ankara University
Dr. Ufuk Teoman Aksoy	Fırat University	Dr. Yeliz Yazgan	Uludağ University
Dr. Uğur Çakılciöğlü	Munzur University	Dr. Yener Özen	Erzincan University
Dr. Uğur Çalığüllü	Fırat University	Dr. Yılmaz Kaya	Ondokuz Mayıs University
Dr. Vaclav Mentl	Scoda Research Ltd, Co.	Dr. Yunus Bulut	Bingöl University
Dr. Vedat Asil	Fırat University	Dr. Yunus Saral	Recep Tayyip Erdoğan University
Dr. Ümit Arklan	Cumhuriyet University	Dr. Yüksel Deniz Arıkan	Ege University
Dr. Ünal İç	Fırat University	Dr. Yüksel Esen	Fırat University
Dr. Veyssel Şahin	Fırat University	Dr. Zafer Gönülalan	Erciyes University
Dr. Yaşar Kaya	İnönü University	Dr. Zahadin Shemsidini	Prizren University
Dr. Ziyaddin Recepli	Karabük University	Dr. Zeka Pehlevan	Mersin University
Dr. Vedat Çınar	Fırat University	Dr. Zeynel Fuat Toprak	Dicle University
Dr. Zeki Yıldız	Eskişehir Osmangazi University	Dr. Zuhail Oktay	Recep Tayyip Erdoğan University

CONTENT		
IDENTITY OF BOOK		I
CONTENT		IX
ID	ARTICLE TITLE AND AUTHOR(S)	
1A1PB	KEYNOTE SPEAKER M.Asım Yeğınobalı	1-14
1A9IJ	FARKLI KALINLIKTAKİ DP600/TRIP800 ÇELİK SACLARIN NOKTA DİRENÇ KAYNAK KABİLİYETİ Ramazan Kaçar, Khaled Omer H. Marwan, Hayriye Ertek Emre	15-26
1A10PB	KAĞIT BARDAKLARDAN ÜRETİLEN POLİMER KOMPOZİTLERİN ISIL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ Türker Güleç, Emrah Peşman, Nadir Ayrılmış, Alperen Kaymakçı	27-35
1A11PB	<i>PITYOKTEİNES CURVIDENS</i> (GERM.) VE <i>CRYPHALUS PICEAE</i> 'NİN ZARAR VERDİĞİ DOĞU KARADENİZ GÖKNARININ SELÜLOZ VE KAĞIT ENDÜSTRİSİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI Emrah Peşman, Türker Güleç	36-46
1A26PB	BİTÜM MODİFİKASYONUNDA SİYAH KARBONUN BİTÜMÜN KIVAMINA VE SICAKLIK DUYARLILIĞINA ETKİSİ Tacettin Geçkil, Perviz Ahmedzade, Taner Alataş	47-62
1A29PB	BİNA DUVARLARININ TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN KULLANILARAK BU ÖZELLİKLERİN ISI KAZANCINA OLAN ETKİSİNİN İNCELENMESİ Hasan Oktay, Recep Yumrutaş, Zeki Argunhan, Mehmet Zerrakki Işık	63-74
1A30PB	RCCI YANMALI MOTORDA ASPİR BİYODİZELİ KARIŞIMLARI VE BENZİN KULLANIMININ ORTA YÜKLERDE PERFORMANS VE EMİSYON ETKİLERİNİN İNCELENMESİ Mehmet Zerrakki Işık, Hüseyin Aydın, Hasan Oktay	75-86
1A31PB	ASPİR BİYODİZELİ KARIŞIMLARI VE BENZİN İLE ÇALIŞAN BİR RCCI MOTORUNUN ORTA YÜKLERDE YANMA ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI Hüseyin Aydın, Mehmet Zerrakki Işık	87-97
1A32PB	BİNA ISITMA VE BUZ PİSTİ SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN YERALTI ENERJİ DEPOLAMA TANKIYLA ISIL ANALİZİ Hakan Tutumlu, Recep Yumrutaş, Hasan Oktay	98-112
1A34PB	DOĞAL PARTİKÜL TAKVİYELİ POLYESTER KOMPOZİTİN AŞINMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ Yahya Hışman Çelik, Burak Yenigün, Erol Kılıçkap	113-119
1A36PB	BAL PETEĞİ SANDVIÇ KOMPOZİTLERİN DÜŞÜK HIZLI DARBE TESTİ SONRASI EĞİLME MUKAVEMETİNDEKİ DEĞİŞİMİN ARAŞTIRILMASI Tolga Topkaya, Murat Yavuz Solmaz	120-126
1A37PB	BAL PETEĞİ SANDVIÇ KOMPOZİTLERİN DÜŞÜK HIZLI DARBE DAVRANIŞLARININ ARAŞTIRILMASI Tolga Topkaya, Murat Yavuz Solmaz	127-140
1A39PB	ERZİNCAN (TÜRKİYE) ÇİVARI KROMİT POTANSİYELİNİN FERROKROM TESİSİ BESLEME AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ Hasan Kolaylı, İbrahim Alp	141-160
1A40IJ	PREDICTION OF ORBITAL DECAY OF LOW EARTH ORBIT SATELLITES Önder Halis Bettemir	161-167
1A41IJ	SOLUTION OF INDETERMINATE TRUSS STRUCTURES WITHOUT HUMAN INTERVENTION Önder Halis Bettemir	168-174
1A60PB	THE PRODUCTION OF TAHINI (SESAME PASTE) AND ITS COMPOSITION Belkıs Tekgüler, İlkay Koca	175-187
1A61PB	EFFECTS OF MICROWAVE AND CONVECTIVE HOT-AIR DRYING CONDITIONS ON SOME CHARACTERISTICS OF <i>LACTARIUS DELICIOSUS</i> L. MUSHROOM İlkay Koca, Belkıs Tekgüler, Volkan Arif Yılmaz	188-200
1A71IJ	KENTSEL ULAŞIM ALANLARDAKİ KULLANICI MEMNUNİYETİ: ERZİNCAN ÖRNEĞİ U. Teoman Aksoy, Y. Tuğrul Şiranlı, Yüksel Esen, Ömer Keleşoğlu	201-211
1A72IJ	LİMONİT AGREGASI İLE ÜRETİLEN BETONLARIN HVL VE TVL DEĞERLERİ Yüksel Esen, U. Teoman Aksoy, Ömer Keleşoğlu, Y. Tuğrul Şiranlı	212-215
1A73IJ	2007 DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE MEVCUT BETONARME BİR YAPININ PERFORMANSININ BELİRLENMESİ VE GÜÇLENDİRME ÖNERİSİ Ömer Keleşoğlu, U. Teoman Aksoy, Yüksel Esen, Y. Tuğrul Şiranlı	216-222
1A78PB	PREDICTION OF RUNOFF USING RAINFALL AND EVAPORATION DATA Halil İbrahim Burgan	223-226

1B8PB	ACİL SERVİSE BAŞVURAN OBSTETRİ HASTALARININ TRİYAJ SINIFLANDIRILMASINA GÖRE DAĞILIMLARI VE YAPILAN UYGULAMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ Cemile Uçar, Rabia Ekti Genç	227-235
2A1PB	FRICTION WELDING OF AZ63 MAGNESIUM ALLOYS Uğur Çalığülü, Mustafa Türkmen, Ali Kaya Gür, Remzi Kallı	236-246
2A2PB	FATIGUE BEHAVIOR OF AISI 430-AISI 1010 STEELS WELDED BY LASER BEAM WELDING Uğur Çalığülü, Mustafa Türkmen, Alpay Özer, Ali Kaya Gür, Mustafa Taşkın	247-256
2A9PB	THE EFFECT OF Cr/C RATIO ON THE WEAR RESISTANCE OF HARDFACING COATINGS Sefa Yılmaz, Hülya Durmuş, Nilay Çömez, Melis Yurddaşkal, Metin Yurddaşkal	257-264
2A10PB	THE EFFECT OF DOPED GRAPHENE ON ELECTRICAL AND OPTICAL PROPERTIES OF COMMERCIAL ZnO Seval Hale Güler, Ömer Güler	265-270
2A13PB	MATRIS/BASKI PLAKA AÇILI HIDROMEKANİK DERİN ÇEKME YÖNTEMİ Hasan Ballıkaya, Vedat Savaş	271-277
2A14PB	KOROZYON VE MEKANİZMASI Semra Bilgiç	278-284
2A20PB	PRODUCTION OF OPEN CELL ALUMINUM FOAM BY VACUUM CASTING METHOD Melik Çetin, Talha Sunar	285-290
3A1IJ	EFFECT OF TIME DEPENDENT SINUSOIDAL MAGNETIC FIELD ON MIXED SPIN (1, 5/2) ISING FERROMAGNETIC BLUME-CAPEL MODEL: AN EFFECTIVE-FIELD THEORY ANALYSIS Mehmet Batı, Mehmet Ertas	291-298
3A23PB	4-((2,4-DİCHLOROBENZYL)OXY)BENZONİTRİLE BİLEŞİĞİNİN SENTEZİ, DENEYSEL VE TEORİK OLARAK YAPISININ AYDINLATILMASI VE MOLEKÜLER DOKİNG ÇALIŞMASI Tuncay Karakurt	299-311
3B3PB	PRODUCTION OF TRADITIONAL YOGHURT USING STARTER CULTURE OBTAINED FROM KOUMISS Natalia Kurt, Momun Arzibayev, Zafer Gönülalan	312-317
3C11PB	VADELİ İŞLEM VE OPSİYON BORSASININ/PIYASASININ GELİŞİMİ/DÖNÜŞÜMÜ ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME Selçuk Tazegül, Alper Tazegül	318-322
4A1PB	EVALUATION OF SEED AND OIL YIELD WITH SOME YIELD COMPONENTS OF SOYBEAN VARIETIES IN KAHRAMANMARAS (TURKEY) CONDITIONS Fatih Kılılı, Büşra Nur Ekinci	323-328
4A3IJ	FARKLI EKİM ZAMANLARININ KİNOA (<i>Chenopodium quinoa</i>) BİTKİSİNİN KALİTE ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI Gülray Zülkadir, Leyla İdikut, Mustafa Çölkesen	329-338
5A8IJ	<i>Porphyridium Cruentum</i> KÜLTÜRLERİNDE KURU MADDE TAHMİNİ Leyla Uslu, Gökhan Tamer Kayaalp, Oya Işık, Melis Çelik Güney	339-342
5A9PB	AV VERİMİ VE BOY SEÇİCİLİĞİ AÇISINDAN SADE MONOFİLAMENT UZATMA AĞLARI İLE SADE MULTİFİLAMENT AĞLAR ARASINDA FARK VAR MI? Selim Mısır, Cemil Altuntaş, Caner Enver Özyurt, Murat Dağtekin, Yaşar Genç, N. Selda Başçınar, Nazlı Kasapoğlu, Murat Erbay, Gülsüm Balçık Mısır, Erdinç Aydın	343-355



M.Asım Yeğınobalı

Middle East Technical University (Ret.) Ankara-Turkey
ayeginobali@yahoo.com

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.1A1PB>

THE PAST, PRESENT AND THE FUTURE OF CONCRETE

ABSTRACT

The evolution of concrete as a construction material from the early ages to the present day is summarized by listing the dates of important developments in the history. This also included the historical developments in the cementitious materials. Developments beginning from simple lime-sand mortars to present day concretes and their varieties included invention of Portland cement, uses of mineral and chemical admixtures and different types of concretes with their uses in various types of projects and important structures. Cement and concrete industries are taking necessary measures to curb their use of natural resources and greenhouse gas emissions for sustainable development. Supplementary cementitious materials such as fly ash and blast furnace slag are used to reduce clinker content and all sorts of waste material are being used as alternative fuels to reduce fossil fuel consumption and emissions. This trend will also continue in the future. High performance concretes containing blended cements with low clinker factor and chemical admixtures will be used to construct more durable structures. As global population increases and urbanization continues there will always be a demand for concrete.

Keywords: Cement, Concrete, Future of Concrete,
History of Concrete, Past of Concrete

1. INTRODUCTION

Concrete is the second most used material in the world after water. It is with us in everyday life in different places in various forms. It is a man-made stone obtained from natural stones. However, it is not a material as simple as it looks. Today, to design and produce a concrete with specified properties for a certain project requires special knowledge and experience. The basic ingredients of concrete are cementing material (lime, gypsum, inorganic cements), mineral aggregates (sand and gravel), admixtures (mineral and chemical) and mixing water. Cementing material and water form a paste which binds the aggregate particles. Initially, the mixture is plastic and can be shaped easily. In time, it loses its plasticity, hardens and gains strength. It is considered as a living material, since its properties change and its strength increases with its age. Evolution of concrete through the ages is interesting and reflects the advancements of science and technology and contributions from different countries. Since the properties of concrete strongly depend on its cement, the development of cementing materials through the history is covered in parallel with concrete. In the following paragraphs first, historical developments will be summarized. The main items of today's cement and concrete technologies are presented followed by the expectations for the future in the lights of global population increase and climate change.

2. RESEARCH SIGNIFICANCE

There are many different definitions in concrete academic studies. It is possible to define concrete as follows. Concrete is a hardened

building material created by combining a chemically inert mineral aggregate (usually sand, gravel, or crushed stone), a binder (natural or synthetic cement), chemical additives, and water. This article examines the past, present and future of concrete. The study is important for similar workshops in this regard.

3. HISTORICAL MILESTONES

The basic chemical compounds in cement form by calcination of a mixture involving limestones (calcareous rocks) and clays (argillaceous rocks). Thus, it is very possible that during the formation of the Earth, such rocks under the effects of heat, mixing, solidification, pressure and fragmentation actually produced natural cements and concretes of similar composition. It took thousands of years until man-made cements and concretes were developed. Developments in cement and concrete through the history can be summarized roughly with some milestones in chronological order as follows (Yeğinoğlu, 2003):

- **3000 BC:** It is believed that gypsum and lime were first used around this time by the Middle East civilizations. Possibly, gypsum was the binding material used in building the pyramids by the ancient Egyptians as it required lower calcination temperature compared with lime (Figure 1).



Figure 1. Pyramids



Figure 2. Hanging Gardens

- **2000 BC:** Babylonians used lime as well as gypsum in their buildings including hanging gardens (Figure 2).
- **800 BC:** By this time the use of lime as a binding material spread to the other regions. Hay fibers were added to the mixtures to provide flexibility and to control cracking. Away from the Middle East, Chinese began constructing their Great Wall against the raids by Huns, Turks and Mongols. They compacted soil-lime mixtures to make the components of the wall (Figure 3).



Figure 3. Great Wall of China



Figure 4. Coliseum

- **300 BC-500 AD:** Ancient Romans mixed volcanic tuffs from Pozzuoli region near Vesuvius mountain with lime to obtain a stronger material having more water resistance. (Later, such materials having alumino-siliceous composition and forming a cementitious compound when mixed with lime, are also called "pozzolan"). Lime-

pozzolan mixtures were used in the construction of the Pantheon and the Coliseum (Figure 4).

During this period, in the Middle East a new type of binding material came to use. Burned clay powder was mixed with lime with some additions such as animal fat, blood, hair and eggs to provide increased strength, adhesion and workability. The product known as "Horasan mortar" was extensively used together with lime mortars in masonry buildings and domes in many regions including the Ottoman Empire and in some of Architect Sinan's works (Figures 5 and 6). No significant progress has been reported in cement and concrete technology until 18th century.



Figure 5. Aqueduct arch bridge Figure 6. Süleymaniye Mosque

- **1793:** Hydraulic lime was developed by John Smeaton of England. He calcined clayey limestones at around 1100 °C to obtain a lime which could set and harden under water. He used hydraulic lime in the construction of a lighthouse (Figure 7) (Ordinary limes cannot harden inside water. They need air exposure).
- **1796:** In England James Parker further developed hydraulic lime, to have improved strength calcined it at 1300°C. The product was named "Parker's cement" (also known as "Roman cement"). In this period, the production of similar cements was reported also in France.
- **1824:** In England Joseph Aspdin invented the Portland cement. He finely ground lime and clay, carefully proportioned them and calcined the mixture up to 1450°C. The resulting pebble-size particles (clinkers) were ground to obtain a cement which gained higher and faster strength than Roman cement. Its color resembled the limestones in Portland peninsula.



Figure 7. Eddystone



Figure 8. Brooklyn Bridge Lighthouse

- **1835:** In cement and concrete technology USA had remained behind Europe. After learning how to produce Roman cement (they called it Natural cement) they used it in many important projects, monuments

and waterways. Pedestal of Statue of Liberty (1856) and Brooklyn Bridge (1883) are two examples. (Figure 8)

- **1860:** Developments in the equipment (crushers, grinders and kilns) for manufacturing Portland cement and concrete.
- **1865:** Using blast furnace slag from steel industry as an admixture in cement.
- **1867:** Strengthening a concrete flower pot by steel wires by Joseph Monier is accepted as the invention of reinforced concrete. This opened the way for concrete to be used in places subjected to bending stresses.
- **1886:** The first rotary kiln was used in England to replace the vertical kilns for calcination of cement raw materials.
- **1888:** Preliminary work on prestressed concrete. It was not put into practice until mid-1920s. Compression was introduced into concrete by stretched steel tendons increasing the flexural strength of concrete members, enabling to span longer distances. (Figure 9)
- **1891:** The first concrete street built (Bellefontaine, USA).
- **1903:** Reinforced concrete buildings began to be built in various countries.

Ready mix concrete was introduced in Germany.

The first reinforced concrete building in Ottoman Empire is believed to be Tayyare Apartments built in Istanbul (1919-1922). (Figure 10)

- **1914:** Transmixers were manufactured to transport fresh concrete.
- **1927:** Concrete pumps were used to transport fresh concrete from mixer to the formwork.
- **1930:** Air-entraining chemical admixtures were introduced to improve resistance of concrete to freezing and thawing. Followed by other chemical admixtures.
- **1936:** Hoover Dam was built in the USA. It remained as the largest concrete arch dam in the world for a long time. (Figure 11)
- **1950:** Experimental tests in Norway on microsilica (silica fume) for its potential use as a cement admixture. Its actual use in practice was twenty years later.



Figure 9. First prestressed concrete bridge



Figure 10. Tayyare apartments

- **1955:** Construction of the Interstate Highway System began in the USA which included kilometers of concrete roads.
- **1965:** Chemical admixtures such as water-reducing agents were developed. By reducing the amount of water required, higher concrete strengths could be reached without harming workability.
- **1970:** Fiber reinforcement was introduced in concrete.

- **1975:** In constructing the CN Building in Toronto concrete with chemical admixtures and slip-form method was used for the first time in such a tall (550m) structure. (Figure 12)
- **1980:** Chemical admixtures with higher water-reducing property came to use. Development of self-consolidating concrete.
- **1982:** Roller compacted concrete was developed.
- **1990:** New generation of superplasticizing chemical admixtures.



Figure 12. CN Building



Figure 11. Hoover Dam

Publication of the national standards on cement, concrete and related materials began at around the beginning of the last century in various countries. The standards increased in number in time and revised according to the needs arising from the findings of research and inputs from the practice.

4. FROM HISTORY TO PRESENT DAY

Developments in the past, especially those during the second half of the last century, led to the production of cements in modern cement plants with proper quality control. Nowadays, in developed countries and in most of the developing countries, concrete is designed and produced carefully in ready-mix plants, carried to construction site in transmixers and placed to any elevation using concrete pumps. Types of cements and concretes increased with improved qualities and higher strengths thanks to the advances in technology and extensive uses of mineral and chemical admixtures. However, such developments are also accompanied with environmental concerns and obligations to comply with relevant regulations. A closer look at the present situation in these areas will follow.

4.1. Mineral Admixtures

Beginning from the early ages, some mineral admixtures have been used in the production of cement and concrete. They were used mainly for economic and technological reasons. Nowadays their environmental benefits also became important. They can be of natural origin or artificial (mostly industrial by-products) (Yeğinobalı, 2000):

- **Natural pozzolan:** It is initially used as a raw material for early cements. As mentioned previously, they can be cementitious only when mixed with lime. Since last century they have been mainly used as an addition in cement production. In Turkey trass, a volcanic tuff, is used in large quantities in most of the cements.
- **Blast furnace slag:** It has been a popular admixture since its first use towards the end of the 19th century. It is a by-product of the steel industry. Lime used in the blast furnace reacts with impurities in the iron ore (mainly Al_2O_3 and SiO_2) and separates them from iron. The slag is almost cementitious, as it has a



composition like that of cement. For this reason, it can be added in larger quantities to cement.

- **Fly ash:** It is an ash with very fine particles collected by electrostatic filters at the stacks of thermal power plants burning pulverized coal. It can have a pozzolanic or semi-cementitious composition depending on its lime content. Since early 1930s it has been used as an admixture both in cement and in concrete. Unlike other admixtures it can be directly introduced to concrete without additional grinding.
- **Silica fume:** It is a by-product of ferrochrome industry. With extremely fine particles and more than 90% SiO_2 content, it has become an important ingredient for high strength concretes. However, it is not available in as large quantities as fly ash or slag and it is relatively expensive.

4.2. Cement

Portland cements for early strength, for low heat of hydration and for sulfate resistance were defined in the standards. All these were produced using the same raw materials of Portland cement: limestone, clay and to control the setting time, grinding small amount of gypsum with clinker. Desired properties could be obtained by adjusting the mixing proportion of raw materials to modify the chemical composition.

Later, recognizing the economic and technological advantages of adding mineral additions, production of cements containing natural pozzolan, slag and fly ash began to take place in the industry. Initially, cements with single mineral addition "two component cements" were used. In time, a variety of "multi -component" cements were developed and took their place in the standards. Such cements, in general, are also called "Blended cements"

European standard EN 197-1 (also adopted by Turkey) specifies 27 types of common cements covering Portland cements and blended cements. As mineral additions to clinker, blast furnace slag, silica fume, natural pozzolan, fly ash, burnt shale and limestone are specified (TSE 2012). Some examples with percent ranges for compositions follow:

- **Portland Cement:** 95-100% clinker
- **Portland- fly ash Cements:** 94-65% clinker+6-35% fly ash
- **Portland-composite Cements:** 94-65% clinker+6-35% any combination of additions covered in the standard,
- **Blast furnace cements:** 64-5% clinker+36-95% blast furnace slag

Each common cement has also strength classes. Lately, as special cements sulfate resisting and low early strength types are also added to the standard. The general trend is to allow cements with lower clinker contents among the standard types by using higher amounts of mineral admixtures. Today concrete designer has more flexibility to select the type of cement for intended use of concrete referring to such standards.

4.3. Chemical Admixtures

The use of organic materials such as milk, eggs and blood to enhance workability of mortars dates back to ancient times. Late in 19th Century CaCl_2 was tried to accelerate setting of concretes in Germany. Afterwards new chemicals have been developed to change or to improve concrete properties (Yeşinobalı, 2001). Although air entraining agents were developed in 1930s it was not until 1950s that their use in practice began. They are widely used today to improve the freeze-thaw resistance of concrete. Water reducing admixtures were also developed about the same time. They can reduce the amount of mixing water by 5-10%. As seen from the test results of an early study in Table 1, they can be used to accomplish three main purposes: Increasing consistency (slump) at the



same strength, or Increasing strength at the same consistency, or Reducing the amount of cement without changing the consistency and strength values with respect to a reference concrete (Hewlett and Rixom, 1978).

Table 1. Benefits achieved by using water-reducing admixtures

Test Series	Cement Content (kg/m ³)	Water-Cement Ratio	Slump (mm)	Compressive Strength (MPa)	
				7 Days	28 Days
A-Reference Concrete (No Admixture)	300	0.62	50	25	37
Water-reducing admixture is added for the purpose of:					
B-Consistency Increase	300	0.62	100	26	38
C-Strength Increase	300	0.56	50	34	46
D-Cement Saving	270	0.62	50	25.5	37.5

Since 1970s research has continued with the developments of several generations of high range water reducers (superplasticizers). They can provide reductions of up to 30% in mixing water, being more effective in concrete compared with the earlier types. Problems of early loss of workability or rapid setting can be overcome by using additional "accelerating" or "retarding" chemicals. Superplasticizers are widely used to day in concrete technology, especially in places such as high-rise buildings, self-consolidating concrete and precast concrete industry. Some of the most significant changes in concrete technology in recent years are attributed to the advancements in such chemical admixtures.

4.4. Concrete

Benefiting from the advances in cement, mineral and chemical admixture technologies, to day concrete is even more popular as a construction material which can have improved strength and durability with special types and variety of uses. Concrete standards both in Europe and in the USA have evolved to become more comprehensive. For instance, European standard EN 206 (also used in Turkey) specifies concretes according to strength and workability (slump) levels and provides guide lines for their production, assessment of performance and conformity (TSE, 2017). Some information on various types of concretes that are used today in construction:

- **High Strength Concrete (HSC):** Definition applies to concretes having a compressive strength of above 50-60 MPa. At present even concretes with strengths above 100 MPa can be commercially available. Concrete bridges with longer spans, reduced crosssections and construction of tall buildings with reinforced concrete frame have become possible by using HSC.
- **Self-Consolidating Concrete (SCC):** Due to its chemical admixture it retains its cohesiveness even at high fluidity (high slump) levels requiring no compaction. It is very suitable for pumping and mainly used in structural members with heavy reinforcement and for underwater construction.
- **High Performance Concrete (HPC):** Such concretes are carefully designed to have sufficient strength and high durability so that they can resist adverse conditions in their environment as well as the design loads during their usually long service lives.

Brief information about two outstanding projects involving uses of HSC, HPC and SCC follows:

Burj Khalifa in Dubai with a height of 828m (highest in the world) has a reinforced concrete core. The strength of concretes varied between

50-80MPa and sometimes reached 100MPa for different parts of the skyscraper. The concretes contained 30-40% fly ash, 7-8% silica fume and chemical admixtures. With an average slump of around 500mm, the concrete was pumped to elevations above 600m. In certain places SCC was also used, (Fig. 13) (CCW, 2010). Marmaray in Istanbul is world's deepest immersed structure connecting the Asian and European sides of the city for local railway. Twin reinforced concrete tube sections are cast in a dry dock, immersed into the sea at a depth of 58m, placed over the concrete surface of a pre-dredged trench and joined together along a length of 1.4km. In different parts of the project Portland cement, blast furnace cement, fly ash and silica fume were used as well as the required chemical admixtures. Some sections were cast using SCC. Concrete strengths were in the 40-50MPa range, but the main thing was to provide water tightness and durability against fire, corrosion and aggressive chemical and physical effects of the sea. The project is designed for a service life of 100 years (Figure 14).



Figure 13. Burj Khalifa



Figure 14. Marmaray

- **Fiber Reinforced Concrete (FRC):** With the same purpose of using hay fibers in ancient times, tiny fibers of steel, plastic or glass are mixed with concrete. This way better crack control is obtained with improved flexural strength and impact resistance. The lengths of the fibers are usually less than 1cm; they can be straight or deformed in shape. The usual mixing proportion is 1-2% by volume of concrete. In general, FRC is used for airport pavements and for tunnel linings.
- **Polymer Impregnated Concrete (PIC):** Concrete is treated with a suitable polymer which penetrates into its voids and fills them. Since curing is required for the polymer its use is mostly limited to the production of small or precast concrete members. PIC is preferred mainly for its good durability.
- **Lightweight Concrete:** Concretes with unit weights of less than 1.8-2.0t/m³ considered lightweight (normal concrete is around 2.50t/m³). The reduction in unit weight is achieved either by using lightweight aggregates such as pumice and volcanic tuffs or processed aggregates like expanded shale, fly ash and perlite. Increasing the air content in concrete or eliminating the fine aggregate in the mix are other ways of reducing the unit weight. Lightweight concretes have good insulating properties and used in places where low strength is sufficient, such as masonry units, partition walls and linings. Lightweight aggregate concretes (LWAC) with sufficient strength are also used for structural purposes.

- **Heavy Concrete:** Heavy aggregates are used to produce concretes with unit weights above 3t/m^3 . Aggregates can be natural (crushed particles of iron ore) or artificial (scrap iron or steel). Heavy concrete is mainly used as radiation shielding in nuclear facilities and in some medical establishments.
- **Roller Compacted Concrete (RCC):** Usually low-heat cement, relatively fine aggregate, fly ash and chemical admixture are mixed to have a consistency stiff enough to support a roller while plastic enough to be compacted. Compaction is by a vibratory roller in layers. It is used in the construction of dams and low-traffic roads. Provides an economical and time-saving solution for suitable projects.
- **Pervious Concrete:** Concrete is made permeable by using only coarse aggregate of uniform size in the mixture. Mainly used for pavements, sidewalks and streets for free drainage of excess water, also helping the management of storm water runoff.
- **White Concrete:** It is obtained by using white cement which is produced from chalk and light-colored clays. Provides permanent white color to the concrete.
- **Colored Concrete:** Metallic oxide pigments are added while mixing concrete to produce integrally colored concretes. Variety of coloring pigments are available and colors are much more durable compared with surface coloring. Used for aesthetics and decorative purposes and in "stamped concrete" which also gives special texture to concrete surface.
- **Transparent Concrete:** Special optical fibers of less than 2mm long are added at 4-5% by volume to concrete during mixing. The mix may contain normal Portland cement and clear resins may be introduced to the cement paste. Only clean fine sand and drinking water are used in the mixture. Usually the shadow of the object is transmitted. Used for decorative purposes (Figure 15).
- **Architectural Concrete:** Actually, it is a general name which can involve most of the concrete types mentioned above. Concrete can be cast and molded to have different shapes and forms while in plastic state. This gives an excellent opportunity and freedom to the architect to realize the envisioned designs and projects. With the advancements in concrete technology and recent developments in special concretes, today concrete masonry units, buildings, structures, pavements and monuments can be constructed in a variety of shapes, textures and colors (Figure 16).



Figure 15. Transparent concrete



Figure 16. Architectural concrete

4.5. Environmental Concerns

4.5.1. Global Warming and Climate Change

At the beginning of the 20th century world population was estimated to be around 1.6 billion. According to the United Nations the population reached 7.6 billion in 2017. Considering that 1.6 billion was reached after thousands of years, beginning with the existence of humans on earth, increase in the last 100 years is amazing. As a matter of fact, estimates for the years 2050 and 2100 are 9.73 and 11.21 billion, respectively. (United Nations, 2017). Such a rapid increase in population has become associated with environmental problems. Since 1990s people have been exposed to expressions such as "Global warming", "Climate change" and "Sustainable development".

Global warming is a significant increase in Earth's average climatic temperature. It is primarily caused by human activities. Even an increase of less than 1°C over a century is considered global warming. As a matter of fact, average surface temperature rose around 0.3°C during the last century. The rate of temperature increase has nearly doubled in recent years. Such increases in global temperature can adversely affect the environment. Climate change and extreme weather, depletion of food and water sources, extinction of species, melting arctic ice and rising sea levels are among the potential effects.

The principal cause of global warming is the greenhouse gases (GHG) such as carbon dioxide, methane, nitrous oxide and fluorinated gases and resulting water vapor. When part of the energy Earth gets from the sun reflects back to space as heat, GHG in the atmosphere trap the heat and return it back to Earth. Such gases are produced by humans through burning fossil fuels, industrial processes, deforestation, synthetic fertilizers and livestock farming (Figures 17 ve 18).

Thus, it is no surprise that rates of population increase and industrialization and rate of global warming are parallel to each other.

United Nations organized international meetings (Kyoto 1997, Paris 2016) to discuss measures to slow down global warming and prepare mandates for individual nations to follow so that global temperature rise could be kept below 2 °C with respect to pre-industrial levels. Nations signing the agreement pledged to take the necessary steps to reduce GHG (mainly CO₂) emissions in their country, including their industries, according to their share. A large portion of the GHG emissions originate from the developed countries, some of which are not very cooperative yet. Also, the developing nations may need financial support to fulfill their obligations.

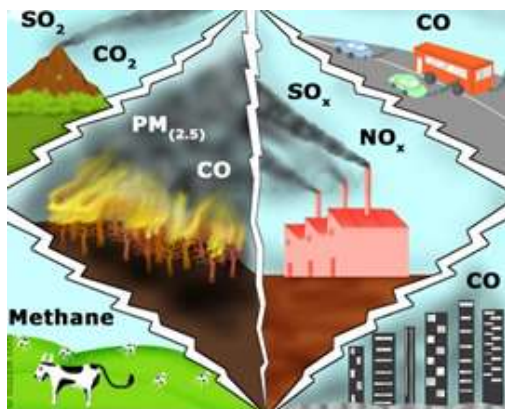


Figure 17. Sources of GHG gases

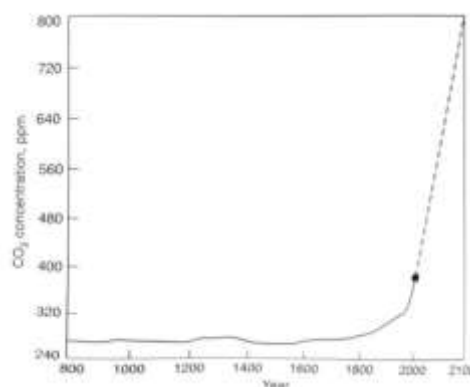


Figure 18. Increase in CO₂ with years (Mehta and Monteiro, 2006)



Sustainable development involves protecting the environment and the sensitive ecosystems, caring for natural resources, shifting from fossil fuels to renewable energy and reducing GHG (mainly CO₂) emissions for the sake of the future generations.

4.5.2. Cement and Concrete Industries and the Environment

Environmental effects of the concrete industry cover, to a large extent, the effects of cement industry on the environment. Considering the classical Portland cement production, it starts with the excavation of the main raw materials; limestone and clay from the nature. In the factory, the production requires intensive energy for blending, grinding and calcination of the raw materials. On the average, around 4 GJ energy from the fossil fuels is required to obtain 1 ton of clinker and mainly as a result of limestone calcination, about 0.9 tons of CO₂ is released to the atmosphere. As a round figure, considering a global production of 4 billion tons of cement, its contribution to the world's annual man-made CO₂ emissions would be around 6%. Other usual emissions from the factory which are mostly of local importance are dust, sulphur and nitrous oxide. Consequently, cement industry can be considered as one of the main actors which are not very nature-friendly.

In reality things are a little better: Most of the cements used today are "blended cements" that is containing varying amounts of mineral admixtures or so called "supplementary cementitious materials" lowering the clinker content. For example, in EN 197-1 standard, many cement types can have up to 30% reduction in their clinker content. Some blast furnace cements have only 5% clinker. Production of such cements proportionally lowers the CO₂ emissions from the factory. Industrial by products fly ash and blast furnace are actually wastes that need to be disposed from the nature. By using them cement industry actually helps the environment.

Calcination temperatures during the production of clinker can go up to 1450°C. This makes using some "alternative fuels" to supplement and replace part of the fossil fuel (usually coal) possible. Such alternative fuels can be almost all kinds of liquid and solid wastes which are burdens for the environment; domestic wastes, sewage sludge, used oils, used tires, waste solvents, plastic residues, etc. By removing them from the nature the industry makes definite contribution to sustainability.

As for concrete, additional main interaction with the environment is the use of aggregate and water during production. On the average, to produce 1m³ of concrete, 300kg of cement, 2 tons of aggregate and around 150kg of water are used. Aggregate consists of sand and gravel obtained either directly from the nature or by crushing the rocks. Water must be of good quality. Considering the production of cement at 4 billion tons, annually concrete industry would be using around 27 billion tons of sand and gravel and 2 billion tons of water. Thus, with an annual total of 33 billion tons, concrete industry is among the largest users of natural resources. However, it must be mentioned that today larger quantities of blended cements with low clinker contents are used in concrete mixes and for large projects like dams, industrial wastes such as fly ash are added directly to the concrete. Also, increased use of ready mix concrete provides better quality control and reduces unnecessary waste in the materials used.

5. THE FUTURE

The world population will be doubled by the year 2100 according to the United Nation's projections. Previous figures show that migration from the rural areas towards the cities, namely "urbanization", also increases in parallel with the population. Thus, the need for new infrastructure (housing, transportation, water, electricity, communication and sewage systems, etc.) will always exist together with

the establishment of related new industries. Adding to this the repair and reconstruction of the aging structures and systems, it is obvious that various construction materials will be in rising demand for some time in the future.

As structural materials, concrete and steel compete with each other (Although they work happily together in reinforced concrete!). Concrete has better corrosion, fire and explosion resistances and plasticity with respect to steel. In construction of arch dams and underwater work concrete has no rival. Advances in cement, concrete and admixture technologies enable concrete to enter into areas where steel was once preferred such as bridges with long spans, tall buildings and oil drilling platforms at sea. (Figures 19 and 20)

Although its undesirable effects on the nature are already discussed, concrete can be still considered relatively more environment friendly compared with other construction materials. However, in the future to combat with the global CO₂ increase, more nations will begin implementing the Paris Agreement or use similar regulations to curb GHG emissions. This will bring more pressure on cement and concrete industries. For instance, the European Union which signed the Agreement has assigned quotas for emissions for each industry and factory. Those exceeding their quota either pay penalty or buy additional quota from another factory which did not exceed its quota. Thus, as an incentive, an interesting "emission trade" is being practiced in Europe.



Figure 19. Oil drilling platform at sea



Figure 20. Concrete bridge

To avoid possible emission taxes and contribute to sustainable development, cement and concrete industries will have to continue with the measures they have already undertaken, improving them and adding new ones:

- Improvements in the process and equipment of the cement factory for efficient operations to obtain clinker of better quality.
- Effective use of mineral additions, especially industrial wastes, to produce blended cements. This way consumption of natural raw materials and CO₂ emissions would be reduced.
- Maximizing the use of alternative fuels including wastes to minimize the use of fossil fuels; thus, removing the wastes from the nature.
- Helping the establishment of firms or organizations which would collect and classify various types of waste for more efficient use by the cement factory as fuel.
- Proper uses of chemical admixtures in concrete to achieve expected benefits.
- Encouraging the use of blended cements in construction or direct addition of fly ash or slag into concrete mix, together with



chemical admixtures to produce high performance concretes with good strength and high durability.

- Finding ways for effective uses of aggregates from construction and demolition wastes for slowing down the depletion of natural aggregate sources.
- To slow down the depletion of clean water sources, considering the use of waste water or undrinkable natural water for mixing if they are tested harmless for concrete.
- As sustainability dictates, designing and building concrete structures for long service lives.

Research for further improvement of required properties of chemical admixtures accompanied by studies on clinker, chemical and mineral admixture interaction in the cement paste will always be useful. Some experimental work on moist cement pastes showed that they could reach strengths of up to 650 MPa when subjected to high pressure and temperature. The progress in the production of materials such as reactive cement powder composites and micro defect free pastes will also continue to show the hidden very high strength of cement pastes. However, their use has been limited to smaller items for the time being.

6. CONCLUSION

Concrete has come a long way from the lime-pozzolan-sand mixtures of the early ages. Especially through the scientific and technological advancements of the past, today's concrete is a more sophisticated material widely used in construction with higher strength and durability and increased versatility.

Cement and concrete industries are taking the necessary steps to reduce their consumption of natural resources and GHG emissions. For this purpose, they are using more supplementary cementitious materials and alternative fuels. Additional benefit for the nature comes from the fact that cementitious materials which are mostly industrial wastes and alternative fuels that include almost all kinds of wastes are also removed from the nature. Thus, in addition to its improved properties mentioned above, today's concrete is also getting "greener".

In metropolitan areas, sometimes people complain about "every place being filled with heaps of concrete", blaming concrete for closely built ugly buildings. Instead, they should criticize city officials and architects who are unaware of aesthetics, proper city planning and versatility of concrete.

Unless an alternative material with similar properties is found, there will always be an increasing demand for concrete in the future. The rate of consumption may slow down only when world population stabilizes and envisioned longer service lives of future concrete buildings begin to show their effect.

ACKNOWLEDGEMENT

The author sincerely thanks Dr. Cevdet Emin Ekinici and the Organizing Committee for their kind invitation to participate in this Science Festival.

REFERENCES

- CCW, (2010). News from the World: Concrete in Burj Khalifa, No:88, pp:2, Turkish Cement Manufacturers Association, Ankara.
- Hewlett, P.C. and Rixom, M.R., (1978), Concrete Admixtures pp. 16, Longman, London.
- Mehta, P.K. and Monteiro, P.J.M., (2006). Concrete: Microstructure, Properties and Materials, McGraw-Hill, pp:633, 638, New York,



-
- TSE, (2012). TS EN 197-1 Genel Çimentolar- Turkish Standards Institute, Ankara
 - TSE, (2017). TS EN 206: 2013+ A1 Beton- Turkish Standards Institute, Ankara.
 - United Nations, (2017). Press Release, World Population, Dept. of Public Information, New York.
 - Yeğinoğlu, A., (2000). Çimento ve Betonda Mineral Katkılar, Seminar Notes no:4, Turkish Cement Manufacturers Association, Ankara.
 - Yeğinoğlu, A., (2001). Çimento ve Betonda Kimyasal Katkılar, Seminar Notes no:6, Turkish Cement Manufacturers Association, Ankara.
 - Yeğinoğlu, A., (2003). Çimento: Yeni Bir Çağın Malzemesi, Publication of Turkish Cement Manufacturers Association, Ankara.
 - Pictures are taken from the internet:
Yandex.com.tr/görsel/search/subject.



Ramazan Kaçar, Khaled Omer H. Marwan, Hayriye Ertek Emre
Karabük University, Karabük-Turkey
rkacar@karabuk.edu.tr; k_gewa@yahoo.com; hayriyeertek@karabuk.edu.tr

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.1A9IJ>

FARKLI KALINLIKTAKİ DP600/TRIP800 ÇELİK SAÇLARIN NOKTA DİRENÇ KAYNAK KABİLİYETİ

ÖZ

Otomotiv endüstrisinde aynı ve farklı kalınlıktaki farklı cins çeliklerin kaynaklı birleştirme işlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla çalışmada otomotiv endüstrisinde sıklıkla kullanılan aynı ve farklı kalınlıktaki ileri yüksek mukavemetli DP600/TRIP800 çelik saçlar nokta direnç kaynak yöntemiyle aynı kaynak parametrelerinde birleştirilmiştir. Birleştirmelere çekme makaslama, çapraz çekme testleri uygulanmış ve sertlik ölçümü gerçekleştirilmiştir. Ayrıca birleştirmelerin mikroyapıları incelenmiş ve kaynak çekirdek geometrisi belirlenmiştir. Birleştirmelerin çekme makaslama ve çapraz çekme dayanımları, kopma türleri ve enerji absorpsiyonları mukayese edilmiştir. Sonuç olarak; çalışmada farklı cins DP600/TRIP800 birleştirmesinde, farklı malzeme kalınlığının mekanik özelliklere ve kaynak çekirdek geometrisi değişimine etkili olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Nokta Direnç Kaynağı, Farklı Saç Kalınlığı, Farklı Cins DP600/TRIP800 Birleştirmesi, Mekanik Özellikler

THE RESISTANCE SPOT WELDABILITY OF DIFFERENT THICKNESS DP600/TRIP800 STEEL SHEET

ABSTRACT

The joining process of dissimilar steels having same and different thickness is required by automotive industry. For this purpose, the DP600/TRIP800 steels having same and different thickness which are widely used in automotive industry were joined by resistance spot welding at the constant welding parameters in this study. The tensile shear, cross tensile test was applied and hardness measurement was carried out for weldment. In addition, the microstructure of weldment was evaluated and the weld nugget geometry was determined. The tensile shear and cross tensile strength results, the fracture mode and energy absorption of weldments was compared. Conclusively, it is determined that the mechanical properties and weld nugget geometry of DP600/TRIP800 dissimilar steel weldment is affected by different sheet thickness.

Keywords: Resistance Spot Welding, Different Sheet Thickness, Dissimilar DP600/TRIP800 Weldment, Mechanical properties

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Otomotiv üreticileri araçlar üzerinde güvenlik, emülsiyon, yakıt tüketimi performanslarını iyileştirmek için çalışmalar yapmaktadır. Bu iyileştirmeler araç yapılarının birçok gereksinimini artırmaktadır. Araç yapılarının gereksinimlerini karşılamak amacıyla yüksek mukavemetli çelikler (AHSS) grubundan; çift fazlı çelikler (DP), TRIP

çelikleri (Transformed Induced Plasticity), kompleks fazlı çelikler (CP), ve martenzitik (MS) çelikler üzerinde çalışmalar yapılmaktadır [1 ve 4]. DP çelikleriyle birlikte TRIP çeliklerinin de otomotiv sanayinde kullanım alanları oldukça geniştir [5 ve 10]. TRIP çelikleri DP'lerden farklı olarak yapılarında kalıntı östenit fazı içerirler. Kalıntı östenit deformasyona bağlı olarak martenzit fazına dönüşerek gerinim birikmesini engeller ve sertlik artışına neden olur. Nokta direnç kaynağı otomotiv endüstrisinde çelik sacların birleştirilmelerinde yaygın olarak kullanılan bir kaynak yöntemidir [11].

Ağırlıklı olarak DP ve TRIP çeliklerinin birbirleriyle nokta direnç kaynak çalışmaları gerçekleştirilirken, DP-TRIP farklı cins çelik birleştirme çalışmalarına sınırlı sayıda rastlanmaktadır. Khan vd. [12] AHSS çelik sınıfından DP, TRIP ve FB (ferritik-beynitik) çeliklerini nokta direnç kaynağı ile birleştirdikten sonra mekanik özelliklerini kıyaslamıştır. DP780 ve TRIP 780 kalite çelik grubu birleştirmelerinin mekanik özelliklerinin DP600 ve 590R çelik birleştirmelerine göre daha üstün olduğunu belirtmişlerdir. Wei vd. [13] aynı ve farklı cins DP-TRIP çelik çifti nokta direnç kaynaklı birleştirmesini incelemiştir. Kaynak sonrası soğuma süresinin uzatılması için yürütülen ısıtma işlemi yapının temperlenmesine bağlı olarak mekanik özelliklerin iyileştiğini rapor etmişlerdir. Long ve arkadaşları [14], DP600, TRIP600 ve HSLA340YGI çeliklerinin nokta direnç kaynaklarının yorulma ve hasar analizini çalışmışlardır. TRIP çeliklerinde düşük ve aşırı yükleme koşullarının her ikisi içinde malzemede oluşan çatlakların kaynak birleşme arayüzüne dik bir şekilde ilerlediğini belirtmişlerdir. Kaynak bölgesinde oluşan sertlik en yüksek DP600 çeliğinde ölçülürken, TRIP600'de daha düşük bulunmuştur. En düşük sertlik HSLA340YGI çeliğinde ölçüldüğü rapor edilmiştir.

Khan vd. [15] yüksek dayanımlı çeliklerin nokta direnç kaynaklarının mikroyapı ve mekanik özelliklerini incelediği bir çalışmada, TRIP çeliklerinin kaynak sonrasında kaynak bölgesi yapısında çözünmemiş ferrit, martenzit ve ITAB da az miktar dönüşmüş östenit fazı kaldığına işaret etmişlerdir. TRIP çeliklerin çekme-makaslama dayanımlarının geleneksel çeliklere nazaran çok yüksek olduğunu ve test numunelerinde kopmaların düğmelenme şeklinde ayrılmayla oluştuğu belirtilmiştir. Shi ve Westgate [16], TRIP700 kalite çelik sacların nokta direnç kaynağı sonrasında kaynak bölgesinde meydana gelen kırılmalıkları azaltmak amacıyla kaynak sonrasında tavlama işlemi ve kontrollü soğutma uygulamışlardır. Uygulanan temperleme işleminin kaynak bölgesinde meydana gelen aşırı sertlik artışını azalttığını ve kırılmalıkları belirli ölçüde önlediğini tespit etmişlerdir. Shi ve Westgate [17], başka bir çalışmada TRIP çelikleri ile diğer çeliklerin kaynaklanabilirliğini mukayese etmiştir. Düşük karbonlu çeliklere göre TRIP çeliklerinin daha fazla karbon içermesi sebebiyle direnç kaynağı sırasında daha yüksek elektrot kuvvetinin daha iyi sonuç verdiğini rapor etmişlerdir.

Geniş literatür taramasında aynı ve farklı kesit kalınlığındaki TRIP800-DP600 farklı cins çeliklerinin nokta direnç kaynaklı birleştirmeleri ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu sebeple bu çalışmada otomotiv sektöründe sıklıkla kullanılan TRIP800-DP600 farklı cins çeliklerinin aynı kalınlıkta ve farklı kalınlıklarda nokta direnç kaynağı birleştirmelerinde kalınlık farkının birleştirme mekanik özelliklerine, mikroyapı ve kaynak çekirdek geometrisine etkileri incelenmiştir. Birleştirmelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla çekme-makaslama ve çapraz-çekme testleri uygulanmış ve birleştirme sertlik dağılımı belirlenmiştir. İlave

olarak; birleştirmenin mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiş ve mikroyapı-mekanik özellik ilişkisi tespit edilmiştir.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Nokta direnç kaynağında birleştirilen malzeme cinsinin ve kaynak parametrelerinin kaynak kabiliyetini etkilemesinin yanı sıra kullanılan sac kalınlığının da etkisi önemlidir. Literatür araştırmalarından da görüldüğü gibi günümüz endüstrisinde önemli bir kullanım alanına sahip DP ve TRIP çeliklerinin nokta direnç kaynak kabiliyetleri ve farklı cins malzeme birleştirmeleri araştırma konusu olmuştur. Daha öncede ifade edildiği gibi; farklı cins DP/TRIP birleştirmesinde kullanılan sac kalınlığı farklılığının nokta direnç kaynak kalitesine etkisi incelenmemiştir. Bu çalışmada TRIP800-DP600 farklı cins çeliklerinin aynı kalınlıkta ve farklı kalınlıklarda nokta direnç kaynağı birleştirmeleri gerçekleştirilerek kalınlık farkının birleştirme özelliklerine etkisinin incelenmesi önemli ve güncel bir çalışma olmakla beraber, bu alandaki çalışmalara rehberlik etmesi amaçlanmıştır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

3.1. Malzeme ve Kaynak İşlemi (Materials and Welding Process)

Bu çalışmada 1.5mm kalınlığında TRIP800-DP600 çelik çiftiyle, 1.5mm kalınlığında TRIP800-1 mm kalınlığında DP600 çelik çifti nokta direnç kaynak yöntemi ile mukayese yapabilmek için aynı kaynak parametrelerinde birleştirilmiştir. DP600 ve TRIP800 sacların kimyasal analizi ve mekanik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Çeliklerin kimyasal kompozisyonu ve mekaniksel özellikleri
(% ağırlık)

(Table 1. The chemical composition and mechanical properties of
steels, wt%)

Elementler	C	Si	Mn	Cr	Mo	Al	Fe	Yield Strength (MPa)	UTS (MPa)
DP600	0.13	0.35	1.426	0.637	0.013	0.053	Kalan	391	580
TRIP800	0.2	1.66	1.69	0.006	0.011	0.43	Kalan	500	800

Birleştirmede kullanılan malzeme ve kalınlık farkının kaynağa etkisinin yanı sıra kaynak pozisyonun belirlenmesi amacıyla ön deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalarda aynı ve farklı kalınlık birleştirmeleri için TRIP800 sac altta ve DP600 sac üstte olacak şekilde elde edilen birleştirmelerin mekanik özelliklerinin daha yüksek bulunması sonucu tüm numuneler bu şekilde birleştirilmiştir. Birleştirme işlemi 60kVA gücünde, BAYKAL SPP60 marka elektronik akım ve zaman kontrollü, pnömatik basma donanımlı nokta direnç kaynak makinesinde gerçekleştirilmiştir. Mukayese yapabilmek için kaynak parametreleri aynı ve farklı kalınlıktaki numuneler için de aynı seçilerek Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Kaynak parametreleri
(Table 2. The welding parameters)

Elektrot Baskı Kuvveti (kN)	Kaynak Zamanı (cycle)	Kaynak Akım Şiddeti (kA)	Tutma Zamanı (cycle)	Basma Zamanı (cycle)	Sıkıştırma Zamanı (cycle)	Elektrot Türü
5	20	7	15	25	15	F16 (CuCrZr)

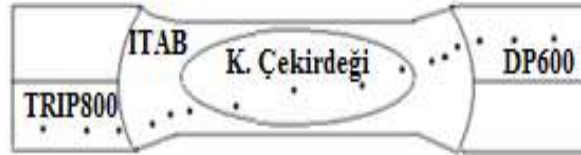
1 çevrim=1 cycle 0=0.02s

3.2. Çekme Makaslama Testi ve Çapraz Çekme Testi (Tensile Shear and Cross Tension Test)

AWS D 8.9 standardına uygun olarak birleştirilen aynı ve farklı kalınlıktaki çekme makaslama ve çapraz çekme test numuneleri SHIMADZU marka çekme test cihazında 10mm/dakika çekme hızında çekilmiştir. Çalışmada her bir parametre için beş adet numune test edilmiş ve sonuçlar beş numunenin ortalaması olarak bağlantının çekme makaslama taşıma yükü kapasitesi olarak verilmiştir. Daha sonra, her örnek için enerji absorpsiyonu AWS D8.1 referansına göre belirtilen enerji hesaplama standardı uyarınca, çekme makaslama dayanımı-uzama eğrisinin tepe yüküne kadar olan kısmı altında kalan alanın toplamı temel alınarak hesaplanmıştır [18].

3.3. Mikroyapı İncelemesi ve Mikrosertlik Ölçümü (Microstructural Examinations and Hardness Measurements)

Deney numuneleri kaynak çekirdek merkezi ekseninde olacak şekilde kesilerek ikiye ayrılmıştır. Ayrılan kısmın biri sertlik ölçümü için, diğer bölüm ise metalografik inceleme için kullanılmıştır. Kalıba alınan numune klasik metalografik tekniklerle hazırlanmış ardından %2 nitrik asit çözeltisi ile 30s dağlanmıştır. Numuneler optik ve taramalı elektron mikroskobundan (SEM) yararlanılarak incelenmiştir. SEM incelemeleri Zeiss Ultra Plus marka cihazda gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçüm işlemi SHIMADZU HVM marka mikrosertlik test cihazında gerçekleştirilmiştir. Cihazın batıcı ucuna 500g yük uygulanmıştır. Mikrosertlik ölçümü ve mikroyapı incelemesi yapılan numunelerin şematik görünümü Şekil 1'de gösterilmiştir.



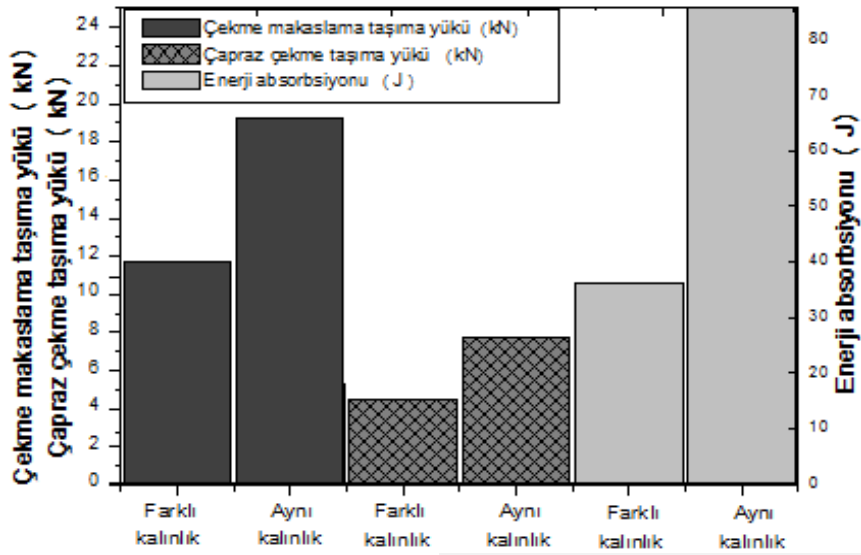
Şekil 1. Sertlik ölçümü ve metalografik inceleme yapılan birleştirme şematik resmi

(Figure 1. Schematic figure of weldment where hardness was measured and metallographic evaluation was carried out)

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

4.1. Çekme Makaslama ve Çapraz Çekme Test Sonuçları (Tensile Shear and Cross Tension Test Results)

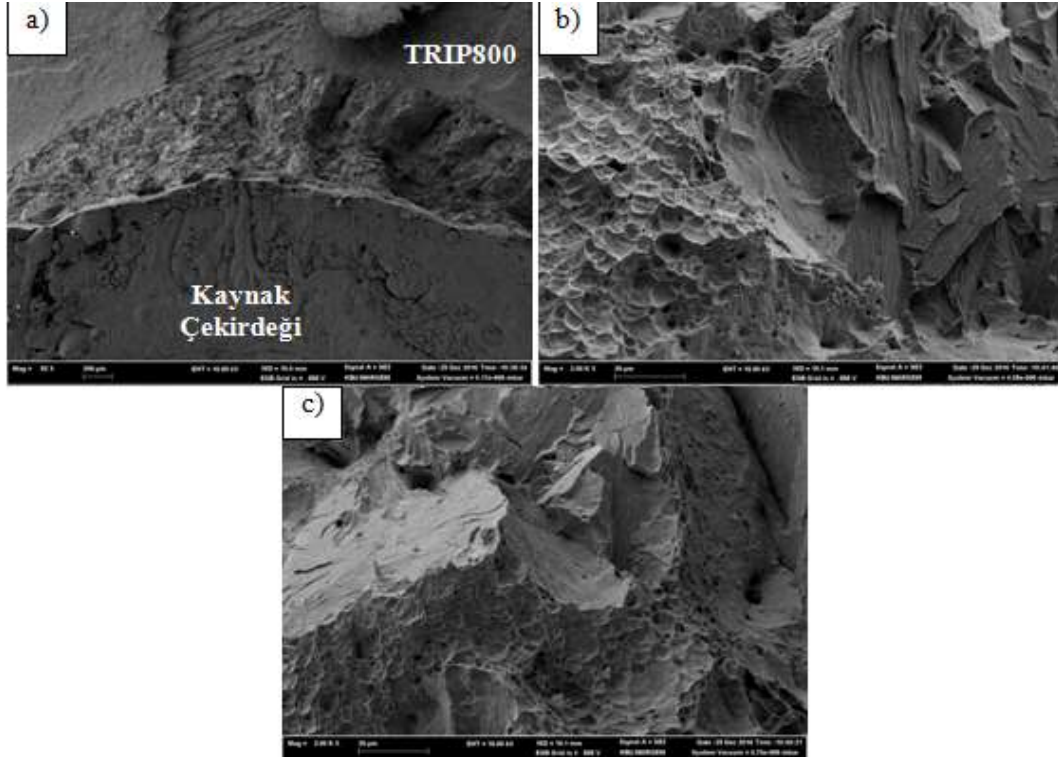
Aynı ve farklı kalınlıkta birleştirilen DP600/TRIP800 çelik çiftinin çekme makaslama ve çapraz çekme testleri sonucu elde edilen ortalama çekme makaslama taşıma yükü kapasiteleri ve enerji absorpsiyonları Şekil 2'de grafiksel olarak ve tablo halinde verilmiştir.



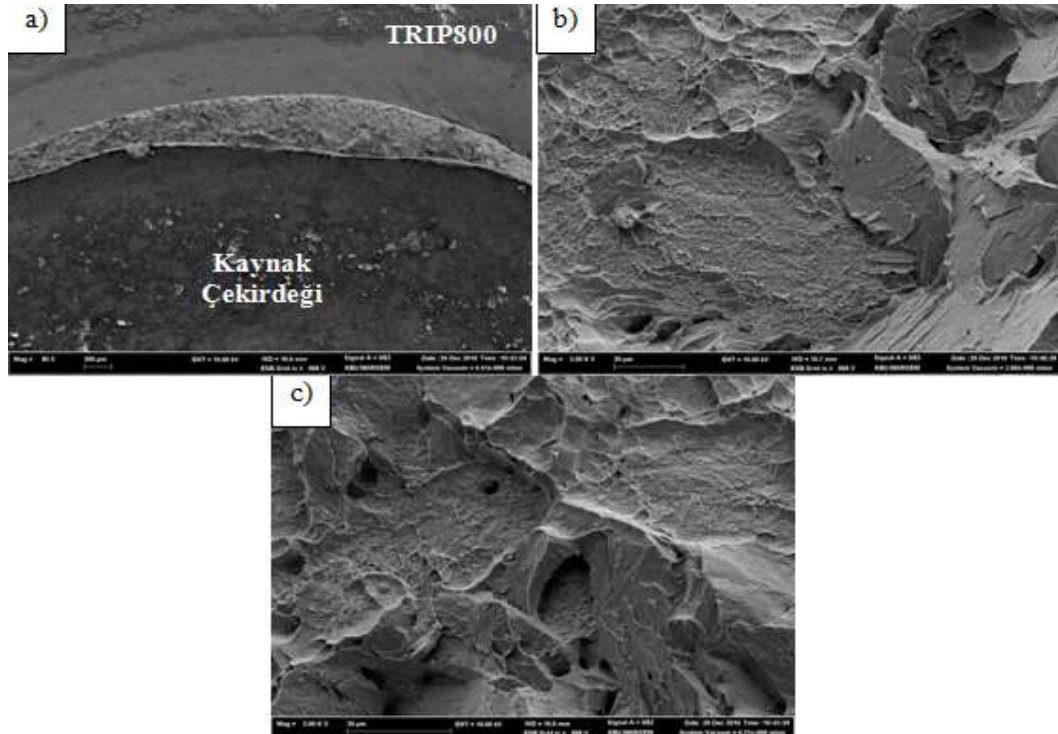
	Farklı Kalınlık	Aynı Kalınlık
Çekme Makaslama Taşıma Yükü (kN)	11.7kN	19.25kN
Çapraz Çekme Taşıma Yükü (kN)	4.5kN	7.7kN
Enerji Absorpsiyonu (J)	34.5J	85.66J

Şekil 2. Çekme makaslama ve çapraz çekme test sonuçları
(Figure 2. Test results of tensile shear and cross tension test)

Şekil 2'den görüldüğü gibi aynı kalınlıktaki birleştirmelerin çekme makaslama taşıma yükü kapasiteleri farklı kalınlıktaki birleştirmelerden %64.5 ve çapraz çekme taşıma yükü kapasiteleri ise %75 daha fazla bulunmuştur. Enerji absorpsiyon miktarının ise iki katından da fazla olduğu belirlenmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde, aynı kalınlıktaki DP600/TRIP800 birleştirmelerin çekme dayanımları ve enerji absorpsiyonu, farklı kalınlık birleştirmelerine göre neredeyse iki katı daha yüksek olduğu söylenebilir. Çekme makaslama ve çapraz çekme testleri sonrası kopma yüzey görüntüleri incelenmiş ve aynı ve farklı kalınlıktaki birleştirmeler için de kaynak çekirdeği-ITAB arayüzeyinden düğmelenme şeklinde kopmalar meydana geldiği belirlenmiştir. Kopmaların aynı ve farklı kalınlıktaki numuneler için kaynak çekirdeği TRIP800 malzeme tarafında kalacak şekilde DP600 çeliği tarafından meydana geldiği belirlenmiştir. Genel olarak nokta direnç kaynaklı birleştirmelerin kopmalarının düğmelenme şeklinde meydana gelmesi otomotiv üreticileri tarafından istenilen bir kırılma türüdür [19 ve 21]. Literatür araştırmalarında da genel olarak aynı cins TRIP çelik çifti ve DP çelik çiftinin optimum kaynak parametreleriyle direnç kaynaklı birleştirmelerinde meydana gelen istenilen düğmelenme biçimindeki kopmaların ITAB-kaynak çekirdeği arayüzeyinden meydana geldiği rapor edilmiştir [22 ve 23]. Kırık yüzey SEM görüntüleri aynı kalınlıktaki birleştirmeler için Şekil 3 ve farklı kalınlıktaki birleştirmeler için Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Aynı kalınlıktaki DP600/TRIP800 birleştirmesi,
a)Kırık yüzey makrograf, b ve c)Kırık yüzey yüksek büyütme
(Figure 3. Fracture surface image of DP600/TRIP800 joint for similar
thickness)

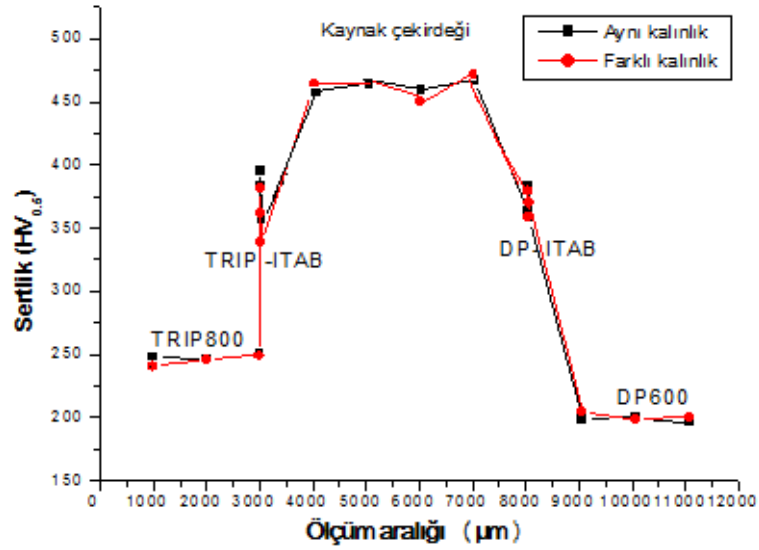


Şekil 4. Farklı kalınlıktaki DP600/TRIP800 birleştirmesi,
a)Kırık yüzey makrograf b ve c)Kırık yüzey yüksek büyütme
(Figure 4. Fracture surface image of DP600/TRIP800 joint for
dissimilar thickness)

Kırık yüzey görüntüleri incelendiğinde aynı kalınlıktaki birleştirmelerde kırılmaların yarı sünek yarı gevrek bir morfolojide meydana geldiği görülürken, farklı kalınlıktaki birleştirmelerin kırık yüzeylerinde daha çok gevrek bir kırılma morfolojisi lehine dönüştüğü görülmektedir. Dolayısı ile kaynak çekirdeği-ITAB geçiş bölgesinden meydana gelen kırılma morfolojisi farklı kalınlıktaki birleştirmeler için gevrek bölgelerin daha fazla olduğu söylenebilir. Bunda birleştirmede kullanılan malzeme kimyasal bileşimlerine, fiziksel özelliklerine ve kalınlık farkına bağlı olarak ergime karışım oranlarının değişim göstermesinin etkisi olduğu düşünülmektedir. Farklı kalınlıktaki DP600/TRIP800 birleştirmesinde kalınlık farkı daha fazla olan 1.5mm kalınlığındaki TRIP800 malzeme kaynak çekirdeği bölgesinde 1 mm kalınlığa sahip olan DP600 malzemeye oranla daha fazla bir hacme sahip olacağı düşünülürse, homojen bir kaynak çekirdeği oluşumu mümkün olmayacağından kırılmaların kaynak çekirdeğine daha yakın ve tamamen martenzitik dönüşümün gerçekleştiği daha gevrek bölgeden meydana geldiği söylenebilir. Enerji absorpsiyonu ise farklı kalınlıktaki birleştirmelerde aynı kalınlık birleştirmelere oranla yarıdan da fazla bir düşüş göstermektedir.

4.2. Sertlik Deney Sonuçları (Hardness Test Results)

Aynı ve farklı kalınlıktaki birleştirmelerin enine kesitinden alınan mikrosertlik değerleri Şekil 6'da gösterilmiştir.

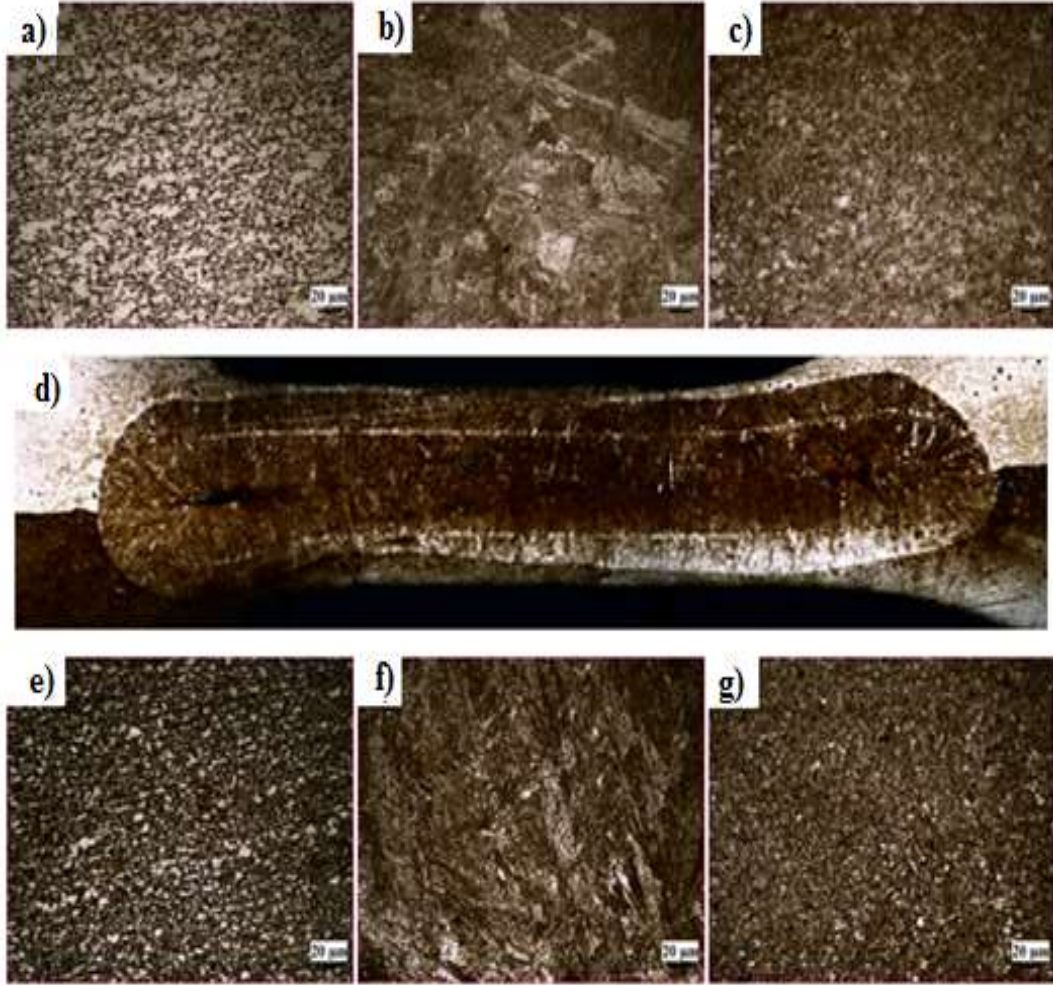


Şekil 5. Birleştirmelerin sertlik grafiği
(Figure 5. Hardness graphics of weldment)

Şekil 5'dan görüldüğü gibi TRIP800 ana malzeme sertliği ortalama 250HV_{0.5} ve DP600 ortalama sertliği ise 198HV_{0.5} olarak tespit edilmiştir. Kaynak çekirdeği sertliklerinin 450-475HV_{0.5} arasında değişim gösterdiği görülmektedir. Her iki aynı ve farklı kalınlıktaki birleştirmelerde de TRIP800 ve DP600 ana malzemeden, ITAB ve kaynak çekirdeğine doğru gidildikçe sertlik artışı meydana geldiği görülmektedir. Bu durum kaynak çekirdeğinde ve ITAB'ın kaynak çekirdeğine yakın bölgelerinde termal çevrime bağlı olarak faz dönüşümünün meydana geldiğini göstermektedir.

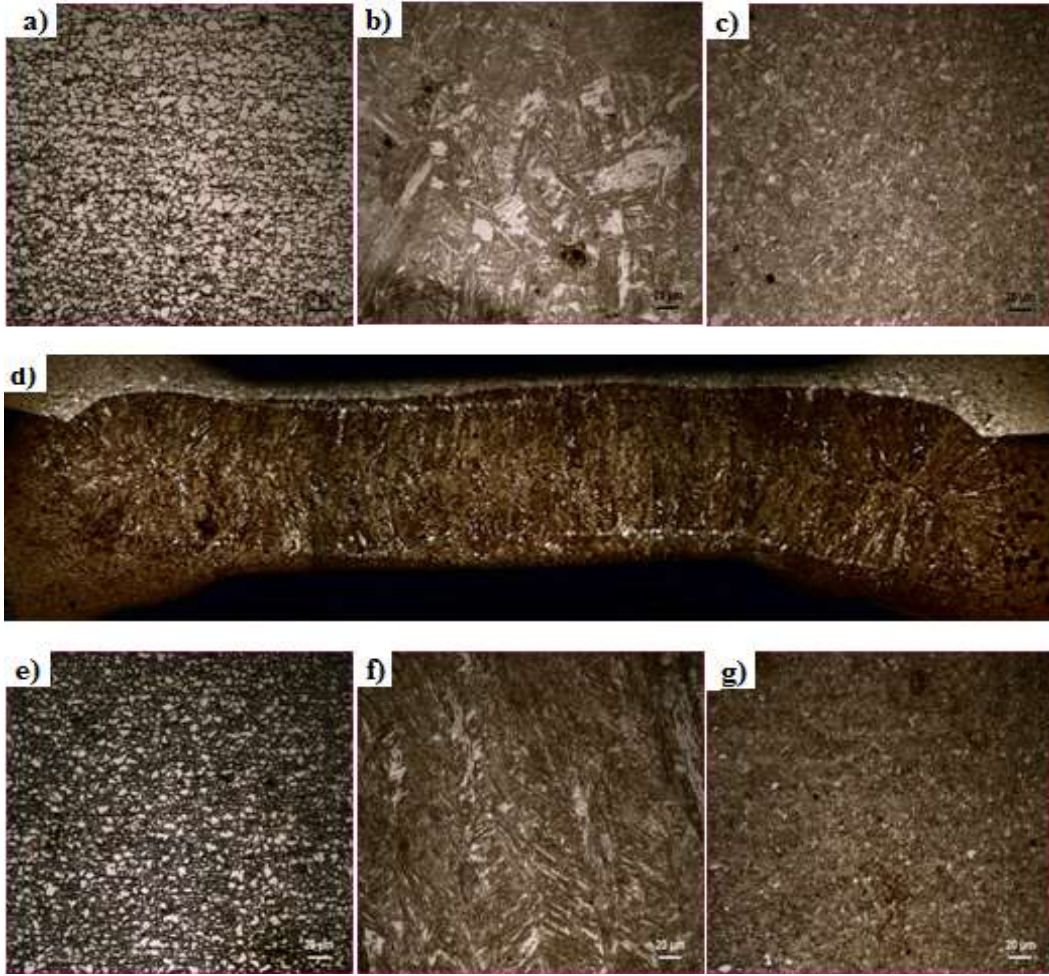
4.3. Mikroyapı İncelemeleri (Examination of Microstructure)

Elde edilen mikroyapı görüntüleri, aynı ve farklı kalınlıktaki birleştirmeler için sırasıyla Şekil 6 ve Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 6. Aynı kalınlıktaki birleştirme mikroyapı görüntüsü,
a) DP600 ana malzeme, b ve f) Kaynak çekirdeği, c) DP600 ITAB,
d) kaynak makro görüntüsü, e) TRIP800 ana malzeme, g) TRIP800 ITAB
(Figure 6. The microstructure of similar thickness weldment
a) DP600 base metal, b and f) Weld nugget, c) DP600 HAZ,
d) Macrostructure of weldment, e) TRIP800 base metal, g) TRIP800 HAZ)

TRIP800 ana malzeme ferrit matris içerisinde beynit ve kalıntı östenit fazlarından, DP600 ana malzeme ise ferrit matris içerisinde martenzit fazı adacıklarından meydana geldiği görülmektedir (Şekil 6-7 a ve e). Her iki malzeme tarafından da kaynak çekirdeğine doğru gidildikçe ITAB’da ulaşılan sıcaklık ve bu sıcaklıkta bekleme süresine bağlı olarak kaynak sonrası soğuma rejimiyle ilişkili olarak bir miktar martenzitik dönüşüm meydana geldiği görülmektedir (Şekil 6-7 c ve d). Kaynak çekirdeğinin ise tamamen martenzitik yapıdan meydana geldiği görülmektedir (Şekil 6-7 b ve f).



Şekil 7. Farklı kalınlıktaki DP600/TRIP800 birleştirme mikroyapı görüntüsü, a) DP600 ana malzeme, b ve f)Kaynak çekirdeği, c) DP600 ITAB, d) kaynak makro görüntüsü, e) TRIP800 ana malzeme, g) TRIP800 ITAB

(Figure 7. The microstructure of dissimilar thickness weldment
a) DP600 base metal, b and f) Weld nugget, c) DP600 HAZ, d)
Macrostructure of weldment, e) TRIP800 base metal, g) TRIP800 HAZ)

Şekil 6d makro görüntüsü incelendiğinde aynı kalınlıkta birleştirilen DP600/TRIP800 çelik çifti kaynak çekirdeğindeki her iki malzemeden eşit miktarda ve homojen bir kaynak çekirdeği oluşturduğu görülmektedir. Birleşme ara yüzünün kaynak çekirdeğinin tam orta noktasından geçtiği görülürken, Şekil 7d'de farklı kalınlıkta birleştirilen DP600/TRIP800 çelik çiftinin kaynak çekirdeği birleşme ara yüzü merkezden DP600 çelik tarafına kaymaktadır. Bu durumda birleştirmelerden kabul edilebilir mekanik özellikler elde edebilmek için oluşturulması istenilen çekirdek çapı değerinin minimum TRIP800 ve DP600 çelikleri için $4.5\sqrt{t}$ ve üzerinde olması göz önünde bulundurulursa; aynı kalınlıktaki birleştirmeler için çekirdek çapı birleşme arayüzünden hesaplandığında daha geniş bulunur. Ancak, farklı kalınlıktaki birleştirmelerde birleşme arayüzü merkezden DP600 çelik tarafına kaydığı için çekme makaslama yükünü taşıyan çekirdek çapı daha da küçüldüğü düşünülürse, çekme makaslama ve çapraz çekme dayanımındaki azalmanın nedeninin bu olduğu söylenebilir.

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Çalışma sonrasında elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

- Aynı kalınlıktaki (1.5mm) DP600/TRIP800 birleştirme çekme-makaslama, çapraz çekme dayanımları ve enerji absorpsiyonu, farklı kalınlık birleştirmelerine göre nerdeyse iki katı oranda daha yüksek bulunmuştur. Farklı cins DP600/TRIP800 birleştirmesinde kalınlık farkı dayanımını ve enerji sönümleme miktarını düşürmüştür.
- Her iki kalınlıktaki birleştirmelerden test sonrasında istenilen düğmelenme şeklinde kopmalar meydana gelmiştir. Aynı kalınlıktaki birleştirmelerde kırılmaların yarı-sünek yarı-gevrek bir morfolojide meydana geldiği görülürken, farklı kalınlıktaki birleştirmelerin daha çok gevrek bir kırılma morfolojisinin hakim olduğu görülmektedir.
- Farklı cins birleştirmelerinde malzeme kimyasal bileşimlerine, fiziksel özelliklerine ve kalınlık farkına bağlı olarak ergime karışım oranları değişim göstermektedir. Aynı kalınlıktaki birleştirmelere kıyasla farklı kalınlık birleştirmesinde TRIP800 malzeme kaynak çekirdeği bölgesi daha fazla bir hacme sahiptir. Bu kalınlık farkı birleşme arayüzünün merkezden DP600 çelik tarafına kaymasına neden olmaktadır.
- Kaynak çekirdeği sertliklerinin 450-475HV_{0.5} arasında değişim gösterdiği ve her iki birleştirme için de ana malzemeden, ITAB ve kaynak çekirdeğine doğru sertliğin artış gösterdiği belirlenmiştir.
- TRIP800 ana malzeme ferrit matris içerisinde beynit ve kalıntı östenit fazlarından, DP600 ana malzeme ise, ferrit matris içerisinde martenzit fazından meydana gelmiştir. Kaynak çekirdeği her iki aynı ve farklı kalınlık birleştirmesi için de tamamen martenzit fazından meydana geldiği görülmektedir.
- Aynı kalınlıkta DP600/TRIP800 çelik çifti her iki malzemeden eşit miktarda homojen bir kaynak çekirdeği oluşturduğu görülmektedir. Birleştirme arayüzünün kaynak çekirdeğinin tam ortasından geçtiği görülürken, farklı kalınlıktaki DP600/TRIP800 çelik çiftinin birleşme arayüzeyi kaynak çekirdek merkezi yerine DP600 çelik tarafına kaymaktadır. Bu durumda farklı kalınlıktaki birleştirmelerde çekme makaslama yüküne maruz kalarak dayanıma belirgin şekilde etki eden kaynak çekirdek çapının daha da küçüldüğü düşünüldüğünde, çekme makaslama ve çapraz çekme dayanımındaki azalmanın nedeni bu olabilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışma Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: KBÜBAP-17-YD-320.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Carlsson, B., (2004). Choice of Tool Materials for Punching and Forming of Extra- and Ultra-High Strength Steel Sheet. 3rd International Conference and Exhibition on Design and Production of Dies and Molds, Bursa.
2. Casas, B., Marco, D., and Vals, I., (2006). Tool Steels for Shaping AHSS", 7th International Tooling Conference Tooling Materials and Their Applications from Research to Market, 2, Politecnico di Torino.

3. Zeytin, H.K., Güven, G. ve Berme B., (2012). Geleneksel ve Modern Yassı Çelikler, International Iron & Steel Symposium, Karabük, pp:434-447
4. Zeytin, H.K., Aydın, H. ve Kubilay, C., (2007). Otomotiv Endüstrisi ve Çelik: İleri Teknoloji Ürünü Yüksek Mukavemetli Çelikler, TMMOB Makine Mühendisleri Odası X. Otomotiv ve Yan Sanayi Sempozyumu, Bursa, 27-28 Mayıs.
5. Yinghui, Z., Yonli, M., Yonglin, K., and Hao, Y., (2006). "Mechanical Properties and Microstructure of TRIP Steels Produced Using TSCR Process", Journal of University of Science and Technology, Beijing, Vol:13(5), pp:416-421.
6. Wu, D., Zhuang, L., and Hui-sheng, L., (2008). Effect of Controlled Cooling After Hot Rolling on Mechanical Properties of Hot Rolled TRIP Steel, Journal of Iron and Steel Research International, Vol:15(2), pp:65-70.
7. Koh-Ichi, S., Toshiki, M., Shun-Ichi, H., and Yoichi, M., (2006). Formability of Nb Bearing Ultra-High Strength TRIP-aided Sheet Steels, Journal of Materials Processing Technology, Vol:177(1), pp:390-395.
8. Skoalova, L., Divišová, R., and Jandová, D., (2006). Thermo-Mechanical Processing of Low-alloy TRIP Steel, Journal of Materials Processing Technology, Vol:175(1), pp:387-392.
9. Wen, S., Lin L., Cooman, B.C.D., Wollants, P., and Yang, C., (2008). Thermal Stability of Retained Austenite in TRIP Steel After Different Treatments, Journal of Iron and Steel Research, International, Vol:15(1), pp:61-64.
10. Zhuang, L., Di, W., and Rong, H., (2006). Austempering of Hot Rolled Si-Mn TRIP Steels, Journal of Iron and Steel Research, International, Vol:13(5), pp:41-46.
11. Fujii, T., Tohgo, K., Suzuki, Y., Yamamoto, T., Shimamura, Y., and Ojima, Y., (2011). Fatigue Properties of Spot Welded and Spot Weld-Bonded Joints of Steel Sheet. Engineering Procedia, Vol:10, pp:1075-1080.
12. Khan, M.I., Kuntz, M.L., Biro, E., and Zhou, Y., (2008). Microstructure and Mechanical Properties of Resistance Spot Welded Advanced High Strength Steels, Materials Transactions, Vol:49(7), pp:1629 -1637
13. Wei, S.T., Lv, D., Liu, R.D., Lin, L., Xu, R.J., Guo, J.Y., and Wang, K.Q., (2014). Similar and Dissimilar Resistance Spot Welding of Advanced High Strength Steels: Welding and Heat Treatment Procedures, Structure and Mechanical Properties, Science and Technology of Welding and Joining, Vol:19(5), pp:427-435.
14. Long, X. and Khanna, S.K., (2007). Fatigue Properties and Failure Characterization of Spot Welded High Strength Steel Sheet, International Journal of Fatigue 29, 879-886.
15. Khan, M.I., Kuntz, M.L., and Zhou, Y., (2008). Effects of Weld Microstructure on Static and Impact Performance of Resistance Spot Welded Joints in Advanced High Strength Steels, Science and Technology of Welding and Joining, Vol:13, No:3, pp:294.
16. Shi, G. and Westgate, S.A., (2005). Techniques For Improving The Weldability of Trip Steel Using Resistance Spot Welding, 1st International Conference Super-High Strength Steels, Rome, Italy, 2-4 November.
17. Shi, G. and Westgate, S.A., (2003). Resistance Spot Welding of High Strength Steels, (JOM-Eleventh International Conference on the Joining of Materials, Helsingor, Denmark
18. Specification for Automotive Weld Quality-resistance Spot Welding of Steel. Working Document for American Welding Society



-
- Committee, AWS D8.1M:200X, An American National Standard. American Welding Society, Miami, FL. 2006.
19. Jacques, P.J., (2004). Transformation-induced Plasticity for High Strength Formable Steels. *Curr Opinion Solid State Mater Sci*, Vol:8, pp:259-265.
 20. De Cooman, B.C., (2004). Structure-properties Relationship in TRIP Steels Containing Carbide-free Bainite. *Curr Opinion Solid State Mater Sci*, Vol:8, pp:285-303.
 21. Shi, G. and Westgate, S.A., (2004). Techniques for Improving the Weldability of TRIP Steel Using Resistance Spot Welding, 1st International Conference Super-High, Vol:16, pp:9-14.
 22. Ertek Emre, H. and Kaçar, R., (2016). Development of weld lobe for Resistance Spot-welded TRIP800 Steel and Evaluation of Fracture Mode of Its Weldment *Int Adv Manuf Technol*. Vol:83, pp:1737-1747.
 23. Ma, C., Chen, D.L., Bhole, S.D., Boudreau, G., Lee, A., and Biro, E., (2008). Microstructure and Fracture Characteristics of Spot-welded DP600 Steel. *Mater Sci Eng A*, Vol:485, pp:334-346.



Türker Güleç
Emrah Peşman

Artvin Çoruh University, Artvin-Turkey
tgulec@artvin.edu.tr; epn350@gmail.com

Nadir Ayrılmış

Istanbul University, nadiray@istanbul.edu.tr, İstanbul-Turkey

Alperen Kaymakcı

Kastamonu University, akaymakci@kastamonu.edu.tr, Kastamonu-Turkey

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.1A10PB>

KÂĞIT BARDAKLARDAN ÜRETİLEN POLİMER KOMPOZİTLERİN ISIL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

ÖZ

Ahşap esaslı kaynakların azalmasıyla birlikte polimer kompozit üretiminde, geri dönüştürülebilir materyallere olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Bu çalışmada kullanım sonrası atıl duruma gelen kâğıt bardaklar, plastik olarak da Polipropilen (PP) kullanılarak sırasıyla %20-30-40 oranlarında üç farklı formülasyonda plastik kompozit üretimi gerçekleştirilmiştir. Kullanılan plastik ve kâğıt bardak arasındaki uyumsuzluğu gidermek amacıyla da %3 oranında maleikanhidritle graftlanmış polipropilen (MAPP) kullanılmıştır. Kâğıt bardakların üretilen polimer kompozitlerin ısı özellikleri (TGA) ve kristallik dereceleri (DSC) üzerine etkileri incelenmiştir. Polimer kompozit üretiminde atık kâğıt bardak kullanımının TGA ve DSC analizler üzerindeki etkileri daha önceki yapılan benzer çalışmalarla karşılaştırılarak atıl durumdan tekrar farklı alanda kullanılabilirlikleri üzerinde araştırmalar yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Polimer Kompozitler, Kâğıt Bardak,
Isıl Özellikler Özellikler, TGA, DSC

THERMAL PROPERTIES of POLYMER COMPOSITES PRODUCED from PAPER CUPS

ABSTRACT

The use of recycled and waste thermoplastics materials has been recently considered for producing wood plastic composites (WPCs). In this work, with different formulations to form WPCs have been fabricated from disposable cups, recycled high density polyethylene (PE) and polypropylene (PP). Some mechanical, physical and thermal properties were performed on the WPCs samples to investigation of effect of using different polymer and coupling agent. High mechanical properties have been obtained for the tested formulations beside to don't any adverse effect to thermal properties. The work demonstrates that PCs fabricated disposable cups have potential to be utilisable reuse as reinforcement in polymer composites.

Keywords: Polymer Composites, Waste Cup,
Thermal Properties, TGA, DSC

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Hızla artan dünya nüfusuyla birlikte orman kaynakları, tüketime bağlı olarak azalmaktadır. Hammadde kaynaklarının bilinçli bir şekilde kullanılması ve geri dönüştürülebilir malzemelerin en uygun şekilde değerlendirilmesi zorunlu bir görev haline gelmiştir [1 ve 2]. Geri dönüştürülebilir ürünler arasında ilk sıralarda yer alan malzemelerin

başında hiç şüphesiz plastikler ve kağıtlar yer almaktadır. Plastiklerin değişik formlarda ve içeriklerde çeşitleri bulunmaktadır [3]. Plastik malzemeleri geri dönüştürürken farklı özellikler kazandırmak için farklı katkı malzemeleri eklenebilmektedir. Bu sayede kırılabilirliğin önlenmesi, mukavemetlerinin arttırılması gibi birçok yeni özellikler kazandırılmaktadır [3]. Kâğıtlar ise kullanıldıktan sonra birçok kez geri dönüştürülebilir malzemelerdir. Geri dönüşümü oldukça zor olan ve fazla kullanım alanı olmadığı için pek değerlendirilemeyen bir ürün olana atık kâğıt bardaklar da plastikler ile farklı oranlarda karıştırılarak değerlendirilebilirler. Kâğıt bardaklar çay, kahve ve birçok içecekler için kullanılan yüksek kalitede selüloz içeren lifler ve içi kısmında ince bir tabaka halinde polietilen plastik ile kaplanan ürünler olarak karşımıza çıkmaktadır (Şekil 1). Kaplanan plastik ile birlikte güçlü bir bağ ile bağlandıktan sonra geri dönüşümü daha zor hale gelen bu ürünler özellikle kahve zincirleri ile ünlü olan Birleşik Krallık (UK) da yılda 500 milyon kâğıt bardak kullanıldığı bilinmektedir [4 ve 5].



Şekil 1. Kağıt bardaklar
(Figure 1. Paper Cups)

Yukarıda bahsedilen malzemelerin kullanım alanlarından olan ve son zamanlarda kullanım alanları artan polimer kompozitler, birçok lignoselülozik ürünün dolgu malzemesi olarak kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Polimer kompozit malzemelerin düşük yoğunluğa ve yüksek direnç özelliklerine sahip olması bu ürünlerin avantajlı hale gelmesini sağlamaktadır [6]. Bu çalışmada tüm dünyada sıcak ya da soğuk olarak servis edilen her türlü içeceklerin tüketilmesi esnasında tek kullanımlık olarak üretilen kâğıt bardaklar ile bakir polipropilen plastiklerin farklı oranlarda karıştırılarak polimer kompozit üretiminde değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bunun yanında lignoselülozik olmasından dolayı hidrofilik (suyu seven) yapıya sahip olan kâğıt bardak ve hidrofob (suyu sevmeyen) özellikteki plastik arasındaki zayıf bağlanmayı güçlendirmek ve uyumsuzluğu gidermek amacıyla uyum sağlayıcı ajan olarak maleik anhidrit ile graftlanmış polipropilen (MAPP)'in etkisi de araştırılmıştır.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Doğada atıl halde bulunan ve geri dönüşümü zor olan tek kullanımlık atık kâğıt bardaklar bilindiği üzere içecek sektöründen fast food zincirlerine kadar birçok alanda kullanılmaktadır. Atıl haldeki bu ürünlerin polipropilen plastik ile birlikte uyum sağlayıcı

ajan da kullanılarak polimer kompozit üretiminde kullanılabilirlikleri tespit edilerek yeni bir kullanım alanı olup olamayacağını belirlemek amacıyla ısıl özelliklerinden TGA (thermogravimetric analysis) ve DSC (Differansiyel Scanning Calorimetry) analizleri yapılmış ve kristallik dereceleri ve bozunma sıcaklıkları üzerine araştırmalar yapılmıştır.

3. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEMELER (MATERIALS USED IN THE EXPERIMENTS)

Çalışma kapsamında polimer olarak polipropilen (PP) plastik, (PP tipi MH418) Petrokimya Holding şirketinden satın alma yoluyla temin edilmiştir. Erime akış indeksi 4.7g/10 min (2.16kg ve 230°C, ASTM D1238-13 (2013)) yoğunluğu 0.905g/cm³. Maleik anhidritle graftlanmış polipropilen (EXXELOR™ PO 1015) de yine ticari olarak ExxonMobil firmasından temin edilmiştir. Yoğunluğu 0.900g/cm³ maksimum erime sıcaklığı 147°C dir. Kâğıt bardaklar ise kafeteryalardan toplatılarak temin edilmiştir. Kağıt bardaklar ilk önce giyotin yardımıyla küçük parçalar halinde kesilerek Hobart marka hamurlaştırıcıda hamur haline getirilmiş ardından kurumaya bırakılmıştır ve Fritsch marka öğütücüde öğütülmüştür (Şekil 2).



Parçalama işlemi



Hamurlaştırma işlemi



Kurutma işlemi



Öğütücü

Şekil 2. Atık kağıt bardağın polimer kompozit üretimi için hazırlanması

(Figure 2. Preparation of waste paper cup for polymer composite production)

3.1. Polimer Kompozit Üretiminde Uygulanan Deney Planı (Test Plan for Polymer Composite Production)

Polimer kompozit üretiminde kullanılan kâğıt bardaklar öğütme işleminin ardından nem oranının en aza indirilmesi için laboratuvar tipi kurutucuda kurtulmuş ardından tablo 1'deki üretim reçetesine

bağlı kalınarak plastik ve uyum sağlayıcı ajan ekstrüzyon işleminden önce homojen bir şekilde birbirlerine karışabilmesi için SHINI marka karıştırıcıda 10 dakika boyunca karıştırılmış ve rutubet almaması için polietilen poşetlere konulmuştur. Karışım tek vidalı ekstruderden (Rondol 3212) geçirilerek pelet haline getirilmiş ve peletler su banyosunda soğutulmuştur. Üretim sırasında ekstruder ısıtma bölgeleri 175-180-185-190°C ve hız 50rpm (devir/dakika) olarak ayarlanmıştır. Peletler soğutulduktan sonra kırıcı yardımı ile daha küçük parçalar haline getirilmiştir. Parça küçültme işleminin ardından elde edilen malzeme kalıba yerleştirilerek sıcak preste 170°C sıcaklıkta preslenmiştir (Şekil 3).

Tablo 1. Polimer kompozit üretim reçetesi
(Table 1. Polymer composites production formulations)

Örnek Kodu	Kâğıt Bardak (%)	Polimer (PP) (%)	Uyum Sağlayıcı Ajan (MAPP) (%)
B1	20	77	3
B2	30	67	3
B3	40	57	3



Karıştırıcı



Ekstruder



Press



Preslenecek levhalar

Şekil 3. Polimer kompozit üretim aşamaları
(Figure 3. Polymer composite manufacturing steps)

3.2. TGA (Thermogravimetric Analysis)

TGA analizi için PerkinElmer (Model STA 6000) marka cihaz kullanılmıştır. Test örnekleri 17-20mg tartıldıktan sonra porselen kroze içerisine konulup cihaza yerleştirilmiştir. Test sırasında sıcaklık oda sıcaklığından 600°C'ye kadar 20°C/dakika oranında arttırılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. TGA analiz cihazı
(Figure 4. TGA analysis device)

3.3. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) (Differential Scanning Calorimeter)

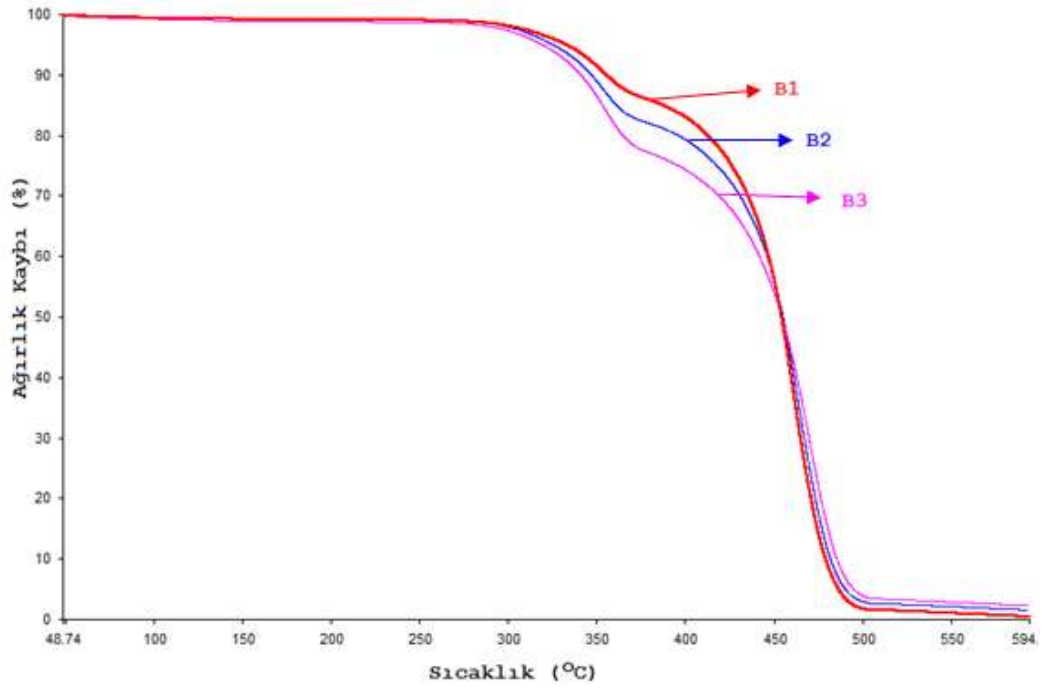
DSC analizi için PerkinElmer (Model DSC 8000) marka cihaz kullanılmıştır. Numuneler Alüminyum pan ile kaplandıktan sonra cihaz içerisine yerleştirilmiştir. Test sırasında sıcaklık 35°C'den 250°C'ye kadar 10°C/dakika oranında arttırılmıştır. Test sırasında azot gazı akış hızı 20ml/dakika olarak ayarlanmıştır (Şekil 5).



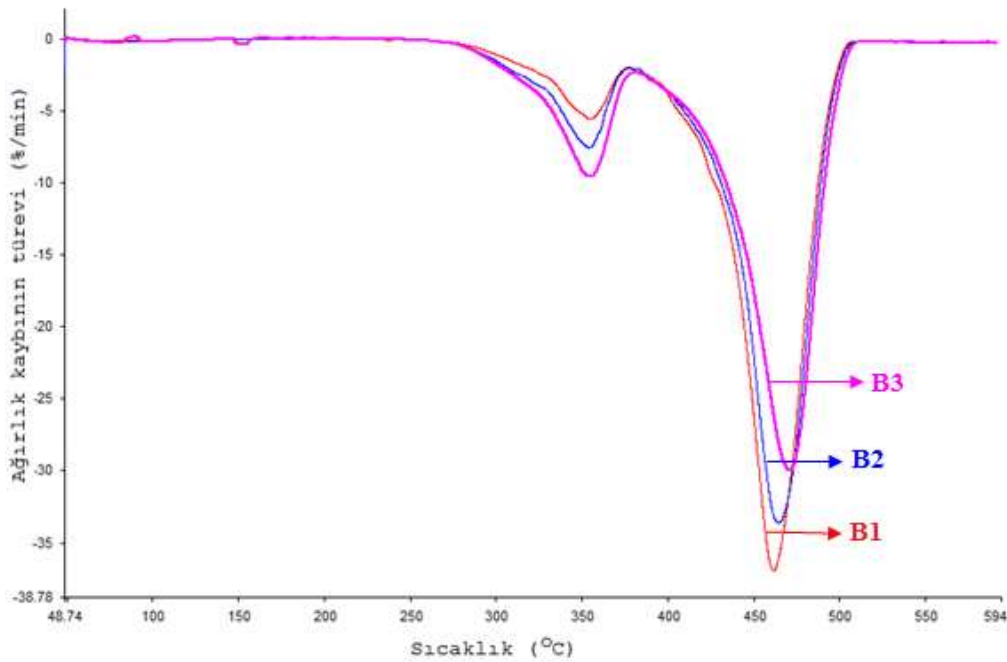
Şekil 5. DSC analiz cihazı
(Figure 5. DSC analysis device)

4. DENEYSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRİLMESİ (EXPERIMENTAL RESULTS AND EVALUATION)

Atık kağıt bardakların polipropilen plastik ile karıştırılarak üretilen polimer kompozitlerin termal özelliklerinden olan TGA analiz sonuçları grafik 1'de verilmiştir.



Grafik 1. Polimer kompozitin TGA grafiği
(Graph 1. TGA graphs of polymer composites)



Grafik 2. Polimer kompozitin D-TGA grafiği
(Graph 2. D-TGA graphs of polymer composites)

Tablo 2. Polimer kompozit TGA sonuçları
(Table 2. TGA results of polymer composites)

Kompozit Kodu	1. Bölge			2. Bölge			520°C'deki Kalıntı (%)
	Sıcaklık Aralığı (°C)	Bozunma Noktası (°C)	Ağırlık Kaybı (%)	Sıcaklık Aralığı (°C)	Bozunma Noktası (°C)	Ağırlık Kaybı (%)	
B1	270.77-375.85	355.42	8.29	378.57-504.66	460.31	72.27	1.40
B2	266.08-373.54	358.07	14.81	383.35-508.00	463.88	70.48	2.53
B3	250.54-378.64	353.83	16.92	384.21-509.03	473.38	62.91	3.29

Tablo 2'den görüldüğü üzere kompozit örnekleri iki aralıkta ağırlık kaybı gözlenmiştir. Bunlardan ilki ~250-~378°C aralığında diğeri ise ~378-~510°C aralığındadır. Hemiselüloz ve selülozun termal bozunması 200°C'lerde başlamaktadır. Özellikle selüloz bozunması 315 ve 400°C arasında kendini göstermektedir [7]. Buna göre ilk bölge selüloz ve hemiselülozların olduğu bölge olarak söylenebilmektedir. PP için ise DTG eğrisinden bakıldığında yalnızca bir adet zirve noktası görülmektedir (Yaklaşık 460-470°C). Dolayısıyla ikinci bölgeninde polimerin bozunma bölgesi olduğu söylenilebilir [8 ve 9]. Kağıt bardakların güçlü selüloz içeriğinden dolayı oran arttıkça bozunma sıcaklıklarından da olumlu yönde bir artış olmuştur. %20 atık bardak unu katıldığında 460.31°C iken %40 katıldığında 473.38°C'ye çıkmıştır. Atıl halde olan kâğıt bardakların polimer kompozit üretiminde kullanılabileceğini göstermektedir.

Tablo 3. Polimer kompozitlerin DSC sonuçları
(Table 3. DSC results of polymer composites)

OPK Kodu ^a	T _{m,I} (°C) ^b	T _{c,o} (°C) ^c	T _{c,p} (°C) ^d	ΔH _c (J/g) ^e	T _{m,II} (°C) ^f	ΔH _{II} (J/g) ^g	X _c (%) ^h
B1	164,27	125,67	120,60	54,2228	163,37	44,7932	32,43
B2	166,00	126,34	121,03	63,9289	164,20	58,3951	39,91
B3	166,55	126,82	122,35	62,2248	163,69	56,3847	44,96

^a OPK Kodu
^b Birinci Erimenin Tepe Sıcaklığı
^c Kristalleşme Başlangıç Sıcaklığı
^d Kristalleşme tepe sıcaklığı
^e Kristalleşme entalpisi
^f İkinci erimenin tepe sıcaklığı
^g İkinci erime entalpisi
^h Kristallik derecesi

Tablo 3'te polimer kompozit levhaların DSC analiz sonrası sonuçları verilmiştir. Kristallik dereceleri aşağıdaki formüle göre dolgu maddesi oranına göre hesaplanmıştır. Yapılan DSC analizlerinde polimer olarak YYPE kullanılan OPK'lerin erime sıcaklığının 130°C civarında olduğu, bu değer polimer olarak PP kullanılan OPK'lerde 170°C civarında olduğu belirlenmiştir. Literatürde saf PP'nin erime sıcaklığının yaklaşık 163°C, bu değer saf YYPE için 129°C civarında olduğu bildirilmiştir [10].

$$x_{cor}(\%) = \frac{\Delta H_m}{(1-MF) \cdot \Delta H_o}$$

[11].



Lignoselülozik maddelerin oranının artmasıyla birlikte T_m değerlerinin arttığı gözlenmektedir. Bunun nedeninin de lignoselülozik maddelerin zayıf ısı iletkenliklerinin olduğu ve polimer kompozit ürünlerde bir tür izolasyon malzemesi görevi üstlendiği yapılan araştırmalar sonucunda ortaya çıkmıştır. Saf PP'nin kristallik derecesini Ndiaye ve ark. 2012 yaptığı çalışmada %37.9 bulmuş ve lignoselülozik maddenin katılımıyla kristallik derecesinin arttığı gözlenmiştir [11]. Yaptığımız çalışmada aynı sonuçlar gözlenmiş ve %30 ve 40 atık kâğıt bardak kullanılarak üretilen polimer kompozit levhalardaki kristallik derecelerinin saf PP den daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak kâğıt bardak unu oranı arttıkça kristallik derecelerinin arttığı ve eriyebilmesi için saf PP ye göre daha fazla ısıya ihtiyaç duyulduğu daha önceki çalışmalarda da belirtilmiştir [12].

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS)

Tek kullanımlık kâğıt bardakların mevcut geri dönüşüm sistemleri göz önünde bulundurulduğunda oldukça sınırlı olduğu bilinmektedir. Çalışmada da görüldüğü üzere liflendirilerek yüksek termal performans özelliklerine sahip polimer kompozitler elde edilebilirler. MAPP kullanımı diğer çalışmalarda kullanılan optimum oran olarak kabul edilen %3 şeklinde kullanılmıştır. Kullanılan yöntem diğer yöntemlerden farklı olarak liflendirme yöntemiyle üretilmiştir. Sonuç olarak diğer metodlara yakın sonuçlar ortaya çıkmış ve dolgu maddesi olarak kullanılabilme potansiyelini bir kez daha ortaya koymuştur. Bu tür atık ürünler kullanılarak üretilen polimer kompozitler, endüstride alternatif bir ürün olarak kullanılabilir. Böylece geri dönüşümü oldukça sınırlı ve güç olan bu tür atıkların kullanımı, hem çevre kirliliğinin azaltılması hem de atık sektöründeki işletmelere ek gelir imkânı sağlayabilecek potansiyeldedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Cooper, P.A. and Balatinecz, J.J., (1999). Agricultural Waste Materials for Composites, Centre for Management Technology Global Panel Based Conference (October 18-19), Kuala Lumpur, ML.
2. Rowell, R.M., (2001). Performance Driven Composites From Lignocellulosic Resources, International Conference on Science and Technology of Composites Materials, 29-32 s.
3. <http://www.yapkat.com/images/Malzeme/Dosya/20962160825729430767297744.pdf>.
4. Häkkinen, T. and Vares, S., (2010). Environmental Impacts of Disposable Cups with Special Focus on the Effect of Material Choices and End of Life. J. Cleaner Prod. 18(14), 1458-1463.
5. Van der Harst, E. and Potting, J., (2013). A Critical Comparison of ten Disposable Cup LCAs. Environ. Impact Assess. Rev.43, 86-96.
6. Kabakcı, A., (2009). Buğday Sapı Unu Oranının ve Plastik Tipinin Odun-Plastik Kompozitlerin Mekanik Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği, Kahramanmaraş.
7. Yang, H., Yan, R., Chen, H., Lee, D.H., and Zheng, C., (2007). Characteristics of hemicellulose, Cellulose and Lignin Pyrolysis. Fuel 86:1781-1788.
8. El-Fattah, A.A., Demerdash, A.G.M.E., Sadik, W.A.A., and Bedir, A., (2015). The effect of Sugarcane Bagasse Fiber on the Properties of Recycled High Density Polyethylene. J Compos Mater 49:3251-3262. doi:10.1177/0021998314561484.



-
9. Yorulmaz, S.Y., and Atımtay, A., (2009). Investigation of Combustion Kinetics of Treated and Untreated Waste Wood Samples with Thermogravimetric Analysis. *Fuel Process Technol* 90:939-946.
 10. Mengeloğlu, F. and Karakuş, K., (2008). Thermal Degradation, Mechanical Properties and Morphology of Wheat Straw Flour Filled Recycled Thermoplastic. *Sensors* ISSN 1424-8220. 8, 497-516.
 11. Ndiaye, D., Diop, B., Thiandoume, C., Fall, P.A., Farota, A.K., and Tidjani, A., (2012). Morphology and Thermo Mechanical Properties of Wood/Polypropylene Composites, Polypropylene, Dr. Fatih Dogan (Ed.), ISBN: 978-953-51-0636-4, InTech.
 12. Matuana, L.M. and Kim, J.W., (2007). Fusion Characteristics of Wood-Flour Filled Rigid PVC by Torque Rheometry, *Journal of Vinyl & Additive Technology*, vol:13, No:1, pp:7-13.



Emrah Peşman, Türker Güleç

Artvin Çoruh University, Artvin-Turkey
epn350@gmail.com; tgulec@artvin.edu.tr

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.1A11PB>

**PITYOKTEİNES CURVIDENS (GERM.) VE CRYPHALUS PICEAE'NİN ZARAR VERDİĞİ
DOĞU KARADENİZ GÖKNARININ SELÜLOZ VE KÂĞIT ENDÜSTRİSİNDE
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

ÖZ

Geçmişten günümüze kadar geçen sürede ağaç malzeme birçok uygulama alanı bulmuştur. Bu ağaçlar bazen orman zararlıları ve yangınların verdiği tahribattan dolayı kesilmek zorunda kalmaktadır. Özellikle böcek zararlıları son zamanlarda birçok ağaç türüne arız olmakta ve kurutmaktadır. Bu zarar gören ağaçlar orman işçileri tarafından kesilerek, ya tamamen ya da kısmen çürük odun olarak adlandırılmakta ve çoğunlukla yakacak odun olarak kullanılmaktadır. Hâlbuki bu tür zararlıların tahrip ettiği ağaçlar yonga levha, lif levha ve kâğıtçılıkta kullanılabilir. Yapılan bu çalışmada *Pityokteines curvidens* (Germ.), *Cryphalus piceae* (Ratz.) tarafından tahrip edilen *Abies nordmanniana*'nın kimyasal analizleri ve sülfat pişirmesi sonunda testleri yapılmıştır. Çalışma sonunda zarara uğramış odunlardan elde edilen hamurların verimlerinin %1 oranında daha fazla olduğu ve ayrıca çok daha kolay piştiği belirlenmiştir. Zarara uğramış odunlardan elde edilen hamurların kappa numaraları yani kalıntı lignin oranları daha düşük bulunmuştur. Ayrıca bu hamurların parlaklık dereceleri, çekme mukavemetleri ve yırtılma dirençleri sağlam odununkilere göre daha yüksek olarak tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: *Pityokteines curvidens*, *Cryphalus piceae*,
Doğu Karadeniz Göknarı, Kağıt Endüstrisi,
Selüloz

**THE INVESTIGATION OF PITYOKTEİNES CURVIDENS (GERM.) AND CRYPHALUS PICEAE
DAMAGED ABIES NORDMANNIANA USABILITY IN PULP AND PAPER INDUSTRIES**

ABSTRACT

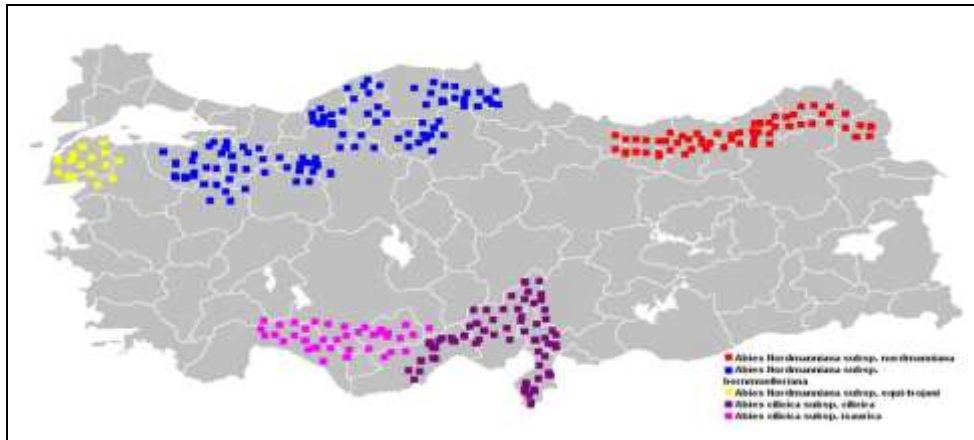
In the period from the past to the present, wood material has found many application areas. Some of these trees are forced to be cut because of forest pests and fire. Especially these forest pests cause trees to dry out. These damaged trees are mostly cut by forest worker and separated as the rotten wood and firewood. Whereas these rotten wood can be utilized in chipboard, fiberboard or pulping industries as well. In this study the chemical analysis, sulphate pulping, pulp productibility of *Pityokteines curvidens* and *Cryphalus piceae* damaged *Abies nordmanniana*. At the end of the study, it was determined that the yields of the pulps obtained from the impregnated woods were 1% higher and also much easier to pulping. The kappa numbers of residual pulp lignin were found to be lower than those of the pulps obtained from the insect damaged woods. In addition, the brightness values, tensile strength and tear strength of these pulps were found to be higher than those of intact wood.

Keywords: *Pityokteines curvidens*, *Cryphalus piceae*,
Abies nordmanniana, Paper Industry, Cellulose

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Ülkemiz, özellikle coğrafi konumu, iklimi ve topografik yapısından kaynaklanan zengin bir bitki örtüsüne sahiptir. Nitekim Türkiye, dünyanın en zengin floristik merkezlerinden birisi olup, floramız yaklaşık 9500-10000 bitki taksonundan oluşmaktadır. Bu haliyle, ülkemiz, çok değişik otsu ve odunsu bitki taksonlarının yayılış gösterdiği, biyolojik çeşitliliğe sahip bir ülkedir [1]. Orman; beş metreden daha boylu orman ağaçlarının baskın olduğu ve birbirlerini etkileyecek sıklıkta bulunduğu, kendine özgü iklim ve toprak koşulları oluşturduğu bir yaşam birliğidir. Orman; bitki köklerinin etkileyebildiği 1-2 metre toprak derinliğinden ağaçların birkaç metre yukarısına kadar uzanan ve en az bir hektar alan kaplayan bir varlıktır. Ormanı oluşturan sonsuz sayıdaki tüm madde ve olaylar birbirleriyle karşılıklı ilişki ve etkileşim halindedirler. Bu haliyle orman, çok sayıda bitki ve hayvan popülasyonlarından oluşan bir yaşama ortaklığı, bir yaşam birliği, bir ekosistem ve hatta büyük bir canlı organizma olarak tanımlanmaktadır. Ormanın baskın elemanı ağaçlardır. Bu nedenle orman, ancak orman ağaçlarının toplu halde yaşayabildiği bir ortamda kurulabilir [2]. Ormanlar yaşantımızın her safhasında ihtiyaç duyduğumuz yapacak ve yakacak hammadde kaynağıdır. Bunun yanı sıra bitkisel nitelikli tohum, çiçek, kozalak vb. ile mineral nitelikli çakıl, kum vb. hammadde kaynaklarının bir kısmı da ormanlardan elde edilmektedir.

Ormanlar, bitkiler ve hayvanlar için doğal bir su kaynağıdır. Kar ve yağmur biçimindeki yağışı yapraklı, dalları, gövdesi ve kökleri ve tutarak sellerin ve taşkınların oluşmasını önler. Ayrıca yer altı sularının oluşmasına yardım eder. Ormanlar, doğal güzellikleri ve sayılmayacak kadar çok faydalarıyla iyi baktığımız takdirde tükenmez bir doğal kaynaktır [3]. Bilindiği gibi ormanlardaki ağaç türleri genel olarak yapraklı ağaç ve iğne yapraklı (ibrelili) ağaç olmak üzere iki sınıfa ayrılmıştır. Yapraklı ağaç türleri kışın yapraklarını döken ve fiziksel olarak sert bir oduna sahiptir ve hardwood olarak da bilinir, iğne yapraklı ağaçlar ise her dem yeşil ve yapısal olarak softwood olarak da nitelendirilen yumuşak bir oduna sahiptir. Gökarnlar 60 civarında türle temsil edilen (*Abies Mill.*) herdem yeşil bir konifer olup Kuzey yarıküresinin mutedil ve serin bölgelerinden, Asya'da Vietnam ve Taiwan gibi Güneydoğu Asya ülkelerine, Tropikal bölgelere ve Güney Amerika'da Honduras ve Guatemala'ya değin doğal yayılış yaparlar. Ayrıca Kuzey ve Orta Amerika, Avrupa, Asya ve Kuzey Afrika'da görülürler. Türkiye'deki yayılışı ise Şekil 1'de gösterilmektedir [4 ve 5].



Şekil 1. Gökarnların Türkiye'deki yayılışı
(Figure 1. Distribution of fir trees in Turkey) [6]



- **Kabuk Böcekleri:** Ormanlarımızda bulunan ağaç türleri, bulundukları sahanın doğal türleri olmakla birlikte, uzun yıllardan beri yapılan düzensiz yararlanmalar sonucunda sağlıklarını yitirmeye başlamışlardır. Ormanda zararlı olan ve devamlılığını tehlikeye sokan en önemli tehditlerden birisi böceklerdir. Böceklerin gerek ormanda gerekse odun depolarında neden olduğu zararın ekonomik bakımdan oldukça önemli kayıplara yol açtığı dikkati çekmekte, bu nedenle de çalışmalar daha çok zararlı böceklerle mücadele konusunda yoğunlaşmaktadır. Kabuk böcekleri de ülkemizde iğne yapraklı orman ağaçlarında zarara yol açan böcekler içinde en büyük öneme sahip böcek gruplarından birisini oluşturmaktadır. Özellikle *Ips sexdentatus*, *Tomicus minor*, *T. piniperda*, *Orthotomicus erosus*, *Pityokteines curvidens*, *I. typographus*, *Dendroctonus micans* gibi Scolytidae türleri sürekli olarak tekrarlanan, sekonder ve primer karakterdeki zararlarıyla önemli kayıplara yol açmaktadır [7].

Pityokteines curvidens (Göknaar Büyük Kabuk Böceği) göknaar ağaçlarında zarar yapan böceklerin en önemlilerindendir. Sekonder zararlıdır. Özellikle fizyolojik yaş hududuna yaklaşmış ağaçlarda isteklerine uygun olmayan yetiştirme muhitlerindeki göknaarlarda tercihen zararlı olur. Fakat fazla miktarda ürettiği takdirde primer zararlı bir hal alarak sağlam ağaçları da tahrip eder. Kalın kabuklu göknaarlarda yaşar. Ağaçların üst kısmından başlayıp aşağıya doğru zarar yapar [8]. Şekil 2'de zarar görmüş bir göknaar ağacı görülmektedir.

Uludağ göknaar ormanlarında Scolytidae familyasında etkin zarar yapan böcek türleri *C. piceae* ve *P. curvidens*'dir. Bu iki göknaar kabuk böceğinin Avrupa ormanlarında geçmişte önemli zararları tespit edilmiştir. *P. curvidens*, *P. spinidens* ve *C. piceae*'nin 1946-1947 yıllarında Viyana ormanlarında salgınları nedeniyle 88000m³ göknaar ağacı zarara maruz kalmıştır. Aynı şekilde aralarında göknaar zararlılarından *P. curvidens* ve *C. piceae*'nin de bulunduğu beş kabuk böceğinin Fransa ormanlarındaki zararı 100000'lerce m³'e ulaşmıştır. Ayrıca, İsviçre-Tatort yöresinde 121000ha alanda 1948-1949 yıllarında, *P. curvidens* zararı nedeniyle 236000m³ göknaar ağacının zarar gördüğü ifade edilmektedir [10]. Romanya'da 1991-2000 yıllarında *P. curvidens* *C. piceae* ve *Pissodes piceae* zararlılarıyla birlikte 25956m³ göknaar ağacını kurutmuştur. Polonya ormanlarında 20 yaşın üzerinde *Abies alba*'larda *P. curvidens*'in zarar yaptığı ve 1990-1999 yıllarında 246000m³ göknaar ağacının ölümüne neden olduğu ifade edilmektedir. Özellikle iki önemli göknaar kabuk böceği Slovakya ormanlarında 1990-1999 yıllarında 31666m³ göknaar ağacını tahrip etmiştir. Diğer taraftan 1990-1999 yıllarında İspanya'da sadece *C. piceae*'nin *Abies alba* ve *A. pinsapo* ormanlarında ekonomik zararı 250000 Euro olarak hesaplanmıştır. 2002 yılında Slovenya'da Kocevje bölgesinin orta ve güney kısmında kuraklığa bağlı olarak *P. spinidens*, *P. curvidens*, *C. piceae* ve *P. vorontzowi* türlerinin birlikte zararı nedeniyle 36000 m³ göknaar ağacı kesilmiştir [10]. Türkiye açısından bu türlerden özellikle *P. curvidens*'in 1929 yılında Sinop-Ayancık göknaar ormanlarındaki zararı 60000m³ olarak hesaplanmıştır. Sonraki yıllarda yapılan çalışmalara göre, 1947-1949 yıllarında Bolu ve Düzce yörelerinde kışın meydana gelen fırtına nedeniyle göknaar kabuk böceklerinin salgınları görülen 64265m³ rüzgar devriği istihsal edilmiştir [10].



Şekil 2. Gökmar kabuk böceğinin zarar verdiği ağaç
(Figure 2. Tree damaged by fir bark beetle) [9]

- **Sülfat Yöntemi:** Sıcak alkali çözeltisinin ligninin yapısını bozundurulup çözdüğünün keşfinden sonra ligninleşmiş bitki dokusundan liflerin ayrılması üzerine birçok çalışma yapılmıştır. 1800 yılında M.Koops %16 lignin içeren samanın seyreltik alkali ile kaynatılması ile kolayca delignifiye edilebileceğini bulmuştur. Fakat elde edilen hamurlar kirli ve oldukça düşük kaliteli olmuştur [11]. Soda pişirme çözeltisine sodyum sülfür ilavesi ile yapılan pişirmelerde delignifikasyonun hızlandığı görülmüştür. Daha sonraları sülfat yöntemi ismini alan bu gelişme ile ilgili ilk patent ABD’de Eaton tarafından alınmıştır. Alman F. Dahl 1879 yılında sülfat yönteminin geliştirilmesi üzerine çalışmıştır. Dahl çalışmalarını yöntemin ekonomisi üzerine yoğunlaştırarak sülfat yönteminde kaybolan sülfürün sodyum sülfat, alkaninin ise sodyum karbonat ile telafi edilebileceğini keşfetmiş ve konu ile ilgili patenti 1884’de almıştır [11].

Sülfat yönteminde kullanılan standart terimler;

- toplam kimyasal madde,
- toplam alkali miktarı,
- aktif alkali,
- toplam titre edilebilir alkali,
- tesirli (efektif) alkali,
- sülfidite oranı,
- aktiflik yüzdesi,
- indirgen yüzdesi,
- siyah çözelti,
- yeşil çözelti,
- beyaz çözeltidir [11].



2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Ormandaki mevcut olan ağaçlara birçok böcek türü arız olmaktadır. Böcek zararından dolayı kuruyan ağaçlar çoğu zaman atıl hale gelmekte ve yakacak olarak değerlendirilmenin dışında bir kullanım alanı bulamamaktadır. Bu konuyla ilgili çalışma sayısı çok azdır. Bu çalışma bu konuda yapılacak çalışmalara ışık tutacaktır. Bu çalışmada, kabuk böcekleri tarafından kuruyan ağaçlar uygun metotlara göre kesilmiş ve kâğıtlık özelliklerine bakılmak üzere testleri yapılmış ve sonuçlarının kâğıt yapımında uygun olup olmama konusunda araştırmalar yapılmıştır.

3. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEMELER (MATERIALS USED IN THE EXPERIMENTS)

Kimyasal analizi yapılacak olan odunlar ilk olarak kibrit çöpü büyüklüğüne getirilmiş ve ardından Willey değirmeninde öğütülmüştür. Ardından sarsak elekten elenerek 40 meshlik elekten geçen ve 60 meshlik elek üzerinde kalan odun unları elde edilmiştir. TAPPI T 257cm-85 [12]'de verilen uygun analiz boyutları elde edildikten sonra cam kavanozlara konulmuş ve etiketlenmiştir. Elde edilen odun unları sıcak su çözünürlüğü, soğuk su çözünürlüğü, alkol-benzen çözünürlüğü, %1'lik NaOH çözünürlüğü, holoselüloz tayini, alfa selüloz tayini ve lignin tayini ve şeker analizleri yapılmıştır.

Yapılan kimyasal analizlerde kullanılan yöntemler aşağıda verilmiştir;

- Alkol-benzen çözünürlüğü (TAPPI T 204 om-88) [13].
- Sıcak su çözünürlüğü (TAPPI T 207 om-88) [14].
- Soğuk su çözünürlüğü (TAPPI T 207 om-88) [14].
- %1 NaOH çözünürlüğü (TAPPI T 212 om-88) [15].
- Holoselüloz verimi (Jayme ve Wise klorit metodu) [16,17].
- Lignin tayini (Runkel Metodu) [18].
- Alfa selüloz tayini (TAPPI T 203 cm-99) [19].

3.1. Gökmar Odunundan Sülfat Yöntemiyle Kâğıt Hamuru Üretiminde Uygulanan Deney Planı (Experimental Plan for Paper Dough Production by Sulfate Method from Fir Wood)

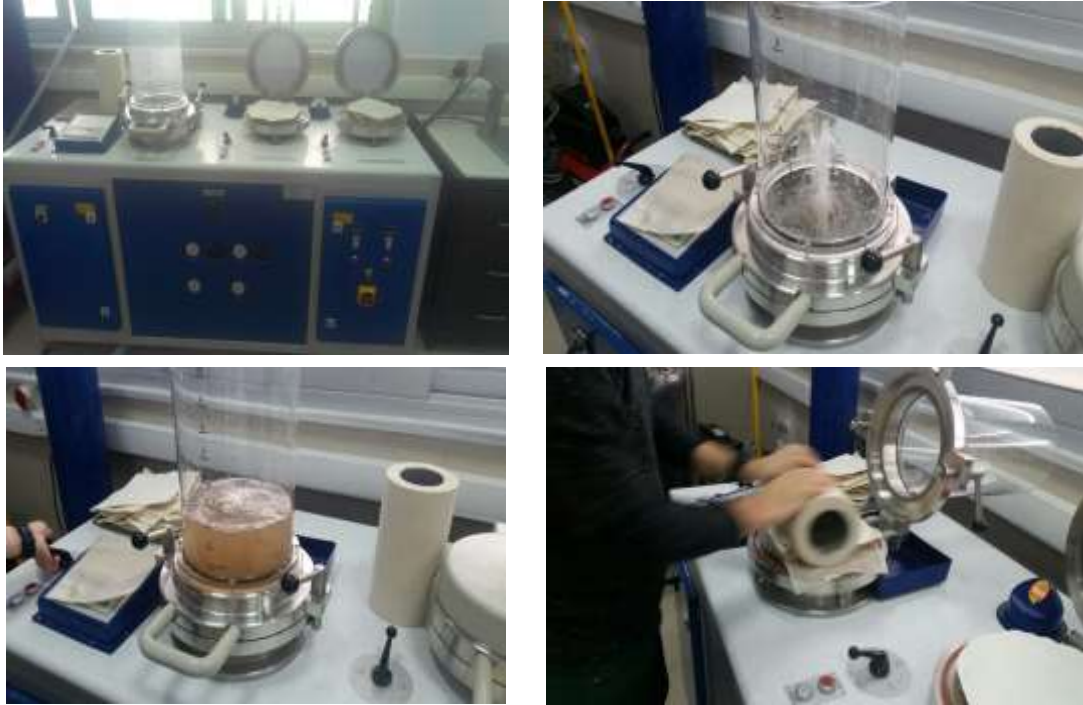
Her bir deneyde 700'er gr tam kuru gökmar odunu yongası kullanılmıştır. İğne yapraklı ağaç odunları için literatürde kabul görmüş ortalama değerler dikkate alınarak aktif alkali oranı %18, sülfidite oranı %25, sıcaklık 170°C ve çözelti sap oranı 4/1 oranında sabit tutulmuş ve pişirme süresi 60dk olacak şekilde ayarlanmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Kraft hamurunun pişirme koşulları
(Table 1. Cooking conditions of Kraft pulp)

Pişirme Koşulları	Kraft
Aktif Alkali Oranı	%18
Sülfidite	%25
Odun Sap Oranı	4/1
Maksimum Sıcaklığa Çıkış Süresi	90dk
Pişirme Süresi	60dk
Maksimum Pişirme Sıcaklığı	170°C

Pişirme işlemi 15lt kapasiteli 25kg/cm² basınca dayanıklı, otomatik ısı kontrollü, elektrik ile ısıtılan ve dakikada iki kez devir yapan laboratuvar tipi döner kazanda gerçekleştirilmiştir. Kazanı doldurma ve boşaltma işlemi elle yapılmış olup her pişirmede 700gr tam kuru odun yongası kullanılmıştır. Pişen materyal 150 mesh'lik elek

üzerinde bol su ile siyah çözelti uzaklaşınca kadar yıkanmıştır. Yıkama işleminin ardından hamur, laboratuvar tipi hamur disintegratöründe 10 dk açılmıştır. Sonra yarık açıklığı 0.15mm olan vakumlu elekte elenerek pişmeyen kısımlardan ayrılmıştır. Elek üzerinde kalan kısım tartılarak tam kuru yonga ağırlığına oranla elek artığı belirlenmiştir. Elenen kısım rutubet dağılımı homojen olacak şekilde sıkılmış ve her bir pişirme hamuru ayrı polietilen torbalara konulmuştur. Bunu takiben kraft hamurları, rutubetin dengelenmesi için ağzı kapalı olarak 24 saat bekletilmiştir. Rutubetleri belirlenen hamurlar kâğıt aline getirilmeden önce PFI makinasında dövülerek liflerin saçaklanmaları sağlanmıştır. Bu sayede sağlamlık dereceleri arttırılacaktır. Serbestlik derecelerinin belirlenmesinin ardından hamurlar kâğıt yapmak üzere süspansiyonlar hazırlanarak Estantit Marka Rapid Köthen (Şekil 3) kâğıt makinasında test kâğıtları yapılmış ve testleri yapılmak üzere kondisyonlandırılmışlardır.



Şekil 3. Kâğıt makinası ve kâğıt yapım aşamaları
(Figure 3. Paper machine and paper making steps)

3.2. Yırtılma Testi (Tear Test)

Yırtılma testi, Tappi 414 om-88 standardına göre TMI (The TMI Group of Companies) marka tipi yırtılma cihazında yapılmıştır. Kâğıt örnekleri 63x76mm boyutlarında kesildikten sonra 4 kat olacak şekilde yırtılma işlemi gerçekleştirilmiştir.

3.3. Kopma Testi (Rupture Test)

Tappi 404 om-87 standardına uygun olarak Testometric M250-2.5CT marka kopma cihazı ile kâğıt şeritlerin gram-kuvvet cinsinden kopma direnci ölçülmüştür. 15mm genişliğinde kesilen kâğıt şeritler, 100mm uzunluğunda aralığa sahip koparma çeneleri arasına yerleştirilerek ve çekme hızı 20mm/dak. olarak ayarlanarak kopmanın 20±5 saniyede gerçekleşmesi sağlanmıştır.



3.4. Kalınlık Testi (Thickness Test)

Kullanılan baz kağıtta ve standart laboratuvar kağıtlarında rutubet tayinleri Tappi 412 standart yöntemine göre, gramajları ise ISO/DIS 536 standardı kullanılarak yapılmış ve sonuçlar $1m^2$ deki tam kuru madde miktarı olarak verilmiştir. Ayrıca kâğıtların kalınlıkları Lorentzen ve Weltre marka cihaz yardımıyla yapılmıştır.

3.5. Deneme Kâğıtlarının Parlaklıklarının Belirlenmesi (Determining the Brightness of Trial Papers)

Deneme kâğıtlarının parlaklık değerleri ISO 2470-1977 (E) standardı esas alınarak Minolta CM-2600d Spectrofotometresinde belirlenmiştir. Parlaklık ölçümleri, Deneme kâğıtları ışığı geçirmeyecek şekilde dörde katlanarak aşağıdaki koşulları sağlayacak şekilde kâğıdın iki yüzündeki farklı noktalardan yapılan ölçümler ile gerçekleştirilmiştir.

3.6. Deneme Kâğıtlarına Ait CIE L*a*b* Renk Değerlerinin Ölçümü (Measurement of CIE L*a*b* Color Values for Experimental Papers)

Renk ölçümleri ISO/CD 5631 standardına göre difüz reflektans metodu ile yapılmıştır. CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) tarafından 1971 yılında kâğıt endüstrisi için önerilen bu sistem trisitumulus (X, Y, Z) değerlerinden program aracılığı ile L*a*b* CIELAB koordinatlarının hesaplanmasıyla gerçekleştirilmiştir.

4. DENEYSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRİLMESİ (EXPERIMENTAL RESULTS AND EVALUATION)

Böcek zararına uğramış ve uğramamış göknar odunlarına ait kimyasal analiz sonuçları tablo 2'de, sülfat pişirmesi sonrası hamur özelliklerine ait bulgular tablo 3'de, sülfat pişirmesi sonrası, serbestlik derecesi, kalınlık, gramaj, kopma ve yırtılma direnci özelliklerine ait bulgular tablo 4'de, Pişirme sonrası sağlam ve böcek zararına uğramış sülfat hamurlarının optik özellikleri tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 2. Kimyasal analiz sonuçları
(Table 2. Chemical analysis results)

Kimyasal Analizler	Sağlam Odun (%)	Böcek Tahribatına Uğramış Odun (%)
Holoselüloz	73.88	70.08
α -Selüloz	44.82	41.28
Lignin	27.34	29.73
Alkol-Benzen Çözünürlüğü	0.24	2.11
Sıcak Su Çözünürlüğü	2.50	3.59
Soğuk Su Çözünürlüğü	2.78	3.42
%1'lik NaOH Çözünürlüğü	9.12	11.65

Kimyasal analizler sonucunda; soğuk su çözünürlüklerinde sağlam odunda %2.78, çürük olanda ise %3.42. sıcak su çözünürlüklerinde sırasıyla sağlam odunda %2.50 çürük olanda ise %3.59. %1'lik NaOH çözünürlüklerinde sağlam odunda %9.12, çürük olanda ise %11.65 olarak belirlenmiştir. Ekstraktif madde miktarlarının sağlam odunda %0.24, çürük olanda ise %2.11. Lignin oranında sağlam olan odunda %27.34 çürük olan odunda da %29.73 olarak bulunmuştur. Holoselüloz miktarlarında ise sağlam odun %73.88, çürük odunda ise %70.08. alfa selüloz oranlarına



bakıldığında ise %44.82 sağlam odun, %41.28 ise çürük olan odunun sahip olduğu oran olarak bulunmuştur.

Tablo 3. Böcek zararına uğramış ve uğramamış göknar odunlarının sülfat pişirmesi sonrası hamur özelliklerine ait bulgular
(Table 3. Results of pulp properties after sulphate cooking of fir trees that were not affected by insect damage)

Açıklama	İşlem Koşulları	Elek Verimi (%)	Toplam Verim (%)	Kappa Numarası
Böcek Zararına Uğramamış Göknar Sülfat Hamuru	S25-A18-90-60-170-4:1	37.61	54.31	50.47
Böcek Zararına uğramış Göknar Sülfat Hamuru	S25-A18-90-60-170-4:1	38.78	55.26	48.61

Tablodan 3'ten de görüldüğü gibi böcek zararına uğramış göknar odununun sülfat pişirmesi sonrası verimi zarar görmemiş oduna oranla %1 daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni, böcek zararının odun bileşenlerinde oluşturduğu etki nedeniyle pişirme sırasında oluşacak reaksiyonlara bu bileşenlerin çok daha açık olması şeklinde açıklanabilir. Sonuçları delignifikasyon derecesi hakkında önemli bilgiler sunan kappa numarası da desteklemektedir. Tablodan görüldüğü gibi böcek zararına uğramış odunların sülfat hamurlarının kappa numaraları zarar görmemiş odunlarınkine oranla daha düşük çıkmıştır. Bu sonuçlardan böcek zararına uğramış odunların sülfat pişirmesine, verim ve delignifikasyon açısından çok daha uygun olduğu sonucu çıkarılabilir. Bu çalışmada böcek zararına uğramış odunların kâğıt endüstrisinde kullanılabilirliği araştırılmış olup. Benzer sonuçlar mantar çürüklüğüne uğratılmış odun yongalarının kâğıt hamuru üretimi ile ilgili çalışmalarda da gözlenmiştir. Messner ve çalışma arkadaşları mantar zararına uğramış yongalar ile sülfat hamuru üretimi üzerine çalışmışlar ve kappa numarasının azaltıldığını gözlemlemişlerdir [20]. Bajpai ve çalışma arkadaşları okaliptüs yongalarını C. Subvermispora ile muamele ettikten sonra kraft pişirme koşulları üzerine çalışmışlar ve aynı kappa numarası için gereken sülfidite ve aktif alkali miktarlarını azaltmayı başarmışlardır [21].

Tablo 4. Pişirme sonrası sağlam ve böcek zararına uğramış sülfat hamurlarının bazı özellikleri
(Table 4. Some properties of sulphate pulps that have undergone sound and insect damage after cooking)

Açıklama	Sağlam Göknar Sülfat Hamuru		Böcek Zararına Uğramış Göknar Sülfat Hamuru	
	0 Devir PFI	1000 Devir PFI	0 Devir PFI	1000 Devir PFI
Schopper Serbestlik Derecesi	14.71(ort) 1.05(std)	19.23(ort) 0.72(std)	14.54(ort) 0.70(std)	20.83(ort) 0.61(std)
Gramaj (g/m ²)	64.448(ort) 1.13(std)	64.33(ort) 1.22(std)	63.45(ort) 0.85(std)	63.80(ort) 0.98(std)
Kalınlık (mm)	0.137(ort) 0.008(std)	0.112(ort) 0.005(std)	0.138(ort) 0.003(std)	0.109(ort) 0.003(std)
Gerilme İndeksi (J/g)	58.54(ort) 4.77(std)	74.50(ort) 12.13(std)	62.25(ort) 9.50(std)	78.82(ort) 3.52(std)
Çekme Mukavemeti (N/mm)	4.68(ort) 0.38(std)	5.96(ort) 0.97(std)	4.98(ort) 0.76(std)	6.31(ort) 0.28(std)
Yırtılma İndeksi (mN.m ² /g)	14.43(ort) 1.66(std)	13.02(ort) 0.61(std)	14.26(ort) 1.58(std)	13.49(ort) 0.80(std)
Yırtılma Mukavemeti (mN)	930.33(ort) 107.4(std)	839(ort) 39.15(std)	919(ort) 102(std)	869(ort) 51(std)



Tablodan 4'te görüldüğü gibi böcek zararına uğramış göknar odunlarının sülfat hamurları sağlam odununkilere göre daha rahat dövülmektedir. Aynı şartlardaki dövme işlemi sonucu sağlam göknar hamurlarının serbestlik derecesi 19.23 ölçülürken böcek zararına uğramış odunun sülfat hamurlarının serbestlik derecesi 20.83 olarak ölçülmüştür. Benzer durum mekanik hamur üretimi sırasında çürük odunların daha az enerji tüketiminde de görülmektedir. Tablodan dövme işlemi ile liflerin çok daha iyi bağ yapması ve daha pürüzsüz kâğıt yüzeyi oluşturmaları nedeniyle kâğıt kalınlıklarının yaklaşık 0.02mm azaldığı görülmektedir. Beklenildiği gibi dövme işlemi ile birlikte kâğıt hamurlarının çekme mukavemeti, gerilme indeksinin arttığı bununla birlikte yırtılma direnci ve indeksinin azaldığı görülmektedir. Böcek zararına uğramış ve sağlam durumdaki göknar odunlarının sülfat hamurlarının çekme ve yırtılma dirençleri karşılaştırıldığında zarar gören odunlardan elde edilen hamurların daha yüksek sağlamlık özellikleri gösterdiği görülmektedir. Bunun nedeni böcek atağına uğrayan odun yongalarının pişirmeye çok daha elverişli olması olabilir. Setliff ve arkadaşları (1990) C. subvermispora ve P. Chrysosporium mantarları ile titrek kavak, huş, okaliptus ve ladin yongaları üzerinde çalışmışlar ve mekanik hamur üretimi yapmışlardır. Çalışmalarında pişirme öncesi mantar muamelesinin, çekme direnci ve yırtılma direncinde önemli gelişmelere neden olduğunu belirlemişlerdir [22].

Tablo 5. Pişirme sonrası sağlam ve böcek zararına uğramış sülfat hamurlarının optik özellikleri
(Table 5. The optical properties of sulphate pulp which have undergone sound and insect damage after cooking)

Açıklama	Sağlam Göknar Sülfat Hamuru		Böcek Zararına Uğramış Göknar Sülfat Hamuru	
	0 Devir PFI	1000 Devir PFI	0 Devir PFI	1000 Devir PFI
ISO Parlaklığı (%)	20.23(ort) 0.30(std)	1.49(ort) 0.26(std)	22.53(ort) 0.17(std)	18.48(ort) 0.35(std)
CIE L*	60.09(ort) 0.64(std)	56.08(ort) 0.21(std)	62.08(ort) 0.10(std)	58.08(ort) 0.47(std)
CIE a*	6.08(ort) 0.12(std)	6.48(ort) 0.03(std)	6.15(ort) 0.07(std)	6.74(ort) 0.13(std)
CIE b*	14.80(ort) 0.11(std)	15.02(ort) 0.09(std)	14.15(ort) 0.13(std)	15.14(ort) 0.32(std)

Tablo 5 incelendiğinde dövme işlemi ile birlikte tüm hamurların parlaklık değerlerinin azaldığı sarı ve kırmızı rengin ise artış gösterdiği görülmektedir. Böcek zararına uğramış ve uğramamış odun hamurları karşılaştırıldığında ise böcek zararı olan odun hamurlarının parlaklık değerinin yaklaşık 2 birim daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ilk başta belirtildiği gibi çürük odun yongalarının sağlam odun yongalarına göre daha iyi pişmesi ve delignifikasyonu arttırmasıdır. Buradaki parlaklık artışı doğrudan kappa numarası ile doğru ilişkilidir. Renk değerleri karşılaştırıldığında ise parlaklık değerine benzer şekilde zarara uğramış odunların sarılık ve kırmızılık değerleri sağlam odun hamurlarına göre bir nebze daha az tespit edilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS)

Yapılan çalışma ile böcek zararına uğrayan göknar ağaçlarının kâğıt endüstrisinde kullanım olanakları araştırılmıştır. Bu şekilde böcek zararı nedeniyle değeri düşen tomrukların çok daha verimli şekilde kullanılması amaçlanmıştır. Bu amaçla zarara uğramış ve uğramamış göknar odunları aynı şartlarda sülfat pişirmesine uğratılmış ve elde edilen



kağıt hamurları sağlamlık özellikleri ve optik özellikleri açısından karşılaştırılmıştır. Çalışma ile zarara uğramış odunlardan elde edilen hamurların verimlerinin %1 oranında daha fazla olduğu ve ayrıca çok daha kolay piştiği belirlenmiştir. Zarara uğramış odunlardan elde edilen hamurların kappa numaraları yani kalıntı lignin oranları daha düşük bulunmuştur. Ayrıca bu hamurların parlaklık dereceleri, çekme mukavemetleri ve yırtılma dirençleri sağlam odununkilere göre daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Bu çalışma sonucunda Pityokteines curvidens (Germ.) Crypalus picea kabuk böcekleri zararına uğramış Gökmar odunlarının kağıtçılıkta kullanılabileceği belirlenmiştir. Bu sayede ya yakacak olarak kısmen ya da tamamen atıl durumda bulunan hammaddenin kullanılabilirliği ortaya çıkmıştır. Böcek zararına ya da farklı nedenlerle kuruyan çürüyen ağaç malzemelere de bunun gibi çalışmalar yapılmalı ve kullanılabilirlikleri belirlenerek değerlendirilme olanakları ortaya çıkarılmalıdır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışma Artvin Çoruh Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) biriminin 2014.F11.02.01 nolu projesi tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Avşar, M., (2002). Kahramanmaraş Başkonuş Dağında Varlığı Oldukça Azalan Odunsu Taksonlar ve Alınabilecek Silvikültürel (yeni ormanların planlı olarak kurulması ve bunların doğal olarak kurulmuş ve varlığını sürdüren ormanlarla birlikte yetiştirilmesi, gençleştirilmesi ve varlıklarının en iyi şekilde devam ettirilmesi ile uğraşı dalı). DOA Dergisi 8: 119-136.
2. http://www.dogakorumadernegi.org/e_kitap/agac/files/agacnedir.pdf.
3. <http://kuthayaoibm.ogm.gov.tr/SitePages/OGM/OGMBiliyormuydunuz.aspx?l=c2c61b1b-0c15-40f6-a3a6-a70f745b4605&i=6>.
4. Rushforth, K., (2002). Photo-guide des Arbres d'Europe Delachaux et Niestlé, 132sp, Paris.
5. Sarıbaş, M., (2011). Dendroloji I (Gymnospermae) II. Cilt, Dönmez Ofset, Ankara, 321s.
6. <http://slideplayer.biz.tr/slide/2688473/>.
7. Sarıkaya, O. ve Avcı, M., (2006). Kabuk Böceklerine Karşı Ormanlarımızda Alınabilecek Koruyucu Önlemler, Orman Mühendisleri Odası, Sayı:1, 2, 3 ss:26-32.
8. Güleç, T., (2011). Kahramanmaraş Bölgesinde Büyük Gökmar Kabuk Böceği (Pityokteines Curvidens)den Zarar Görmüş Toros Gökmar Odununun Bazı Fiziksel, Kimyasal ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
9. <http://www.haberler.com/toros-goknari-zararli-bocek-tehdidi-altinda-haberi/>.
10. Serin, M., Erdem, M., Yüksel, B. ve Akbulut, S., (2008). Bolu ve Aladağ Orman İşletmesi Gökmar Ormanlarında Kabuk Böceklerinde Kullanılan Feromon Tuzak Tiplerinin Yakalama Kapasitelerinin Belirlenmesi (Pityokteines curvidens (Germar) örneği), (ODC: 145.7), Bolu.
11. Kırıcı, H., (2000). Kağıt Endüstrisi Ders Notları, KTÜ Basımevi, Orman Fakültesi Yayını, No:63.
12. Anonymous, (1992). Tappi T-257 cm-85: Sampling and Preparing Wood for Analysis, TAPPI Test Methods, Tappi Press, Atlanta Georgia, Vol:1.
13. Anonymous, (1992). Tappi T-204 om-88: Solvent Extractives of Wood and Pulp, TAPPI Test Methods, Tappi Press, Atlanta Georgia, Vol:1.



14. Anonymous, (1992). Tappi T-207 om-88: Water Solubility of Wood and Pulp, TAPPI Test Methods, Tappi Press, Atlanta Georgia, Vol:1.
15. Anonymous, (1992). Tappi T-212 om-88: One percent Sodium Hydroxide Solubility of Wood and Pulp, TAPPI Test Methods, Tappi Press, Atlanta Georgia, Vol:1.
16. Jayme, G., (1942). Cellulosechemie, 20, 43-49.
17. Wise, L.E., Murphy, M. and D'addieco, A.A., (1946). Chlorite holocellulose, its fractionation and beaning on summative wood analysis and studies on the hemicellulose, Pap. Trade J., 122 (2), 35-43.
18. Runkel, R.O.H. and Wilke, K.D., (1951). Thermoplastic properties of wood. II Holz Roh Werkst. 9:260-270.
19. Anonymous, (1983). Tappi T-203 cm-99: Alpha-, beta- and gamma-cellulose in pulp, TAPPI Test Methods, Tappi Press, Atlanta Georgia.
20. Messner, K., Masek, S., Srebotnik, E., and Techt, G., (1998). Fungal Treathment of Wood Chips for Chemical Pulping in Biotechnology in the Pulp and Paper Industry, Proc.5th Conf. On Biotechnnnology in The Pulp and Paper Industry.
21. Bajpai, P., Bajpai, P.K., Akhtar, M., and Jauhari, M.B., (2001). Biokraft pulping of eucalyptus with selected lignin-degrading fungi, Journal of Pulp and Paper Science, July, Vol:27(7).
22. Setliff, E.C., Marton, R., Granzow, S.G., and Eriksson, K.L., (1990). Biomechanical Pulping with White-rot Fungi, August. Teppi Journal, p141.



Tacettin Geçkil

Inönü University, tacettin.geckil@inonu.edu.tr, Malatya-Turkey

Perviz Ahmedzade

Ege University, perviz.ahmedzade@ege.edu.tr, İzmir-Turkey

Taner Alataş

Fırat University, taner.alatas@firat.edu.tr, Elazığ-Turkey

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.1A26PB>

BİTÜM MODİFİKASYONUNDA SİYAH KARBONUN BİTÜMÜN KIVAMINA VE SICAKLIK DUYARLILIĞINA ETKİSİ

ÖZ

Bu çalışmada, bitüm modifikasyonunda bir katkı maddesi olarak kullanılan Siyah Karbonun (SK) bitümlü bağlayıcıların kıvamı ve termal özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, saf B 160/220 penetrasyon sınıfı bitümlü bağlayıcısına %5, %10 ve %15 SK ilave edilerek modifiye bağlayıcılar elde edilmiştir. Saf ve modifiye bağlayıcıların özellikleri; penetrasyon, yumuşama noktası, duktilite, dönel viskozimetre ve termogravimetrik analiz deneyleri belirlenmiştir. Ayrıca, bitümlü bağlayıcıların termal duyarlılıkları, penetrasyon endeksi ve penetrasyon viskozite sayı değerleri hesaplanarak tespit edilmiştir. Test sonuçlarına göre SK katkılı bağlayıcılarda, katkısız bağlayıcılara göre duktilite ve penetrasyon değerlerinde azalma, yumuşama noktası ve viskozite değerlerinde ise önemli oranda artış meydana gelmiştir. Sonuç olarak, yumuşak kıvamlı ve sıcaklık duyarlılığı yüksek olan bağlayıcıların SK ilavesiyle daha sert bir kıvama geldiği ve sıcaklık duyarlılığının önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca en etkili ve uygulanabilir katkının %10-15 SK oranında olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bitüm, Modifikasyon, Siyah Karbon, Kıvam, Sıcaklık Duyarlılığı

THE EFFECT OF BLACK CARBON ON THE STIFFNESS AND TEMPERATURE SUSCEPTIBILITY OF BITUMEN IN BITUMEN MODIFICATION

ABSTRACT

In the present study, the effect on the stiffness and temperature susceptibility of bituminous binders of Black Carbon (SK) used as an additive in the bitumen modification was investigated. For this purpose, modified binders were obtained by adding 5, 10 and 15 wt % SK to the pure B 160/220 penetration grading binder. The features of pure and modified binders were analyzed by Penetration, softening point, ductility, rotational viscometer and thermogravimetric analysis experiments. In addition, the thermal sensitivities of bituminous binders were determined by calculating the penetration index and penetration viscosity number values. According to the test results, ductility and penetration values were decreased in SK additive binders compared to additive free binders, while significant increases were observed in softening point and viscosity values. It was also determined that the most effective and feasible contribution was 10-15% SK. As a result, it has been found by the addition of SK that the binders with soft consistency and high temperature susceptibility have a harder consistency and the temperature susceptibility decreases considerably.

Keywords: Bitumen, Modification, Carbon Black, Consistency, Temperature susceptibility

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bitümlü sıcak karışım (BSK) kaplamaların performansı üzerinde önemli bir rolü olan bitümlü bağlayıcılar sıcak karışımdaki en önemli malzemedir. Karışımın ağırlıkça %5-7'sini, hacimce %13-15'ini oluşturan bağlayıcı, agrega danelerini birbirine bağlayarak trafik yükleri altında dağılmasını önler, oluşturdukları düzgün yüzeyler ile sürüş konforunu sağlar, kohezyonu ile karışımın stabilitesini artırır ve karışımın boşluklarını doldurarak geçirimsizliğini sağlar [1 ve 2]. BSK kaplamaların ana malzemesi olan bitümlü bağlayıcı, mühendislik davranışı bakımından visko-elastik davranış gösteren termo-plastik bir malzemedir [2 ve 4]. Bu tür malzemeler yüksek yükleme hızlarında (hızlı taşıtlar) elastik, düşük yükleme hızlarında (yavaş ya da duran taşıtlar) viskoz, orta yükleme hızlarında orta elastik ve viskoz davranış gösterir. Benzer şekilde, düşük sıcaklıklarda elastik davranış ve yüksek mukavemet, yüksek sıcaklıklarda ise viskoz davranış ve düşük mukavemet gösterirler. Asfaltın bu reolojik özelliği asfalt karışımların da visko-elastik özellik göstermesine sebep olmaktadır. Bu nedenle yükleme süresi ve sıcaklık, asfaltın ve bitümlü sıcak karışımın rijitliğine doğrudan etki etmektedir [5, 6 ve 7].

İlk inşa edildiklerinde yüksek bir performansla hizmet veren BSK'da trafik, iklim ve çevre şartları altında zamanla kalıcı deformasyonlar, yorulma çatlakları, düşük sıcaklık çatlakları ve su etkisiyle soyulma gibi birçok bozulma meydana gelmektedir [8 ve 9]. Kaplama performansını olumsuz yönde etkileyen bu bozulmalara karşı, bitümlü bağlayıcıya veya karışıma çeşitli katkı maddeleri eklenerek modifiye bitüm veya karışımlar elde edilmektedir [10 ve 11]. Modifikasyon ile genel anlamda, yol kaplamalarının yüksek hava sıcaklıklarında yeterli rijitliğe sahip olarak kalıcı deformasyonlara karşı dirençli olması, düşük hava sıcaklıklarında da yeterli esnekliğe sahip olarak çatlamlara ve kırılmalara karşı dirençli olmaları amaçlanmaktadır [12]. Bitüm modifikasyonunda yaygın olarak polimer gurubu malzemeler kullanılmaktadır [13 ve 14]. Yapılan birçok çalışmada polietilen (PE), polipropilen (PP), polivinil klorid (PVC), Stiren-Butadien-Stiren (SBS), styrene-butadiene-rubber (SBR), polistiren (PS) ve etilen vinil asetat (EVA) gibi malzemeler çok kullanılmıştır. Bu katkıların bağlayıcının sıcaklık hassasiyetini iyileştirerek düşük, orta ve yüksek sıcaklıklarda kaplamanın performansını iyileştirdiği tespit edilmiştir [15, 16 ve 17].

Modifikasyon çalışmalarında taş tozu, çimento, sönmüş kireç, uçucu kül ve siyah karbon gibi ince daneli malzemeler de sık kullanılmaktadır. Bu maddelerin, özellikle de siyah karbon kullanılması karışımın durabilitesi, aşınma direnci ve sıcaklık hassasiyeti için faydalı olduğu belirtilmektedir [18 ve 19]. SK kullanılarak yapılan ilk çalışmalarda, bitüme ağırlıkça %11-16 katılmasının, bağlayıcının sıcaklık hassasiyetini azalttığı, karışımın durabilitesinde, kayma direncinde, düşük sıcaklık çatlaklarında, yüksek sıcaklık bozulmalarında ve asfaltın sıcaklık-viskozite özelliklerinde önemli iyileşmelerin meydana geldiği görülmüştür [20, 21, 22 ve 23]. Terrel ve Rimstrington, SK kullanmanın bağlayıcının sıcaklık hassasiyetini geliştirebildiğini ve karışımların nem direncini arttırabildiğini göstermiştir [24]. Vallergera ve Gridley iki farklı SK'nu bitüm ve karışımda kullanarak karışımın durabilite, aşınma direnci ve sıcaklık-viskozite hassasiyeti üzerinde olumlu etki yaptığını ortaya koymuşlardır [25]. Yao ve Monismith çok sıcak havalarda tekerlek izi oluşumunu engellemek amacıyla SK kullanılabileceğini belirtmişlerdir [26]. Button ve ekibi, AC-5 asfaltına %15 Microfil 8 ilavesinin, daha sert olan AC-20'ye kıyasla kalıcı deformasyonlara karşı direncini önemli ölçüde artırdığını

belirtmişlerdir [27]. Jennings ve arkadaşları, SK ilaveli karışımların tekerlek izi derinliğinde ise 1/2 oranında bir azalma olduğunu belirtmişlerdir [28]. Khosla, AC-5, AC-10 ve AC-20 bağlayıcıları ile SK katkısı karışımlar hazırlamış ve sonunda, SK modifiyeli asfaltın katkısız asfalta göre sıcaklık hassasiyetinin azaldığı, yüksek sıcaklıklarda esneklik modülü değerinin arttığı ve tekerlek izi direncinde artış olduğu bulunmuştur [29]. Yamaguchi ve ekibi, SK modifiyeli bağlayıcıların yüksek sıcaklıklarda deformasyon direncinde, düşük sıcaklıklarda ise çatlak direncinde artış olduğu ve SK'nın kaplamanın durabilitesini arttırmada etkili bir filler olduğunu belirtmişlerdir [30].

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bitüm ve bitümlü karışımların modifiye edilmeleri ile genel anlamda, yol kaplamalarının yüksek hava sıcaklıklarında yeterli rijitliğe sahip olarak kalıcı deformasyonlara karşı dirençli olması, düşük hava sıcaklıklarında da yeterli esnekliğe sahip olarak çatlamalara ve kırılmalara karşı dirençli olmaları amaçlanmaktadır. Ayrıca kaplamanın, yüksek trafik yükleri altında yorulma nedeniyle oluşan çatlamalar ile su etkisiyle meydana gelen soyulmalara karşı dirençli olması ve kaplama yüzeyinde istenen düzeyde kayma direncinin elde edilerek sürüş emniyetinin arttırılması da amaçlanmaktadır. Bu çalışmada SK'un, yapısı itibarıyla bağlayıcının sıcaklık hassasiyetine, kıvamına ve dolayısıyla tekerlek izi direncine etkisi araştırılmıştır.

3. MALZEME VE DENEYSEL YÖNTEM (MATERIAL AND EXPERIMENTAL METHOD)

Bu çalışmada, bağlayıcı olarak Elazığ Karayolları 8. Bölge Müdürlüğü asfalt şantiyesinden temin edilen B 160/220 penetrasyon dereceli asfalt kullanılmıştır. Katkı maddesi olarak, TÜPRAŞ tarafından üretilen FEF N-550 siyah karbon (SK) cinsi kullanılmıştır. SK'un fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Siyah karbonun fiziksel ve kimyasal özellikleri
(Table 1. Physical and chemical properties of black carbon)

Özellikler	Deney Standardı	Siyah Karbon (FEF N-550)
Toz Miktarı, (Ağırlıkça, Maks. %)	ASTM D-1508	12
Isıtma Kaybı (125°C), (Maks.%)	ASTM D-1509	1.0
İyod Miktarı (mg/g)	ASTM D-1510	38-48
Pellet Sertliği $\times$ 20, (gr)	ASTM D-3313	50
PH	ASTM D-1512	7
Yoğunluk, (gr/lt)	ASTM D-1513	350
Kükürt İçeriği, (Ağırlıkça %)	ASTM D-1619	0.5
DBP Absorpsiyonu, (ml/100gr)	ASTM D-3493	83
Özgül Yüzey Alanı, (m ² /gr)	ASTM D-3765	40
Kül İçeriği, (Ağırlıkça %)	ASTM D-1506	0.2
Ürün Şekli	-	Siyah Pellet

Çalışmada, modifiye bağlayıcı elde etmek amacıyla yumuşak kıvamlı saf B 160/220 bağlayıcısına ağırlıkça (%5, %10, %15) oranlarda SK ilave edilerek modifiye bağlayıcılar elde edilmiştir. Bu bağlayıcılar sırasıyla B, B+5SK, B+10SK ve B+15SK ile kodlanarak değerlendirilmiştir. Homojen bir bağlayıcı-siyah karbon karışımı elde etmek amacıyla, siyah karbon 145-150°C sıcaklığında ısıtılarak, sıcaklığı 150°C'ye ayarlanmış 8cm çapındaki silindir kalıpta, her bir kanat uzunluğu 3cm olan iki kanatlı bir karıştırıcı ile 500devir/dakika hızda 1.0 saat karıştırılmıştır (Resim 1). Elde edilen modifiye bağlayıcıların özellikleri incelenerek, saf B 160/220

bağlayıcısı ile kıyaslanmış ve SK'un bitümlü bağlayıcı özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır.



Resim 1. Modifiye bitüm karıştırıcısı
(Figure 1. Modified bitumen mixer)

3.1. Penetrasyon Deneyi (Penetration Test)

Penetrasyon deneyi, EN 1426 standardına göre bitümlü bağlayıcıların sertlik veya kıvamını belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Standart penetrasyon, 100gr ağırlığındaki bir iğnenin 25°C sıcaklıkta ve 5 saniye süreyle bitüm içerisinde kat ettiği düşey mesafe olarak tanımlanmaktadır. Penetrasyon birimi 10^{-1} mm'dir. Bitümlü bağlayıcıların penetrasyon değeri kıvamla ters orantılıdır. Penetrasyon deney aleti Resim 2'de gösterilmiştir.



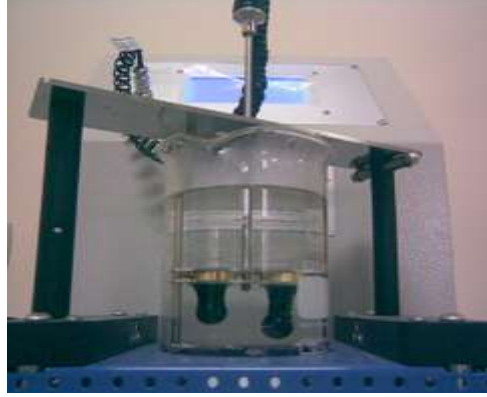
Resim 2. Penetrasyon deney aleti
(Figure 2. Penetration test apparatus)

Deneye tabi tutulacak bitümlü bağlayıcı numunesi TS EN 58'e göre alınır ve ısıtıldıktan sonra numune kabına aktarılır. Numuneler 5-30°C ortam sıcaklığı olan bir yerde 60-90 dakika soğumaya bırakılır. Daha sonra numune kapları aktarma kabının içine konularak sabit sıcaklıktaki su banyosuna yerleştirilir ve 1-1.5 saat bekletilir. İçinde numune kabı bulunan aktarma kabı Penetrasyon cihazının tablası üzerine konulur. Numune üzerinde kabın kenarına ve birbirine 1cm'den daha yakın olmayan noktalardan en az 3 okuma yapılır. Okumaların aritmetik ortalaması tamsayıya yuvarlanarak penetrasyon değeri olarak alınır.

3.2. Yumuşama Noktası Deneyi (Softening Point Test)

Yumuşama noktası deneyi bitümlü bağlayıcıların yüksek sıcaklıklara karşı direncini ölçmeyi amaçlar. Yumuşama noktası, EN

1427 standardına göre üzerine bir bilye yerleştirilmiş olan bitümlü bağlayıcının belirli bir hızda ısıtılması sonucunda sıcaklığın artması ile yumuşamış bağlayıcının tabana temas ettiği andaki sıcaklıktır. Deney cihazı Resim 3'te gösterilmektedir.



Resim 3. Yumuşama noktası deney aleti
(Figure 3. Softening point test apparatus)

Yumuşama noktası cam kabına 5°C'lik saf su konulur. İçinde numune bulunan halka suyun içine sarkıtılır. Daha sonra bilye ve termometre su dolu beher içine konulur. Ardından bilye halka üzerine numunenin ortasına yerleştirilir. Su sıcaklığı dakikada 5°C artacak şekilde beher ısıtmaya başlanır. Halka içindeki bitümlü maddenin cam kabın dibine temas ettiği anda termometrede okunan sıcaklık yumuşama noktası değeridir. Yumuşama noktası tayini iki numune ile yapılır ve iki değer ortalaması alınır.

3.3. Düktilite Deneyi (Ductility Test)

Düktilite deneyi, bitümlü bağlayıcıların uzama kabiliyetini ve kohezyon mukavemetini karakterize edilmek için yapılır (Resim 4). Asfaltın düktilite değeri, yük altında kopmadan uzayabilmesinin bir göstergesi olup karışımların kayma mukavemetine etki etmektedir. Düktilite, TS EN 12589 standardına göre standart kalıp içerisinde hazırlanmış bitümün, 25°C sıcaklıkta ve 5cm/dakika hızla her iki ucundan çekilerek kopuncaya kadar uzadığı mesafenin cm cinsinden ifadesidir.

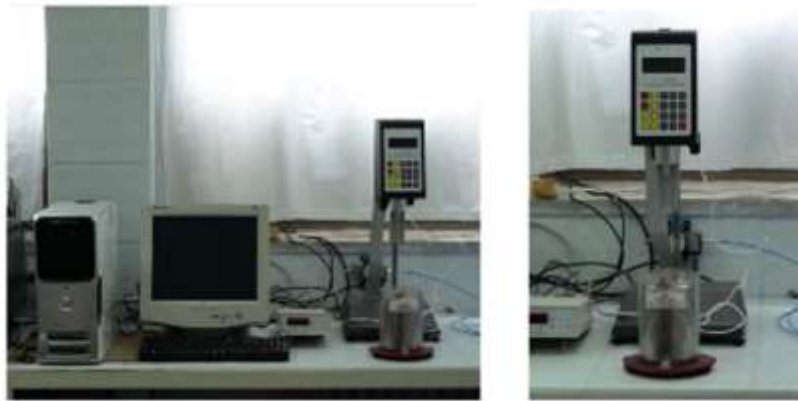


Resim 4. Düktilite deney aleti
(Figure 4. Ductility test apparatus)

Asfalt, standart kalıbın üst seviyesini geçinceye kadar doldurularak 30-40 dakika oda sıcaklığında bekletilir. Soğuduktan sonra numunenin taşan kısımları ısıtılmış spatula ile kesilir ve kalıbın üst kısmı ile aynı seviyeye getirilir. Numune 25°C su banyosunda 1.5 saat bekletildikten sonra yanlardaki kalıplar sökülür ve numune bekletilmeden düktilite cihazına yerleştirilir. Numune 5cm/dakikalık bir hızla kopuncaya kadar çekilir. Asfalt numunesi koptuğu anda cihazın kenarındaki cetvelden kopma mesafesi tespit edilir. Yapılan üç deney sonucunun ortalaması alınarak numunenin düktilitesi bulunur.

3.4. Dönel Viskozimetre Deneyi (Rotational Viscometer (RV) Test)

Dönel viskozimetre deneyi, asfaltın sıcak karışım tesisinde ne derece işlenebilirlik ve pompalanabilirliğe sahip olduğunun tespiti için yüksek sıcaklıklardaki akıcılığının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bazı asfalt birimleri bu ölçüme "Brookfield viskozitesi" demektedir (Resim 5). Deney, ASTM D4402 standardına göre yapılmaktadır. RV değeri, asfalt numunesi içinde 20 devir/dakika hızla döndürülen silindirik bir milin sabit bir sıcaklıkta kendi etrafında dönüş hızını sabit tutacak burulma kuvvetinin ölçülmesi ile belirlenmektedir [31, 32 ve 33].



Resim 5. Brookfield viskozimetresi
(Figure 5. Brookfield viscometer)

Deneye tabi tutulacak asfalt numune etüvde 150°C'nin altındaki bir sıcaklıkta ısıtılarak, deney kabının içerisine 8-11gr arasında dökülür. Kap, önceden ısıtılmış sıcaklık kontrollü bir taşıyıcıya yerleştirilir. Deney parametreleri sisteme girildikten sonra, silindirik mil cihaza takılarak kapdaki asfalt içerisine daldırılır. Milin dönme hızı 20rpm olarak ayarlanır ve cihaz çalıştırılır. Hedef sıcaklıktaki viskozite okumaları sabitleşmeye başladığı anda deney sonuçları kaydedilir. Bağlayıcının 135°C sıcaklıkta ölçülen dönel viskozite değerinin 3000cP'i aşmaması istenmektedir [31, 32, 33 ve 34]. Bağlayıcıların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının belirlenebilmesi için RV deneyinin 135°C ve 165°C sıcaklıkta yapılması gerektiğini belirtmiştir. Bu iki sıcaklıkta belirlenen viskozite değerleri, viskozite-sıcaklık grafiğinde işaretlenerek karıştırma ve sıkıştırma için tavsiye edilen viskozite değerlerini sağlayacak sıcaklık aralıkları belirlenmektedir. Karıştırma için 170±20cP, sıkıştırma için 280±30cP viskozite değerlerine karşılık gelen sıcaklık değerlerinin kullanılması tavsiye edilmiştir [31, 33 ve 35].

3.5. Termogravimetrik Analiz (Thermogravimetric Analysis (TGA))

Kontrollü şartlarda maddelerin sıcaklığının arttırılması ile ağırlıklarındaki değişimin ölçülmesine termogravimetri denilmektedir. Bir madde örneğinin sabit bir ısıtma hızında sıcaklığa bağlı olarak ağırlık kaybının incelenmesine dinamik termogravimetri, sabit bir sıcaklıkta zamanın bir fonksiyonu olarak ağırlık kaybının incelenmesine izotermal termogravimetri denir [36]. Bitümlü bağlayıcıların bozulma başlangıç sıcaklıklarının tespit edilmesi amacıyla yaygın olarak termogravimetrik analiz (TGA) kullanılmaktadır. TGA'da bağlayıcı, azot ortamında 10°C/dakika hızla ortam sıcaklığından 500°C sıcaklığa kadar ısıtılarak, kütleinde meydana gelen ağırlık kaybı EN 11358-1 standardına göre tespit edilmektedir. Analiz sonrası elde edilen sıcaklık-kütle kaybı grafiğinde, kırılmanın meydana geldiği sıcaklık değeri malzemenin başlangıç bozulma sıcaklığı olarak alınmaktadır.

3.6. Bitümlü Bağlayıcıların Sıcaklık Hassasiyeti (Temperature Susceptibility of Bituminous Binders)

3.6.1. Penetrasyon İndeksi Yöntemi (Penetration Index (PI) Method)

Bitümlü bağlayıcıların ısıya karşı duyarlılığını tespit etmek amacıyla genellikle Penetrasyon İndeksi (PI) değeri kullanılmaktadır. PI, standart penetrasyon ve yumuşama noktası deney sonuçları kullanılarak Formül 1 ve 2 ile belirlenmektedir.

$$A = \frac{\log 800 - \log P_{25}}{T_{YN} - 25} \quad (1)$$

$$PI = \frac{20 - 500A}{1 + 50A} \quad (2)$$

Formüldeki P25, bitümün 25°C sıcaklıktaki penetrasyon değerini, TYN ise yumuşama noktası değerini göstermektedir. Bitümlü bağlayıcıların ısıya karşı duyarlılıkları arttıkça PI değerleri azalmaktadır. Penetrasyon İndeksi değerinin -2'den küçük olması bitümün ısıya çok duyarlı olduğunu, +2'den büyük olması ise ısıya karşı az duyarlı olduğunu göstermektedir [37]. Daha yüksek PI'ye sahip bitüm içeren asfalt karışımları, düşük sıcaklıktaki çatlamaya ve kalıcı deformasyona karşı daha dirençlidir [38, 39 ve 40].

3.6.2. Penetrasyon Viskozite Sayısı Yöntemi (Penetration Viscosity Number (PVN) Method)

Sıcaklık duyarlılığının bir ölçüsü olarak PI yerine penetrasyon viskozite sayısı (PVN) terimi de kullanılmıştır. Bitümün sıcaklığa duyarlılığı penetrasyon ve viskozite değerlerine dayandırılarak belirlenmiştir. PVN ve PI değerleri, değerlendirme şekli nedeniyle çoğu bitüm türü için sayısal olarak özdeş olmalıdır [41]. PVN'yi hesaplamak için aşağıdaki formül kullanılmaktadır [42 ve 43];

$$PVN = -1.5 \times \left(\frac{4.258 - 0.7967 \times \log(Pen_{25}) - \log(V)}{0.7951 - 0.1858 \times \log(Pen_{25})} \right) \quad (3)$$

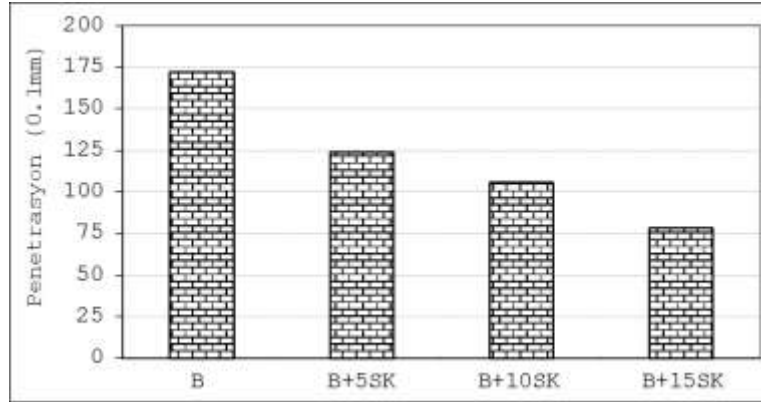
Burada, Pen25 25°C'de penetrasyon ve V, modifiye edilmemiş ve modifiye edilmiş bitümler için 135°C'de kinematik viskozitedir. Normal olarak bitümlerin PVN değerleri +0.5 ile -2.0 arasında olur ve +1 ve -1 arası iyi kabul edilir. PI'ye benzer şekilde, düşük PVN değerleri, bitümlerin sıcaklık duyarlılığının yüksek olduğunu gösterir [43].

4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME (FINDINGS AND EVALUATION)

Bu çalışmada, saf ve modifiye bitümler sırasıyla penetrasyon, yumuşama noktası, duktilite, dönel viskozimetre, termogravimetrik analiz ve özgül ağırlık deneylerine tabi tutulmuştur. Çalışmada ayrıca bağlayıcıların sıcaklık hassasiyetlerinin ölçüsü olan PI ve PVN değerleri penetrasyon ve yumuşama noktası değerleri kullanılarak hesaplanmış ve bütün sonuçlar değerlendirilmiştir.

4.1. Penetrasyon Deneyi Sonuçları (Penetration Test Results)

Saf ve modifiye bitümlü bağlayıcılara uygulanan penetrasyon deneyinden elde edilen sonuçlar Grafik 1'de verilmiştir.

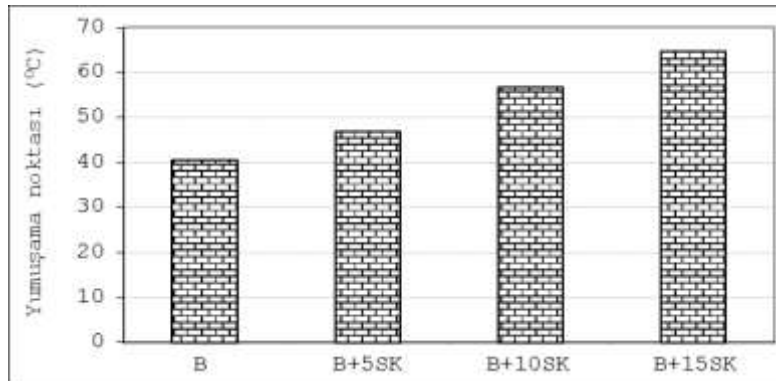


Grafik 1. Bağlayıcıların penetrasyon değişimi
(Graph 1. Penetration change of binders)

Grafik 1'de görüldüğü üzere saf B160/220 bağlayıcısına SK ilave edilmesi ile penetrasyon değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Bu azalma saf bağlayıcıya göre sırasıyla %27.9; %38.4 ve %54.7 olarak gerçekleşmiştir. Bu durum SK ilavesiyle bağlayıcıların sertliğinde önemli bir artış meydana geldiğini, bağlayıcıların sıcaklık hassasiyetinin düştüğünü ve bağlayıcı penetrasyon sınıfının değiştiğini göstermektedir. Ayrıca daha soğuk iklimlerde kullanılan yumuşak kıvamlı bağlayıcıların farklı SK ilavesi ile daha sıcak bölgelerde kullanılabileceğini ifade etmek mümkündür.

4.2. Yumuşama Noktası Deneyi Sonuçları (Softening Point Test Results)

Saf ve modifiye bitümlü bağlayıcılara uygulanan penetrasyon deneyinden elde edilen sonuçlar Grafik 2'de verilmiştir.

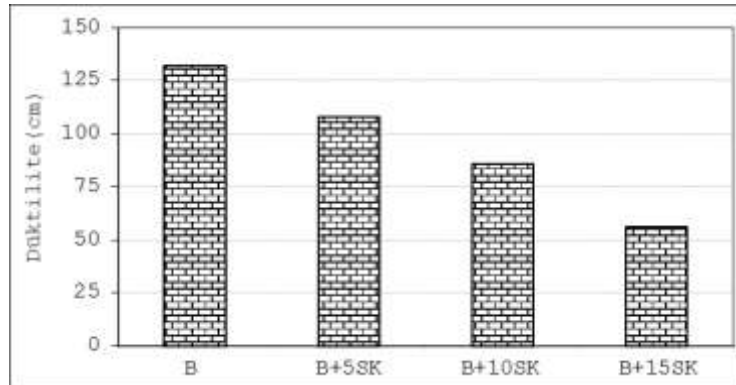


Grafik 2. Bağlayıcıların yumuşama noktası değişimi
(Graph 2. Softening point change of binders)

Grafik 2’de saf bağlayıcıya SK ilave edilmesi ile bağlayıcının yumuşama noktası değerlerinde önemli artışlar olduğu görülmektedir. Bu artış miktarlarının da saf bitüme göre sırasıyla %15.3, %39.9 ve %59.1 seviyesinde olduğu tespit edilmiştir. Bu durum SK ilavesi ile bağlayıcıların yüksek sıcaklık direncinin önemli oranda arttığını ve daha sıcak bölgelerde kullanılabileceğini göstermektedir.

4.3. Düktilite Deneyi Sonuçları (Ductility Test Results)

Saf ve modifiye bitümlü bağlayıcılara uygulanan penetrasyon deneyinden elde edilen sonuçlar Grafik 3’de verilmiştir.

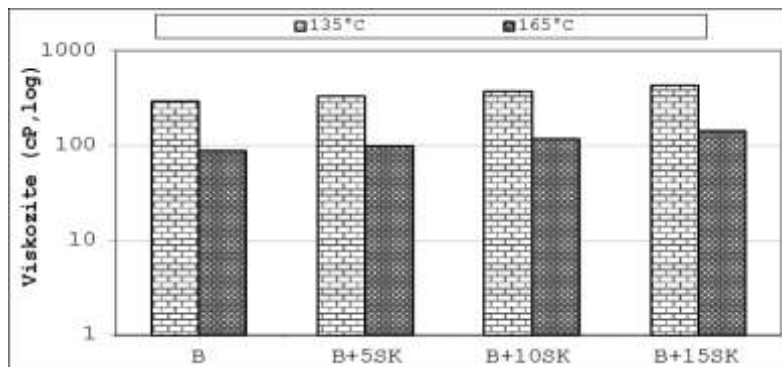


Grafik 3. Bağlayıcıların düktilite değişimi
(Graph 3. Ductility change of binders)

Grafik 3’e göre SK ilavesi ile bağlayıcıların düktilite değerlerinde azalma olduğu görülmektedir. Bu azalma miktarının saf bağlayıcıya göre sırasıyla %18.2, %34.9 ve %57.8 olduğu tespit edilmiştir. Bu durum SK ilavesi ile bağlayıcıların uzama kabiliyetlerinde ve kohezyon mukavemetlerinde azalma meydana geldiğini göstermektedir.

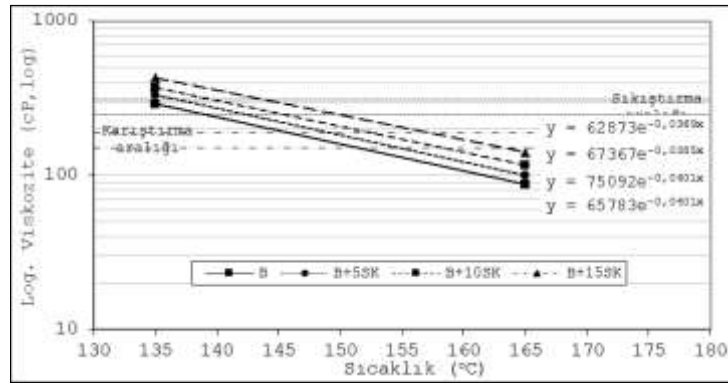
4.4. Dönel Viskozimetre Deneyi Sonuçları (Rotational Viscometer (RV) Test Results)

Saf ve modifiye bağlayıcıların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının tespiti için, bağlayıcılar 140°C ısıtılarak viskozimetre kabına 10gr dökülmüştür. Kap cihaza yerleştirildikten ve No:27 silindirik mili takıldıktan sonra deney, dönme hızı 20 devir/dakika hızla yapılmıştır. Bağlayıcıların 135°C ve 165°C sıcaklıklardaki ortalama viskozite değerleri arasındaki ilişki Grafik 4’de gösterilmiştir.

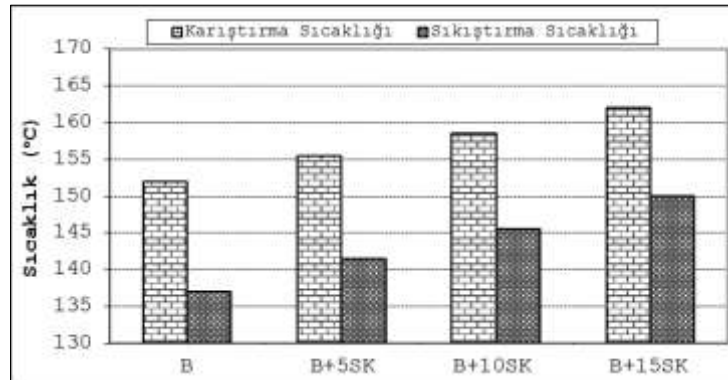


Grafik 4. Bağlayıcıların viskozite değişimi
(Graph 4. Viscosity change of binders)

Deney sonucuna göre B 160/220 bağlayıcısının 135°C ve 165°C sıcaklıklardaki viskozite değerleri sırasıyla 291.7 ve 87.5cP olarak bulunmuştur. Bu bağlayıcıya SK ilavesi ile viskozite değerlerinde 135°C sıcaklık için sırasıyla yaklaşık %14, %27 ve %47, 165°C sıcaklık için sırasıyla %14, %33 ve %62'lik artışlar meydana gelmiştir. Ancak, bağlayıcıların 135°C sıcaklıkta ölçülen viskozite değerlerinin 3000 cP'yi aşmaması olumlu bir özelliktir. Çalışmada, bağlayıcıların 135°C ve 165°C'deki viskozitelerinden yararlanılarak karışım için gerekli olan karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının tespiti için viskozite-sıcaklık grafiği çizilerek aşağıda gösterilmiştir (Grafik 5). Bu grafik yardımıyla bağlayıcıların ortalama karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları bulunarak arasındaki ilişki Grafik 6'da gösterilmiştir.



Grafik 5. Bağlayıcıların viskozite-sıcaklık değişimi
(Graph 5. Viscosity- temperature change of binders)

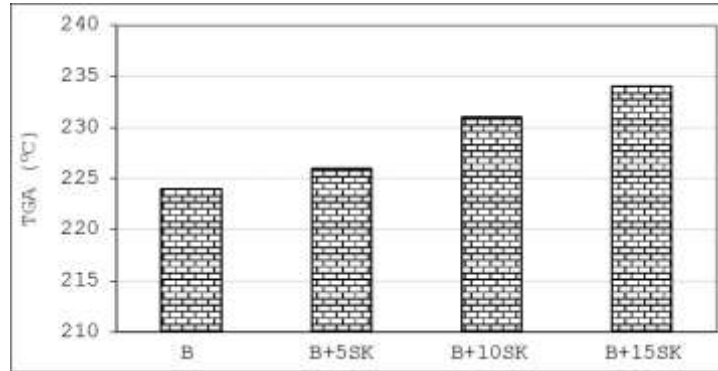


Grafik 6. Bağlayıcıların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları değişimi
(Graph 6. Mixing and compaction temperatures change of binders)

Deney sonucuna göre B 160/220 bağlayıcısının ortalama karıştırma ve sıkıştırma sıcaklığı sırasıyla 152°C ve 137°C olarak tespit edilmiştir. Ancak SK ilavesi ile bağlayıcıların karıştırma sıcaklıklarında B 160/220 bağlayıcısına göre sırasıyla %2, %4 ve %7, sıkıştırma sıcaklıklarında ise yaklaşık %3, %6 ve %9 oranında bir artış meydana gelmiştir. Bu verilere göre, bağlayıcıya SK ilave edilmesiyle katkı miktarına bağlı olarak, elde edilen modifiye bağlayıcıların sıcaklık hassasiyetinin önemli ölçüde düşürdüğü ve bağlayıcıların daha sert bir kıvama geldiği tespit edilmiştir. Bu durumda modifiye bağlayıcıların plentte ısıtılması esnasında SK oranına bağlı olarak saf bağlayıcıya göre daha fazla enerjinin harcanmasına sebep olacaktır.

4.5. Termogravimetrik Analiz Sonuçları (Thermogravimetric Analysis (TGA) Results)

Bitümlü bağlayıcıların bozulma başlangıç sıcaklıklarının tespit edilmesi amacıyla termal analiz, 10°C/dak ısıtma hızındaki bir TGA-50 termobalansı kullanılarak azot atmosferinde yapılmıştır. SK'nın başlangıç bozulma sıcaklığı 552°C olarak tespit edilmiştir. Çalışmada kullanılan saf ve SK katkılı bağlayıcıların bozulma başlangıç sıcaklıkları Grafik 7'de verilmiştir.



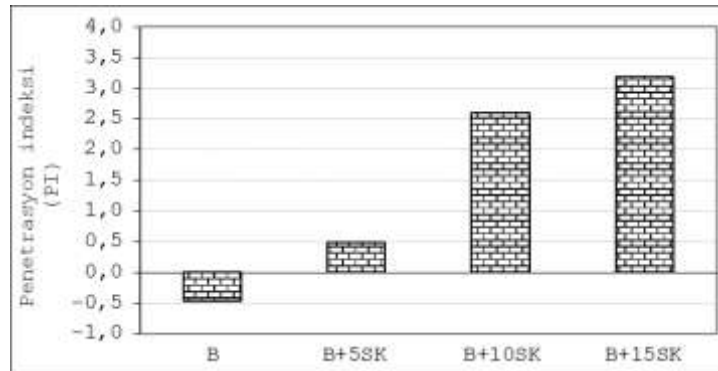
Grafik 7. Bağlayıcıların TGA değişimi
(Graph 7. TGA change of binders)

Grafik 7'de saf bağlayıcıya SK ilavesi ile bağlayıcıların başlangıç bozulma sıcaklıklarında artış olduğu görülmektedir. Bu artış miktarının saf bağlayıcıya göre sırasıyla %0.9, %3.1 ve %4.5 seviyesinde olduğu tespit edilmiştir. Bitümlü bağlayıcıların plentlerde ısıtılma sıcaklığının ortalama 160°C olduğu düşünüldüğünde bu sıcaklarla karşılaşmayacakları için bu durum çok olumlu veya olumsuz bir durum oluşturmayacaktır. Bu bağlayıcıların hangi sıcaklıkla karşılaştıklarında bünyelerinde bozulmanın başladığını göstermektedir.

4.6. Bitümlü Bağlayıcıların Sıcaklık Hassasiyeti (Temperature Susceptibility of Bituminous Binders)

4.6.1. Penetrasyon İndeksi Yöntemi Sonuçları (Penetration Index (PI) Method Results)

Saf ve modifiye bitümlü bağlayıcıların penetrasyon indeksi değerleri Formül 1 ve Formül 2 kullanılarak hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Grafik 8'te verilmiştir.

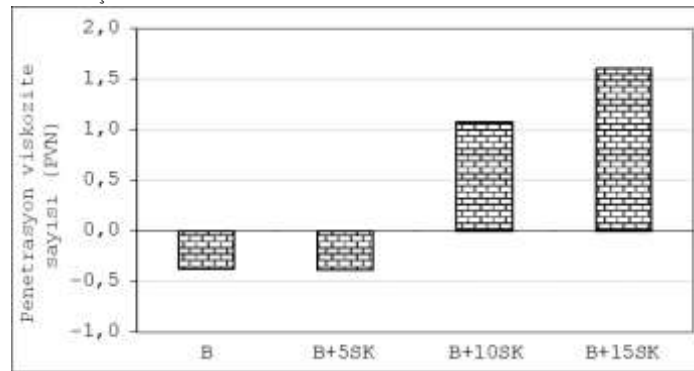


Grafik 8. Bağlayıcıların PI değişimi
(Graph 8. PI change of binders)

Grafik 8'e göre SK ilavesi ile bağlayıcıların sıcaklık hassasiyetinin bir ölçüsü olan PI değerlerinde sürekli bir artış olduğu görülmektedir. Saf ve modifiye bağlayıcıların PI değerleri sırasıyla -0,46, 0,49, 2,60 ve 3,18 elde edilmiştir. Bu durum yumuşak kıvamlı B 160/220 bağlayıcısının sıcaklık hassasiyetinin oldukça yüksek yani yüksek sıcaklıklardaki bölgelerde kullanılmaması gerektiğini ifade etmektedir. Ancak SK ilavesi ile elde edilen bağlayıcıların SK oranına bağlı olarak daha yüksek sıcaklıklarda kullanılabileceğini göstermektedir.

4.6.2. Penetrasyon Viskozite Sayısı Yöntemi Sonuçları (Penetration Viscosity Number(PVN) Method Results)

Saf ve modifiye bitümlü bağlayıcıların penetrasyon indeksi değerleri Formül 3 kullanılarak hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Grafik 9'da verilmiştir.

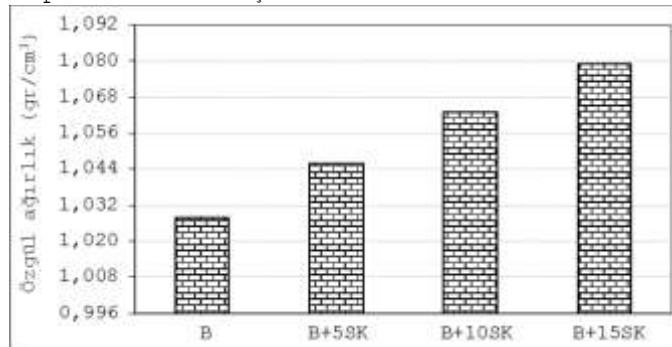


Grafik 9. Bağlayıcıların PVN değişimi
(Graph 9. PVN change of binders)

Grafik 9'da, bağlayıcıların sıcaklık hassasiyetinin bir diğer ölçüsü olan PVN değerlerine bakıldığında %5SK ilavesi ile bağlayıcının sıcaklık hassasiyetinin değişmediği ancak %10SK ve %15SK ilavesi ile bu hassasiyetin oldukça düştüğü görülmektedir. Bu görünüş PI değerleri ile PVN değerlerinin %10SK ve %15SK için paralellik gösterdiğini ifade etmektedir. PI ve PVN değerleri dikkate alındığında özellikle %10-15SK oranının bağlayıcıların sıcaklığa karşı duyarlılığını azalttığını yani bu bağlayıcıların daha yüksek sıcaklığa sahip bölgelerde kullanılabileceğini göstermektedir.

4.7. Bitümlü Bağlayıcıların Özgül Ağırlıkları (Specific Gravity of Bituminous Binders)

Saf ve modifiye bitümlü bağlayıcıların özgül ağırlıkları EN 15326 ya göre hesaplanarak sonuçları Grafik 10'da verilmiştir.



Grafik 10. Bağlayıcıların özgül ağırlık değişimi
(Graph 10. Specific gravity change of binders)



Grafik 10 incelendiğinde SK ilavesi ile bağlayıcıların özgül ağırlıklarında saf bağlayıcıya göre sırasıyla %1.8, %3.4 ve %5'lik artış meydana gelmiştir. Bu durum SK'un özgül ağırlığının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Ancak, grafikte görüldüğü üzere özgül ağırlıklar şartnamenin öngördüğü 1.0-1.1 aralığında bulunmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Siyah karbonun bitümlerin kıvamı ve sıcaklık hassasiyetlerine etkisinin araştırıldığı bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Penetrasyon deneyi sonuçlarına göre SK ilavesi ile bağlayıcılar daha sert bir kıvama gelmiş ve bağlayıcının penetrasyon sınıfı değişmiştir. Buna göre, %5 ve %10SK katkılı modifiye bağlayıcılar 100-150, %15SK katkılı modifiye bağlayıcısı ise 70-100 penetrasyon sınıfı bir bağlayıcı kıvamına gelmiştir. En etkili değişim %15SK ilavesi ile olmuştur.
- Yumuşama noktası deneyine göre SK ilavesi ile bağlayıcıların sıcaklık hassasiyetleri düşmüş ve sıcaklığa daha dirençli bir hale gelmiştir. En etkili değişim %59.1'lik artışla %15SK ilavesiyle olmuştur.
- Düktilite deneyine göre SK ilavesi ile bağlayıcıların bünyesinde sertleşme, uzama yeteneklerinde ve kohezyonlarında azalma meydana gelmiştir. En büyük azalma %57.8 ile %15SK ilavesiyle olmuştur.
- RV sonuçlarına göre SK oranına bağlı olarak karışımların viskozite değerlerinde önemli artış meydana gelmiştir. Bu artışlar 135°C ve 165°C sıcaklıklar için en fazla %15SK ilavesiyle olmuştur. Bağlayıcıların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları da benzer şekilde artış göstermiştir. Bu, bağlayıcıların SK ilavesi ile daha sert bir kıvama geldiğini ve sıcaklık hassasiyetinin azaldığını ancak yapım aşamasında daha fazla enerji gereksinimi olabileceğini göstermektedir.
- TGA sonuçlarına göre bağlayıcıların bozulma başlangıç sıcaklıklarının yüksek olduğu ve SK ilavesiyle daha da arttığı görülmektedir. Bu durum bağlayıcıların karıştırma esnasındaki sıcaklıklarda bozulmaya uğrayamayacağını göstermektedir.
- PI ve PVN sonuçlarına göre SK ilavesi ile yüksek sıcaklık hassasiyetine sahip bağlayıcıların bu hassasiyetlerinin çok önemli ölçüde düştüğü görülmektedir. Bu durumda sıcak iklimlerde kullanılmaması gereken bağlayıcıların SK ilavesi rahatlıkla kullanılabileceğini göstermektedir.
- SK katkılı bağlayıcıların özgül ağırlıkları, katkı miktarının artışına paralel olarak artış göstermiştir. Bu durum SK'un özgül ağırlığının fazlalığından kaynaklanmaktadır.

Sonuç olarak, SK ilavesi ile daha yumuşak kıvamlı bağlayıcıların daha sert bir kıvama geldiği, sıcaklık hassasiyetlerinin düştüğü, bağlayıcı sınıfının değişebildiği ve bu sebeple kaplamalarda meydana gelen tekerlek izi oluşumlarını önlemek veya azaltabilmek için SK'un iyi bir katkı malzemesi olduğu söylenebilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Lavin, P.G., (2003). Asphalt Pavements, Spon Pres, London and New York, pp:444.
2. Tunç, A., (2001). Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, Atlas Yayınevi, İstanbul, 840s.



3. Altaş, Ö.Y., (2002). Bitümlü Malzemeler ve Karışım Şartnamelerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, ss:150.
4. McGennis, R.B., Anderson, R.M., Kennedy, T.W., and Solaimanian, M., (1995). Background of Superpave Asphalt Mixture Design and Analysis, Publication No. FHWA-SA-95-003, pp:172.
5. Uluçaylı, M., (1998). Superpave ve Fransız Bitüm Şartnameleri, 2. Ulusal Asfalt Sempozyumu, ss:118-129.
6. Whiteoak, D., Read, J., (2003). The Shell Bitumen Handbook, Thomas Telford Lti., London, pp:464.
7. Abbas, A.R., (2004). Simulation of the Micromechanical Behavior of Asphalt Mixtures Using the Discrete Element Method, Doctor of Philosophy in Civil Engineering Washington State University, pp:180.
8. Carreau, P.J., Bousmina, M., and Bonniot, F., (2000). The Viscoelastic Properties of Polymer-Modified Asphalt, The Canadian Journal of Chemical Engineering, V:78, No:3, pp:495-502.
9. Yousefi, A.A., Ait-Kadi, A., and Roy, C., (2000). Composite Asphalt Binders: Effect of Modified RPE on Asphalt, Journal of Materials in Civil Engineering, V:12, No:2, pp:113-123.
10. Asfalt ve Uygulamaları, (2001). İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İSFALT Bilimsel Yayın No:1, İstanbul, ss:280.
11. Eribol, S., Orhan, F. ve Önal, M.A., (2002). Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Üstyapı Şube Müdürlüğü, ss:94.
12. Birliker, R.Y., (1998). Bitümlü Karışımlara Eklenebilecek Katkılar ile Bu Tip Bitümlü Karışımların Davranışlarının Araştırılması ve Bir Yorulma Eğrisi Tahmin Modeli, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, ss:208.
13. Isacsson, U. and Lu, X., (1995). Testing and Appraisal of Polymer Modified Road Bitumens-State of the Art, Materials and Structures, 28, 139-159.
14. Iqbal, M.H., (2004). Influence of Polymer Type and Structure on Polymer Modification of Saudi Asphalt, Master of Science Degree, King Fahd University of Petroleum & Minerals, Dhahran, Saudia Arabia, pp:142.
15. Whiteoak, D. ve Read, J., (2003). The Shell Bitumen Handbook, Thomas Telford Lti., London, pp:464.
16. Airey, G.D., (2003). Rheological Properties of Styrene Butadiene Styrene Polymer Modified Road Bitumens, Fuel, 82:14, pp:1709-1719.
17. Khattak, M.J. and Baladi, G.Y., (1998). Engineering Properties of Polymer-Modified Asphalt Mixtures, Transportation Research Record, Vol:1638, pp:12-22.
18. Roberts, F.L., Kandhal, P.S., and Brown, E.R., (2000). Hot mix asphalt materials, mixture design and construction, NAPA Education Foundation, Maryland, USA.
19. Roque, R., Birgisson, B., Tia, M., Kim, B., and Cui, Z., (2004). Guidelines for Use of Modifiers in Superpave Mixtures: Evaluation of Ground-Tire-Rubber (GTR), Final Report No. 4910-4504-718-12, University of Florida Department of Civil and Coastal Engineering, pp:81.
20. Park, T. and Lovell, C., (1996). Using Pyrolyzed Carbon Black (PCB) from Waste Tires in Asphalt Pavement (Part 1, Limestone Aggregate), Final Report No. FHWA/IN/JHRP-95/10, Joint Highway Research Project Civil Engineering Building, Purdue University, Indiana, pp:344.



21. Martin, K.G., (1962). Preliminary Microviscometer Studies of Carbon Black (Rubber) Bitumen Dispersions, Proceedings Australian Road Research Board, Vol:1, Issue:1, pp:895.
22. Fitzgerald, R.L., (2000). Novel Applications of Carbon Fiber for Hot Mix Asphalt Reinforcement and Carbon-Carbon Pre-forms, The Degree of Master of Science in Chemical Engineering Michigan Technological University, pp:70.
23. Rostler, F.S., White, R.M., and Dannenberg, E.M., (1977). Carbon Black as a Reinforcing Agent for Asphalt, AAPT, Vol:46, pp:376-410.
24. Terrel, R.L. and Rimstrington, S., (1980). Evaluation of wood lignin as a substitute or extender for asphalt, Report FHWA/RD-80/125, FHA, Washington DC.
25. Wallerga, B.A. and Gridley, P.F., (1980). Carbon Black Reinforcement of Asphalt in Paving Mixtures, Asphalt Pavement Construction, New Materials and Techniques, ASTM STP 724, J.A. Scherocman, Ed., American Society for Testing and Materials, pp:110-128.
26. Yao, Z. and Monismith, L.C., (1986). Behavior of Asphalt Mixtures with Carbon Black Reinforcement, AAPT, Vol:55, pp:564-585.
27. Button, J.W., Little, D.N., Kim, Y., and Ahmed, J., (1987). Mechanistic evaluation of selected asphalt additives, Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, Vol:56, pp:62-90.
28. Jennings, P.W., Pribanic, J.A.S., Smith, J., and Mendes, T.M., (1988). Predicting the Performance of Montana Test Sections by Physical and Chemical Testing, TRR 1171, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp:59-65.
29. Khosla, N.P., (1991). Effect of the Use of Modifiers on Performance of Asphaltic Pavements, TRB, Transportation Research Record, No.1317, Washington D.C., pp:10-22.
30. Yamaguchi, K., Sasaki, I., Nishizaki, I., Meiarashi, S., and Moriyoshi, A., (2005). Reinforcing Effects of Carbon Black on Asphalt Binder for Pavement, Journal of Japan Petroleum Institute, 48(6), 373-379.
31. Zaniewski, J.P. and Pumphrey, M.E., (2004). Evaluation of Performance Graded Asphalt Binder Equipment and Testing Protocol, West Virginia University, Morgantown, pp:109.
32. McGennis, R.B., Shuler, S., and Bahia, H.U., (1994). Background of Superpave Asphalt Binder Test Methods, National Asphalt Training Center Demonstration Project 101, Publication No. FHWA-SA-94-069, Asphalt Institute, Lexington, KY, pp:104.
33. Petersen, J.C., Robertson, R.E., Branthaver, J.F., and et.al., (1994). Binder Characterization and Evaluation Volume 4: Test Methods, SHRP-A-370, Strategic Highway Research Program National Research Council, Washington, DC, pp:197.
34. Warren, R.S., McGennis, R.B., and Bahia, H.U., (1994). Superpave Asphalt Binder Test Methods an Illustrated Overview, National Asphalt Training Center Demonstration Project 101, Publication No. FHWA-SA-94-068, Asphalt Institute, Lexington, pp:164.
35. Yildirim, Y., Solaimanian, M., and Kennedy, T.W., (2000). Mixing and Compaction Temperatures for Hot Mix Asphalt Concrete, Report No:1250-5, Center for Transportation Research, The University of Texas at Austin, Austin, pp:99.
36. Erdoğan, B., (1977). Termal Yöntemler, Gazi Üniversitesi, Ankara, ss:196.



37. Koral, A.F., (2012). Aynı Performans Seviyesine Sahip Bağlayıcılarla Hazırlanan Bitümlü Sıcak Karışımların Kalıcı Deformasyona Karşı Dayanımlarının ve Yorulma Ömürlerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
38. Firoozifar, S.H., Foroutan, S., and Foroutan, S., (2011). The effect of asphaltene on thermal properties of bitumen. Chemical Engineering Research and Design, 89(10), pp:2044-2048.
39. Galooyak, S.S., Dabir, B., Nazarbeygi, A.E., and Moeini, A., (2010). Rheological properties and storage stability of bitumen/SBS/montmorillonite Composites. Construction and Building Materials, Vol:24, pp:300-307.
40. Roberts, F.L., Kandhal, P.S., Brown, E.R., Lee, D.Y., and Kennedy, T.W., (1996). Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction, 2nd edition, NAPA Education Foundation, Lanham, Maryland, USA.
41. Yusoff, NIM, Shaw, M.T., and Airey, G.D., (2011). Modeling the linear viscoelastic rheological properties of bituminous binders. Construction and Building Materials, Vol:25, pp:2171-2189.
42. Jones, R., (1990). Modifiers for asphalt concrete. Air Force Engineering & Services Center, Tyndall Air Force Base, Report No. ESL-TR-88-32.
43. Wang, D., Wayoe, H.T., and Anderson, K.O., (1992). Low temperature properties of asphalt cements and mixtures used in the C-SHRP lamont test road in Alberta. R.No. ABTR/RD/RR-92/02. University of Alberta.



Hasan Oktay

Batman University, oktayhasan50@gmail.com, Batman-Turkey

Recep Yumrutaş

Gaziantep University, yumrutas@gantep.edu.tr, Gaziantep-Turkey

Zeki Argunhan, M. Zerrakki Işık

Batman University, Batman-Turkey

zeki.argunhan@batman.edu.tr; tuyman21@hotmail.com

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.1A29PB>

**BİNA DUVARLARININ TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN
KULLANILARAK BU ÖZELLİKLERİN ISI KAZANCINA OLAN ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Öz

Binaların ısıtılması ve soğutulması için tüketilen enerjinin gün geçtikçe artması ısı performansını yüksek olan inşaat malzemelerinin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Malzemelerin ısı performansı ise direk olarak bu malzemelerin termofiziksel özelliklerine bağlıdır. Her ne kadar literatürde termofiziksel özelliklerin ısı performans kriterleri olan ısı kazanç, zaman kayması gibi dinamik ısı karakterlerine olan etkileri incelenirse de, bu özelliklerin birbiri arasındaki ilişkiler göz ardı edilmiştir. Bu amaçla; her bir termofiziksel özelliğin ısı kazancına olan etkisini incelemek için bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Farklı bileşimli 102 beton duvar numunesi üretilerek, termofiziksel özellikleri ASTM ve EN standartlarına göre ölçülmüş ve aralarındaki ilişkiler yeni ifadelerle tanımlanmıştır. Daha sonra bu ilişkiler kullanılarak, Gaziantep’te sıcak bir günde herhangi duvar ve tavanda oluşan ısı kazancını hesaplamak amacıyla kompleks Fourier dönüşüm tekniği (CFFT) kullanılarak MATLAB tabanlı bir bilgisayar programı hazırlanmış ve elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Sonuç olarak, bu yapılan çalışma sayesinde herhangi bir termofiziksel özelliği belli olan duvarların ısı kazançları kolaylıkla hesaplanabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Duvar, Beton, Termofiziksel Özellikler,
Isı Kazancı, CFFT

**INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF BUILDING WALLS
ON HEAT GAIN UTILIZING THE RELATIONSHIPS BETWEEN EACH PROPERTY**

ABSTRACT

The growing concern about energy consumption of heating and cooling of buildings has led to a demand for improved thermal performances of building materials. Thermal performance of building structures strictly depend on thermophysical properties of the structures. Many investigations are presented in literature arguing to find the influence of each thermophysical property of building components on the dynamic thermal characteristics such as heat gain, time lag, while the properties have been assumed as independent of each other. The purpose of this study is to investigate the effect of each property on heat gain; therefore, 102 new concrete wall samples were produced, their properties were tested in accordance with ASTM and EN standards and expressions related between these properties are obtained. By using those expressions, heat gain values for each building structure is computed from the solution of transient heat transfer problem by Complex Finite Fourier Transform (CFFT) technique. A program based on the solution in MATLAB is prepared, and the results are discussed. Consequently, if one of the thermophysical properties of a building material is known, heat gain can be calculated easily for the selected walls.

Keywords: Walls, Concrete, Thermophysical Properties,
Heat Gain, CFFT

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İnsanın konforlu bir şekilde yaşayabilmesi için, temel olarak yaşadığı ortamın sıcaklığı, nemi ve havanın temizliği konfor şartlarında olması gerekir. Bu şartların en önemlilerinden biri olan yaşanılan ortamın sıcaklığı; yapıyı çevreleyen duvar ve tavanlar ile çevre sıcaklığı, güneş ışıınımı, rüzgar hızı gibi dış atmosferik şartlarla etkileşimi sonucu değişmektedir [1]. Değişen sıcaklığı konfor sıcaklığında tutulabilmesi, ortamın ısıtılması ya da soğutulması ile mümkündür. Yani; kışın dış hava sıcaklığı konfor sıcaklığından düşük olduğu için ortamın ısıtılması, yazın ise dış hava sıcaklığı konfor sıcaklığından yüksek ve güneş ışıınımı kışa göre yüksek olduğu için ortamın soğutularak, konfor sıcaklığına düşürülmesi gerekmektedir. Bu durumda, yaz aylarında yaşanılacak yerlerin konfor sıcaklığına düşürülmesi ise soğutma üniteleriyle mümkündür. Bir soğutma ünitesinin kapasitesinin belirlenmesi ise, o yerin soğutma yükünün hesaplanmasına bağlıdır. Güneş ışıınımı zamanla sürekli olarak değiştiğinden soğutma yükünün hassas bir şekilde hesaplanması oldukça karmaşık ve zaman alıcı görülmektedir. Aynı zamanda soğutma yükünü oluşturan bileşenler de oldukça fazladır. Bu bileşenler ise duvar, tavan, zemin, kapı ve pencerelerden, hava sızıntılarından, aydınlatma ve diğer elektrikli cihazlardan, insanlardan gelen ısı kazanımları olarak sayılabilir [2 ve 5]. Bu bileşenlerden duvar ve tavandan gelen ısı kazançları soğutma yükünün en büyük kısmını oluşturmaktadır. Diğer bileşenler oran olarak daha az olup, bilinen yöntemlerle hesaplanmaktadır.

Bina opak bileşenlerinin ısı performanslarını tanımlayabilmek amacıyla yapılan birçok çalışmada bu yapıların belirli zaman dilimlerinde ısı kazanç ve kayıplarının büyüklüğünü gösteren ısı kazancı, zaman kayması (TL), sönüm oranı (DF) ve ısı kütle gibi dinamik ısı karakterleri tanımlanmıştır. Vijayalakshmi ve ark. [6] opak duvar malzemelerinin güneş ışığı altında ısı davranışlarının etkisini incelemiş ve farklı duvar tiplerinin termofiziksel özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Dilmaç ve Eğriçan [7] mekanlarda ısı konforun sağlanması ve ısı yüklerinin karşılanmasında farklı malzemelerden yapılan duvar tiplerinin termofiziksel özelliklerinin etkilerini, konfor koşullarının sağlanmasında etkili olan faz kayması ve sönüm oranı ile ısı depolama özelliklerinin değişimini incelemişlerdir. Eğriçan ve Onbaşıoğlu [8] duvar yüzeyine gelen güneş ışıınının sinüzoidal değişim gösterdiğini varsayarak; homojen yapıdaki bir duvarın ısı depolama kapasitesini, dört farklı malzeme için maksimum ısı depolama kapasitesini sağlayacak duvar kalınlıklarını araştırmışlardır. Bu duvarların her biri için, zaman ve kalınlığın fonksiyonu olarak sıcaklık ve ısı akısı değişimlerini elde etmişlerdir. Asan ve Sancaktar [9] çalışmalarında yapı elemanlarında faz kayması ve sönüm oranı üzerine termofiziksel özelliklerin ve kalınlığın etkilerini incelemişlerdir. Ülgen [10] güneş ışıınının etkisi altında farklı duvar tiplerinin ısı tepkilerini teorik ve deneysel olarak araştırmıştır. Bir başka çalışmada ise [11] enerji verimli binalar için yapıların ideal termofiziksel özellikleri ve arasındaki ilişkiler tespit edilmeye çalışılmıştır. Buna ek olarak, yapılan birçok çalışmada yalıtım kalınlığının ve duvar katman dağılımının da ısı karakterlere olan etkisi incelenmiş olup bunların ısı kazancı ve kaybında büyük bir etkiye sahip olduğu ispatlanmıştır. [12 ve 15].

Yukarıda belirtilen çalışmalarda belirli bölgede verilen bir binanın dinamik ısı karakterleri; çevresel faktörler (hava sıcaklığı, güneş ışıınımı, rüzgar), tasarım parametreleri (yön, yapının güneş yutma ve yansıtma özelliği) ve termofiziksel özellikler tarafından

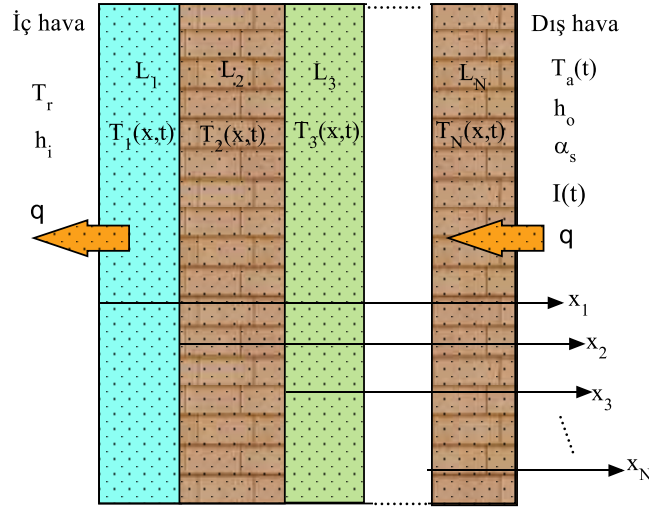
etkilendiği belirtilmiştir. Fakat çalışmaların çoğu bu parametrelerin büyük oranda yapı malzemesinin kendi termofiziksel özellikleri olan yoğunluk, ısı iletkenlik, kalınlık, özgül ısı ve ısı yayılım değerlerine bağlı olduğu ispat edilmiştir [9, 15 ve 21]. Bu özellikler ise bu yapıyı oluşturan malzemelerin mikro yapılarına, mineralojik bileşimlerine, oranlarına, içerdiği malzemelere, nem içeriğine ve boşluk yapısına bağlıdır [22]. Enerjinin daha verimli kullanılabilmesi için, uygun termofiziksel özelliklere sahip bina malzemelerinin kullanılması, ayrıca binaların ısıtılması ve soğutulmasında kullanılan ısıtma ve soğutma sistemlerinin kapasitelerinin doğru bir şekilde hesaplanması gerekmektedir.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARH SIGNIFICANCE)

Literatürde belirtilen birçok çalışmada, genel olarak kullanılan termofiziksel özellikler sabit olarak alınmakta ve birbirleri arasındaki ilişkiler ise dikkate alınmamakta ve irdelenmemektedir. Fakat malzemelerin özelliklerinin belirlenmesi hususunda yapılan birçok çalışmada bu özelliklerin aralarında direkt olarak bir ilişki olduğu ortaya konulmakta, bu ise yapıların ısı performanslarının incelenmesinde yanlış tanımlamalar doğurmaktadır [23 ve 26]. Bu çalışma yapıların termofiziksel özelliklerin ısı kazancına etkisini incelemek amacıyla bu özelliklerin birbirleri arasındaki ilişkiler dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Kaynak [23] ile verdiğimiz çalışmada 102 beton duvar numunesi üretilerek, termofiziksel özellikleri ASTM ve EN standartlarına göre ölçülmüş ve aralarındaki ilişkiler ifadelerle belirtilmiştir. Bu çalışmada ise; termofiziksel özelliklerin bina duvar yapılarının ısı kazancı değerlerine olan etkisini incelemek amacıyla geçici rejim ısı transferi probleminin çözümünü kullanan MATLAB tabanlı bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Dış duvarlar için geçici rejim ısı transferi problemi ise kompleks sonlu Fourier dönüşümü (Complex Finite Fourier Transform, CFFT) tekniği uygulanarak çözülmüş, faz kayması ve sönümle oranı değerlerinin değişimleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar grafiklerle verilerek tartışılmıştır.

3. ANALİTİK ÇALIŞMA (ANALYTICAL STUDY)

Bir duvardan geçen ısı; duvarı oluşturan katmanların kalınlıkları, termofiziksel özellikler, duvarın iç ve dış ortam sıcaklıkları ile ısı taşınım katsayıları, duvarın iç ve dış yüzey sıcaklıkları ile duvarın dış yüzeyine gelen güneş ışınımının fonksiyonu olarak ifade edilmektedir. Eğer duvarın iç yüzey sıcaklığı bilinirse, duvar iç yüzeyinden odaya ısı geçişi ısı taşınım katsayısı ve oda sıcaklığı kullanılarak hesaplanabilir. Bu yüzden, bu kısımda duvar iç yüzey sıcaklığını ve dolayısı ile ısı kazanım değerlerini hesaplayabilmek için analitik bir çözüm yöntemi sunulmaktadır. Bu bölümde, duvarlar için geçici rejimde ısı transferi probleminin periyodik çözümü verilmektedir. Duvarlar L_n kalınlığında, n katmandan oluşan çok katmanlı yapılardır. Çok katmanlı duvar yapıları şematik olarak Şekil 1'de gösterilmiştir. Problemden ısı geçişinin tek yönlü ve zamanla değiştiği esas alınmıştır.



Şekil 1. Çok katmanlı duvar yapılarının şematik olarak gösterimi.
(Figure 1. Schematic view of a multilayer wall or roof consisting of a finite number of layers)

Geçici rejimde periyodik ısı transferi problemi kısmi diferansiyel denklem, sınır ve periyodik şartlarla ifade edilmiştir.

$$\frac{\partial^2 T_n}{\partial x_n^2} = \frac{1}{a_n} \frac{\partial T_n}{\partial t} \quad 1 \leq n \leq N \quad (1)$$

$$h_i(T_i - T_1) = -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x_1} \quad \text{at } x_1=0 \quad (2)$$

$$-\lambda_{n-1} \frac{\partial T_{n-1}}{\partial x_{n-1}} (x_{n-1} = L_{n-1}) = -\lambda_n \frac{\partial T_n}{\partial x_n} (x_n = 0) \quad 2 \leq n \leq N \quad (3)$$

$$T(x_{n-1} = L_{n-1}) = T(x_n = 0) \quad 2 \leq n \leq N \quad (4)$$

$$-\lambda_N \frac{\partial T_N}{\partial x_N} = h_o [T_N - T_e(t)] \quad \text{at } x_N=L_N \quad (5)$$

$$T_e(t) = T_a(t) + \frac{\alpha_s I_T(t)}{h_o} - \frac{\varepsilon \Delta R}{h_o} \quad \text{at } x_N=L_N \quad (6)$$

(1) numaralı denklemde $a_n=k/\rho c$, ısı yayılım katsayısını göstermektedir. Eşitlik (6)' de T_e ve T_a ise sırasıyla saatlik güneş-hava ve dış hava sıcaklıklarını, I_T ise güneş ışınımı akısını göstermektedir. ΔR ise bir yüzeyden gökyüzü ve çevresine yansıyan uzun dalga ışınımı ile bir kara cisim tarafından dış hava sıcaklığında yayılan ışınım arasındaki farktır. Yatay düzlemlerde bu değer 63 W/m^2 iken dikey yüzeylerde pratikte sıfır olarak kabul edilmektedir [2]. Duvar yüzeylerine gelen güneş ışınımı duvardan geçen ısı akısına etki eden çok önemli parametredir. Güneş ışınımı; bir duvardan geçen ısı akısını hesaplarken esas olduğu için, bu değeri doğru bulmak da oldukça önemlidir. Bu nedenle, duvar yüzeyine düşen saatlik toplam güneş ışınımı, I_T değerlerini hesaplamak için Gaziantep'teki yerel meteoroloji istasyonu tarafından ölçülen yatay yüzeye gelen saatlik ışınım değerleri kullanılmıştır. Eğik bir yüzeye gelen saatlik toplam güneş ışınımı I_T ; doğrusal ışınım I_{bT} , yaygın ışınım I_{dT} ve yansıtılan ışınımın I_{rT} , toplamından oluşmaktadır.

$$I_T(t) = I_{bT}(t) + I_{dT}(t) + I_{rT}(t) \quad (7)$$

Aynı zamanda bu denklem Duffie ve Beckman [27]'de aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$I_t(t) = I_b(t)R_b + I_d(t) \frac{1 + \cos \beta}{2} + \rho_g I(t) \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad (8)$$

Bu formüldeki ρ_g yeryüzü yansımaya katsayısı olup, hesaplamalarda 0.2 olarak alınmıştır. R_b eğik yüzeye gelen yaygın ışınımın yatay yüzeye gelen ışınımına oranı olup, aşağıdaki denklemden hesaplanmıştır [27].

$$R_b = \frac{\cos \delta \sin \phi \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \gamma \sin \omega - \sin \delta \cos \phi \cos \gamma}{\cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta} \quad (9)$$

Eşitlik (1)-(6) denklemlerini içeren problemin formülasyonu boyutsuz değişkenlerle ve $T_n(x_n, t) = T_n(x_n, t+m)$ periyodik şartını sağlayarak boyutsuz forma dönüştürülmüştür. Daha sonra problemin boyutsuz formülasyona kompleks sonlu Fourier dönüşümü (CFFT) uygulanmıştır. Problemin çözümü aşağıdaki denklemlerle verilmiş olup, ayrıntılı çözümü ise kaynakça [27]'de bulunmaktadır. Denklem (1)-(6)'deki verilen çözümler CFFT'nin ters dönüşümü olarak yerine yazıldıktan sonra duvar içerisindeki saatlik sıcaklık dağılımı elde edilmiştir.

$$T_n(0, \tau) = \sum_{j=-M}^M T_{nj}(0) e^{i\omega_j \tau} \quad \omega_j = 2\pi j \quad (10)$$

burada M büyük bir sayı olup, genellikle 60 alındığında toplam için yeterli olmaktadır. Bu denklemde oda sıcaklığı, T_r olan bir binada ısı kazancı, q aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$q = h_i [T_n(0, \tau) - T_r] \quad \text{at } z_n=0 \quad (11)$$

4. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL METHOD-PROCESS)

Kaynak [23]'te verilen çalışmada farklı duvar tipleri üzerinde deneysel araştırmalar ve testler yapılarak, malzemelerin termofiziksel özellikleri arasındaki ilişkiler belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla farklı karışım tiplerine sahip, %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında hafif agrega ve katkı maddesi kullanılarak; toplamda 102 adet olmak üzere normal beton (NB), hava sürüklenmiş beton (HSB), pomza betonu (PB), genleşmiş perlit betonu (GPB) ve lastik betonu (LB) üretilmiş ve malzemelerin termofiziksel ve mekanik özellikleri ASTM ve EN standartlarına uygun olarak ölçülmüştür. Üretilen numunelerin özelliklerinin aralığı çok geniş olup hem yapısal hem de hafif uygulamalardaki kullanılan malzemelerin özelliklerini kapsamaktadır. Malzemelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri, yapıların hazırlanması ve uygulanan test yöntemleri Kaynak [23]'te ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Malzemelerin deney sonuçlarından elde edilen yoğunluk, özgül ısı, ısı kapasite, ısı iletkenlik ve yayılım katsayıları Tablo 1'de verilmiştir. Daha sonra malzemelerin termofiziksel özellikleri arasındaki ilişkilerin tespit edilmesi için testlerden elde edilen sonuçlar çok yönlü regresyon analizine tabi tutulmuş ve her bir termofiziksel özellik yoğunluğa bağlı olarak aşağıdaki ifadelerde gösterilmiştir:

$$\lambda = 0.0676e^{0.0015p} \quad (12)$$

$$c = 1427.1e^{-0.0003p} \quad (13)$$

$$a = 0.0757e^{0.0012p} \quad (14)$$

Elde edilen varyasyonlar daha önceki çalışmalarda farklı bina malzemelerinden elde edilen varyasyonlar ile büyük oranda uyumaktadır [24 ve 26]. Sonuç olarak deneysel çalışmalar, her bir termofiziksel özelliğin birbirine bağlı olduğu ve ısı performans hesaplamalarında

özelliklerin birbirinden bağımsız olarak kullanılmaması gerektiğini ortaya koymuştur.

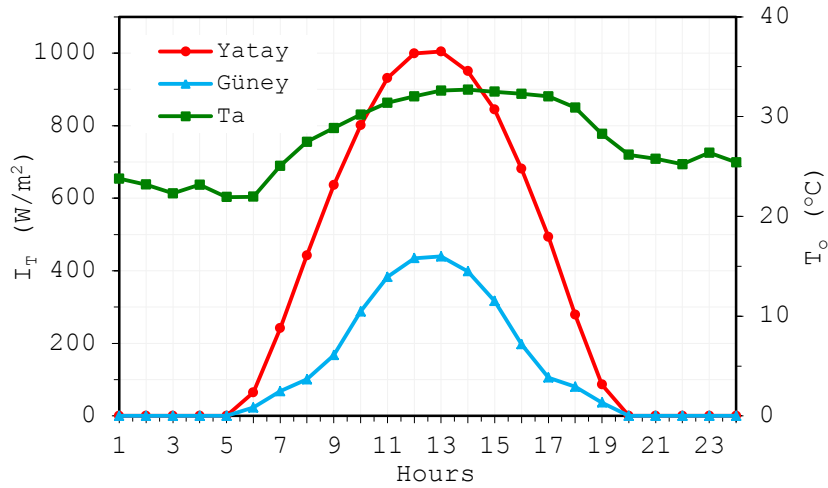
Tablo 1. Üretilen duvar beton numunelerinin termofiziksel özellikleri
(Table 1. Thermophysical properties of produced concrete walls)

Beton Duvar Tipi	Yoğunluk ρ (kg/m ³)	Isıl iletkenlik λ (W/mK)	Özgül Isı c (J/kgK)	Isıl Kapasite C (kJ/m ³ K)	Isıl Yayınım a (mm ² /s)
NB	2345.09	1.96	709.07	1662.83	1.18
HSB	2288.86	1.91	712.14	1630.00	1.17
GPB10	2139.09	1.51	725.48	1551.87	0.97
GPB20	1885.52	1.22	779.63	1470.01	0.83
GPB30	1559.44	0.70	865.69	1350.00	0.52
GPB40	1376.56	0.50	922.59	1270.00	0.40
GPB50	1168.63	0.36	966.95	1130.00	0.32
PB10	2005.34	1.54	772.42	1548.96	0.99
PB20	1851.02	1.29	818.52	1515.11	0.85
PB30	1559.95	0.76	903.87	1410.00	0.54
PB40	1400.72	0.54	949.51	1330.00	0.41
PB50	1329.97	0.41	991.80	1319.06	0.31
LB10	2244.30	1.72	721.83	1620.00	1.06
LB20	2148.07	1.44	737.70	1584.62	0.91
LB30	2033.93	1.22	761.20	1548.22	0.79
LB40	1874.62	0.89	808.93	1516.44	0.58
LB50	1644.98	0.62	868.16	1428.11	0.43

*Bu değerler her bir testte altı numunenin ortalaması alınarak elde edilmiştir

5. HESAPLAMA YÖNTEMİ (FORMULATION OF THE PROBLEM)

Bu çalışmada bina duvarlarının ısı kazanç değerlerinin sayısal hesaplamalarını yapmak için MATLAB bilgisayar programı kullanılmıştır. Bazı parametreler bu programa giriş parametreleri olarak kullanılmaktadır. Bu parametreler; meteoroloji istasyonlarından alınmış yatay bir yüzeye ait saatlik ısıtım değerleri, kalınlık, yoğunluk, özgül ısı, ısı iletkenlik ve yayılım katsayıları, iç ve dış ortam ile duvar yüzeyleri arasındaki birleşik ısı taşınım katsayıları, saatlik iç hava sıcaklığı ve iç tasarım hava sıcaklığıdır. Programda ilk olarak, yüzeylere gelen güneş ısıtımını ve güneş-hava sıcaklığı eşitlik (8) ve (6)'dan hesaplanmıştır. Daha sonra duvar iç yüzey sıcaklık ve ısı kazancı eşitlik (10) ve (11)'deki periyodik çözümden hesaplanmıştır. İklim verileri faz kayması ve sönüm oranlarının hesaplanmasında en önemli etkenlerden biridir. Bu nedenle, tasarım koşulları ve iklimsel verilerin bilinmesi gerekir. Oda iç hava tasarım sıcaklığı 24°C olarak alınmıştır. İç ve dış yüzeylerdeki birleşik ısı transfer katsayıları sırasıyla 8.3 ve 17W/m² olarak alınmıştır. Saatlik dış hava sıcaklıkları ile yatay yüzeye gelen güneş ısıtımını değerleri 10 yıl boyunca (2003-2013) Gaziantep Meteoroloji istasyonu (enlem:37.04°K, boylam:37.31°D) tarafından 21 Temmuz'da ölçülmüştür. Ölçülen bu değerlerin ortalamaları alınarak, Şekil 2'de gösterildiği gibi güney ve yatay duvar yüzeyine düşen güneş ısıtımını hesaplanmıştır. Güney yönüne bakan duvarlar güneş ısıtımını gün boyu aldığından, bu yöne bakan duvarların hesaplamalarda kullanılması en fazla ısı kazancına maruz kalmasından dolayıdır. Ayrıca duvar renklerinin güneş ısıtımının yutulması üzerinde önemli ölçüde etkileri vardır. Bu çalışmada duvarlar koyu renkli olarak düşünülmüş ve duvarın yutma katsayısı 0.884 olarak alınmıştır.

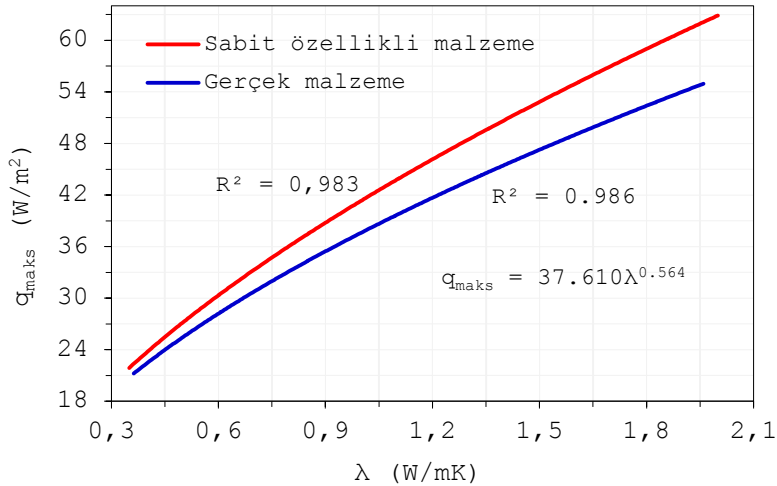


Şekil 2. Yatay ve Güney yüzeye bakan duvarlara gelen güneş ışınımı ve dış hava sıcaklığı

(Figure 2. The solar radiation incident on vertical surfaces and mean values of hourly ambient air temperature due to south direction)

6. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

Bu çalışmada, deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen duvar malzemelerinin termofiziksel özelliklerinin arasındaki ilişkiler kullanarak, her bir özelliğin duvarlardan gelen ısı kazancına olan etkisi incelenmiştir. Analizlerde genel olarak üç katmanlı 24cm kalınlığındaki (2cm sıva+20cm duvar+2cm sıva) güney yönüne dönük duvarlar kullanılmıştır. Hesaplamalarda her bir duvarın termofiziksel özelliklerine karşılık gelen 24 saatlik ısı kazancı değerleri elde edilerek, her bir duvar özelliği için en yüksek ısı kazancı esas alınmıştır. Bunun nedeni ise, klima kapasite seçimlerinin en yüksek ısı kazancı hesaplamalarına göre yapılmasındandır.



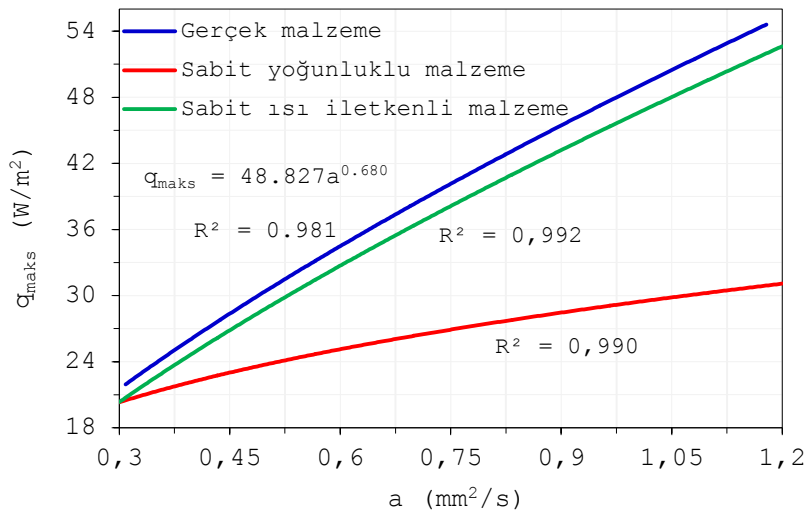
Şekil 3. Isıl iletkenliğin ısı kazancına etkisi

(Figure 3. The effect of the thermal conductivity on the peak heat gain)

Şekil 3'ten görüldüğü gibi gerçek ve ilişkileri sabit alınan duvar numunelerinin ısı iletkenlik katsayıları ile en yüksek ısı kazancı arasında doğru orantı olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak, ısı iletkenlik katsayısı duvardan geçen ısı kazancına güçlü bir etki etmekte ve ısı iletkenlik arttıkça duvardan gelen ısı kazancı

artmaktadır. Buna rağmen her iki malzeme türünde farklı davranışlar gözlemlenmiştir. Bunu sebebi gerçek malzemelerde ısı iletkenliğinin artışı ile birlikte eşitlik (12)' de gösterildiği gibi yoğunluğunda artmış olması buda özgül ısının azalmasına rağmen (eşitlik (13)) ısı yayılımını düşürmüş olmasından kaynaklanmaktadır. İlişkileri sabit alınan malzemelerde ise yoğunluğun ve özgül ısının sabit alınması ile ısı yayılımı sadece ısı iletkenliğine bağlı olarak artmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda incelenen test aralığında her iki malzeme türünde maksimum %19.28'lik hata farkı ortaya çıkmıştır. Buna ek olarak gerçek malzemelerde, ısı kazancı ile ısı iletkenlik arasındaki ilişki üstel bir fonksiyon ($q_{maks}=37.610\lambda^{0.564}$) olarak tanımlanmıştır. Isı iletkenlik değerleri 0.363-1.96W/mK arasında değiştiğinde, maksimum ısı kazancı da 20.273 ila 51.884W/m² arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Bu şekilden de görüldüğü üzere bir malzemenin ısı iletkenliği bilindiğinde ısı kazancının bu şekilden okunmaktadır. Bu çalışmanın böyle bir faydası bulunmaktadır. Isı yayılım katsayısı fiziksel bir özelliktir. Yüksek ısı yayılım katsayısına sahip olan malzemeler sıcaklık değişimlerine hızlı tepki vermekte, düşük ısı yayılım özelliğine sahip olan malzemeler ise sıcaklık değişimlerine çok yavaş tepki vermektedirler [26].

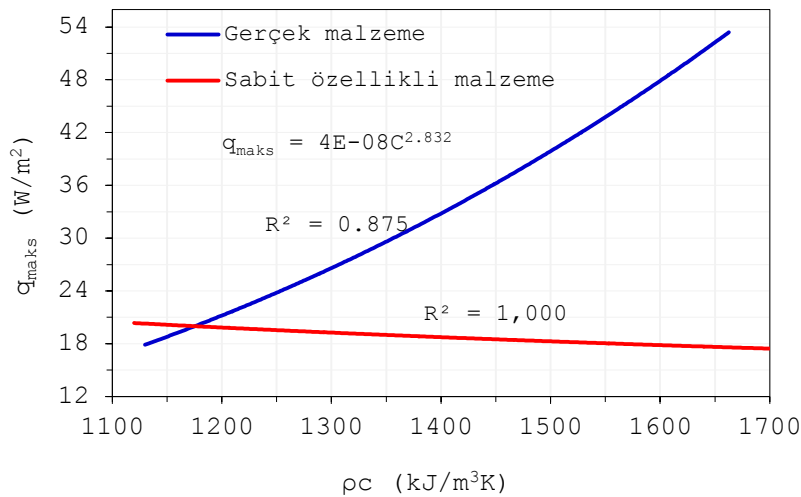
Eşitlik (14)'te ısı yayılımı ile yoğunluk arasındaki ilişki verilmiştir. Bu ifadeden ısı yayılımının yoğunluk ile doğru orantılı olarak önemli bir özellik olduğu görülmektedir. Aynı zamanda ısı iletkenlik ile yoğunluk doğru orantılı olduğunda, ısı yayılımı ile ısı iletkenlik arasında da doğru bir orantı olduğu buradan çıkarılmaktadır. Fakat bu durum bazı malzemeler için istisnadır. Düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip yalıtım malzemelerinden olan köpüklerin düşük yoğunluklarından dolayı ısı kapasitelerinin de diğer malzemelere nazaran daha düşüktür. Buda yalıtım malzemelerinin ısı yayılım katsayılarını da diğer malzemelere nazaran yüksek olmasına sebebiyet vermiştir. Bu yüzden bina yapılarında kullanılacak olan malzemelerin yoğunluklarının çok düşük olması düşük enerji depolama özelliklerine sahip olmalarına sebebiyet vereceğinden, enerji korunumu bakımından çok istenmeyen bir durum olarak ortaya çıkmaktadır. Binalarda düşük ısı yayılım özelliklerine sahip beton duvar malzemelerinin kullanılması bu enerji tüketiminin önüne geçecektir.



Şekil 4. Sabit ısı kapasite ve yoğunluktaki ısı yayılımının ısı kazancına etkisi

(Figure 4. The effect of the thermal diffusivity on the peak heat gain at constant heat capacity and density)

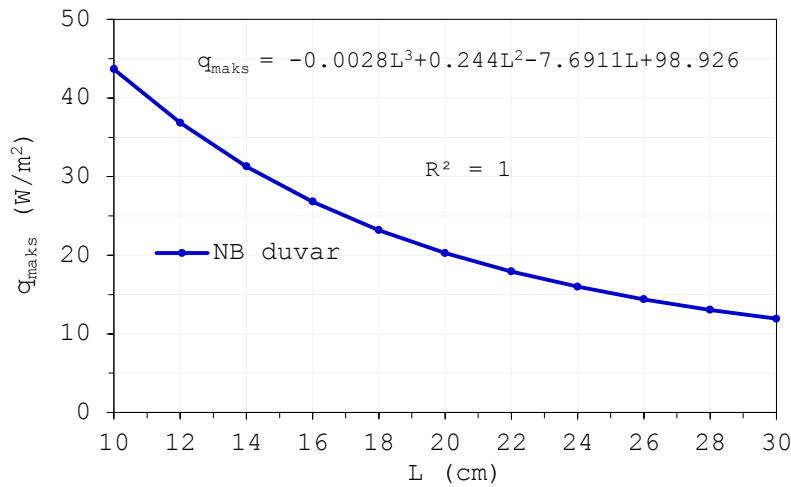
Beton duvarların ısıl yayınımlarının ısı kazancına olan etkisi Şekil 4'te görülmektedir. Bu şekilden görüldüğü gibi burada üç farklı durum ortaya çıkmaktadır: gerçek malzeme, yoğunluğu sabit alınan malzeme ve ısıl iletkenliğin bit alındığı malzeme. Gerçek malzeme ve yoğunluğu sabit alınan malzeme birbirine yakın davranış gösterse de ısıl iletkenliği sabit alınan malzemede artış giderek sabit bir hal almaktadır. Bu şekil özelliği sabit almanın getirdiği karmaşıklığı ortaya koymaktadır. Yapılan hesaplamalar sonucunda incelenen test aralığında her üç malzeme türünde maksimum %61.38'lik hata farkı ortaya çıkmıştır. Buna ek olarak gerçek malzemelerde, ısıl kazancı ile ısıl iletkenlik arasındaki ilişki üstel bir fonksiyonla ($q_{maks}=48.827a^{0.680}$) artmıştır. Sonuç olarak, belirtilen duvar tiplerinde, ısıl yayılım katsayısında %73.87'lik artış ısı kazancında %59.10'luk artışa neden olmuştur. Sonuçlar; ısı kapasite ve ısıl iletkenliğin bir fonksiyonu olan ısıl yayılım katsayısının çok önemli bir parametre olduğunu, duvar yüzeyinden gelen ısı kazancını ve dolayısı ile duvar sıcaklığını kontrol ettiği ispatlanmıştır. Binalarda düşük ısıl yayınıma sahip malzemelerin kullanılmasıyla klima boyutu ve maliyeti ile birlikte enerji kaybı ve ısıtma-soğutma işletme giderleri azalacak, Ülkemiz ekonomisine büyük katkı sağlanacaktır.



Şekil 5. Isı kapasitesinin ısı kazancına etkisi
(Figure 5. The effect of the heat capacity on the peak heat gain)

Pratikte, bina yapılarında ısı kapasitesi ($\text{kJ/m}^3\text{K}$) birim kalınlıktaki malzemelerin yoğunluğu ile özgül ısısının çarpımına eşittir. Şekil 5'te 24cm'lik duvarlarda, duvar ısı kapasitesinin duvardan gelen yüksek ısı kazancı arasındaki ilişki verilmektedir. Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi gerçek malzemeler ile ısı kazancı arasında doğru orantı olduğu, sabit özellikli malzemeler arasında ters orantı olduğu ortaya çıkmıştır. Fakat bu ilişki, ısıl iletkenlik ve ısıl yayılım gibi verilen diğer özellikler arasındaki ilişkilerden daha zayıftır ($R^2=0.875$). Zang ve ark. [19] ile Jin ve ark. [18] 'nın yaptığı çalışmalarda sabit özellikli malzemelerin paraleli olarak; malzemelerin ısı kapasitesinin artması ile ısı kazancı değerlerin azaldığı ve hatta büyük ısı kapasite değerlerinde ısı kazancı değerlerinin sabit kaldığı belirtilmiştir. Bu sonuçlar her ne kadar teorik olarak doğru görünse de gerçek sonuçlar değildir. Oktay ve ark. [23] ve diğer çalışmalarda gösterildiği gibi özgül ısı ile yoğunluk arasında ters orantı mevcuttur (eşitlik (13)). Tablo 1 incelendiğinde malzemelerin yoğunluğunun artması özgül ısısının azalmasına sebebiyet

vermesine rağmen ısı kapasitesini arttırdığı gözlenmiştir. Bu sonuç bize yoğunluktaki artışın özgül ısıdaki azalma oranından daha yüksek olduğunu göstermiştir. Buradan da duvar malzemelerinin yoğunluğunun artması ısı iletkenlik katsayısının artmasına sebebiyet verdiği aşıkardır (eşitlik (12)). Bu yüzden ısı kapasitesi ve ısı kazancı arasında her ne kadar diğerleri kadar baskın olmasa da doğru orantı olduğu görülmüştür. Örnek olarak, metaller yüksek yoğunluklarından dolayı ısı kapasiteleri yüksek, yalıtım malzemelerinin ise düşük yoğunluklarında dolayı ısı kapasiteleri çok düşüktür. Sonuçlardan yola çıkarak yapılan hesaplamalar sonucunda incelenen test aralığında her iki mazleme türünde maksimum %99.99'luk hata farkı ortaya çıkmıştır. Bu sonuç çalışmamızın ne denli önemli olduğunu birkez daha ortaya koymuştur.



Şekil 6. NB duvar kalınlığının ısı kazancı ile değişimi
(Figure 6. The distributions of the peak heat gain through the NC wall
in the case of varying wall thickness)

Şekil 6'da aynı termofiziksel özelliklere sahip olan duvarlardaki kalınlığın ısı kazancına etkisi gösterilmiştir. Bu durumdan duvar kalınlığının artmasının aynı özellikli malzemede ısı kapasitesini arttırdığı sonucuna kolaylıkla ulaşılmaktadır. Şekilden de görüldüğü gibi, kalınlık arttıkça ısı kazancında düzgün bir azalma meydana gelmektedir. Hatta duvar kalınlığı arttığında ısı kazancı sıfıra yaklaşmaktadır. Sonuçlar göstermiştir ki seçilen duvar tiplerinde kalınlığın 10cm'den 30cm'ye yükselmesi durumunda maksimum ısı kazancında yaklaşık %72.70'lik bir düşüşe neden olmaktadır. Bu durum özellikle ağır yapıların yüksek ısı kapasitelerinden dolayı yüksek hava sıcaklıklarında bu yapıların ısıyı hapsedmesi yapının sürekli serin kalmasını sağlamaktadır [29]. Fakat pratik uygulamalarda, özellikle düşük maliyetin korunduğu konutlarda bu durum pek tercih edilebilir strateji değildir. Çünkü bu yapıların kalınlıklarının belirli limitlerde olması gerekmektedir. Diğer yandan ülkemizin büyük çoğunluğunun deprem riski taşıyan bölgelerde bulunması göz önüne alındığında, yapıların kalınlıklarının artması ağırlıklarını arttırarak yapıya etkileyen deprem yükünü arttıracak ve dolayısı ile olası depremlerdeki yapı hasarları da meydana gelmesine sebep olacaktır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Bu çalışmada termofiziksel özelliklerin bina dış duvarlarının ısı performans parametreleri olan ısı kazancına olan etkisini



incelemek amacıyla geçici rejim ısı transferi probleminin çözümünü kullanan MATLAB tabanlı bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Bu çalışmanın sonucunda elde edilen en önemli bulgular ise aşağıda özetlenmiştir.

- Literatürde verilen çalışmalarda malzemelerin termofiziksel özellikleri arasındaki ilişkiler ihmal edilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ise, literatürde verilen bir çok çalışmanın gerçekçi olmadığını ispatlamıştır.
- Bu çalışmanın en yenilikçi tarafı, çalışma sayesinde herhangi bir termofiziksel özelliği belli olan duvar yapılarının ısı kazançları kolaylıkla bulunabilmektedir.
- Sonuçlardan yola çıkarak yapılan hesaplamalar sonucunda incelenen test aralığında gerçek mazleme ile özellikleri sabit alınan malzeme arasında maksimum % 99.99'luk hata farkı ortaya çıkmıştır. Bina yapılarının ısı kapasitelerinin artması literatürde belirtildiği gibi yapının ısı performans göstergelerinden olan ısı kazancını tek başına etkilemediği ortaya çıkmıştır.
- Malzemelerin kalınlığının ısı kazancı üzerinde çok büyük bir etkiye sahip olmasına rağmen, pratik uygulamalarda kalınlığın artması pek doğru bir çözüm değildir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Dağsöz, A.K., Işık, K. ve Bayraktar, K.G., (1999). Yapılarda Sıcak Etkisinin Getirdiği Problemlerin Isı Yalıtımı İle Çözümü ve Enerji Tasarrufu. IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, ss:329-339.
2. ASHRAE Handbook-fundamentals, (1993). Atlanta: ASHRAE.
3. McQuiston, F.C. and Parker, J.D., (1994). Heating, Ventilating, and Air Conditioning, 4th ed. New York: Wiley.
4. McQuiston, F.C. and Spitler, J.D., (1992). Cooling and Heating Load Calculation Manual, Second Edition, ASHRAE Inc., USA.
5. Threlkeld, J.L., (1998). Thermal Environmental Engineering. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
6. Vijayalakshmi, M.M., Natarajan, E., and Shanmugasundaram, V., (2006). Thermal Behaviour of Building Wall Elements. Journal of Applied Sciences. 15, pp:3128-3133.
7. Dilmaç, Ş. ve Eğriçan, N., (1994). Binalarda Isı Konforu Amaçlı Enerji Tüketimi Üzerine Malzeme Seçiminin Etkisi. Energy with All Aspects in 21st. Century Symposium. Bildiri Kitapçığı, İstanbul, ss:674-682.
8. Eğriçan, N. ve Onbaşıoğlu, H., (1993). Sinüzoidal Dış Etkiye Maruz Homojen Bir Duvarın Isıl Analizi. Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, Cilt:16, No:2, ss:13-22.
9. Asan, H. ve Sancaktar, Y.S., (1998). Effects of Wall's Thermophysical Properties on the Time Lag and Decrement Factor, Energy and Buildings V:28, pp:159-166.
10. Ülgen, K., (2002). Experimental and Theoretical Investigation of Effects of wall's Thermophysical Properties on Time Lag and Decrement Factor. Energy and Buildings, V:34, pp:273-278.
11. Zhang, Y., Lin, K., Zhang, Q., and Di, H., (2006). Ideal Thermophysical Properties for Free-cooling (or heating) Buildings with Constant Thermal Physical Property Material. Energy and Buildings, 38, pp:1164-1170.
12. Al-Sanea, S.A. and Zedan, M.F., (2011). Improving Thermal Performance of Building Walls by Optimizing Insulation Layer



- Distribution and Thickness for Same Thermal Mass. *Applied Energy*, 88, pp:3113-3124.
13. Asan, H., (2000). Investigation of Wall's Optimum Insulation Position from Maximum Time Lag and Minimum Decrement Factor Point of View. *Energy and Buildings*, 32, pp:197-203.
 14. Asan, H., (1998). Effects of Wall's Insulation Thickness and Position on Time Lag and Decrement Factor. *Energy and Buildings*, 28, pp:299-305.
 15. Ozel, M., (2014). Effect of Insulation Location on Dynamic Heat-Transfer Characteristics of Building External Walls and Optimization of Insulation Thickness. *Energy and Buildings*, 72, pp:288-295.
 16. Zhang, Y., Chen, Q., Zhang, Y., and Wang, X., (2013). Exploring Buildings' Secrets: The Ideal Thermophysical Properties of a Building's Wall for Energy Conservation. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 65, pp:265-273.
 17. Asan, H., (2006). Numerical Computation of Time Lags and Decrement Factors for Different Building Materials. *Building and Environment*, 41, pp:615-620.
 18. Jin, X., Zhang, X., Cao, Y., and Wang, G., (2012). Thermal performance evaluation of the wall using heat flux time lag and decrement factor. *Energy and Buildings*, 47, pp:369-374.
 19. Zhang, Y., Dua, K., Hec, J., Yanga, L., Lia, Y. and Lia, S., (2014). Impact factors analysis on the thermal performance of hollow block wall. *Energy and Buildings*, 75, pp:330-341.
 20. Kontoleon, K.J., Theodosiou Th.G and Tsikaloudaki, K.G., (2013). The Influence of Concrete Density and Conductivity on Walls' Thermal Inertia Parameters under a Variety of Masonry and Insulation Placements. *Applied Energy*, 112, pp:325-337.
 21. Barrios, G., Huelasz, G., Rechtman, R., and Rojas, J., (2011). Wall/roof Thermal Performance Differences between Air-conditioned and Non-air-conditioned Rooms. *Energy and Buildings*, 43, pp:219-223.
 22. Khan, M.I., (2002). Factors Affecting the Thermal Properties of Concrete and Applicability of its Prediction Models, *Building and Environment*, 37, PP:607-614.
 23. Oktay, H., Yumrutas, R., and Akpolat, A., (2015). Mechanical and Thermophysical Properties of Lightweight Aggregate Concretes, *Construction and Building Materials*, 96, pp:217-225.
 24. Unal, O., Uygunoglu, T., and Yildiz, A., (2007). Investigation of Properties of Low-Strength Lightweight Concrete for Thermal Insulation, *Building and Environment*, 42, pp:584-590.
 25. Canakci, H., Demirboga, R., Karakoc, B., and Sirin, O., (2007). Thermal Conductivity of Limestone from Gaziantep (Turkey), *Building and Environment*, 42, pp:1777-1782.
 26. ACI Committee 122, (2002). *Guide to Thermal Properties of Concrete and Masonry Systems*, American Concrete Institute, ISBN 9780870310850.
 27. Duffie, J.A. and Beckman, W.A., (1991). *Solar Engineering of Thermal Process*, Wiley: New York.
 28. Yumrutas, R., Unsal, M., and Kanoglu, M., (2005). Periodic Solution of Transient Heat Flow through Multilayer Walls and Flat Roofs by complex finite Fourier transform technique, *Building and Environment*, 40, pp:1117-1125.
 29. Gagliano, A., Patania, F., Nocera, F., and Signorello, C., (2014). Assessment Of The Dynamic Thermal Performance of massive buildings, *Energy and Buildings*, 72, pp:361-370.



Mehmet Zerrakki Işık, Hüseyin Aydın, Hasan Oktay
Batman University, Batman-Turkey
zeki.argunhan@batman.edu.tr; huseyyinaydin@gmail.com;
oktayhasan50@gmail.com

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.1A30PB>

**RCCI YANMALI MOTORDA ASPİR BİYODİZELİ KARIŞIMLARI VE BENZİN
KULLANIMININ ORTA YÜKLERDE PERFORMANS VE EMİSYON ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ**

ÖZ

Dizel bir jeneratörde RCCI uygulamasının performans ve emisyonlar üzerine etkileri, yüksek reaktiviteli (birincil yakıt) yakıt olarak aspir yağı biyodizeli ve dizel karışımları, düşük reaktiviteli yakıt olarak benzin kullanımıyla incelenmiştir. RCCI uygulaması ikincil bir yakıt enjeksiyon sisteminin emme manifolduyla irtibatlandırılmasıyla sağlanmıştır. Benzin RCCI uygulama oranı motorun toplam kütleli yakıt tüketiminin %40'u ve %60'si oranında olup, PFI olarak önceden karıştırılmıştır. Testler dizel-jeneratör grubunun tam gücünün %50'ine karşılık gelen ve orta yükleme sayılacak sabit bir 7.2kW motor gücü ve 1500devir/dakikalık bir motor devri gerçekleştirildi. Dizel ile biyodizel karışımının amacı, yanmanın başlamasını kolaylaştırmak için birincil yakıtın reaktivitesini arttırmaktır. Motor alanındaki çalışmaların için en önemli performans ve emisyon parametreleri derinlemesine incelenmiş ve sonuçlar sunulmuştur. RCCI uygulamasında toplam yakıt tüketimi artmış, NO_x emisyonları önemli ölçüde azalırken, CO ve HC emisyonları düşük oranda artmıştır.

Anahtar Kelimeler: RCCI, Aspir Biyodizeli, Benzin,
Dizel Jeneratör, Biyodizel

**INVESTIGATION OF PERFORMANCE AND EMISSION CHARACTERISTICS OF A RCCI
COMBUSTION ENGINE FUELED WITH SAFFLOWER BIODIESEL BLENDS AND GASOLINE
ON MEDIUM LOADS**

ABSTRACT

In this study, the effects of RCCI application on engine performance and emissions in a diesel generator are investigated by using safflower oil biodiesel and diesel mixtures as high reactivity fuel (primary fuel) and gasoline as low reactivity fuel. The RCCI application is provided by the connection of a secondary fuel injection system with the intake manifold. The gasoline RCCI application rate is 40% and 60% of the total mass fuel consumption of the engine and is pre-mixed as PFI. The tests were carried out corresponding to 50% of the full power of the diesel-generator, at a constant engine velocity of 7.2kW and 1500rpm which would be considered a medium load. The purpose of the diesel and biodiesel mixture is to increase the reactivity of the primary fuel to facilitate the start of the combustion. The performance and emissions, which are the most important parameters of the engine field work, have been thoroughly investigated and the results were presented. In RCCI application, in mass fuel consumption partial increases were determined. While the RCCI ratio increases, the NO_x emissions significantly decreased, the CO and HC emissions increased at low rates and the efficiency also increased.

Keywords: RCCI, Safflower, Gasoline, Diesel Generator, Biodiesel

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sanayi ve teknolojiadaki gelişmeler, sayıları her gün biraz daha artan endüstriyel kuruluşlar ve motorlu taşıtlar bir yandan insan yaşamını kolaylaştırırken, diğer yandan çevre kirliliğini de beraberinde getirmektedir. Taşıtlardan atmosfere bırakılan emisyonlar, oluşan hava kirliliğinin önemli sebeplerinden biri olarak bilinmektedir. Bu nedenle, taşıtların atmosfere bıraktığı emisyonların, taşıtlar için düzenlenmiş çeşitli emisyon standartları ile sınırlandırılması amaçlanmıştır. Fosil yakıtların hava ile yakılması sonucunda yanma ürünü olarak açığa çıkan karbondioksit (CO_2) ve su (H_2O) gibi temel yanma ürünlerinin yanında oluşan kirlетici bileşenlerin önemli olanları karbon monoksit (CO), yanmamış hidrokarbonlar (HC) ve azot oksit (NOx) bileşenleridir (Gümüş, 2012). Günümüz motor çalışmaları alternatif kaynakların kullanımıyla verimlilik, konfor, güç ve çevrecilik faktörlerini ortak bir paydada buluşturmayı hedeflemektedir. Yakıtlar saf veya diğer yakıtlarla belli oranlarda karışım olarak kullanılmaya çalışılmaktadır. Teknolojik ilerlemeyle gelişmiş kontrol sistemlerinin uygulanmasıyla farklı motor çevrimleri ve uyumlu yakıtlar bir arada kullanılmaya başlanmıştır. Burada amaç yakıtların olumlu yönlerinin belli oranlarda bir arada kullanılarak istenilen hedefe ulaşmaktır. Basitçe çift yakıt sistemi iki yakıtın eşzamanlı olarak yanması olarak tanımlanabilir. Çift yakıt sisteminde, gerekli modifikasyonlarla farklı türevdeki yakıtların aynı çevrimde kullanımı söz konusudur. Amaç verimlilik, güç artışı ve düşük emisyon sağlamak olup, farklı yakıtların uygun özelliklerinden faydalanılmaya çalışılır. Şekil 1'de örnek bir çift yakıt uygulaması belirtilmiştir.



Şekil 1. Çift yakıt sistemi şematik görünüşü
(Figure 1. Schematic diagram of dual-fuel system)

Düşük sıcaklıklı yanma (LTC) pistonlu içten yanmalı motorların verimliliğini maksimize etmenin termodinamik bir yoludur. Maksimum teorik verimi belirlenmesi ve daha sonra silindir içerisinde çeşitli tersinmezliklerin oluşturulması üzerine inşa edilmiştir. Düşük sıcaklık yanmada iş üretimi için silindir süreçlerinde oluşan tersinmezliklerin toplamı en aza indirilmeye çalışılır. Alevin yayılmasına karşı, seyreltilmiş hava yakıt karışımlarının kendi kendine ateşleme yoluyla hacimsel enerji salınımı sırasında silindiri düşük sıcaklıklarda tutmaktır. LTC kendiliğinden yanmaya bağlı olduğundan, onu elde etmek için kullanılan yöntemler kullanılan yakıtın kendi kendine ateşlenebilme özelliklerine bağlıdır. Başlangıçta düşük sıcaklık yanma (LTC) NOx ve partikül madde (PM) emisyonlarını azaltmak için ele alınmıştır. Ancak şimdi emisyonun azaltılması için minimum yakıt tüketimi hedefidir.



Reaktivite Kontrollü Sıkıştırılmalı Ateşleme (RCCI) motorin ve benzin gibi yakıtların silindirde harmanlanması yoluyla faaliyet gösteren bir kendiliğinden tutuşmalı yanma stratejisidir. Düşük reaktiviteli yakıt (benzin gibi) emme manifolduna püskürtmeli sistem (EMP, PFI) ile, yüksek reaktiviteli yakıt (dizel gibi) direkt enjeksiyon (DI) ile silindir içine ayrı enjeksiyon sistemleriyle gönderilir. Böylece, düşük reaktiviteli ve yüksek reaktiviteli yakıtların miktarları değiştirilerek yanmayı kontrol etmek daha mümkün olmaktadır. Benajes ve ark. (2014) yaptıkları deneysel ve sayısal çalışmada, düşük ve yüksek reaktivite yakıt olarak sırasıyla benzin ve mazot kullanarak, RCCI yanma süreçlerini anlamaya çalışmışlardır. Yanma dizel enjeksiyonun otomatik ateşlemesi ile başlamış ve hava ve benzin girişi olmuş, ardından sıcaklık ve basıncın yükseldiği, yanma odasının fakir dizel ve benzinli katmanları boyunca alev yayılmasının devam ettiği belirlenmiştir. Geleneksel dizel yanmaya kıyasla NO_x açısından hafif bir azalma, kurum açısından çok önemli bir azalmanın RCCI yanma ile elde edildiğini bildirmişlerdir. Kokjohn (2011) yaptığı çalışmada, RCCI kavramını temiz yanma ve yüksek verim elde etmek için gelecek vaat eden bir yöntem olarak belirtmişler. RCCI motoru deneylerini ağır test motorunda belli yük aralıklarında yapmış ve geleneksel dizel motor verileriyle kıyaslamışlar. Spesifik olarak RCCI yanmalı motorun geniş bir yük aralığı üzerinde çalışabilir olduğunu ve NO_x ve kurum emisyonlarının çok düşük seviyelerde olduğunu, basınç artışı hızının, vuruşu şiddetinin ve verimin uygun seviyelerde olduğunu belirtmişlerdir

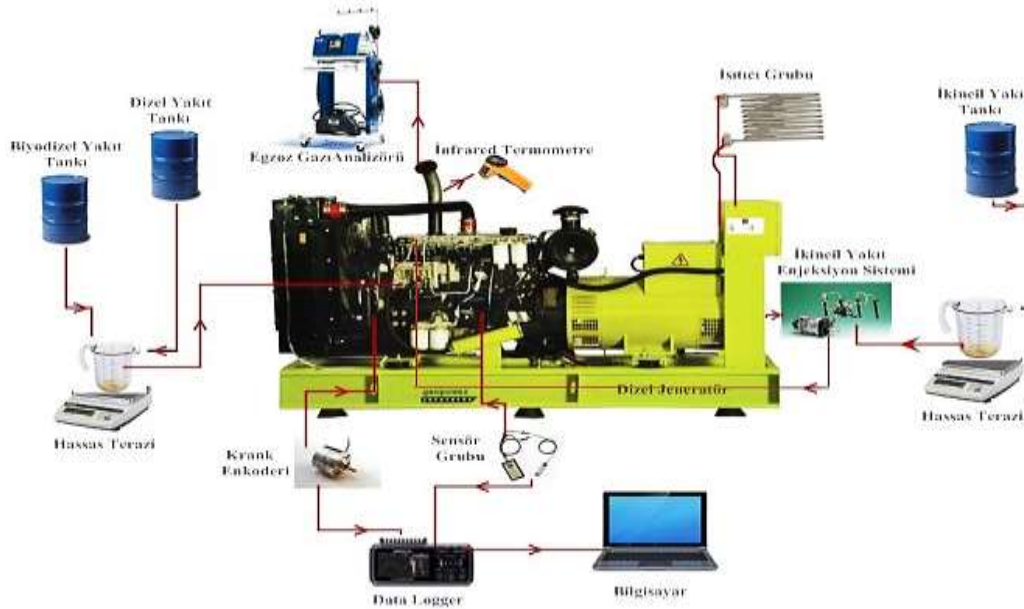
2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışma kapsamında RCCI (reaktivite kontrollü sıkıştırılmalı ateşleme) uygulamasının dört silindirli, direkt enjeksiyonlu (DI) bir dizel motorda yanma etkileri detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Deneyler motoru yüklemek amacıyla jeneratör grubunda uygulamış ve düşük reaktiviteli yakıt olarak benzin emme manifolduna farklı oranlarda püskürtülmüş, yüksek reaktiviteli yakıt olarak dizel ve aspir yağından elde edilen biyodizel ve bunların karışımları direkt enjeksiyon (DI) ile silindir içine ayrı enjeksiyon sistemleriyle gönderilerek motorun performans karakteristikleri ile egzoz emisyonlarındaki etkiler deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmayla verimlilik ve çevrecilik bakımından RCCI sistem uygulamasının etkinliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL METHOD)

Biyodizel, yenilenebilir olması ve egzoz emisyonlarında fosil yakıtlarına göre daha az hidrokarbon (HC), karbon monoksit (CO), kükürt dioksit (SO₂), civa (Hg) ve partikül içermesi sebebiyle alternatif yakıt olarak tercih edilmektedir. Ayrıca, büyük bir ölçekte üretilmesi durumunda, fosil yakıtlara olan talebi azaltacağından, fosil yakıt bedellerini azaltacak olması ve tarımsal hammaddeler için yeni bir pazar oluşturacak olması da biyodizelin tercih edilme gerekçeleri arasındadır (Aksoy, 2010). Çalışmada Aspir (safflower) yağı temin edilmiştir ve biyodizel yapımında kullanılmıştır. Deney düzeneği basitçe Şekil 2'de görülen prensiple oluşturulmaya çalışılmıştır. Sistemde temeli dizel jeneratör grubu oluşturmaktadır. Yanma anali için Febris yazılımı kullanılmış, temin edilen yanma analiz yazılımı için gerekli krank açısı enkoderi ve basınç sensörünün bağlantısı yapılmış, motor bilgileri ve gerekli kalibrasyonlar yapılarak bilgisayar üzerinden kontrole hazır hale getirilmiştir. Mevcut ana yakıt sistemine ek olarak ikincil yakıt sistemi eklenerek yakıt tankları dış haznelere alınarak hassas teraziler ile

irtibatlandırılmıştır. Motor yüklemeleri için eşdeğer ısıtıcı grupları temin edilerek kademeli olarak kontrol edilecek şekilde bağlantıları yapılmıştır. Egzoz emisyon değerleri için analiz cihazı, sıcaklık kontrolleri için infrared sıcaklık ölçerle sistem tamamlanmıştır.



Şekil 2. Deney düzeneğinin şematik görünüşü
(Figure 2. Schematic diagram of experimental setup)

Deneyler temin edilen dizel jeneratör grubunda gerçekleştirilmiştir. Grubun özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

Tablo 1. Deney motor özellikleri
(Table 1. Specifications of the diesel engine)

Üretici-model	NW-K22
Motor tipi	Ağır Hizmet -Dizel
Alternatör tipi	fırçasız senkron
Çıkış Gücü @1500rpm	18kW
Soğutma Sistemi	Su soğutmalı
Emme Sistemi	Doğal emişli
Motor Tipi	4DW81-23D
Silindir çapıxstrok(mm)	85x100
Hacim(cm ³)	2400
Silindir sayısı	4
Yanma sistemi	Direk Enjeksiyonlu
Sıkıştırma oranı	17:1
Enjektör Sayısı	4

Deney düzeneğinde öncelikli olarak Febris yazılımıyla ilgili parçaların temini ve montajı gerçekleştirilmiştir. Yazılımın montajı ve kontrolleri yapıldıktan ikincil yakıt sisteminin montajı için jeneratör milinden alınan hareket dişliler vasıtasıyla temin edilen tek nokta enjeksiyon sistemine (5 bar) iletilmiş sistem emme manifolduyla irtibatlandırılmıştır. İkincil yakıt püskürtme miktarının ayarlanması için burçlar üretilmiş, torna ve freze tezgâhlarında temas yüzeylerinde ölçülendirme yapılmıştır. İkincil yakıt pompası yaptırılan kapalı hazne içine alınarak sızdırmazlığı sağlanmış, ana yakıt tankı olarak kullanılmak üzere benzer kap temin edilerek her iki

ünite sistemle irtibatlandırılmıştır. Yakıt tüketimlerinin hesaplanması için iki adet hassas terazi (Dikomsan 0.5gr hassasiyet) temin edilmiştir. Sistemde motorda yükleme yapmak için jeneratörden enerji çekilmesi amacıyla eşdeğer dirençli elektrikli ısıtıcı gruplar temin edilmiştir. Egzoz emisyonlarının ölçümü için CAPELEC CAP 3200 cihazı temin edilmiş ve kalibrasyonu yaptırılmış, problemlerin periyodik temizlenmesi için küçük hava kompresörü temin edilmiştir. Cihaz ve özellikleri aşağıda belirtilmiştir. Motor jeneratör grubundan enerji çekimi için eşdeğer ısıtıcı rezistans grupları kullanılmıştır. Sistemde çekilen akım ve voltaj değerleri dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Deney düzeneğinde motor performans parametrelerinin belirlenmesi için yakıt tüketim değerleri hassas terazilerden alınmıştır. Bu amaçla yakıt değişimlerinde motor çalışma şartlarının istikrarlı hala gelmesi için en az 5 dakikalık bekleme süresi sonrasında 1-3-5 dakikalık yakıt tüketim değerleri belirlenmiş ve elde edilen ortalama değer aşağıdaki formülle kg/h olarak yakıt tüketim değeri kabul edilmiştir. Bu uygulama ikili yakıt uygulamalarında toplam yakıt tüketim esas alınarak kullanılmıştır.

$$B = \frac{m_y}{t} * \frac{60}{1000} \text{ (kg/h)}$$

m_y : Ölçülen yakıt miktarı (gr)

t : zaman (dak)

B : yakıt tüketimi (kg/h)

Özgül yakıt tüketiminin hesabında tüketilen yakıt miktarı motordan çekilen güç dikkate alınarak, aşağıdaki formülle belirlenmiştir.

$$b_e = \frac{m_y}{p_e} \text{ (gr/kWh)}$$

Efektif verim,

$$\eta_e = \frac{3.6 * 10^6}{b_e * H_u} \text{ formülüyle hesaplanır.}$$

H_u : yakıtın ısı değeri (kJ/kg)

Isıl değerlerin ortalama değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Test Yakıtlarının ısı değerleri
(Table 2. Heating Values of test fuels)

Yakıt	Isıl Değer (kJ/kg)
Benzin	43500
Motorin	42300
Aspir	39000
B10	41970
B20	41640
B50	40650
Etanol	26825

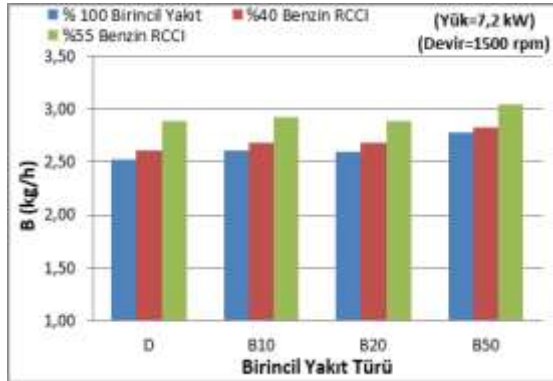
Karışımların ısı değerleri aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$H_u = \frac{(m_y)_1 * (H_u)_1 + \dots + (m_y)_n * (H_u)_n}{m_{y_1} + \dots + m_{y_n}} \text{ (kJ/kg)}$$

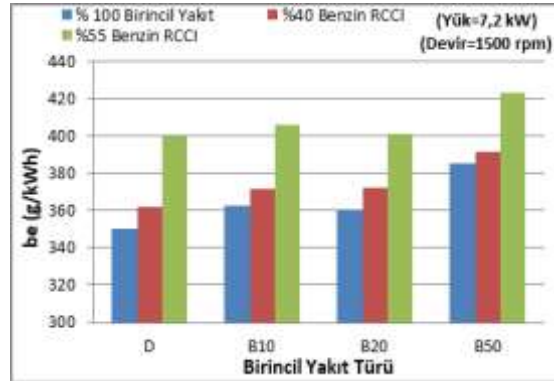
4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

%100 birincil yakıt uygulamalarında biyodizel yüzdesinin artışıyla yakıt tüketimi artış göstermiş, saf dizelde 2.52kg/h, B10 da 2.61kg/h, B20 de 2.60kg/h, B50 2.78kg/h olmuştur. %40 benzin RCCI uygulamasında toplam yakıt tüketimi artmış, saf dizelde 2.60kg/h, B10 da 2.68kg/h, B20 de 2.68kg/h, B50 de 2.82kg/h olmuştur. %55 benzin RCCI uygulamasında yakıt tüketim artış göstermiş, saf dizelde 2.88kg/h, B10 da 2.92kg/h, B20 de 2.89kg/h ve B50 de 3.05kg/h olmuştur.

Genel değerlendirmede %100 birincil yakıt uygulamasında biyodizel yüzdesinin artışı yakıt tüketimini arttırmış, Benzin RCCI uygulamasında yüzde artışı yakıt tüketimini arttırmıştır. Yakıt tüketimi yanmayla açığa çıkan ısı enerjisini ifade eder. Aynı yük şartlarında biyodizel yüzdesinin artışı ısı değeri düşüreceğinden yakıt tüketimi artar. Yapılan çalışmalarda düşük sıcaklıklı yanma stratejilerinde yakıt tüketiminin arttığı bildirilmiş, bunun geç enjeksiyon nedeniyle yakıtın tam yanmamasına bağlanmıştır (Imtenan ve ark., 2014).

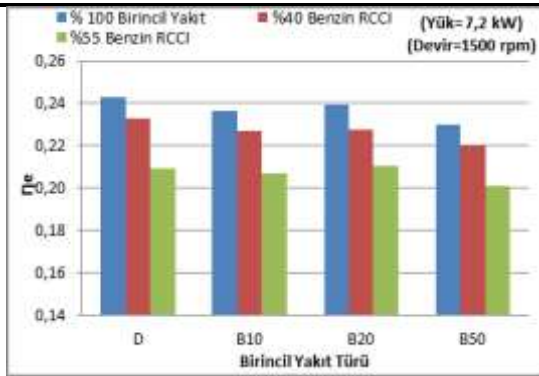


Grafik 1. Yakıt tüketimi değişimi
(Graphic 1. Variations of mass
fuel consumption)

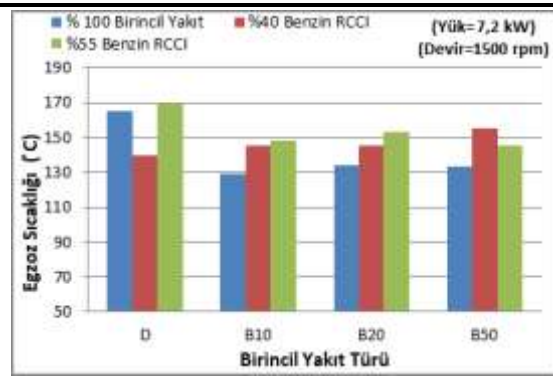


Grafik 2. Özgül yakıt tüketimi
grafiği değişimi
(Graphic 2. Variations of Bsfc)

Yapılan bir benzin RCCI uygulamasında daha geç yanma, uzun yanma olayları ve düşük alev sıcaklıkları ve sönme nedeniyle yakıt tüketiminin arttığı bildirilmiştir (Molina ve ark., 2015). RCCI uygulamasının etkin olduğu çalışma koşulları motorun orta yüklerinden sonraki yüksek yük değerleri ve bir öngörü ile %60'ın altındaki RCCI oranlarıdır. Nitekim 7.2kW motor yükü deneylerinde tüm yakıtlar için yakıt tüketimi değerleri hemen hemen normal çalışma koşullarındaki duruma yaklaşmıştır. %100 birincil yakıt uygulamalarında biyodizel yüzdesinin artışıyla özgül yakıt tüketimi artış göstermiş, saf dizelde 350g/kWh, B10 da 363g/kWh, B20 de 361g/kWh, B50 385g/kWh olmuştur. %40 benzin RCCI uygulamasında özgül yakıt tüketimi artmış, saf dizelde 362g/kWh, B10 da 372g/kWh, B20 de 373g/kWh, B50 de 392g/kWh olmuştur. %55 benzin RCCI uygulamasında özgül yakıt tüketim artış göstermiş, saf dizelde 400g/kWh, B10 da 406g/kWh, B20 de 401g/kWh ve B50 de 423g/kWh olmuştur. Genel değerlendirmede %100 birincil yakıt uygulamasında biyodizel yüzdesinin artışı özgül yakıt tüketimini arttırmış ayrıca düşük motor yüklerinde benzin RCCI uygulamasında düşük reaktiviteli yakıt oranının artışı özgül yakıt tüketimini arttırmıştır. Özgül yakıt tüketimi motor performansını belirlemede önemli bir parametre olup, birim güç eldesi için harcanan yakıt miktarı olarak tanımlanabilir.



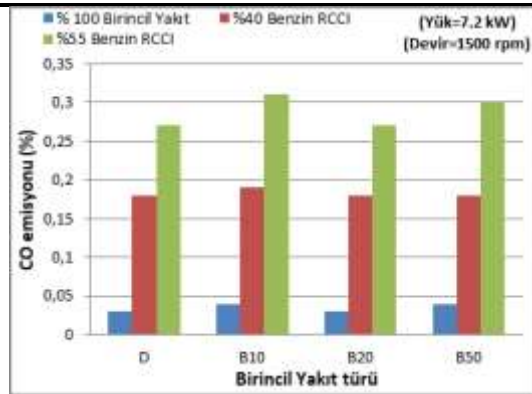
Grafik 3. Efektif verim değişimi
(Graphic 3. Variations of BEE)



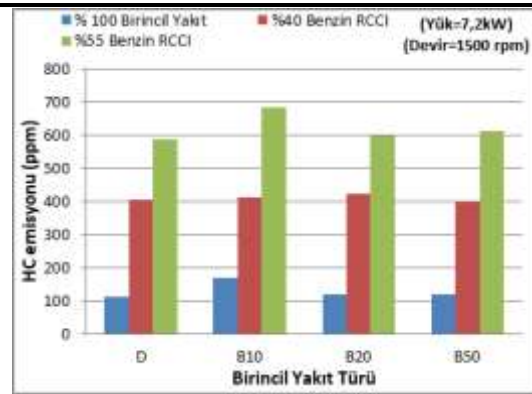
Grafik 4. Egzoz gazı sıcaklığı
değişimi
(Graphic 4. Variations of
exhaust temperature)

%100 birincil yakıt uygulamalarında biyodizel yüzdesinin artışıyla verim azalma göstermiştir. Saf dizelde 0.243, B10 da 0.237, B20 de 0.240, B50 0.230 olmuştur. %40 benzin RCCI uygulamasında verim azalmış, saf dizelde 0.233, B10 da 0.227, B20 de 0.228, B50 de 0.220 olmuştur. %55 benzin RCCI uygulamasında verim azalma göstermiş, saf dizelde 0.233, B10 da 0.207, B20 de 0.210 ve B50 de 0.201 olmuştur. Genel olarak %100 birincil yakıt uygulamasında biyodizel yüzdesinin artışı verimi düşük mertebelerde azaltmış, düşük yüklerde benzin RCCI uygulamasında, RCCI oranının artışı ile verim düşük mertebelerde azaltmıştır. Yük artışı verimi arttırmıştır. Birim zaman için motora verilen enerjinin motor fren gücüne oranı motor fren termal verimi veya efektif verim olarak adlandırılır. Enerji açısından bakıldığında motor için en önemli parametre olarak değerlendirilebilir. Yapılan çalışmalarda biyodizel kullanımının verimde azalmaya sebep olabileceği bildirilmiştir. Bu davranış biyodizelin dizele oranla düşük olan ısı değeri ve yüksek viskozitesine bağlanmakta, enjeksiyon zamanı kontrolü, sıkıştırma oranı ve püskürtme basıncının arttırılmasıyla arttırılabileceği bildirilmektedir (Datta ve Mandal, 2016; Mahanta, 2006). Motor yakıtı olarak biyodizel kullanıldığı zaman fren özgül yakıt tüketimi artışında düşük ısı içeriği ve yüksek viskoz niteliğinin etkili olduğu ve bununla beraber verimin düştüğü belirtilmektedir (Imtenan ve ark., 2014).

Özellikle yüksek motor yüklerinde RCCI uygulamasında yük artışı ile alev hızının artması, yanmanın daha çok tam yanmaya yaklaşması ve ısı transferinin azalması gibi nedenler verimi arttırmıştır. Bunun yanı sıra, RCCI yanmada silindir duvarı ve piston kafası yüzeyleri yakınında bulunan yüksek sıcaklık bölgelerinin ortadan kalkması da önemli bir etkenidir. Bu ısı transfer kayıplarını azaltır ve genişleme işi artar. İkinci bir neden RCCI uygulamasının yanma başlangıç ve sonunu kontrol etmeyi daha kolay hale getirir olmasıdır. Yanma kontrolü ile yanma zamanlaması ve süresinin optimizasyonu sağlanır, sıkıştırma işi düşer ve genişleme işi artırılarak verim artar. Genel değerlendirmede %100 birincil yakıt uygulamasında biyodizel yüzdesinin artışı egzoz sıcaklığını azaltmış, Benzin RCCI uygulamasında yüzde artışı egzoz sıcaklığını arttırmıştır. Yapılan çalışmalarda genel olarak fazladan O₂ içeriğinin yanmaya etkisinden dolayı egzoz sıcaklığının biyodizel kullanımında arttığı bildirilmiştir (Datta ve Mandal, 2016).



Grafik 5. CO emisyonu değişimi
(Graphic 5. Variations of CO emissions)

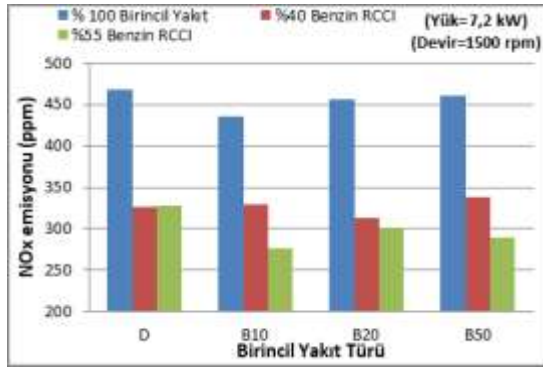


Grafik 6. HC emisyonu değişimi
(Graphic 6. Variations of HC emissions)

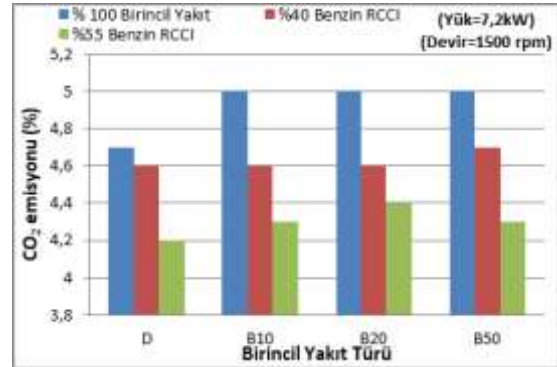
CO emisyonu %100 birincil yakıt kullanımında biyodizel yüzdesinin artışıyla genel olarak artışa neden olmuş, saf dizel ve B20 de %0.03, B10 ve B50 de %0.04 olmuştur. %40 Benzin RCCI uygulamasında genel olarak ciddi artışlar olmuş, saf dizel, B20 ve B50 de %0.18, B10 da %0.19 olmuştur. %55 Benzin RCCI uygulamasında genel olarak ciddi artışlar gözlenmiş, saf dizel ve B20 de %0.27, B10 da %0.31, B50 de %0.3 olmuştur. Genel olarak CO emisyonu değerleri tüm çalışma koşullarında ve RCCI uygulamasında sınır değerlerin altında ve düşük seviyelerde gerçekleşmiştir. Ayrıca bekleneneği gibi dizel motorlar genel olarak fazla hava ile çalıştıktıklarından CO emisyonları düşük olur. CO emisyonu %100 birincil yakıt kullanımında biyodizel yüzdesinin artışıyla genel düşük düzeylerde olarak artmıştır. Benzin RCCI yüzdesinin artışı ile CO emisyonu değerleri artmıştır. Dizel motorda yapılan bir çalışmada benzin RCCI uygulamasında CO emisyonu, arttığı bildirilmiştir (Kokjohn, 2011). CO emisyonu oluşumunun önemli ölçüde silindir sıcaklığına bağlı olduğu, genişleme zamanında sıcaklığın artmasıyla CO emisyonunda azalma meydana geleceği bildirilmiştir (Akcan, 2013).

Yapılan çalışmada düşük sıcaklıklı yanmada düşük yanma sıcaklığı ve düşük oksijen konsantrasyonu nedeniyle CO emisyonun arttığı bildirilmiştir (Imtenan ve ark., 2014). HC emisyonu %100 birincil yakıt kullanımında biyodizel kullanımı emisyon miktarını arttırmış, saf dizelde 111(ppm), B10 da 170(ppm), B20 de 119(ppm) ve B50 de 121(ppm) olmuştur. %40 Benzin RCCI uygulamasında genel olarak artışlar olmuş, saf dizelde 405(ppm), B10 da 411(ppm), B20'de 423(ppm) ve B50 de 398(ppm) olmuştur. %55 Benzin RCCI uygulamasında genel olarak artışlar olmuş, saf dizelde 588(ppm), B10 da 684(ppm), B20 de 597(ppm) ve B50 de 612(ppm) olmuştur. Genel değerlendirmede HC emisyonu %100 birincil yakıt kullanımında biyodizel yüzdesinin artışıyla genel olarak az miktarda artmış veya değişmemiş, aynı şekilde RCCI yüzde artışı emisyonu arttırmıştır. Yükün artışıyla emisyon değerleri düşmektedir. Literatürdeki birçok çalışmada biyodizel yakıtının konvansiyonel dizel yakıtı yerine kullanılması halinde HC emisyonlarının çok hızlı bir şekilde düştüğü bildirilmiştir (Monyem ve Van Gerpen, 2001; Schmidt ve Van Gerpen, 1996). Ancak bir kısım çalışmada HC emisyonlarının değişmediği (Schumacher ve ark., 1994; Serdari ve ark., 1999), ve bir kısım çalışmada az oranda arttığı (Hamasaki ve ark., 2001), bir kısım çalışmada (Tinaut ve ark., 2005) yüksek biyodizel içeriği ile HC emisyonlarının azaldığı fakat düşük oranda kullanılan karışımlar için arttığı bildirilmiştir. Yapılan bir çalışmada, düşük sıcaklıklı yanmada düşük yanma sıcaklığı ve düşük

oksijen konsantrasyonu nedeniyle HC emisyonun arttığı bildirilmiştir (Imtenan ve ark., 2014). RCCI uygulamasında ve yüzde artışında, yanma doğrudan yanma odasına enjekte edilen yüksek reaktiviteli yakıt enjeksiyonu ile başlar, düşük reaktivite yakıtın artışı, ateşleme kaynağı olan yüksek reaktiviteli yakıtta azalamaya neden olur, uzun süreli tutuşma gecikmesi yeterli karışım oluşum süresi sağlar, oluşan fakir karışım nedeniyle uzak bölgelerde eksik yanma ve dolayısıyla sönmeye olur ve HC artar.



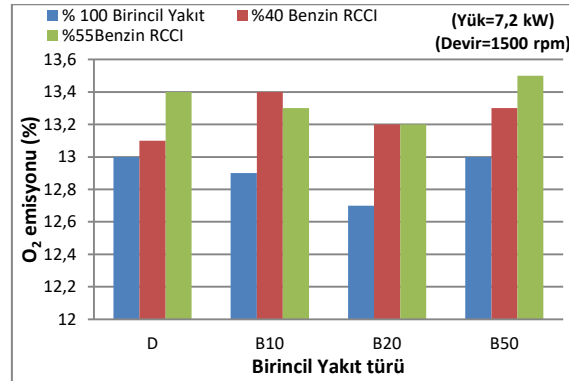
Grafik 7. NOx emisyonu değişimi
(Graphic 7. Variations of NOx emissions)



Grafik 8. CO2 emisyonu değişimi
(Graphic 8. Variations of CO₂ emissions)

NO_x emisyonu %100 birincil yakıt kullanımında biyodizel kullanımı emisyon miktarını düşürmüştür, saf dizelde 468(ppm), B10 da 435(ppm), B20 de 456(ppm) ve B50 de 460(ppm) olmuştur. %40 Benzin RCCI uygulamasında genel olarak düşüşler olmuş, saf dizelde 326(ppm), B10 da 329(ppm), B20 de 313(ppm) ve B50 de 338(ppm) olmuştur. %55 Benzin RCCI uygulamasında genel olarak düşüşler olmuş, saf dizelde 328(ppm), B10 da 276(ppm), B20 de 302(ppm) ve B50 de 289(ppm) olmuştur. NO_x emisyonu %100 birincil yakıt kullanımında biyodizel düşük yüzdelere azalmış, yüzdenin artışıyla genel olarak arttırmıştır, aynı şekilde RCCI yüzde artışı emisyonu düşürme eğilimindedir. Yükün artışıyla emisyon değerleri artmaktadır. Literatür araştırmalarının çoğu biyodizel kullanımı sırasında NO_x emisyonlarında artış görüleceği ve etkilenme miktarında motor tipi ve çalışma koşullarının etkili olacağını belirtilmiştir (Schumacher ve ark., 1994; Marshall ve ark., 1995; Graboski ve McCormick, 1998). NO_x emisyonlarındaki artışı açıklamak için biyodizel ile ilgili yapılan araştırmalar viskozite, yoğunluk, sıkıştırılabilirlik ve ses hızı gibi fiziksel özelliklerden dolayı püskürtme avansı dolayısıyla yanma işleminin avanslı olduğunu göstermiş (Cardone ve ark., 2002). Dizel motorda yapılan bir çalışmada benzin RCCI uygulamasında daha düşük NO_x ve is emisyonu oluştuğu, CO emisyonu, egzoz sıcaklığı ve verimin arttığı, bunda nispeten daha zayıf yanma ve azalan emme oksijen konsantrasyonu nedeniyle alev sıcaklıklarının NO_x oluşumu eşiğinin altında kalmasının etken olduğu bildirilmiştir. Piston kafası yakınında yakıt jetinin penetrasyonu nedeniyle oluşan sıcaklık katmanları piston kafasından ısı transferini arttırarak verimi düşürür, RCCI de yanma kontrolü düşük sıcaklıkla verim artar (Kokjohn, 2011). Yapılan bir benzin RCCI uygulamasında daha geç yanma, kısa yanma olayları ve düşük alev sıcaklıkları nedeniyle NO_x emisyonunun azaldığı bildirilmiştir (Molina ve ark., 2015). Genel değerlendirmede CO₂ emisyonu %100 birincil yakıt kullanımında biyodizel yüzdesinin artışıyla genel olarak arttırmıştır, RCCI yüzde artışı emisyonu düşürmüştür. CO₂ emisyonların da artış olması biyodizelin daha eksiksiz bir yanma ve bu nedenle daha çok CO'

in CO₂'e dönüşmüş olmasıyla açıklanır. Çalışmaların çoğu biyoyakıt kullanımında yüksek oksijen içeriğinin yanma kalitesini artırmaya yardımcı olduğu, CO₂ emisyonunun artış gösterdiği, CO₂ emisyonunda tutarsızlıklar olabileceği bildirilmiştir (Mofijur ve ark., 2016). Yanma odasında tam yanma ile CO₂ emisyonu artacağı iyi bilinmektedir. RCCI uygulamasında tam olmayan yanma ve yalın karışım yanan gazlardan soğutma etkisi yapan silindir cidarlarına olan ısı transferini azaltır, artan püskürtme bölgeleri CO' in CO₂ ye oksidasyonunu azaltır. Böylece CO₂ emisyonları düşük seviyelerde kalırken CO emisyonları ise yüksek düzeylerde gerçekleşir.



Grafik 9. O₂ emisyonu değişimi
(Graph 9. Variations of O₂ emissions)

Genel değerlendirmede O₂ emisyonu %100 birincil yakıt kullanımında biyodizel yüzdesinin artışıyla B50 dışında genel olarak küçük yüzdelerde azalmıştır, RCCI yüzde artışı emisyonunu arttırma eğilimindedir. Yükün artışıyla emisyon değerleri azalmaktadır. Biyodizel yakıtların yapısındaki O₂ molekülleri sayesinde oksijen emisyonlarını arttırdığı söylenebilir (Benajes ve ark., 2014). Ancak biyodizelin bu tür emisyonları arttırıp arttırmadığı tam olarak bilinmemekle beraber, bazı çalışmalarda bu tür emisyonlar azalmakta veya değişmektedir (Munack ve ark., 2001).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Bu tez çalışması kapsamında RCCI (reaktivite kontrollü sıkıştırılmalı ateşleme) uygulamasının dört silindirli, direkt enjeksiyonlu (DI) bir dizel motorda performans ve emisyonlara etkileri detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Deneyler motoru yüklemek amacıyla jeneratör grubunda uygulamış ve düşük reaktiviteli yakıt olarak benzin ve etanol emme manifolduna farklı oranlarda püskürtülmüş, yüksek reaktiviteli yakıt olarak dizel ve aspir yağından elde edilen biyodizel ve bunların karışımları direkt enjeksiyon (DI) ile silindir içine ayrı enjeksiyon sistemleriyle gönderilerek motorun performans ve yanma karakteristikleri ile egzoz emisyonlarındaki etkiler deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmaların neticesinde, motorun RCCI-DI konumunda çalıştırılması ile aşağıda belirtilen genel sonuçlar elde edilmiştir:

- %100 birincil yakıt uygulamalarında biyodizel yüzdesinin artışıyla yakıt tüketimi artış göstermiştir. Benzin RCCI uygulamasında yük artışıyla yakıt tüketimindeki artış azalmakta, uygulama yüzdesindeki artış benzer şekilde tüketimdeki artış oranını düşük yüklerde arttırmaktadır, saf dizele kıyasla 7.2kW da %3.2-14.3 artış gözlenmiştir.

- %100 birincil yakıt uygulamasında biyodizel yüzdesinin artışı özgül yakıt tüketimini arttırmış ayrıca düşük motor yüklerinde benzin RCCI uygulamasında düşük reaktiviteli yakıt oranının artışı özgül yakıt tüketimini arttırmıştır.
- %100 birincil yakıt uygulamasında biyodizel yüzdesinin artışı verimi düşük mertebelerde azaltmış, düşük yüklerde benzin RCCI uygulamasında, RCCI oranının artışı ile verim düşük mertebelerde azaltmıştır. Benzin RCCI uygulamalarında saf dizele oranla 7.2kW da %4.3 azalma gözlenmiştir.
- %100 birincil yakıt uygulamasında biyodizel yüzdesinin artışı egzoz sıcaklığını azaltmış, benzin RCCI uygulamasında düşük yüzdelerde saf dizele oranla %4-17.8 oranında azalma olurken yüzde artışı egzoz sıcaklığını %3-11.7 arttırmıştır.
- CO emisyonu %100 birincil yakıt kullanımında biyodizel yüzdesinin artışı genel olarak artışa neden olmuş, saf dizele oranla artış gözlenmiş. Benzin RCCI uygulamasında sınır değerlerin altında ve düşük seviyelerde gerçekleşmiş, dizele kıyasla artışlar gözlenmiştir. Ayrıca, düşük sıcaklıklı yanma özelliği arttığından CO oluşumu düşük seviyelerde kalmıştır. Yük artışıyla emisyon değerleri düşmektedir.
- HC emisyonu %100 birincil yakıt kullanımında biyodizel yüzdesinin artışıyla genel olarak az artmış veya değişmemiş, aynı şekilde benzin RCCI yüzde artışı emisyonu arttırmıştır.
- %100 birincil yakıt olarak biyodizel kullanımında düşük yüzdelerde NO_x emisyonu azalmış, yüzdenin artışıyla genel olarak arttırmıştır. Aynı şekilde RCCI yüzde artışı emisyonu düşürme eğilimindedir.
- CO₂ emisyonu %100 birincil yakıt kullanımında biyodizel yüzdesinin artışıyla genel olarak arttırmıştır, RCCI yüzde artışı emisyonu düşürmüştür. Yükün artışıyla emisyon değerleri arttırmaktadır.
- O₂ emisyonu %100 birincil yakıt kullanımında biyodizel yüzdesinin artışıyla B50 dışında genel olarak küçük yüzdelerde azalmıştır, RCCI yüzde artışı emisyonunu arttırma eğilimindedir. Yükün artışıyla emisyon değerleri azalmaktadır.

Sonuç olarak RCCI deneylerinde, motorun orta yüklerinde, e performans parametrelerinde iyileşmeler gözlenmiştir. Ayrıca NO_x emisyonlarının azalması da önemli bir avantaj olarak görülmektedir. Yaklaşık olarak 50 saat süre ile uygulanan farklı RCCI deneyleri boyunca motorun çalışmasında herhangi bir olumsuz durum ile karşılaşılmamıştır. Sabit devir ve değişken yük koşullarında uygulanan RCCI uygulamalarının farklı motor devirlerinde de uygulanması ve RCCI davranışlarının araştırılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Gümüş, A.S., (2012). Nano Yakıtların Dizel Motor Performans ve Egzoz Emisyonu Üzerine Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
2. Benajes, J., Molina, S., García, A., Belarte, E., and Vanvolsem, M., (2014). An Investigation on RCCI Combustion in a Heavy Duty Diesel Engine Using in-Cylinder Blending of Diesel and Gasoline Fuels, Applied Thermal Engineering, 63(1), 66-76.
3. Kokjohn, S.L., Hanson, R.M., Splitter, D.A., and Reitz, R.D., (2011). Fuel Reactivity Controlled Compression Ignition (RCCI): A Pathway to Controlled High-Efficiency Clean Combustion, International Journal of Engine Research, 12:209.



4. Aksoy, L., (2010). Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Biyodizel ve Üretim Prosesleri, Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi (TATED), Cilt:2, No:3, ss:45-52.
5. Imtenan, S., Varman, M., Masjuki, H.H., Kalam, M.A., Sajjad, H., Arbab, M.I., and Rizwanul Fattah, I.M., (2014). Impact of Low Temperature Combustion Attaining Strategies on Diesel Engine Emissions for Diesel and Biodiesels, Energy Conversion and Management, 80:329-356.
6. Molina, S., García, A., Pastor, J.M., Belarte, E., and Balloul, I., (2015). Operating Range Extension of RCCI Combustion Concept from Low to Full Load in a Heavy-Duty Engine, Applied Energy, 143:211-227.
7. Datta, A. and Mandal, B.K., (2016). A Comprehensive Review of Biodiesel as an Alternative Fuel for Compression Ignition Engine, Renewable and Sustainable Energy, reviews 57(2016), pp:799-821
8. Mahanta, P., Mishra, S.C., and Kushwah, Y.S., (2006). An Experimental Study of Pongamia Pinnata L. Oil as a Diesel Substitute, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy, 220(7), pp:803-808.
9. Monyem, A. and Van Gerpen, J.H., (2001). The Effect of Biodiesel Oxidation on Engine Performance and Emissions, Biomass Bioenergy, 20:317-25.
10. Schmidt, K. and Van Gerpen, J.H., (1996). The Effect of Biodiesel Fuel Composition on Diesel Combustion and Emissions, SAE paper, 961086.
11. Schumacher, L.G., Borgelt, S.C., Hires, W.G., Fosseen, D., and Goetz, W., (1994). Fueling Diesel Engines with Blends of Methyl Ester Soybean Oil and Diesel Fuel, Available on line.
12. Serdari, A., Fragioudakis, K., Teas, C., Zannikos, F., Stournas, S., and Lois, E., (1999). Effect of Biodiesel Addition to Diesel Fuel on Engine Performance and Emissions. Journal of Propulsion and power, 15(2), 224-231
13. Tinaut, F.V., Melgar, A., Briceno, Y., and Horrillo, A., (2005). Performance of Vegetable Derived Fuels in Diesel Engine Vehicles. Silniki Spanilowe, (2)121, PTNSS Kongres, Poland.
14. Marshall, W., Schumacher, L.G., and Howell, S., (1995). Engine Exhaust Emissions Evaluation of a Cummins L10E when Fuelled with a Biodiesel Blend, SAE paper, 952363.
15. Graboski, M.S. and McCormick, R.L., (1998). Combustion of Fat and Vegetable Oil Derived Fuels in Diesel Engines, Progr Energy Combust Sci 24, pp:125-164.
16. Cardone, M., Prati, M.V., Rocco, V., Seggiani, M., Senatore, A., and Vitolo, S., (2002). Brassica Carinata as an Alternative Oil Crop for the Production Of Biodiesel in Italy: Engine Performance And Regulated and Unregulated Exhaust Emissions. Environmental science & technology, 36(21), 4656-4662.
17. Molina, S., García, A., Pastor, J.M., Belarte, E., and Balloul, I., (2015). Operating Range Extension of RCCI Combustion Concept from Low to Full Load in a Heavy-Duty Engine, Applied Energy, 143:211-227.
18. Mofijur, M., Rasul, M.G., Hyde, J., Azad, A.K., Mamat, R., and Bhuiya, M.M.K., (2016). Role of Biofuel and Their Binary (diesel-biodiesel) and Ternary (ethanol-biodiesel-diesel) Blends on Internal Combustion Engines Emission Reduction, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 53, 265-278.
19. Munack, A., Schröder, O., Krahle, J., and Bünge, J., (2001). Comparison of Relevant Gas Emissions from Biodiesel and Fossil Diesel Fuel. Agricultural Engineering International: the CIGR, Journal of Scientific Research and Development, III: manuscript EE 01 001.



Hüseyin Aydın, Mehmet Zerrakki Işık
Batman University, Batman-Turkey
huseyyinaydin@gmail.com; tuyman21@hotmail.com

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.1A31PB>

ASPIR BİYODİZELİ KARIŞIMLARI VE BENZİN İLE ÇALIŞAN BİR RCCI MOTORUNUN ORTA YÜKLERDE YANMA ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZ

Dizel bir jeneratörde RCCI uygulamasının performans ve emisyonlar üzerine etkileri, yüksek reaktiviteli (birincil yakıt) yakıt olarak aspir yağı biyodizeli ve dizel karışımları, düşük reaktiviteli yakıt olarak benzin kullanımıyla incelenmiştir. RCCI uygulaması ikincil bir yakıt enjeksiyon sisteminin emme manifolduyla irtibatlandırılmasıyla sağlanmıştır. Benzin RCCI uygulama oranı motorun toplam kütleli yakıt tüketiminin %40'u ve %60'si oranında olup, PFI olarak önceden karıştırılmıştır. Testler dizel- jeneratör grubunun tam gücünün %50'ine karşılık gelen ve orta yükleme sayılacak sabit bir 7.2kW motor gücü ve 1500devir/dakikalık bir motor devri gerçekleştirildi. Dizel ile biyodizel karışımının amacı, yanmanın başlamasını kolaylaştırmak için birincil yakıtın reaktivitesini arttırmaktır. Motor alanındaki çalışmaların için en önemli yanma parametreleri derinlemesine incelenmiş ve sonuçlar sunulmuştur. Benzin RCCI uygulamasında maksimum basınç, ısı salınımı değerleri artmış, kütleli yanma oranları benzer olmuştur. Tek yakıt ve RCCI uygulamasında vuruntu oluşmamıştır.

Anahtar Kelimeler: RCCI, Aspir Biyodizeli, Benzin,
Dizel Jeneratör, Biyodizel

COMPARISON OF COMBUSTION CHARACTERISTICS OF A RCCI COMBUSTION ENGINE FUELED WITH SAFFLOWER BIODIESEL BLENDS AND GASOLINE ON MEDIUM LOADS

ABSTRACT

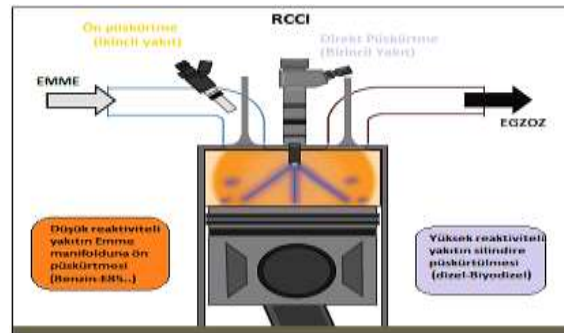
In this study, the effects of RCCI application on engine combustion in a diesel generator are investigated by using safflower oil biodiesel and diesel mixtures as high reactivity fuel (primary fuel) and gasoline as low reactivity fuel. The RCCI application is provided by the connection of a secondary fuel injection system with the intake manifold. The gasoline RCCI application rate is 40% and 60% of the total mass fuel consumption of the engine and is pre-mixed as PFI. The tests were carried out corresponding to 50% of the full power of the diesel-generator, at a constant engine velocity of 7.2kW and 1500 rpm which would be considered a medium load. The purpose of the diesel and biodiesel mixture is to increase the reactivity of the primary fuel to facilitate the start of the combustion. The most important combustion parameters of the engine field work have been thoroughly investigated and the results were presented. The gasoline RCCI operation increased peak pressure values and total heat release rates. The mass fraction burned curves are quite similar. There are no signs of engine knock whether for single or gasoline RCCI operations.

Keywords: RCCI, Safflower, Gasoline, Diesel Generator, Biodiesel

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Petrolün yenilenme hızının tüketim hızından çok düşük olması ve mevcut kaynakların dünya nüfus artışına paralel olarak artan enerji tüketimi 21. yüzyılın ortalarına kadar ihtiyacı karşılayabileceği öngörüsü, bilim dünyasında derin endişelere neden olmaktadır (Sayın ve ark., 2006). Mevcut enerji kaynaklarının hızla tükenmekte olması, taşıtlarda kullanılabilecek alternatif yakıt tipleri konusunda araştırmalar yapılmasını gerektirmiştir. Kısa vadeli çalışmalarda, fosil yakıtların halen en önemli kullanım alanına sahip olduğunun göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Teknolojik ilerlemeyle gelişmiş kontrol sistemlerinin uygulanmasıyla farklı motor çevrimleri ve uyumlu yakıtlar bir arada kullanılmaya başlanmıştır. Burada amaç yakıtların olumlu yönlerinin belli oranlarda bir arada kullanılarak istenilen hedefe ulaşmaktır. Motor uygulamalarında yüksek beygir gücü yanında uygun yakıt maliyeti, verimlilik ve çevrecilik isteği çift yakıtlı (dual-fuel) sistem uygulamalarının tetikleyicisi olmuştur. Basitçe çift yakıt sistemi iki yakıtın eşzamanlı olarak yanması olarak tanımlanabilir. Çift yakıt sisteminde, gerekli modifikasyonlarla farklı türevdeki yakıtların aynı çevrimde kullanımı söz konusudur. Amaç verimlilik, güç artışı ve düşük emisyon sağlamak olup, farklı yakıtların uygun özelliklerinden faydalanılmaya çalışılır.

Reaktivite Kontrollü Sıkıştırılmalı Ateşleme (RCCI) iki farklı yakıtın karışımını kullanan düşük sıcaklıklı yanma stratejisidir. Silindir yoluyla benzin benzeri ve dizel benzeri yakıtlar karıştırılıp tutuşma dizel benzeri yakıtta gerçekleşir. Yakıt oranı ve tutuşma zamanı düzenlenmesi reaktivite düzenlemeleri ve tutuşma kontrolü ile sağlanır. Amaç yüksek termal verim, düşük NO_x ve PM (partikül madde) sağlamaktır. RCCI motorin ve benzin gibi yakıtların silindirde harmanlanması yoluyla faaliyet gösteren bir kendiliğinden tutuşmalı yanma stratejisidir. Düşük reaktiviteli yakıt (benzin gibi) emme manifolduna püskürtmeli sistem (EMP, PFI) ile, yüksek reaktiviteli yakıt (dizel gibi) direkt enjeksiyon (DI) ile silindir içine ayrı enjeksiyon sistemleriyle gönderilir. Böylece, düşük reaktiviteli ve yüksek reaktiviteli yakıtların miktarları değiştirilerek yanmayı kontrol etmek daha mümkün olmaktadır. Birincil (dizel gibi) ve ikincil (benzin ve benzeri) enjeksiyon yakıt oranları ile çalışma koşulları ayarlanarak yanma kontrolü sağlanması ile, yakıt reaktivitesi kademelendirilmesi ile çalışma aralığı ve ısı verim artar (Imtenan ve ark., 2014). Şekil 1'de RCCI çalışma sistemi gösterilmeye çalışılmıştır. Sistemde kullanılan yakıtların enjeksiyon yolu belirtilmiştir (Prikhodko ve ark., 2013).



Şekil 1. RCCI Silindir enjeksiyon şeması ve yakıt dağılımı
(Prikhodko ve ark., 2013)

(Figure 1. RCCI-Schematic of cylinder injection and fuel distribution)



RCCI reaktivite kontrollü sıkıştırarak tutuşturmadır. Düşük reaktiviteye sahip (bir kıvılcım olmadan kolay kolay tutuşmayan) ve egzoz gazını resirküle etmiş bir benzin vb. karışımla gerçekleştirilir. Bu malzemeye yüksek reaktiviteye sahip dizel vb. yakıttan küçük bir miktarın püskürtülmesi de yanmayı sağlar. Dizel yakıtı silindir içerisine önceden püskürtmek, dizel yakıtı havayla karışması için yeterli zamanı tanıdığı için, kurum ve NO_x oluşumunu düşük tutar. RCCI işlemi motorun tüm hız ve yük aralığı boyunca teknik açıdan verimli ve güvenilir niteliktedir. Oldukça düşük emisyon düzeylerini yakalar. Bu yöntemin olumsuz kısmıysa, araç için iki ayrı yakıt depolanması ve benzin, geri dönüşümü sağlanmış egzoz gazı ve dizel yakıtın doğru oranını tam olarak sağlayabilmek için potansiyel açıdan karmaşık ve pahalı araç gereçlere yatırım yapılması gerekliliğidir (Ciatti, 2012). Nematı ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada, hesaplamalı akışkanlar dinamiği yardımıyla kısmen önceden karıştırılmış benzin kullanımını incelemişler. Dizel yakıt ile karşılaştırıldığında, benzinin yüksek tutuşma gecikmesi nedeniyle düşük kurum emisyonu olduğu, çift enjeksiyon stratejisinin maksimum ısı salım hızını ve NO_x emisyonu azalttığı belirtilmiştir. Benajes ve ark. (2014) yaptıkları deneysel ve sayısal çalışmada, düşük ve yüksek reaktivite yakıt olarak sırasıyla benzin ve mazot kullanarak, RCCI yanma koşullarında karışım ve kendiliğinden tutuşma süreçlerini anlamaya çalışmışlardır. Yanma dizel enjeksiyonun otomatik ateşlemesi ile başlamış ve hava ve benzin girişi olmuş, ardından sıcaklık ve basıncın yükseldiği, yanma odasının fakir dizel ve benzinli katmanları boyunca alev yayılmasının devam ettiği belirlenmiştir. Dizel/Benzin yakıt oranı azaltıldıkça ateşleme gecikmesi artmış Geleneksel dizel yanmaya kıyasla NO_x açısından hafif bir azalma, kurum açısından çok önemli bir azalmanın RCCI yanma ile elde edildiğini bildirmişlerdir. Kokjohn (2011) yaptığı çalışmada, RCCI kavramını temiz yanma ve yüksek verim elde etmek için gelecek vaat eden bir yöntem olarak belirtmişler. RCCI motoru deneylerini ağır test motorunda belli yük aralıklarında yapmış ve geleneksel dizel motor verileriyle kıyaslamışlardır. Spesifik olarak RCCI yanmalı motorun geniş bir yük aralığı üzerinde çalışabilir olduğunu ve NO_x ve kurum emisyonlarının çok düşük seviyelerde olduğunu, basınç artışı hızının, vuruşu şiddetinin ve verimin uygun seviyelerde olduğunu belirtmişlerdir.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışma kapsamında RCCI (reaktivite kontrollü sıkıştırmalı ateşleme) uygulamasının dört silindirli, direkt enjeksiyonlu (DI) bir dizel motorda yanma etkileri detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Deneyler motoru yüklemek amacıyla jeneratör grubunda uygulamış ve düşük reaktiviteli yakıt olarak benzin emme manifolduna farklı oranlarda püskürtülmüş, yüksek reaktiviteli yakıt olarak dizel ve aspir yağından elde edilen biyodizel ve bunların karışımları direkt enjeksiyon (DI) ile silindir içine ayrı enjeksiyon sistemleriyle gönderilerek motorun yanma karakteristikleri deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmayla verimlilik ve çevrecilik bakımından RCCI sistem uygulamasının etkinliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

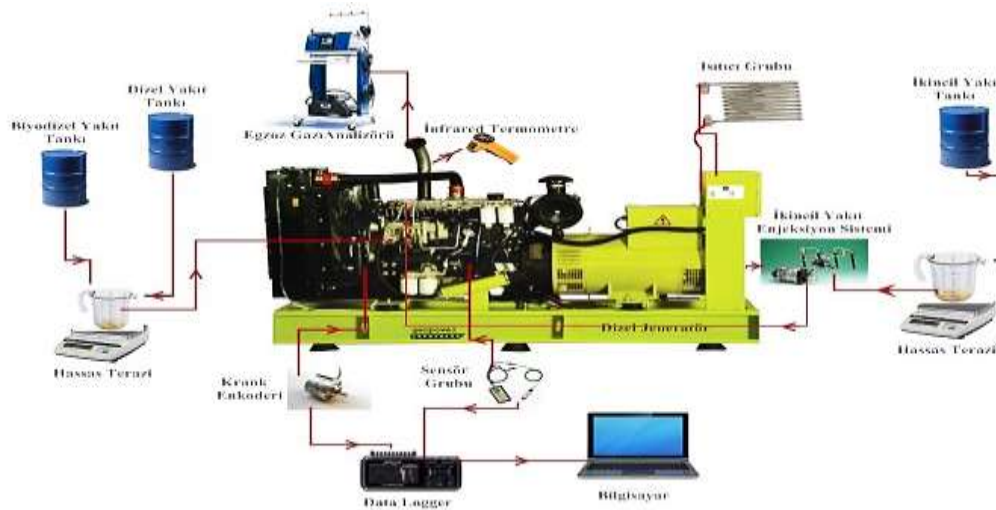
3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL METHOD)

Biyodizel üretiminin çeşitli metodları olmakla birlikte, günümüzde en yaygın olarak kullanılan yöntem transesterifikasyon (alkoliz) yöntemidir. Transesterifikasyon reaksiyonunda hammadde olarak kullanılacak yağ, monohidrik bir alkolle (etanol, metanol), katalizör (asidik, bazik katalizörler ile enzimler) varlığında ana ürün olarak yağ asidi esterleri ve gliserin vererek esterleşir (Anonim,

Tablo 1. Aspir biyodizelinin özellikleri
(Table 1. Specifications of the Safflower biodiesel)

Özellik	Birim	Üretilen B100	Literatür (İlkılıç ve ark.2011)
Yoğunluk	gr/cm ³ (API)	0.8917 (27.1)	0.8885
Kinematik viskozite 40°C	mm ² /sn	4.9388	5.8
Parlama Noktası	°C	140+	148
Dizel İndeksi	-	54	56
Kükürt miktarı	%	0.01	-
Isıl Değer	(MJ/kg)	-	38.12

Deney düzeneği basitçe Şekil 1'de görülen prensiple oluşturulmaya çalışılmıştır. Sistemde temeli dizel jeneratör grubu oluşturmaktadır. Yanma anali için Febris yazılımı kullanılmış, temin edilen yanma analiz yazılımı için gerekli krank açısı enkoderi ve basınç sensörünün bağlantısı yapılmış, motor bilgileri ve gerekli kalibrasyonlar yapılarak bilgisayar üzerinden kontrole hazır hale getirilmiştir. Mevcut ana yakıt sistemine ek olarak ikincil yakıt sistemi eklenerek yakıt tankları dış haznelere alınarak hassas teraziler ile irtibatlandırılmıştır.



90

Motor yüklemeleri için eşdeğer ısıtıcı grupları temin edilerek kademeli olarak kontrol edilecek şekilde bağlantıları yapılmıştır. Egzoz emisyon değerleri için analiz cihazı, sıcaklık kontrolleri için infrared sıcaklık ölçerle sistem tamamlanmıştır. Deneyler temin edilen dizel jeneratör grubunda gerçekleştirilmiştir. Grubun özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

Tablo 2. Deney motor özellikleri
(Table 2. Specifications of the diesel engine)

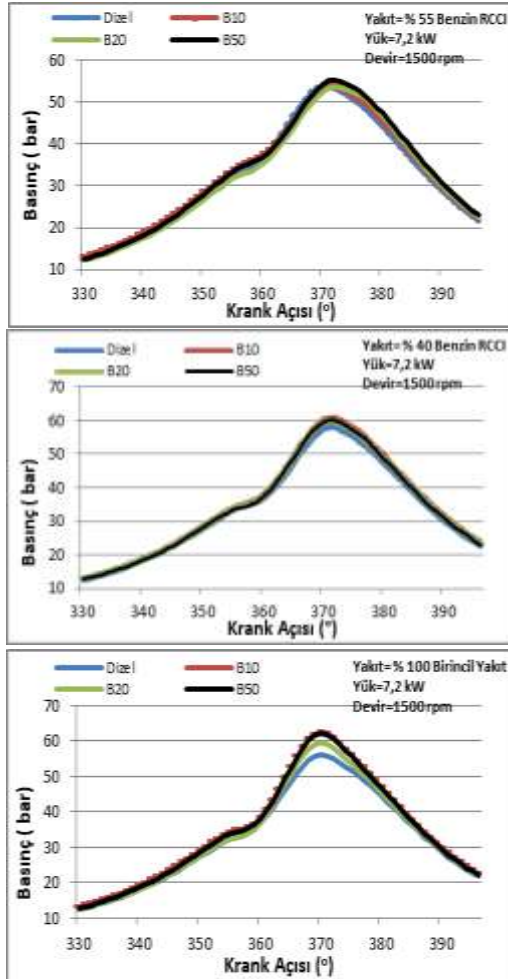
Üretici-model	NW-K22
Motor tipi	Ağır Hizmet -Dizel Motor
Çıkış Gücü @1500rpm	18kW
Soğutma Sistemi	Su soğutmalı
Emme Sistemi	Doğal emişli
Motor Tipi	4DW81-23D
Silindir çapıxstrok(mm)	85x100
Hacim (cm ³)	2400
Silindir sayısı	4
Yanma sistemi	Direk Enjeksiyonlu
Sıkıştırma oranı	17:1
Enjektör Sayısı	4

Deney düzeneğinde öncelikli olarak Febris yazılımıyla ilgili parçaların temini ve montajı gerçekleştirilmiştir. Yazılımın montajı ve kontrolleri yapıldıktan ikincil yakıt sisteminin montajı için jeneratör milinden alınan hareket dişliler vasıtasıyla temin edilen tek nokta enjeksiyon sistemine (5 bar) iletilmiş sistem emme manifolduyla irtibatlandırılmıştır. İkincil yakıt püskürtme miktarının ayarlanması için burçlar üretilmiş, torna ve freze tezgâhlarında temas yüzeylerinde ölçülendirme yapılmıştır. İkincil yakıt pompası yaptırılan kapalı hazne içine alınarak sızdırmazlığı sağlanmış, ana yakıt tankı olarak kullanılmak üzere benzer kap temin edilerek her iki ünite sistemle irtibatlandırılmıştır. Yakıt tüketimlerinin hesaplanması için iki adet hassas terazi (Dikomsan 0.5gr hassasiyet) temin edilmiştir. Sistemde motorda yükleme yapmak için jeneratörden enerji çekilmesi amacıyla eşdeğer dirençli elektrikli ısıtıcı gruplar temin edilmiş ve şalterlerle kademelendirilmiştir. Egzoz emisyonlarının ölçümü için CAPELEC CAP 3200 cihazı temin edilmiş ve kalibrasyonu yaptırılmış, problemler periyodik temizlenmesi için küçük hava kompresörü temin edilmiştir. Cihaz ve özellikleri aşağıda belirtilmiştir. Deney düzeneğinde motor yanma ve performans verileri için Febris yanma analizi yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım içten yanmalı motorlara adapte edilen silindir içi basıncı sensörü, krank açısı sensörü ve birçok farklı tip sensörlerden alınan sinyalleri ve bu sinyalleri kullanarak hesapladığı verileri gerçek zamanlı olarak gösteren ve kaydeden, ölçülen ve hesaplanan verilere bağlı olarak yapan performans ve ileri yanma analiz sonuçlarının grafiksel olarak incelenebildiği ve farklı formatlarda raporlanmasına olanak veren bir yazılımdır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

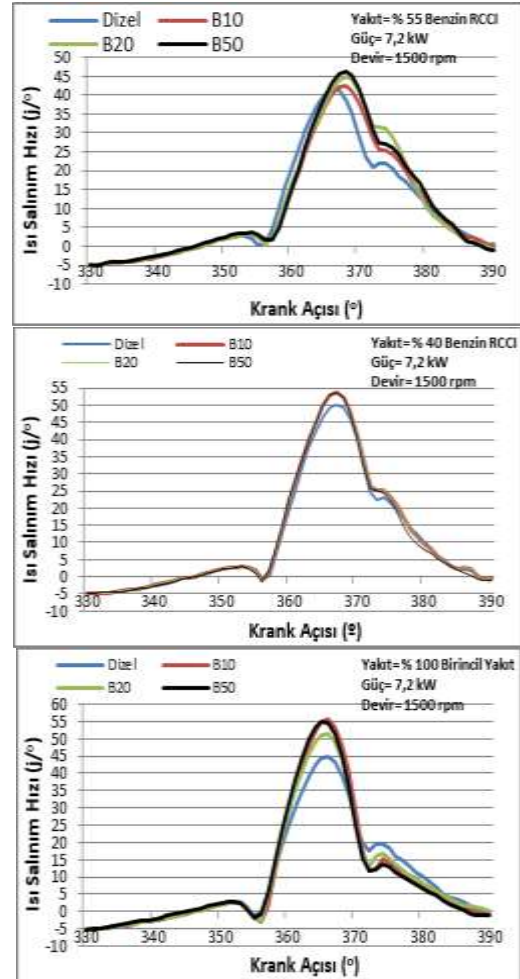
%100 birincil yakıt kullanımında maksimum basınç 370KMA da 62.41bar ile B10 kullanımında gerçekleşmiş. %40 benzin RCCI uygulamasında basınç değerlerinde yalnızca kısmi düşmeler gerçekleşmiş olup maksimum basınç 371KMA da 60.95bar ile B10 kullanımında gerçekleşmiş, B50 de 60.23bar, B20 de 59.79bar ve dizel de 58.23bar sıralamasıyla devam etmiştir. %55 benzin RCCI uygulamasında basınç

değerlerindeki düşmeler daha olup maksimum basınç 372KMA da 55.34bar ile B50 kullanımında gerçekleşmiş, B10 de 53.65bar, B20 de 53.56bar ve dizel de 53.32bar sıralamasıyla devam etmiştir.



Grafik 1. Basınç-Krank açısı grafikleri

(Graphic 1. Variations of cylinder pressure for different RCCI modes)

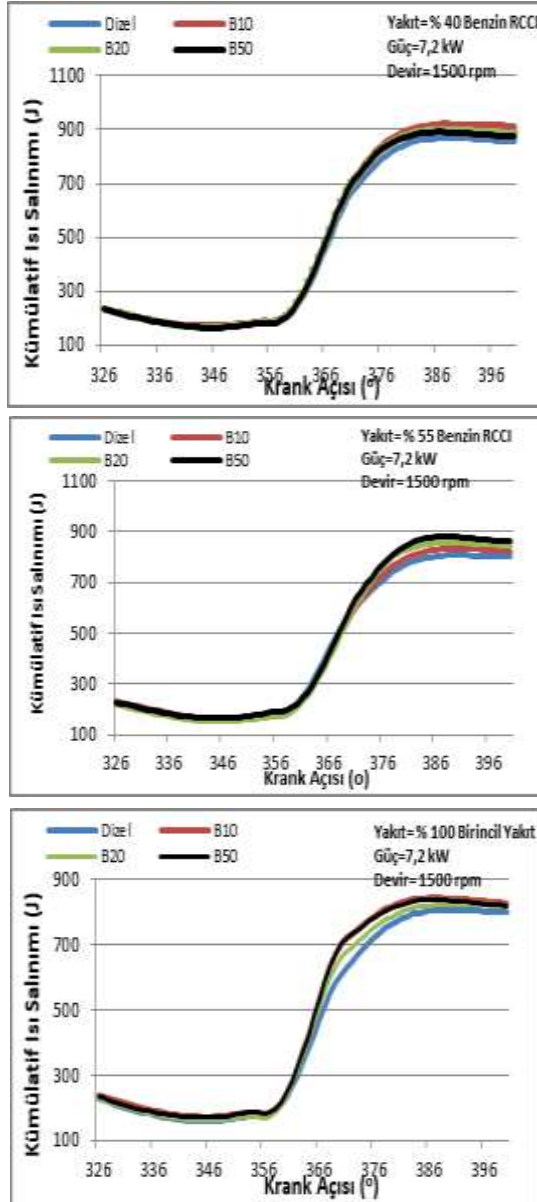


Grafik 2. Isı Salınım Hızı-Krank açısı grafikleri

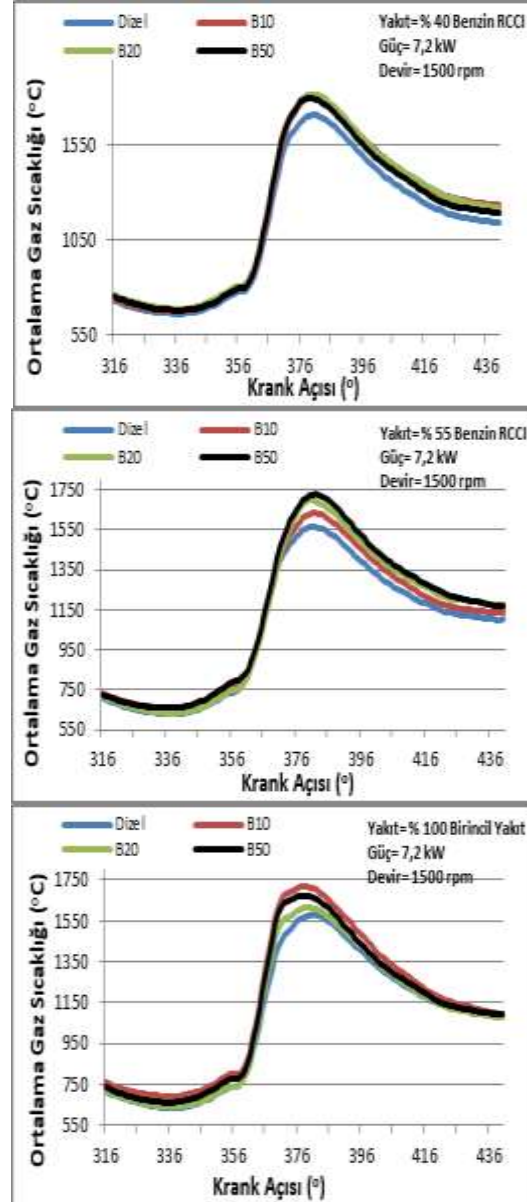
(Graphic 2. Variations of HRR for different RCCI modes)

7.2kW yük ve %40 düşük reaktiviteli yakıt püskürtme durumunda düşük yüklerden ötürü oluşan yanma sıcaklıklarındaki iyileşmelerden dolayı meydana gelen ve yanmayı olumsuz etkileyen faktörler azalmıştır. Ancak %55 RCCI durumunda düşük yüklerden kaynaklanan olumsuzluklar devam etmiştir. Bu durum yük durumu ile birlikte RCCI oranının da uygulamada oldukça önemli bir faktör olduğunu göstermektedir. RCCI uygulamasında, yük ve RCCI miktarı koordinasyonun yapılması gereken en önemli işlerden olduğu görülmektedir. RCCI uygulamasında benzinin dizele oranla daha düşük buharlaşma entalpisine sahip olması nedeniyle oranın artması pik basıncı düşürür. RCCI ana dezavantajları özellikle düşük yüklerde ortaya çıkmakta ve düşük yanma verimi (Molina ve ark., 2015) ve düşük motor verimiyle beraber artan özgül yakıt tüketimi olarak karşımıza çıkmaktadır. Motorun çalışma yükü belli bir yüksek değere ulaştığında, benzin RCCI çalışma durumunda artan sıcaklıklarla birlikte alev hızının %100 birincil yakıt çalışma moduna göre daha yüksek olmasını ve ısı salınım

oranlarının artmasını sağlamıştır. Bu durum yüksek yüklerde RCCI ile hızlı yanmanın ve daha kısa yanma süresinin sağlandığının bir göstergesi olup indike termal verimde artış sağlamaktadır. Isı salınım hızı, düşük yüklerde benzin RCCI yüzdesi arttıkça azalmaktadır. Düşük reaktiviteli yakıt gradiyanlarının oluşumu tutuşma gecikmesinin artmasına ve yanmanın gecikmesine, ısı salınım oranının ve tepe basınç artışı oranının düşmesine sebep olabilir (Li ve ark., 2015).



Grafik 3. Kümülatif Isı Salınımı
Krank açısı grafikleri
(Graphic 3. Variations of MGT for
different RCCI modes)



Grafik 4. Ortalama gaz sıcaklığı-
Krank açısı grafikleri
(Graphic 4. Variations of CHR for
different RCCI modes)

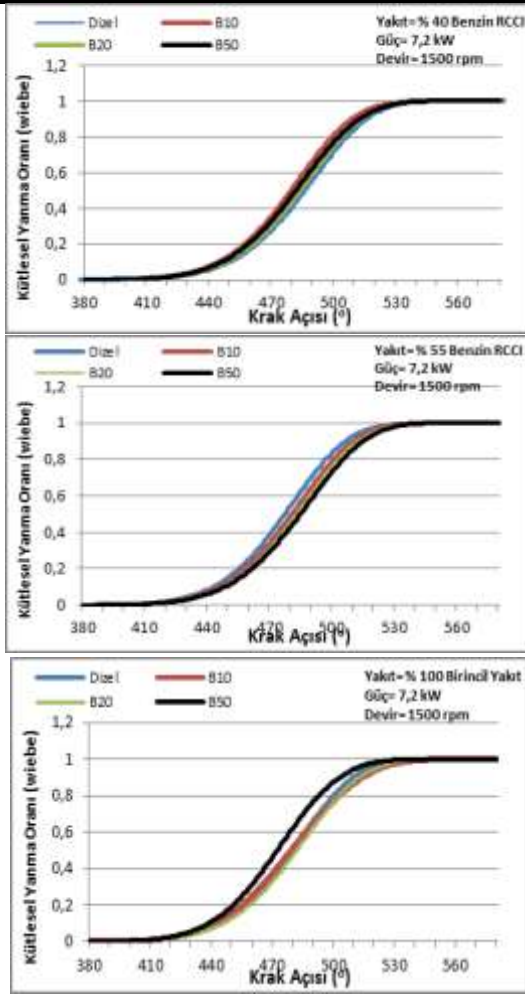
%100 birincil yakıt kullanımında kümülatif ısı salınım yanma başlangıcı sonrası değer ayrılımları 364KMA da başlamakta, yanma sonu maksimum kümülatif ısı salınımı 842.8J ile B10 da gerçekleşmiş. %40 benzin RCCI uygulamasında ayrılımlar 370KMA da başlamakta, maksimum kümülatif ısı salınımı 918.6J ile B10 da gerçekleşmiş. %55 benzin RCCI



uygulamasında ayrılmalar 373KMA da başlamakta, maksimum kümülatif ısı salınımı 878J ile B50 de gerçekleşmiş. Biyodizel kullanım oranının artışıyla genel olarak azalan son distilasyon sıcaklıkları ile gerçekleşen hızlı yanma sonucunda görüldüğü üzere kümülatif ısı yayılımı pikleri giderek ÜÖN'ya doğru kaymaktadır. Yanma hızının artmasına ve ani yanma fazının daha yüksek değerlere ulaşmasına neden olur. Benzin yüzdesinin artışı yakıtın uçuculuğunun artmasına ve dolayısıyla yakıtın buharlaşması için ortamdan daha fazla ısı çekilmesiyle alev hızının yavaşlamasına yol açar. RCCI uygulamasında ortaya çıkan ısı salınımı dizel yakıt enjeksiyon ile üretilene göre kısmen daha büyüktür. Bu durum benzinin buharlaşma gizli ısısının kısmen daha düşük olmasıyla ilişkilendirilir. Bu üretilen ısıнын buharlaşmaya ayrılan kısmını dizele oranla azaltır. RCCI yüzde artışı ısı salınım zirvesinde bir azalma ve daha büyük yanma gelişimini sağlar.

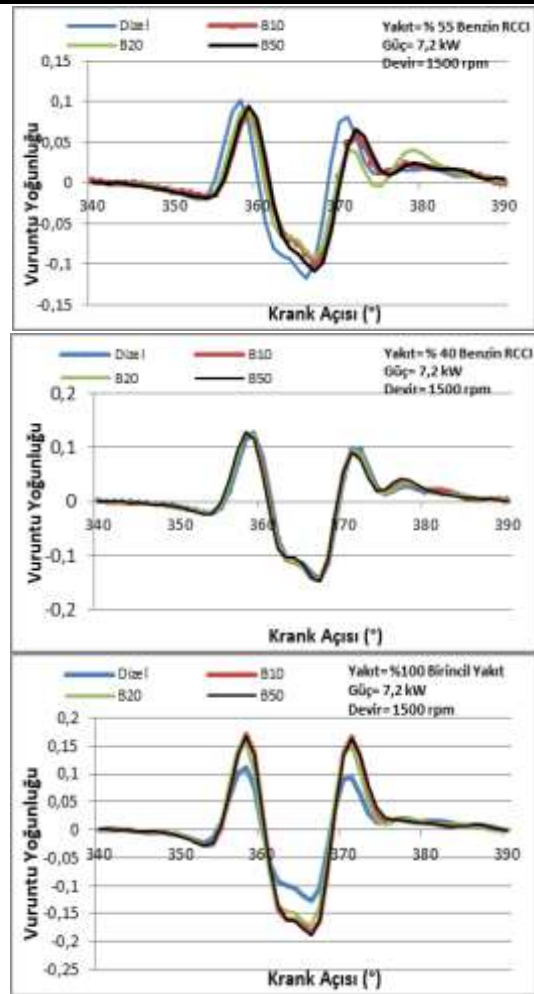
Karışımdaki düşük reaktiviteli yakıt fraksiyonu arttıkça bu davranış nedeniyle silindir içi genel reaktivite azalmış olur. Motorda 7.2kW yükteki yanma deneylerinde %100 birincil yakıt kullanımında maksimum ortalama gaz sıcaklığı 378KMA da 1716.5°C ile B10 kullanımında gerçekleşmiş. %40 benzin RCCI uygulamasında sıcaklıklarda dizel dışında artış olup, 380KMA da 1819°C ile B20 kullanımında gerçekleşmiş ve dizelde 1709°C değerleri görülmüştür. %55 benzin RCCI uygulamasında sıcaklıklarda B10 ve dizelde azalma eğilimi olup, 382KMA da 1726°C ile B50 kullanımında gerçekleşmiş, B20 de 1692°C, B10 de 1633°C ve dizelde 1562.7°C değerleri görülmüştür. Tek yakıt motor çalışması değerleri ile karşılaştırıldığında, dizel ve biyodizel harmanlarının ortalama gaz sıcaklığı tepe değerleri RCCI işleminde arttığı görülebilir. Yanma odasındaki sıcaklık artışı esas olarak daha düşük ısı transferi ve yanan gazlardan yanma odası cidarına ısı kaybı ve dolayısıyla sıcaklık yükselmesidir. Biyodizel kullanımında oksijen içeriği nedeniyle kısmi sıcaklık artışları mevcuttur. Benzin RCCI uygulamalarında orta yükte yüzde artışı sıcaklıkta düşme eğilimi göstermiş, belirleyici etkenlerden sıkıştırma sırasında çekilen ısı miktarı buharlaşma gizli ısılarının yakın olması nedeniyle ayırım yapılmasını sağlayacak etki gözlenmemektedir.

Yüksek yüklemelerde yanmada oluşan faz farkları nedeniyle maksimum ısı yayılımı artışıyla maksimum sıcaklıklar artmaktadır (Can, 2012). Yapılan RCCI deneyinde geleneksel dizelle karşılaştırıldığında ortalama gaz sıcaklıklarının daha yüksek pik sıcaklığın ise daha düşük olduğu, pik sıcaklıkların piston kafası yakınında olduğu ve yakıt jetinin penetrasyonu ile ilgili olduğu, yüksek sıcaklığın ısı kaybını arttırdığı ve termal verimi düşürdüğü belirlenmiştir (Kokjohn, 2011). Kütlesel yanma oranından yanma süresi belirlenirken tutuşma gecikmesi (%1.5-5) dikkate alınarak %1-99 arasında alınabilir (Brown, 2001). Uç noktalardaki hassasiyet nedeniyle yanma süresi %3-97 arasındaki süre olarak alınmıştır. Kütlesel yanma oranları tek yakıt ve RCCI modları için oldukça benzerdir. Yüksek yüklerde ve RCCI uygulamasında, kütlesel yanma oranından, benzin yüzdesinin artışı yanma süresini azaltma eğilimindedir. Bu durum üzerinde, karışımın tutuşmasının kolaylaşması ve silindir içinde gelişen alev hızının artması etkindir.



Grafik 5. Kütlesel yanma oranı(wiebe)-Krank açısı grafikleri

(Graph 5. Variations of MFB for different RCCI modes)



Grafik 6. Vuruntu yoğunluğu-Krank açısı grafikleri

(Graph 6. Variations of knock density for different RCCI modes)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Bu çalışma kapsamında RCCI (reaktivite kontrollü sıkıştırmalı ateşleme) uygulamasının dört silindirli, direkt enjeksiyonlu (DI) bir dizel motorda yanma etkileri detaylı bir şekilde araştırılmıştır.

- Genel değerlendirmede %100 birincil yakıt uygulamasında biyodizel kullanımında basınçlarda artış olmuş, maksimum basınçlar kullanımında gerçekleşmiştir. Düşük yüklerde RCCI uygulamasında basınç düşüşü gözlenmiştir. RCCI uygulamasında benzinin dizele oranla daha düşük buharlaşma entalpisine sahip olması nedeniyle buharlaşması için gereken enerji daha fazladır ve oranın artması pik basıncı düşürür.
- %100 birincil yakıt kullanımında maksimum ısı salınım hızı B10 da gerçekleşmiş, dizele oranla %23 artış gözlenmiş. Benzin RCCI uygulamasında dizele kıyasla %12 artış gözlenmiş. Test yakıtları karşılaştırıldığında, hem normal çalışma modunda hem de RCCI uygulamalarında ve tüm yük koşullarında biyodizel karışım yakıtlarının kullanımı ile maksimum basınç değerlerinde kısmi artışlar ve ısı salınım hızı değerlerinde de artışlar tespit edilmiştir. ısı salınım hızı benzin RCCI yüzdesi arttıkça



azalmaktadır. Düşük reaktiviteli yakıt gradiyanlarının oluşumu tutuşma gecikmesinin artmasına ve yanmanın gecikmesine, ısı salım oranının ve tepe basınç artışı oranının düşmesine sebep olabilir.

- %100 birincil yakıt kullanımında yanma sonu maksimum kümülatif ısı salınımı biyodizel kullanımında gerçekleşmiş, dizele oranla %4.8 artış gözlenmiştir. Benzin RCCI uygulamasında düşük yüklerde kullanılan benzin oranının artışıyla dizel kullanımına göre yüksek olan değerler azalarak dizelin altına düşmüş, $\pm 7.5-0.15$ değişim gözlenmiştir. RCCI uygulamasında ortaya çıkan ısı salınımı dizel yakıt enjeksiyon ile üretilene göre kısmen daha büyüktür. Bu durum benzinin buharlaşma gizli ısısının kısmen daha düşük olmasıyla ilişkilendirilir. Bu üretilen ısıнын buharlaşmaya ayrılan kısmını dizele oranla azaltır. RCCI yüzde artışı ısı salınım zirvesinde bir azalma ve daha büyük yanma gelişimini sağlar.
- %100 birincil yakıt kullanımında yanma sonu maksimum ortalama gaz sıcaklığı B10 biyodizel karışımı kullanımında gerçekleşmiş, dizele oranla %4.8 artış gözlenmiştir. Benzin RCCI uygulamasında düşük yüklerde benzin yüzde artışıyla dizel kullanımına göre yüksek olan değerler azalarak dizelin altına düşmüş, $\pm 8.8-0.5$ değişim gözlenmiştir. Biyodizel kullanımında oksijen içeriği nedeniyle kısmi sıcaklık artışları mevcuttur. Benzin RCCI uygulamalarında düşük ve orta yükte benzin oranının artışı sıcaklıkta düşme eğilimi göstermiştir.
- %100 birincil yakıt kullanımında yanma sonu yakıtın %97 sinin yanması biyodizel kullanımında gerçekleşmiş ve yüzde artışıyla genelde artmış, artış oranı %10 seviyelerine ulaşmıştır. Benzin RCCI uygulamalarında dizele kıyasla değerler genelde yakın olup ± 1 artma veya azalma şeklinde olmuştur. Kütlesel yanma oranları tek yakıt ve RCCI modları için oldukça benzerdir. RCCI uygulamasında yüksek yüklerde RCCI yüzdesinin artışı yanma süresini azaltma eğiliminde olup karışımın tutuşmasının kolaylaşması ve silindir içinde gelişen alevin hızının artması etkindir.
- Karışımlar ve dizel için tek yakıt kullanımında vuruntu yoğunluğu B50 hariç oldukça benzer bulunmuştur. B50 daha yüksek olsa da vuruntu olarak görmek mümkün değildir.
- Sonuç olarak RCCI deneylerinde, motorun orta ve yüksek yüklerinde, yanma parametrelerinde iyileşmeler gözlenmiştir. Yaklaşık olarak 50 saat süre ile uygulanan farklı RCCI deneyleri boyunca motorun çalışmasında herhangi bir olumsuz durum ile karşılaşılmamıştır. Sabit devir ve değişken yük koşullarında uygulanan RCCI uygulamalarının farklı motor devirlerinde de uygulanması ve RCCI davranışlarının araştırılması önerilmektedir. Özellikle, dizel motorlarının, aynı verimi sağlamak koşulu ile düşük sıkıştırma oranlarında çalışma imkanlarının araştırılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Sayın, C., Çanakçı, M., Kılıçaslan, M.İ., and Özsezen, N., (2006). Çift yakıtlı (benzin + sıvılaştırılmış Petrol gazı) bir benzin motorunun ideal emisyon ürünleri, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt:12 Sayı:2, ss:199-205.



2. Imtenan, S., Varman, M., Masjuki, H.H., Kalam, M.A., Sajjad, H., Arbab, M.I., and Rizwanul Fattah, I.M., (2014). Impact of Low Temperature Combustion Attaining Strategies on Diesel Engine Emissions for Diesel and Biodiesels, *Energy Conversion and Management*, 80:329-356.
3. Prikhodko, V., Gao, Z., Curran, S.J., Daw, C.S., Robert, M., James, Wagner., and Parks, E., (2013). Modeling Emissions Controls for RCCI Engines, Oak Ridge National Laboratory ERC-2013, University of Wisconsin Madison, Wisconsin.
4. Ciatti, S., (2012). Benzinli Dizel, *Mechanical Engineering (The Magazine of ASME) Mühendis ve Makina*, Cilt:53, Sayı:635.
5. Nemati, A., Barzegar, R., Arya, S.K., and Khatamnezhad, H., (2011). Decreasing the Emissions of a Partially Premixed Gasoline Fueled Compression Ignition Engine by means of Injection Characteristics and EGR. *Thermal Science*, 15(4), 939-952.
6. Benajes, J., Molina, S., García, A., Belarte, E., and Vanvolsem, M., (2014). An Investigation on RCCI Combustion in a Heavy Duty Diesel Engine Using in-Cylinder Blending of Diesel and Gasoline Fuels, *Applied Thermal Engineering*, 63(1), 66-76.
7. Kokjohn, S.L., Hanson, R.M., Splitter, D.A., and Reitz, R.D., (2011). Fuel Reactivity Controlled Compression Ignition (RCCI): A Pathway to Controlled High-Efficiency Clean Combustion, *International Journal of Engine Research*, 12:209.
8. Loaiza, J.C., Sánchez, F.Z., Braga, S.L., and De Souza, O.M., (2015). Reactivity Controlled Compression Ignition (RCCI) for the Mixture of Diesel Fuel and Hydrous Ethanol in a Rapid Compression Machine, (No. 2015-36-0101), SAE Technical Paper.
9. Anonim, (2016). http://www.eie.gov.tr/eieweb/turkce/YEK/biyoenerji/02biyodizel/b_d_uretim.html. Ziyaret Tarihi: 1 Ocak 2016].
10. Molina, S., García, A., Pastor, J.M., Belarte, E., and Balloul, I., (2015). Operating Range Extension of RCCI Combustion Concept from Low to Full Load in a Heavy-duty Engine, *Applied Energy*, 143, 211 -227.
11. Li, J., Yang, W.M., An, H., Zhou, D.Z., Yu, W.B., Wang, J.X., and Li, L., (2015). Numerical Investigation on the Effect of Reactivity Gradient in an RCCI Engine Fueled with Gasoline and Diesel, *Energy Conversion and Management*, 92:342-352.
12. Can, Ö., (2012). Bir di Dizel Motorda Etanol Ön Karışımli Kısmi-Hccı Uygulamasının Yanma ve Emisyonlar Üzerine Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
13. Brown, B.R., (2001). Combustion data Acquisition and Analysis. Meng Automotive Engineering Thesis, Loughborough University.



Hakan Tutumlu

Fırat University, htutumlu@firat.edu.tr, Elazığ-Turkey

Recep Yumrutaş

Gaziantep University, yumrutas@gantep.edu.tr, Gaziantep-Turkey

Hasan Oktay

Batman University, hasan.oktay@batman.edu.tr, Batman-Turkey

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.1A32PB>

BİNA ISITMA VE BUZ PİSTİ SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN YERALTI ENERJİ DEPOLAMA TANKIYLA ISIL ANALİZİ

Öz

Bu çalışmada, küresel yeraltı enerji depolama tankı (TES) ile iki termal sistemin uzun süreli performansı araştırılmıştır. Bu sistem, buz paten pisti ile buz pisti soğutma sistemi, mahal ile ısı pompası ve küresel yeraltı ısı tankından (TES) oluşan sistemlerden oluşmaktadır. Soğutma ve ısıtma sistemlerinin termal performansını bulmak için sistemler için iki analitik model geliştirilmiştir. Bu modeller, TES tankı dışında geçici ısı transfer problemi çözümü ile buz pateni pistinin, soğutma ünitesinin, ısı pompasının kazanç-kayıp enerji gereksinimlerinin hesaplanmasıyla oluşturulmuştur. Problemin çözümü, benzerlik dönüşümü ve Duhamel süper-pozisyon teknikleri kullanılarak elde edilmiştir. TES tankındaki su sıcaklığının saatlik değişimini, soğutma sistemi ile ısı pompasının performans katsayılarını (COP) ve yıllık periyodik çalışma koşullarına ulaşmak için gereken zaman aralığı tespit etmek için analitik modellere dayalı interaktif Matlab bilgisayar programı kullanılarak çözüm programı oluşturulmuştur. Sonuç olarak, soğutma sisteminin performans katsayısının 2 ile 5, ısı pompasının performans katsayısının 4 ile 7 ve bütünleşik sistemin sürekli rejime ulaşma zaman aralığı ise 6 ile 7 yıl aralığında değişmekte olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Buz Pateni Pisti, Mahal Isıtma, Enerji Depolama (TES) Tankı, Isı Pompası, Soğutma ve Isıtma Sistemi

ENERGY ANALYSES OF ICE RINK COOLING AND BUILDING HEATING SYSTEMS WITH UNDERGROUND STORAGE TANK

ABSTRACT

In this study, the long-term performance of two thermal systems with the spherical underground thermal energy storage (TES) tank is investigated. The thermal systems are an ice rink cooling system, and ice rink cooling and house heating system with the TES tank, which consist of an ice rink, a chiller unit, a house to be heated, a heat pump and spherical underground TES tank. Two analytical models for the systems are developed for finding the thermal performance of the cooling and heating systems. The models are based on the solution of transient heat transfer problem outside the TES tank, energy requirements of the ice rink, chiller unit, heat pump and house. The solution of the problem is obtained using a similarity transformation and Duhamel superposition techniques. Analytical models are consisted of by combining of the solution equation and expressions for the each component of the thermal systems. Interactive computer programs in Matlab based on the analytical models are prepared for finding an hourly variation of water temperatures in the TES tank, coefficients of performance (COP) of the chiller and heat pump, and timespan required to attain annually periodic operating conditions. Results indicate that COP of the chiller and heat pump, and operation time of span changes between 2-5 and 4-7, and 6-7 years respectively.

Keywords: Ice Rink, Chiller Unit, Energy Storage Tank, Heat Pump, Cooling And Heating System



1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Uluslararası Enerji Ajansı'na (IEA) göre, Dünya Enerji gereksinimi 1970'den beri iki katına çıkmıştır [1]. Artan enerji kullanımı, toplum refahının iyi yönde gelişmesi ve nüfus artışı gibi birçok faktöre bağlıdır. Kullanılan enerjinin %80'den fazlası doğal gaz, petrol ve kömürden elde edilmektedir [2]. Sonuç olarak, Dünya üzerinde oluşan emisyon gazları, 1970 yılından bu yana iki kat artarak küresel ısınmaya ve çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Ayrıca, fosil yakıt kaynakları yenilenemez enerji kaynağı olmamakla birlikte sürekli olarak kullanılmaya devam etmektedir [3]. Türkiye enerji bakanlığı, kış mevsiminde fosil yakıt tüketiminin artması durumunda daha fazla hava kirliliği olacağını öngörüyor. Hava kirliliğinin çevresel etkilerini azaltmak için doğalgaz, petrol ve kömürün kullanımını miktarını düşürmek ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını ve araştırılmasını teşvik etmek gerekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları son zamanlarda mevcut teknoloji potansiyelini ve kapasitesini önemli ölçüde etkileyecek bir noktaya gelmiştir [4]. Bu kaynaklar doğal olarak kendilerini yenileme yeteneğine sahip olmakla birlikte mantıklı bir ekonomik maliyete ulaşırsa, dünyanın enerji ihtiyaçlarını karşılamak için gereken enerjiyi sağlayabilir [5]. Rüzgar enerjisi, hidroelektrik, güneş enerjisi, biyokütle, biyoyakıtlar ve jeotermal enerji kaynakları yenilenebilir enerji kaynakları arasındadır [1]. Bu enerji kaynakları sürdürülebilir, bu yakıtların kullanımı, konvansiyonel yakıtların mevcut çevresel ve sosyal etkilerini önemli ölçüde azaltabilir [5].

Bu araştırma alanı onlarca yıldır devam etmekle birlikte, önlem üzerine son zamanlarda yapılan vurgu yaygın bir şekilde kullanılmaya başlamıştır. Günümüzde toplam küresel enerjinin yaklaşık %17'si yenilenebilir kaynaklardan üretilmektedir [5]. Bu enerji kaynaklarından en yaygınları olan biyokütle ve hidrojen enerji kaynakları olmakla birlikte rüzgar ve güneş enerjileri ise günden güne kullanımı yaygınlaşmakta ve sürekli olarak araştırma ve geliştirme yönünde çalışmalar devam etmektedir [3 ve 5]. Isıtma ve Soğutma sistemlerinde kullanılan fosil yakıt miktarı artmakla birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarında bu sistemlerde kullanımını yaygınlaştırma çalışmaları süratle devam etmektedir. Mahal ısıtma ve soğutma işlemlerinde maliyetin düşürülmesi ve çevreye salınan emisyon gazlarının azaltılması için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle, birçok ülkenin ulusal enerji stratejileri, çevre dostu, yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanımı üzerine odaklanmaktadır [9]. Bu çalışmada, buz pisti soğutma sistemi ve yer altı TES tankı ile bir ısıtma sistemi için analitik model geliştirilmiştir. Bu model, geçici ısı transferi probleminin TES tankı dışındaki periyodik çözümleri, soğutma ünitesinin, ısı pompası, buz pateni pisti ve binanın enerji ihtiyacı bilançolarından oluşmaktadır. Soğutma ve ısıtma sistemlerinin COP değerleri depo sıcaklığının kullanarak elde edilmektedir. Analitik ifadeler, iç hava, ortam havası ve TES tankındaki su sıcaklığının bir fonksiyonu olarak türetilmiştir. Bu çalışmada Matlab'da iki bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bu programlar, su ve ortam hava sıcaklığı, toprak tipi, Carnot verimlilik oranı, depolama tankı boyutu, ısıtılan ev sayısı ve buz pisti boyutu ile soğutma ünitesinin ve ısı pompasının COP'u üzerindeki etkilerini araştırmak ve yıllık periyodik çalışma koşullarına ulaşmak için gerekli zaman aralıklarını bulmak için hazırlanmıştır. Programlardan ilki, TES tankı ile buz pistonu soğutma sistemi için analitik bir modele dayanmaktadır. İkinci program ise TES tank ile buz pisti soğutma ve bina ısıtma sistemlerinin olduğu bütünleşik sistemin analitik modeli için program hazırlanmıştır. Bu

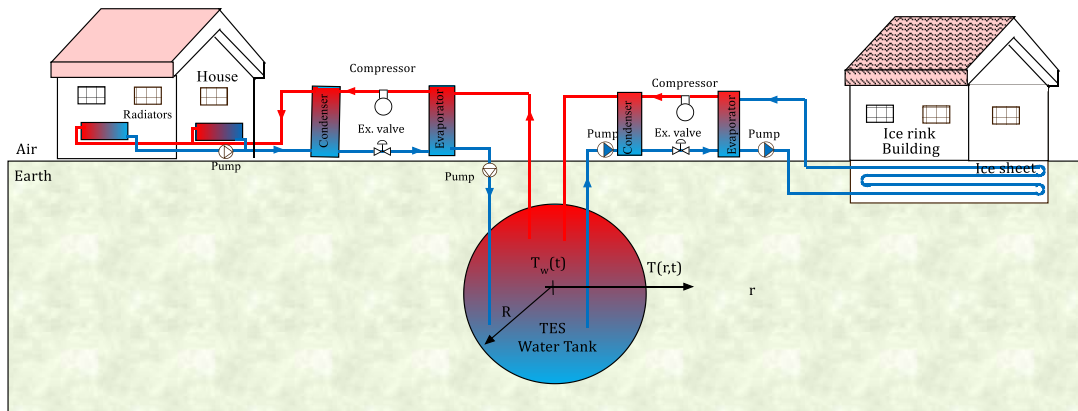
programlarda, saatlik dış hava sıcaklık verileri giriş verileri olarak kullanılmıştır. Depolanan suyun saatlik sıcaklıklarının değişim verileri, soğutma sisteminin ve ısı pompası ünitelerinin COP değerleri ve sistemlerin enerji fraksiyonları programlar tarafından hesaplanmaktadır.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışma mevcut literatür çalışmalarından farklı olarak küresel enerji depo geometrisi kullanılarak buz pisti soğutma sisteminin çevreye atılan atık enerjinin depo vasıtasıyla tüm yıl boyunca depolanması ile depolanan bu enerjinin kış aylarında mahal ısıtma için kullanılması üzerine yapılmış bir çalışmadır. Burada sistem bütünleşik olarak ele alınmış olup matematiksel modellenmesi yapılarak analitik yöntemle çözümüne dair ifadeler elde edilmiştir. Elde edilen bu ifadeler, MatLab programı kullanılarak bütünleşik sistemin periyodik hale ulaşmasında geçen süre bilgisayar üzerinden hesaplanmıştır. Elde edilen program çıktıları bölüm 5 detaylı olarak incelenmiştir. Bu çalışmanın en önemli noktası, depolanan atık enerjinin kullanılması ile buz pisti soğutma sisteminin performans değişimi incelenmiştir.

3. BÜTÜNLEŞİK SİSTEMİN TANITIMI (DESCRIPTION OF INTEGRATED SYSTEM)

Şekil 1'de gösterilen yer altı TES tankı ile buz pisti soğutma ve bina ısıtma sistemlerinin, tüm yıl boyunca çalışma şartlarında yeraltı termal enerji depolama (TES) tankı, konut ısıtması için ısı pompası, buz pisti soğutması için ciller ünitesi olmak üzere beş bileşenden oluşmaktadır. Soğutma ve ısıtma sistemlerinin en önemli bileşeni, enerji tasarrufu sağlayan ve çevre kirliliğinin azaltılmasına katkıda bulunan yer altı TES tankıdır [10]. Isı pompası ve chiller ünitesi ile toprak arasındaki enerji değişimi, soğutma ve ısıtma sistemlerinin performansını olumlu yönde katkı sağlayacaktır. Toprak, büyük kütle ve sabit sıcaklıkta olduğundan büyük enerji depolama ortamı olarak düşünülmektedir [11]. Bu nedenle, TES tankı, buz pisti soğutma sisteminden gelen atık enerji enerji depolaması için çok önemlidir, ve ayrıca TES tankı, soğutma ünitesinin çalışma zamanında bir ısı yutucu olarak kullanılacaktır. Depolanan atık enerji, kış sezonunda binaların ısıtılması için bir ısı pompasının ısı kaynağı olarak kullanılmaktadır.



Şekil 1. Yer altı TES tankı ile buz pisti soğutma ve bina ısıtma sistemlerinin şematik olarak gösterimi
(Figure 1. Schematic view of an ice rink cooling and building heating systems with an underground TES tank)

Isı pompası, ısıtma sisteminin önemli bileşenleridir. Bir ısı kaynağı olarak kullanılan termal depolama tankına bağlıdır. Isı pompası ile binaların ısınması için ısı verilir. Isı pompası teknolojisi, ısıtma işlemi için konvansiyonel soğutma işlemlerine göre daha yüksek bir enerji verimliliğine erişebilir, çünkü ısıtma için daha yüksek sıcaklığın yer altı tankı tarafından sağlanması ve ayrıca depoda bulunan suyun sıcaklığındaki dalgalanmanın ortam hava sıcaklığının değişiminden daha az olduğu gözlemlenmiştir. Termal enerji depolama tankında depolanan enerji, binaların sadece kış mevsiminde ısıtılması için bir ısı pompası ile çıkarılır. Isı pompası ancak, depodaki suyun sıcaklığı binayı gerekli iç tasarım hava sıcaklığında tutmak için yetersiz kaldığında çalışır. Su sıcaklığı gerekli sıcaklığın altındaysa, ısı pompası binaların içindeki radyatörlere dolaşmadan önce depodaki suyun sıcaklığını yükseltir. Isıtma sisteminin önemli bir bileşenide konuttur. 100m²'lik zemin alanı olan konut için 10kW'lık bir tasarım ısıtma yükü alınmıştır. Isı pompası ve bu ısı pompası ile dolaşan su ile bina sıcaklığının korunduğu düşünülmektedir.

3.1. TES Tankı İçin Geçici Isı Transfer Problemi (Transient Heat Transfer Problem Around The Tes Tank)

Küresel TES tankının dışındaki topraktaki geçici ısı problemi ve başlangıç ve sınır koşulları aşağıdaki gibi küresel koordinatlarda verilmiştir;

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T}{\partial r} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

$$T(R, t) = T(t) \quad \text{at } r=R \quad (2)$$

$$T(\infty, t) = T_\infty \quad \text{at } r = \infty \quad (3)$$

$$T(r, 0) = T_\infty \quad \text{at } t = 0 \quad (4)$$

(1) numaralı denklemde $\alpha = k/\rho c$, ısı yayılım katsayısını göstermektedir. Geçici rejimde periyodik ısı transferi problemi kısmi diferansiyel denklem, sınır ve periyodik şartlarla ifade edilmiştir. Tanka aktarılan toplam enerji, tankın makul enerji artışı ile tanktan çevredeki toprağa iletilen ısı kaybı arasındaki farka eşittir ve aşağıda gösterilmiştir;

$$Q = \rho_w c_w V_w \frac{dT_w}{dt} - kA \frac{\partial T}{\partial r}(R, t) \quad (5)$$

Denklemler (1-2-3-4-5) ile verilen geçici ısı transferi problemi, aşağıdaki boyutsuz değişkenleri kullanarak boyutsuz forma aktarılır.

$$x = \frac{r}{R} \quad \tau = \frac{\alpha t}{R^2} \quad q = \frac{Q}{4\pi R k T_\infty} \quad p = \frac{\rho_w c_w}{3\rho c} \quad \phi = \frac{T - T_\infty}{T_\infty} \quad \phi_w = \frac{T_w - T_\infty}{T_\infty} \quad \phi_a = \frac{T_a - T_\infty}{T_\infty} \quad (6)$$

TES tankını çevreleyen yeryüzündeki boyutsuz geçici sıcaklık dağılımı, Duhamel'in süperpozisyon tekniği kullanılarak elde edilir ve aşağıdaki ifade ile verilir.

$$\psi(x, \tau) = \phi_w(0) \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x-1}{2\sqrt{\tau}} \right) \right\} + \int_0^\tau \frac{d\phi_w(\xi)}{d\xi} \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x-1}{2\sqrt{\tau-\xi}} \right) \right\} d\xi \quad (7)$$

ϕ için çözüm, $x=1$ 'de değerlendirilen ve denklem içine yerleştirilen sonsuz değişken x 'e göre farklılaşırsa aşağıdaki integro-diferansiyel denklem elde edilir.

$$q = p \frac{d\phi_w}{d\tau} + \phi_w(\tau) + \int_0^\tau \frac{d\phi_w(\xi)}{d\xi} \frac{d\xi}{\sqrt{\pi(\tau-\xi)}} \quad (8)$$

Denklem (8), TES tankındaki suyun boyutsuz sıcaklığı için, n 'inci zaman artışıyla bölünebilir ve çözüm aşağıda ifadeyle oluşturulur:

$$\phi_w(\tau_n) = \frac{q(\tau_n) + \left[\frac{p}{\Delta\tau} + \frac{1}{\sqrt{\pi\Delta\tau}} \right] \phi_w(\tau_{n-1}) - \sum_{i=1}^{n-1} \frac{\phi_w(\tau_{n-i}) - \phi_w(\tau_i)}{\sqrt{\pi\Delta\tau(n-i)}}}{1 + \frac{p}{\Delta\tau} + \frac{1}{\sqrt{\pi\Delta\tau}}} \quad (9)$$

Denklem (9), küresel TES'in su sıcaklığını hesaplamak için kullanılacaktır. Eşitlikte $q(\tau)$ terimi, TES tankına boyutsuz net ısı giriş oranını temsil eder. TES tankına ısı girişi oranı, $q(\tau)$, buz soğutma sisteminden çıkan enerji redüksiyonuyla boyutsuz ısı toplama oranı ile ısı pompası tarafından aktarılan enerji arasındaki farktır;

$$q(\tau) = q_u(\tau) - q_h(\tau) + \frac{w(\tau)}{\gamma} \quad (10)$$

Burada γ , boyutsuz bir parametredir, $\{4 \cdot R_k / (UA)h\}$ ve $q_u(\tau)$ toplanan boyutsuz mevcut kullanılan faydalı atık enerji oranıdır. $q(\tau)$ ve $w(\tau)$ sırasıyla binanın boyutsuz ısı gereksinimi ve ısı pompası iş miktarını göstermektedir. $q_u(\tau)$, $q_h(\tau)$ ve $w(\tau)$ aşağıdaki bölümlerde verilmektedir. Saatlik olarak faydalı atık enerji kazanç oranının hesaplanması buz pateni pisti soğutma sistemiyle uyulanır ve aşağıdaki bölümlerde özetlenmiştir.

3.2. Buz Pisti Enerji Analizi (Energy Analysis for Ice Rink)

Bu bölümde buz pateni pisti enerji analizleri yapılmıştır. İlk olarak, ön soğutma yükü olarak adlandırılan buz tabakası oluşturmak için enerji gereksinimi ve ardından ikinci olarak, çalışma şartlarındaki işletim soğutma yükü ihtiyacı, toplam soğutma yükünü oluşturmaktadır. Bu nedenle, ön soğutma yükünün hesaplanması ve işletim soğutma yükü, buz pateni pistinin toplam soğutma yükünü elde etmektedir. Ön soğutma yükü, Q_E , şu şekilde tanımlanır;

$$Q_E = 1.15(Q_F + Q_C + Q_{SR} + Q_{b-p}) \quad (11)$$

Burada Q_F , su soğutma yükü, Q_C , beton soğutma yükü, Q_{SR} , ikincil soğutma yükü, Q_{b-p} bina ve pompalama yükü $0.0926 \cdot (A_{rink})$ olarak alınmakta ve sistem kayıpları $1.15(\%15)$ kabul edilmektedir [12]. İşletim soğutma yükü, Q_{oper} , konveksiyon ısı kazanımı $Q_{CV}(kW)$, Radyasyon ısı kazanımları Q_R ve Q_{CD} iletimine bağlı olarak ısı kazanımı aşağıdaki gibidir:

$$Q_{oper} = Q_{CV} + Q_R + Q_{CD} \quad (12)$$

Toplam soğutma yükü, Q_L , ön soğutma yükü (Q_E) ile işletim soğutma yükünün (Q_{oper}) toplamıdır ve bu denklem [13]'deki gibi hesaplanmaktadır:

$$Q_L = Q_E + Q_{oper} \quad (13)$$

3.3. Buz Pisti Mahalinin Enerji İhtiyacı (Energy Requirement of The Ice Rink Space)

Buz pateni pisti mahalinin soğutma yükü talebi, zamanla değişen dış hava sıcaklığının bir fonksiyonu olarak gösterilecektir. Buz

pateni pisti mahalinin tüm yıl boyunca ani ısı kazanım yükü talepleri şu şekilde temsil edilebilir:

$$Q_L(t) = (UA)_{rink} [T_a(t) - T_i] \quad (14)$$

Burada $(UA)_{rink}$ pistin UA -değeri, T_i ve $T_a(t)$ sırasıyla iç tasarım hava ve ortam hava sıcaklıklarıdır. Buz pateni pisti mahalinin enerji talebi $Q_L(t)$ de şu şekilde de ifade edilebilir:

$$Q_L(t) = (UA)_{rink-he} [T_c(t) - T_i] \quad (15)$$

Burada $(UA)_{rink-he}$ ve $T_c(t)$, buz pisti içindeki eşanjör için UA değeri ve eşanjörde dolaşan soğutucu akışkanın sıcaklığını ifade etmektedir.

3.4. Soğutma Ünitesinin Enerji Gereksinimi (Energy Requirement of The Cooling Unit)

Soğutma sisteminde kullanılan çiller ünitesi, buz pistinden ısıyı emer ve yeraltı TES tankına ısı enerjisi gönderir. Buz pateni pisti için soğutma yükü, chiller'in performans katsayısı ($COP_{cooling}$) ve chiller'in kompresörün tükettiği işin çarpımı ile temsil edilebilir:

$$Q_L(t) = W(t) (COP_{cooling}) \quad (16)$$

Isı pompasının performansı katsayısı ise şu şekilde temsil edilebilir:

$$COP_{cooling} = \frac{Q_L(t)}{W(t)} = \frac{Q_L(t)}{Q_h(t) - Q_L(t)} \quad (17)$$

Burada $W(t)$ kompresörün tükettiği iş miktarı ve $Q_h(t)$, TES tankına soğutma sisteminden gönderilen atık enerji ısıdır. Chiller'in COP 'u, Tarnowski [13, 14, 15 ve 16] tarafından verilen yaklaşımı kullanarak hesaplanabilir. Chiller ünitesinin gerçek COP 'sini Carnot faktörü ile çarparak ifade edilebilir:

$$COP_{cooling} = \beta \frac{T_c}{T_w(t) - T_c} \quad (18)$$

Burada β , Carnot faktörüdür ve 0 ile 1 arasında değişir. Açıkçası, Carnot faktörü, Carnot soğutma çevrimi için 1'dir. Eşitlik (14) ile Eşitlik (15) birleştirilerek, T_c bağlı çözülebilir. T_c Eşitlik 18'e yerleştirdiğimizde ve Eşitlik (6) 'da verilen boyutsuz parametrelerde kullanıldığında, aşağıdaki ifade elde edilir:

$$COP_{cooling} = \beta \frac{u [\phi_i - \phi_a(\tau)] + \phi_i + 1}{u [\phi_i - \phi_a(\tau)] - \phi_i + \phi_w(\tau)} \quad (19)$$

Eşitlik (15) ve (19), Eşitlik (17) 'ye yerleştirildiğinde, boyutsuz kompresör işi şu şekilde ifade edilebilir:

$$w = \frac{[\phi_a(\tau) - \phi_i] \{u [\phi_a(\tau) - \phi_i] - \phi_i + \phi_w(\tau)\}}{\beta \{u [\phi_i - \phi_a(\tau)] + \phi_i + 1\}} \quad (20)$$

'u' parametresi eşitlik (19) ve (20) kullanılarak tanımlanır;

$$u = \frac{(UA)_{rink}}{(UA)_{rink-he}} = \frac{T_i - T_c}{T_a - T_i} \quad (21)$$

3.5. Saatlik Faydalı Atık Enerji Toplama Miktarı (Hourly Useful Rejected Energy Collection Rate)

Buz pisti soğutma ünitesinden atılan ısı enerjisi termal depolama tankına yüklediği düşünülmektedir. Kullanılabilir saatlik yararlı enerji toplama miktarı, $Q_u(t)$, aşağıda verilen formül ile belirlenebilir:

$$Q_u(t) = Q_L(t) \left(1 + \frac{1}{COP_{cooling}} \right) \quad (22)$$

Burada $COP_{cooling}$ buz pateni pisti için soğutma performansıdır. Q_L , buz pateni pistinin toplam ısı kazancıdır.

3.6. Konut'un Enerji Gereksinimi (Energy Requirement of The Building)

Binanın ısıtma yükü, zamanla değişen dış hava sıcaklığının bir fonksiyonu olarak gösterilebilir. Kış sezonunda konutun ani ısıtma yükü şu şekilde temsil edilebilir:

$$Q_h(t) = (UA)_h [T_i - T_a(t)] \quad (23)$$

Burada $(UA)_h$ binanın UA-değeri, T_i ve $T_a(t)$ sırasıyla iç tasarım hava ve ortam hava sıcaklıklarıdır. Konutun enerji ihtiyacı $Q_h(t)$ da şu şekilde ifade edilebilir:

$$Q_h(t) = (UA)_{he} [T_h(t) - T_i] \quad (24)$$

Burada $(UA)_{he}$ ve $T_h(t)$, ısıtma mahalindeki eşanjör için UA-değeri ve eşanjörün için dolaşan suyun sıcaklığıdır. Termal depolama tankını çevreleyen yerdeki ısı transferi problemini formüle ederken Bölüm 2.1'da geçici ısı transferi düşünülse de, bina ısıtma yükünün hesaplanması için eşitlik (9) ile verilen formülasyon, termal değeri ihmal eden "yarı dengeli bir formülasyon" yapı olarak kabul edilmektedir.

3.7. Isıtma Sistemi İçin Isı Pompasının Enerji Gereksiniminden Denklemler Türetilmesi (Derived Equations for The Energy Demand of The Heat Pump For Heating System)

Isı pompası, TES tankından ısı çıkartan ve binaya ısı gönderen bir cihazdır. Binaya sağlanan ısı, ısı pompasında tüketilen iş ile ısı pompası performans katsayısının çarpımı ile elde edilebilir:

$$Q_h(t) = W(t) (COP)_{heating} \quad (25)$$

Isı pompasının performansı katsayısı şu şekilde sunulabilir:

$$COP_{heating} = \frac{Q_h(t)}{W(t)} = \frac{Q_h(t)}{Q_h(t) - Q_L(t)} \quad (26)$$

Isı pompasının performansı, bölüm 2.4'te verilen yaklaşım kullanılarak hesaplanmıştır. Carnot verimliliği β , bir ısı pompasının gerçek $COP_{heating}$ Carnot COP_c 'ye oranına eşittir:

$$\beta = \frac{COP_{heating}}{COP_c} \quad (27)$$

Carnot COP_c , kaynak(source) (T_{wh}) ve emici (sink) (T_h) sıcaklıklarının bir fonksiyonu olarak gösterilebilir:

$$COP_c = \frac{T_h(t)}{T_h(t) - T_{wh}(t)} \quad (28)$$

Eşitlik (27) ile (28) 'in birleştirilerek aşağıdaki eşitlik oluşturulur:

$$COP_{heating} = \beta \left(\frac{T_h(t)}{T_h(t) - T_{wh}(t)} \right) \quad (29)$$

(9) ve (10) eşitlikleri $T_h(t)$ için birleştirilir ve çözüldüğünde, $T_h(t)$ için sonuç ifadesi eşitlik (29) ile değiştirildiğinde, $COP_{heating}$ aşağıdaki gibi boyutsuz formda ifade edilebilir:

$$COP_{heating} = \beta \frac{u [\phi_i - \phi_a(\tau)] + \phi_i - \phi_{wh}(\tau)}{u [\phi_i - \phi_a(\tau)] + \phi_i + 1} \quad (30)$$

Eşitlik (25)'e (9) ve (30) eşitliklerinin eklenmesiyle, boyutsuz kompresör işi, w , boyutsuz formda aşağıdaki gibi elde edilebilir:

$$w = \frac{[\phi_a(\tau) - \phi_i] \{u [\phi_i - \phi_a(\tau)] + \phi_i - \phi_{wh}(\tau)\}}{\beta \{u [\phi_i - \phi_a(\tau)] + \phi_i + 1\}} \quad (31)$$

Burada, ϕ_i boyutsuz tasarım iç hava sıcaklığı, $\phi_a(t)$ ve $\phi_{w_heating}(t)$ sırasıyla kış mevsiminde dış hava ve TES tank su sıcaklığı boyutsuz olarak gösterilmektedir. (30) ile (31) eşitlikler içindeki u parametresi, konut için $(UA)_{h-value}$, eşanjör için $(UA)_{he-value}$ oranı ile gösterilmektedir;

$$u = \frac{(UA)_h}{(UA)_{he}} = \frac{T_h - T_i}{T_i - T_a} \quad (32)$$

4. METHOD VE BAZI PARAMETRELER (METHOD AND SOME PARAMETERS)

Sayısal hesaplamaları yapmak için mevcut analitik modele dayalı Matlab'daki bir bilgisayar programı hazırlandı. Hesaplama prosedürü, TES tankındaki su sıcaklığının zamansal değişimini ve chiller'in COP'u gibi diğer performans parametrelerini bulmak için kullanılmıştır. Program yaklaşık 10 yıl boyunca bu parametreleri hesaplamak için bir operasyonel prosedür kullanmaktadır. Programımız 8GB RAM ve 3.1GHz mikroişlemcili özel bilgisayar özelliklerinde yaklaşık 20 dakika çalışıyor. Bilgisayar programları Matlab'da geliştirilmiştir. Programın tüm giriş parametreleri aşağıda ayrıntılı olarak verilmektedir. Programda, toprağın termo-fiziksel özellikleri, iklim verileri ve buz pateni pisti verileri olan bazı giriş parametreleri bulunur. Bu çalışmada ele alınan üç tip toprak (kum, kaba çakıl ve kireçtaşı) termo-fiziksel özellikleri Özçışık'ten alınmıştır [17] ve Tablo 1'de listelenmiştir.

Tablo 1. Jeolojik yapıların özellikleri
(Table 1. Properties of the geological structures)

Toprak Tipi (Earth Type)	Kaba Çakıl (Coarse Graveled)	Kireçtaşı (Limestone)	Kum (Sand)
İletkenlik (Conductivity) (W/mK)	0.519	1.3	0.3
Yayıcılık (Diffusivity) (m ² /sec)	1.39x10 ⁻⁷	5.75x10 ⁻⁷	2.50x10 ⁻⁷
Özgül Isı (Specific Heat) (J/kgK)	1842	900	800
Isı Kapasitesi (Heat Capacity) (kJ/m ³ K)	3772	2250	1200

İlk depolama sıcaklığının, hesaplamaların başlangıcında derin toprak sıcaklığına eşit olduğu varsayılır. Derin toprak sıcaklığı 15°C alınır ve bütün yıl için buz pisti içindeki tasarım havası sıcaklığı 12°C olarak alınmıştır. Ayrıca tasarımdaki kış mevsiminde hava sıcaklığı 20°C olarak alınmıştır. Gaziantep Meteoroloji İstasyonu'ndan saatlik dış hava sıcaklıkları 10 yıl süre için program içerisinde kullanılmıştır. Hesaplamalarda aksi belirtilmedikçe Carnot faktörü 0.4, tank hacmi 200m³ alınmıştır. Gaziantep ili için $T_i=12^\circ\text{C}$ ve $T_c=-5^\circ\text{C}$ olmak üzere yaz mevsim sıcaklığı $T_a=39^\circ\text{C}$ olarak alındığında buz pateni pisti soğuması için verilen eşitlik (32)'de tanımlanan u değerinin 0.6 olduğu hesaplanmıştır. Ve ayrıca, konut ısıtma durumunda kışın tasarım durumu için $T_i=20^\circ\text{C}$ ile $T_h=-9^\circ\text{C}$ olarak alınmıştır. Buz pateni pisti verileri Tablo 2'de listelenmiştir.

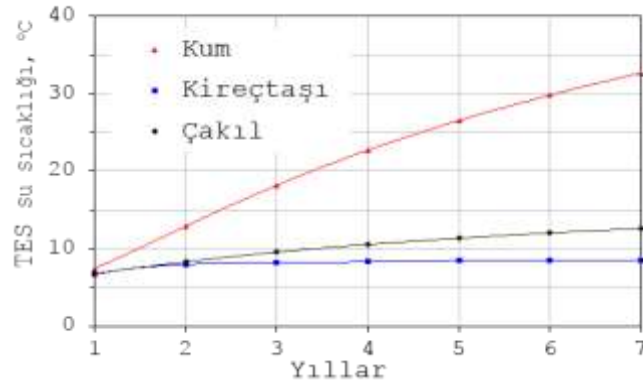
Tablo 2. Buz pisti enerji analizi için gerekli bazı parametreler
(Table 2. Some necessary parameter for energy analysis of ice rink
[12])

Symbol	Parameter	Values
A_c	Beton Alanı (Concrete Area)	100m ²
A_{ice}	Buz Alanı (Ice Area)	100m ²
A_{rink}	Rink Alanı (Rink Area)	100m ²
$A_{ceiling}$	Çatı Alanı (Ceiling Area)	110m ²
$C_{p,c}$	Betonun Özgül Isısı (Specific Heat of Concrete)	0.67kJ/kg.K
r	Buzlu Suyun Gizli Isısı (Latent Heat of Freezing Water)	334kJ/kg
$T_{ceiling}$	Çatı Sıcaklığı (Ceiling Temperature)	18.80°C
T_D	Dağıtım Sıcaklığı (Distribution Temperature)	18.80°C
$T_{c,i}$	İlk Beton Sıcaklığı (Initial Temperature of Concrete)	2°C
$T_{c,f}$	Son Beton Sıcaklığı (Final Temperature of Concrete)	-4°C
T_f	Dökülen Su Sıcaklığı (Flood Water Temperature)	60°C
T_{ice}	Buz Sıcaklığı (Ice Temperature)	-2°C
T_{in}	İç Tasarım Sıcaklığı (Inside Design Temperature)	12°C
$T_{SR,i}$	İkincil Soğutucu İlk Sıcaklığı (Initial Temperature of Secondary Coolant)	5°C
$T_{SR,f}$	İkincil Soğutucu Son Sıcaklığı (Final Temperature of Secondary Coolant)	-7°C
$T_{w,i}$	Su İlk Sıcaklığı (Initial Temperature of Water)	11°C
x_{air}	Havadaki Su Buharı Mol Fraksiyonu (Mole Fraction of Water Vapor in Air)	6.6*10 ⁻³
x_{ice}	Doymuş Buzdaki Su Buharı Mol Oranı (Mole Fraction of Water Vapor in Saturated Ice)	3.6*10 ⁻³
V_f	Dökülen Su Hacmi (Flood Water Volume)	31*10 ⁻³ m ³
$\alpha_{ceiling,ice}$	Açı Faktörü, Arayüz Tavan (Angle Factor, Ceiling to Interface)	0.65
ρ_c	Beton Yoğunluğu (Specific Weight of Concrete)	2400kg/m ³
ρ_w	Su Yoğunluğu (Specific Weight of Water)	1000kg/m ³
$\varepsilon_{ceiling}$	Tavan Emissivitesi (Emissivity of Ceiling)	0.9
ε_{ice}	Buz Emissivitesi (Emissivity of Ice)	0.95
v	Buz Üzerindeki Hava Hızı (Air Velocity over The Ice)	2m/s

Buna ek olarak, boyutsuz soğutma yükü ve ısıtma yükü, varsayımsal saatlik ortalama sıcaklıkları, iç tasarım hava sıcaklığını ve saatlik dış hava sıcaklıklarını kullanarak bütün yılın tüm ayları için hesaplanmalar yapılmıştır.

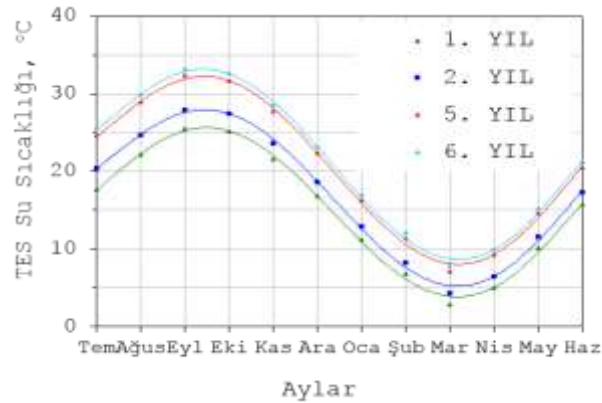
5. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

Bu çalışmada, ısıtma analizinde saatlik ortalama hava durumu verileri kullanılır. Termal enerji deposu ve ısı pompası, binaların ısıtma işlemleri için önemli bir role sahiptir. Depolama hacmi seviyeleri, termal depolama tankındaki suyun sıcaklığını büyük ölçüde etkiler. Bir diğer önemli nokta, depolama sıcaklığı seviyeleri ısıtma sisteminin performansını büyük ölçüde etkilemektedir.



Şekil 2. Şubat ayı için TES tankındaki yıllık su sıcaklığı değişimi
(Figure 2. Annual temperature variation of water in the TES tank for
February. $A_{ice}=250m^2$, $CE=40\%$, $V=100m^3$, $NOH(Konut\ Sayısı)=5$)

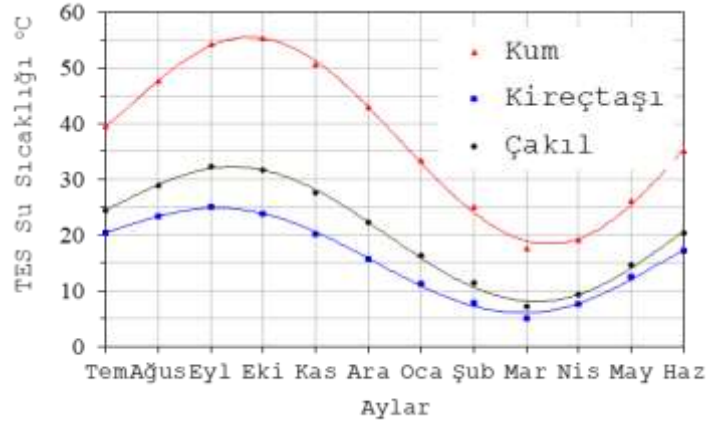
Depolama suyu sıcaklığının Şubat ayı boyunca üç tip toprak çeşidi ile çevrelenmiş uzun süre değişimi Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu Şekil, kumun kaba çakıl veya kireç taşı ile karşılaştırıldığında daha yüksek TES tankı sıcaklıklarına işaret ettiğini göstermektedir. Tablo 1'de listelenen üç toprak tipinin termos-fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması kum için hem ısı iletim katsayısı hem de termal difüzyivite değerlerinin diğer toprak türleri için bu özelliklerin uygun değerlerinden daha düşük olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, kumun ısı kapasitesi diğer toprak türleri ile karşılaştırıldığında değeri daha büyüktür. Şekil 2'de tasvir edilen bir başka gözlem, işlemin ilk birkaç yılı boyunca termal depolama tankı sıcaklıklarının hızlı bir şekilde farklılaşmasıdır. Termal depolama tankı sıcaklıklarının farklılaşması, tüm jeolojik yapılar için beşinci işletme yılına kadar azalır ve termal depolama tankı sıcaklıkları, beşinci işletme yılından sonra değişmez ve bundan sonra periyodik çalışma koşullarına işaret eder.



Şekil 3. Bir dizi çalışma yılı ile birlikte TES tankındaki yıllık su sıcaklığı değişimi
(Figure 3. Annual temperature variation of water in the TES tank with
a number of operation years. Coarse graveled, $A_{ice}=250m^2$, $CE=40\%$,
 $V=100m^3$, $NOH=5$)

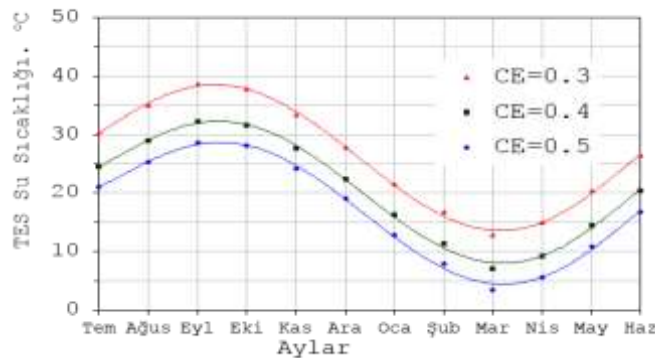
Şekil 3, birinci, ikinci, beşinci ve altıncı yıllık işletim yılları için sırasında kaba çakıl türü toprak için termal depolama tankındaki suyun sıcaklık değerlerinin bütün yıl varyasyonunu

göstermektedir. Şekilde, beşinci işletme yılından sonra yıllık periyodik çalışma koşullarına ulaşıldığı gösterilmektedir. Bu alanların ısıtılması için konut sayısı 5(beş) olarak alındı.

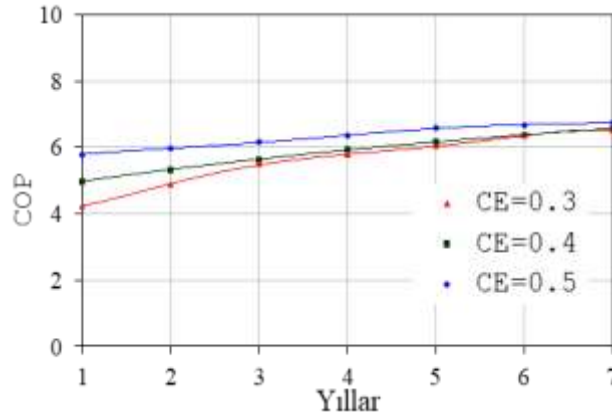


Şekil 4. TES tankında, beşinci yıl boyunca suyun yıllık sıcaklık değişimi üzerine toprak tipinin etkisi
(Figure 4. Effect of earth type on annual temperature variation of water in the TES tank during the fifth year of operation. $A_{ice}=250m^2$, $CE=40\%$, $V=100m^3$, $NOH=5$)

Şekil 4, üç farklı jeolojik toprak türü için beşinci işletme yılı boyunca termal depolama tankındaki depolama sıcaklığının tüm yıl farklılaşmasını göstermektedir. Kaba çakıllı toprak, kireç taşı ve kum için en yüksek sıcaklıkların yaz sonunda, en düşük sıcaklıkların kış mevsiminin sonunda olduğu görülmektedir. Yaz aylarında ısıtma için bir ısı pompası çalışmazken, termal depolama suyu atılan enerji ile şarj edilir ve tüm yıl termal depolama suyu sıcaklığında bir artış meydana gelir. Isı enerjisinin aktarılması, soğutma işlemi boyunca ısı pompası tarafından termal depolama suyundan çıkarılırsa, termal depodaki suyun sıcaklığı kış mevsiminin sonlarına doğru kademeli olarak azalır ve en düşük depo sıcaklığı kışın sonunda oluşur. En yüksek depolanmış su sıcaklığına, termal depolama tankı kaba çakıl toprakla çevrildiğinde ve en düşük su sıcaklığına kireç taşı ile elde edildiği şekilden anlaşılmaktadır.

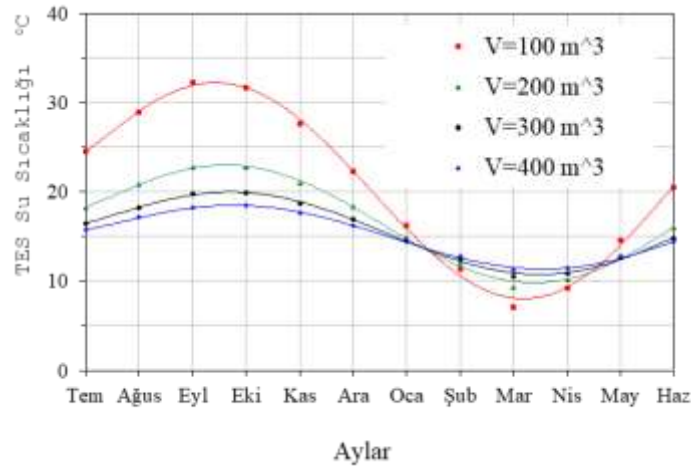


Şekil 5. Çalışma sürecinin beşinci yılı boyunca TES tankındaki suyun yıllık sıcaklık değişimi üzerine CE'nin etkisi
(Figure 5. Effect of Carnot Efficiency (CE) on annual temperature variation of water in the TES tank during the fifth year of operation. Coarse gravelled, $A_{ice}=250 m^2$, $V=100 m^3$, $NOH=5$)

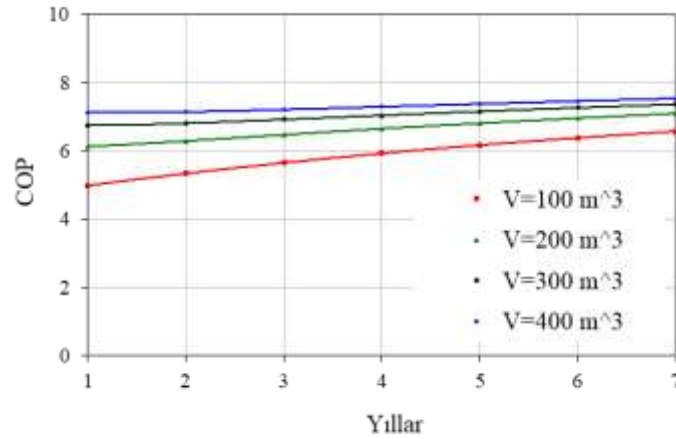


Şekil 6. CE'nin ısı pompasının performansına etkisi
(Figure 6. Effect of CE on performance of the heat pump.
Coarse gravelled, $A_{ice}=250 \text{ m}^2$, $V=100 \text{ m}^3$, $NOH=5$)

Bu çalışmada pratik olarak makul bir CE değeri kullanılmıştır. Gerçek COP'nin farklı sıcaklık kaldırmalarında gerçek bir ısı pompasının tiplerine ve boyutlarına bağlı olduğu bilinmektedir. Beşinci işletme yılı boyunca TES tankı sıcaklığının aylık değişimi ve COP'nin uzun vadeli değişimi için elde edilen sonuçlar sırasıyla Şekil 5 ve 6'da gösterilmektedir. Daha yüksek CE değerleri, daha düşük TES su sıcaklığı verir ve bu şekil 2'de görülmektedir. Yüksek CE değerleri, daha düşük TES su sıcaklığında görünür ve bu Şekil 5'te gösterilmektedir. Daha yüksek bir CE, aynı ısıtma yükü için tanktan daha fazla miktarda ısı çekme anlamına gelir ve bunun sonucunda TES'deki su sıcaklığı azalır. CE'nin TES tank sıcaklığına etkisi, Şekil 5'te görüldüğü gibi düşüktür. Fakat, Şekil 6'de görüldüğü gibi COP üzerindeki etkisi yüksektir. 6 Yıllık periyodik çalışma koşulları elde edilene kadar performans yıllarca yükselir. Yıllık periyodik çalışma koşulları elde edildiğinde yıllık performans değeri değişmez.



Şekil 7. Depolama hacminin, beşinci işletme yılı boyunca depolama tankındaki suyun yılın tüm sıcaklık değişimine etkisi
(Figure 7. Effect of storage volume on whole year temperature variation of water in the storage tank during the fifth year of operation. Coarse gravelled, $A_{ice}=250 \text{ m}^2$, $CE=40\%$, $NOH=5$)



Şekil 8. Depo hacmi ve çalışma süresi ile Performansın değişimi
(Figure 8. Variation of Performance with tank volume and operation
time (Coarse gravelled, $A_{ice}=250m^2$, $CE=40\%$, $NOH=5$))

Şekil 7 ve 8, depolama tankı boyutunun sistem performansına etkisini vurgulamak üzere hazırlanmıştır. Şekil 7, beşinci yıl işletiminde dört farklı hacim için termal su depolama tankındaki su sıcaklığının değişimini göstermektedir. Deponun boyutu azaltıldığında su sıcaklığının değiştiği gözlemlenebilir. TES tankının su sıcaklığı en düşük seviyededir ancak tank hacmi $100m^3$ olduğunda Ocak, Şubat ve Mart boyunca $0^\circ C$ 'nin üzerinde kalır. TES tank sıcaklığındaki azalmalar, ısı pompası çevriminde soğutma sıvısının buharlaşma sıcaklığını düşürecektir. Bu da, buharlaşma ve yoğunlaşma sıcaklıkları arasındaki farkı artırarak ısı pompası işinde bir artışa neden olur ve ısı pompası performansını düşürür. Öte yandan, emici(sink) ve kaynak arasındaki sıcaklık farkı azaldığında, ısı pompası tarafından gerekli iş azalır. Isı pompası ünitesinin performansının yıllara göre farklılaşması dört farklı tank hacmi için Şekil 8'de görülmektedir. TES tank büyüklüğü ile performans yükselir. Tüm tank boyutları için beşinci işletme yılına kadar yükselir. Beşinci yıldan sonra performans değişikliği ihmal edilemez derecede küçüldüğü görülmektedir. Ve ayrıca, tank hacmi $300m^3$ 'ten $400m^3$ 'e yükseltildiğinde, performansdaki değişimin az olduğu da gözlenmektedir. Konutların ısıtma ihtiyacı azaldığında ise COP'un yükseldiği gözlemlenmektedir. TES tankları toprağın derinliklerine gömülmüş olan sistemlerde bulunmasına rağmen çalışma sonuçlarının toprak yüzeyine yakın gömülü TES tanklarına sahip sistemler için mevcut olmayacağını belirtmek isteriz. Toprak yüzeyinde bulunan TES tanklarının dışındaki sıcaklık alanı, toprak yüzeyindeki sınır koşulunun önemsiz etkisi nedeniyle gerçek yapıda üç boyutlu olacaktır. Duhamel'in süperpozisyon ilkesini kullanarak üç boyutlu bir sorunun çözümü mümkün değildir ve bu tür bir üç boyutlu analiz yöntemi mevcut çalışmanın kapsamı dışındadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Buz pisti soğutma sistemlerinin uzun vadeli performansını tahmin etmek ve ısı depolama ile bina ısıtması için bir program modeli oluşturuldu. Bu yaklaşım metodu bilgisayar kullanılarak elde edilmiş olup, geliştirilen yazılım depo hacmine, buz pateni alanına, ısıtma yapılacak konut sayısına ve sistem boyutuna ek olarak optimum parametrik değerler elde etmek için uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu çalışmada, bir buz pateni soğutma sisteminin ve konut ısıtma sisteminin bir yeraltı termal enerji depolaması (TES) tankı ile uzun



vadeli performansını bulmak için bir hibrid analitik ve hesaplama modeli geliştirilmiştir. Modele dayalı bir bilgisayar kodu geliştirildi ve çalışma yıllarının sayısını, TES tankını çevreleyen toprağın termo-fiziksel özelliklerini, Chiller'in Carnot etkinliğini (CE), depolama hacmini, ısıtma konut sayısını ve Buz pisti alanını, TES tank su sıcaklığı ve sistemin termal performansı üzerine düşünülmüştür. Sonuçlar, araştırılan sistemin yıllık periyodik çalışma koşullarına erişmesi için 5 ile 7 yıllık bir operasyonel sürenin yeterli olacağını gösteriyor. Deponun çevresindeki toprağın termo-fiziksel özellikleri, sistemin performansını etkiler ve kum toprağı, bu çalışmada ele alınan üç toprak türü içinde en iyi termal performansı vermektedir. CE, TES tankı sıcaklığı üzerinde küçük bir etkiye sahipken, chiller'in COP'si ve ısıtma sisteminin COP'si üzerinde daha güçlü bir etkiye sahip olduğu aşıkardır. Bu çalışma, derin toprakta enerji depolamanın teknik fizibilitesini göstermektedir. Soğutma sistemleri ve/veya ısıtma sistemlerine yönelik ısı pompaları ile küresel ısı depolarının analitik modellenmesi ve denenmesi için daha fazla gayret gerekmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Quaschnig, V., (2010). Renewable Energy and Climate Change. Chichester, West Sussex, UK: Wiley.
2. International Energy Agency, Key world energy statistics. (<http://www.iea.org/newsroomandevents/news/2013/october/key-world-energy-statistics-2013-now-available.html>); 2013 (Erişim Tarihi: 16.06.15)
3. Lefebvre, D. and Tezel, H.F., (2005). A Review of Energy Storage Technologies with a Focus on Adsorption Thermal Energy Storage Processes for Heating Applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews.
4. Dincer, I. and Rosen, M.A., (2011). Thermal Energy Storage: Systems and Applications. Chichester: John Wiley & Sons.
5. Elliott, D., (2013). Renewables: a Review of Sustainable Energy Supply Options. Great Britain: Institute of Physics.
6. International Energy Agency. World energy outlook 2012 factsheet. Available from: <http://www.worldenergyoutlook.org/media/weo/website2012factsheets.pdf>.
7. Yaglı, H., Koc, Y., Koc, A., Gorgulu, A., and Tandiroglu, A., (2016). Parametric Optimization and Exergetic Analysis Comparison of Subcritical and Supercritical Organic Rankine Cycle (ORC) for Biogas Fueled Combined Heat and Power (CHP) Engine Exhaust Gas Waste Heat. Energy.
8. Mathiesen, B.V., Lund, H., Connolly, D., Wenzel, Qstergaard, P.A., Moller, B., et al., (2015). Smart Energy Systems for Coherent 100% Renewable Energy and Transport Solutions. Applied Energy, 145:139-54.
9. Kuyumcu, M., Tutumlu, H., and Yumrutas, R., (2016). Performance of a Swimming Pool Heating System by Utilizing Waste Energy Rejected from an Ice Rink with an Energy Storage Tank. Energy Conversion and Management, pp:349-357.
10. Novo, A.V., Bayon, J.R., Castro-Fresno, D., and Rodriguez-Hernandez, J., (2010). Review of Seasonal Heat Storage in Large Basins: Water Tanks and Gravel-water Pits. Applied Energy. 87:390-397.
11. Yumrutas, R. and Unsal, M., (2000). Analysis of Solar Aided Heat Pump Systems with Seasonal Thermal Energy Storage in Surface Tanks. Energy. 25:1231-1243.



-
12. Caliskan, H. and Hepbasli, A., (2010). Energy and Exergy Analyses of Ice Rink Buildings at Varying Reference Temperatures. *Energy and Building*. 42:1418-1425.
 13. Yumrutas, R. and Unsal, M., (2000). Analysis of Solar Aided Heat Pump Systems with Seasonal Thermal Energy Storage in Surface Tanks. *Energy*. 25:1231-1243.
 14. ASHRAE, (2006). Ice Rinks in: ASHRAE Handbook-Fundamentals American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers Inc., Atlanta. Chapter 35.
 15. Yumrutas, R., Kunduz, M., and Ayhan, T., (2003). Investigation of Thermal Performance of a Ground Coupled Heat Pump System with a Cylindrical Energy Storage Tank. *International Journal of Energy Research*. 27:1051-1066.
 16. Tarnawski, V.R., (1989). Ground Heat Storage With Double Layer Heat Exchanger. *International Journal of Energy Research*. 13:137-148.
 17. Ozisik, M.N., (1985). *Heat Transfer: A Basic Approach*, McGraw-Hill, New York.



Yahya Hışman Çelik, Burak Yenigün

Batman University, Batman-Turkey

yahyahisman.celik@batman.edu.tr; burak.yenigun@batman.edu.tr

Erol Kılıçkap

Dicle University, ekilickap@dicle.edu.tr, Diyarbakır-Turkey

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.1A34PB>

FISTIK KABUĞU TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

ÖZ

İlerleyen teknoloji ile beraber geleneksel malzemeler yetersiz kalmakta ve bu malzemelerin yerine kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerin geleneksel malzemelere göre birçok avantajı bulunmaktadır. İstenilen fiziksel özelliklere göre kombine edilebilmesi önemli avantajlarından biridir. Kompozitlerde takviye elemanı olarak genellikle cam, karbon, aramid, grafen gibi malzemeler kullanılır. Ancak bu malzemelerin üretim maliyetlerinin yüksek olması, geri dönüşüm işlemlerinin zorlu proseslerden oluşması ve doğada kaybolma sürelerinin uzun olması kenaf, jüt, bambu, fıstık ve ceviz kabuğu gibi doğal takviye elemanlarının kullanımını arttırmaktadır. Bu çalışmada, farklı oranlarda fıstık kabuğu tozu takviyeli polimer matrisli kompozitler üretilmiştir. Üretilen bu kompozitlerin sertlik değerleri, basma dayanımları ve aşınma davranışları incelenmiştir. Aşınma deneyleri farklı yük ve kayma mesafelerinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, takviye oranının artması ile beraber sertlik değerinin, basma dayanımının ve ağırlık kaybına bağlı aşınma direncinin arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca uygulanan yük ve kayma mesafesinin artmasıyla kompozitteki ağırlık kaybının arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Aşınma, Doğal Kompozit, Fıstık Kabuğu, Kompozit Malzeme, Doğal Takviye Elemanlar

INVESTIGATION OF WEAR BEHAVIORS OF PISTACHIO SHELL REINFORCED COMPOSITES

ABSTRACT

Along with the advancing technology, traditional materials are inefficient and composite materials are used instead of these materials. Composite materials have many advantages over traditional materials. It is an important advantage to be able to combine according to desired physical properties. In composites glass, carbon, aramid, graphene are usually used as reinforcing element. However, the high production costs of these materials, the difficult processing of recycling processes and the long periods of disappearance in the environment increase the use of natural reinforcement elements such as kenaf, jute, bamboo, pistachio and walnut shells. In this study, pistachio shells particule, which have different ratios, reinforced polymer matrix composites were produced. Hardness values, compressive strength and wear behavior of these produced composites were investigated. Wear tests were carried out at different load and sliding distances. As a result of the studies, it was determined that the hardness value, the compressive strength and the wear resistance increased with increasing of the reinforcement ratio depending the weight loss. It was also seen that the weight loss in the composite increased with the increase of applied load and sliding distance.

Keywords: Wear, Natural Composite, Pistachio Shells, Composite Material, Natural Reinforcement Elements

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İlerleyen teknoloji ile beraber geleneksel malzemeler yetersiz kalmakta, başta havacılık sektörü olmak üzere diğer sektörlerde yeni malzeme ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bu noktada kompozit malzemeler devreye girmektedir. Kompozit malzemeler, geleneksel malzemelere göre daha hafif, korozyon direnci daha yüksek, yorulma ömrü daha fazla, toklukları daha yüksek, imalatı daha ucuz ve kolaydır. Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini arttırma, matris içerisine ilave edilecek takviye cinsinin, parçacık boyutunun, şeklinin ve takviyenin matris içerisindeki dağılımının bir fonksiyonudur ve harici olarak uygulanan yükün takviye edici faza ne kadar iyi aktarıldığına bağlıdır [1]. Kompozitlerin mekanik özellikleri için takviye tipi çok büyük önem taşımaktadır. Takviyeler çalışma sıcaklığında reaktif olmamalı ve kararlı olmalıdır [2]. Kompozit malzemelerde cam, karbon, aramid gibi organik olmayan takviye elemanları kullanılmaktadır. Ancak çevresel etkilerden dolayı kompozitlerde doğal olmayan takviye elemanlarının yerine doğal takviye elemanlarının kullanımı yönünde araştırmalar yapılmaktadır [3]. Taylant'ta bir firma pirinç kamışı, yer fıstığı kabuğu, hindistan cevizi kabuğu gibi doğal malzemeleri takviye elemanları olarak kullanarak çeşitli kompozit levhalar üretmektedir. Ayrıca Gaziantep Genç İş Adamları Derneği doğal takviye elemanları kullanarak ahşap kompozit üretimi ile ilgili fizibilite raporu hazırlamıştır [4]. Türkiye'de üretilen antep fıstığının dünya pazarındaki payı yaklaşık %15'tir. TÜİK 2016 verilerine göre yıllık antep fıstığı üretimi 170.000 ton olarak gerçekleşmiştir[5]. Antep Fıstık kabuğunun ağırlıkça fıstığın %45'lik kısmını oluşturduğu göz önüne alındığında ciddi bir doğal takviye elemanından bahsedilebilir [6]. Özellikle fıstık kabuğu kompozitler üretilerek makine elemanı olarak kullanılabilir.

Makine elemanlarında kullanılan kompozit ve diğer malzemelerin aşınması, temas halindeki iki yüzeyin sadece mekaniğini etkilemez aynı zamanda termal ve kimyasal etkileşimini de etkileyen karmaşık bir süreçtir. Bu malzemelerin aşınma direnci, aşınmaya maruz kalan uygulamalardaki potansiyel tribolojik özelliklerinden ötürü bugünkü ilgimizi çekmektedir [7]. Birbiri ile etkileşim halinde çalışan makine parçaları mekanik ve termal döngüsel gerilimlere maruz kalmaktadırlar. Döngüsel gerilmeler altında, gerilmelerin yoğunlaştığı bölgede hasar başlayabilir. Bu hasarın başında sürtünme ve aşınma önemli bir etmene sahiptir [8]. Sürtünme ve aşınma, katı yüzeylerin göreceli hareketi sırasında iki önemli tribolojik olaydır ve genellikle enerjiyi dağıtmaya ve materyalleri bozmaya eğilim gösterirler. Sürtünme, iki yüzeyin kinetik enerjiyi ısıya dönüştürürken kayma sırasında katı yüzeylerin göreceli hareketine direncidir. Aşınma ise kayma esnasında mekanik ve/veya kimyasal işlemler neticesinde iki yüzey arasında bağli hareketin sonucu bir yüzeyden diğer yüzeye malzeme transferi olarak tanımlanmaktadır. Yüzeye transfer olan malzemeler kalıcı veya geçici, az veya çok olabilir. Bu olay endüstriyel uygulamalarda maliyeti arttırdığından dolayı istenmeyen bir durumdur. Çünkü bu durum parça değiştirme, artan iş ve zaman, verimlilik kaybı, dolaylı enerji kaybı ve artan çevresel yük, günlük iş ve iş alanlarındaki gerçek sorunları etkilemektedir. Hatta insanın can kaybına bile sebep verebilir. Aşınmada önemli olan parametreler uygulanan malzemenin cinsi, uygulanan yük, kayma hızı, malzemenin sertliği, takviye oranının kırılma tokluğu ve morfolojisidir [9 ve 11].

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Kompozit malzemelerde kullanılan doğal olmayan takviye elemanlarının üretimi ve geri dönüşümleri esnasında enerji kayıpları

meydana gelmektedir. Ayrıca, doğada kaybolma sürelerinin uzun olması ciddi çevresel problemlere neden olmaktadır. Bu nedenle doğal olmayan takviye elemanlarına alternatif olabilecek doğal takviye elemanı arayışına girilmiştir. Bu çalışmada, Türkiye'nin Güney Doğu Anadolu Bölgesinde yaygın olarak üretilen Antep ve Siirt fıstık kabuğunun değerlendirilmesi amacıyla, fıstık kabuğu takviyeli kompozit malzeme üretilmiş ve üretilen bu malzemenin basma, sertlik ve aşınma davranışları incelenmiştir.

3. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

Bu çalışmada kullanılan fıstık kabukları değirmende öğütülerek partikül haline getirilmiştir. Radwag Marka AS 220/C/2 Model hassas terazide, fıstık kabuğu partikülleri belirlenen oranlarda tartılmıştır. Fıstık kabuğu partikülleri ağırlıkça %50, %55, %60 ve %65 oranlarında polyester matris ile karıştırılmıştır. 12mm çapında kalıplara dökülerek kompozit haline getirilmiştir. Kompozit haline getirilen numuneler 24mm uzunluklarında kesilmiştir. Kesilen kompozit numunelere ait görüntüler Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Kompozitlerin kesit görüntüleri
(Figure 1. Cross-sectional views of composites)

Kompozitlerin sertlik değerleri Shimadzu HMV M-1 marka sertlik ölçme cihazında ölçülmüştür. Sertlik değerleri, 100gr'lık yük kompozit numunenin yüzeyine 10 saniye uygulanarak elde edilen izin büyüklüğüne bağlı olarak belirlenmiştir. Her bir numune için 4 farklı noktadan ölçüm alınıp ortalama sertlik değerleri elde edilmiştir. Basma Deneyleri Shimadzu 250kN yük hücresine sahip universal test cihazında 1mm/s basma hızında gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneylerinde Şekil 2'de gösterilen aşınma test düzeneği kullanılmış ve aşındırıcı olarak rulman çeliği tercih edilmiştir. Aşınma deneyleri Tablo 1'de verilen aşınma parametrelerinde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca aşınma deneyleri esnasında sürtünmeden dolayı oluşan sıcaklığın belirlenmesi için Testo 881-2 marka termal kamera kullanılmıştır.



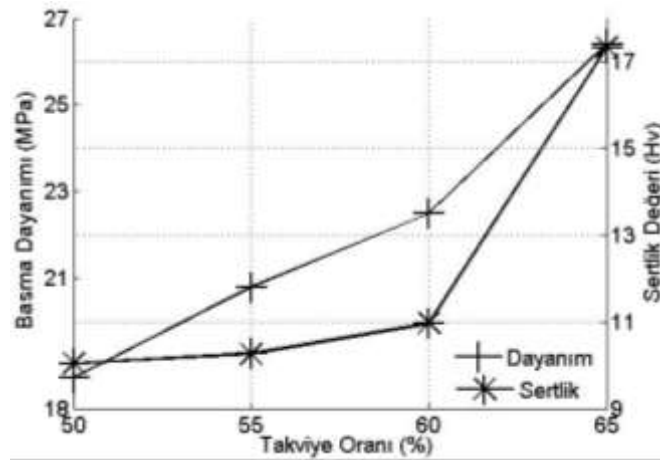
Şekil 2. Aşınma deney düzeneği
(Figure 2. Wear experimental setup)

Tablo 1. Deney parametreleri ve değerleri
(Table 1. Experimental parameters and values)

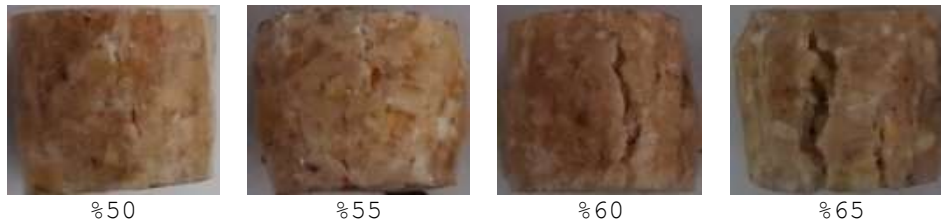
Parametreler	Değerler	Birim
Kayma Hızı	0.678	m/s
Yük	5, 10 ve 15	N
Kayma Mesafesi	200, 400 ve 600	m

4. DENEYSEL SONUÇLAR (EXPERIMENTAL RESULTS)

Bu çalışmada, %50, %55, %60 ve %65 oranlarında fıstık kabuğu takviyeli üretilen kompozitlerin; basma dayanımları, sertlik değerleri ve aşınma davranışları incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda takviye oranına bağlı olarak sertlik ve basma dayanımı grafikleri Şekil 3'te, basma testi sonrasında numunelerde oluşan hasar görüntüleri de Şekil 4'te de gösterilmiştir.

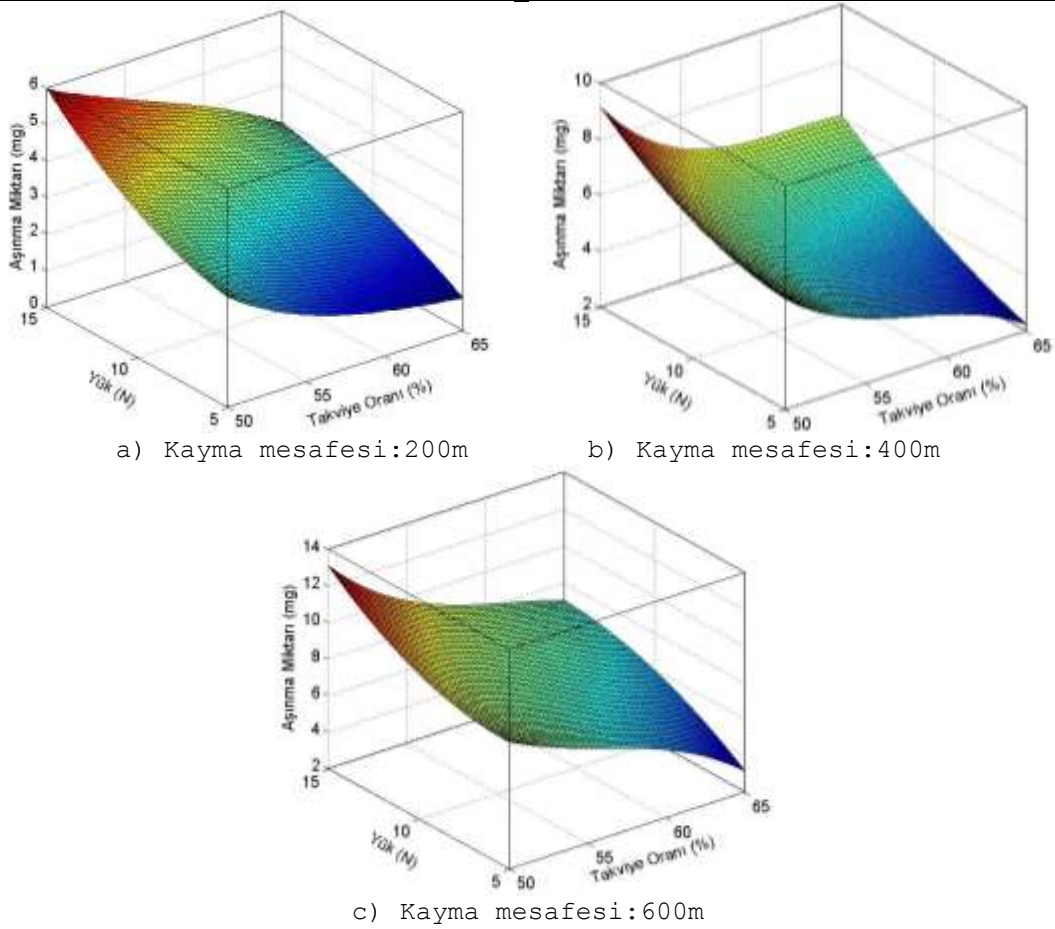


Şekil 3. Basma dayanımı ve sertlik değeri grafiği
(Figure 3. Compressive strength and hardness value graph)



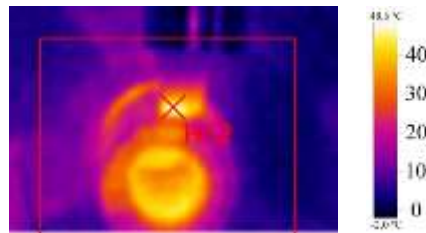
Şekil 4. Basma testi hasar görüntüleri
(Figure 4. Compressive test damage images)

En düşük basma dayanımı ve sertlik değerinin %50 takviyeli numunede olduğu, en yüksek basma dayanımının ve sertlik değerinin %65 takviyeli numunede olduğu görülmüştür. Takviye oranının artması malzemenin hem basma dayanımını hem de sertliğini arttırmıştır. Fıstık kabuğunun matris elemanında daha yüksek sertlik değerine sahip olmasından dolayı, artan takviye oranıyla kompozitteki sertlik değerlerinin ve basma dayanımlarının artması beklenen bir durumdur. Sabit kayma hızıyla 5N, 10N ve 15N yük altında 200m, 400m ve 600m kayma mesafelerinde yapılan aşınma testine ait aşınma grafikleri Şekil 5'te gösterilmiştir.

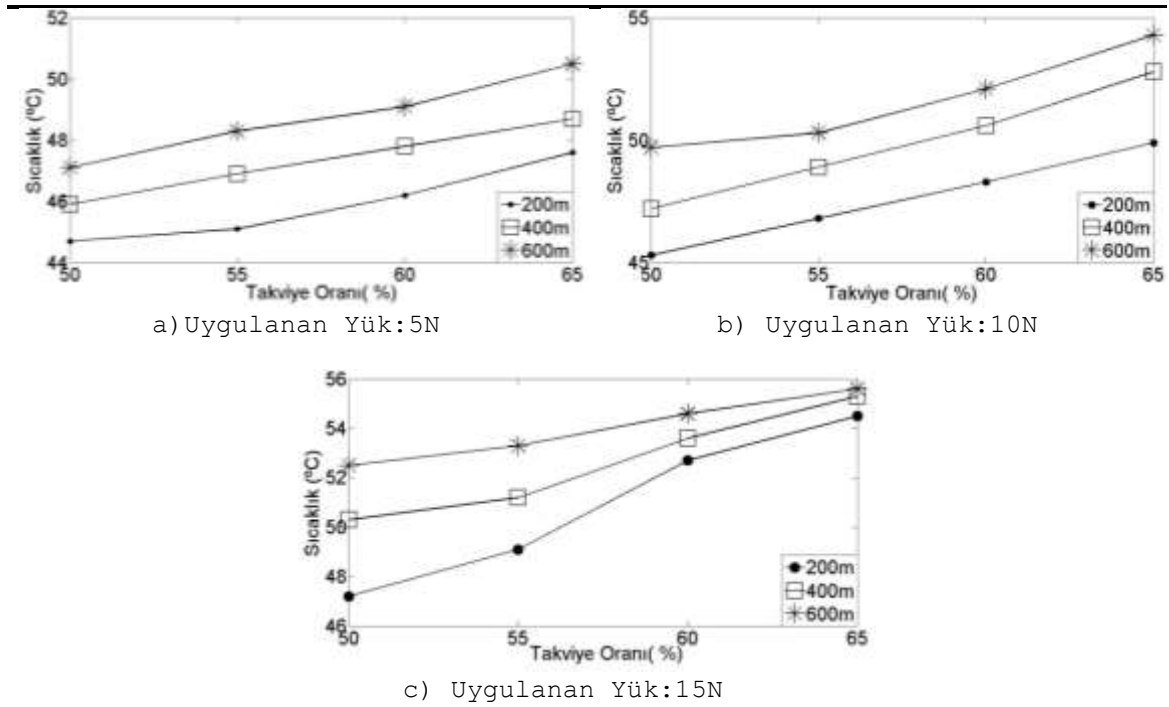


Şekil 5. Farklı parametrelerdeki aşınma grafikleri
(Figure 5. Wear graphs in different parameters)

En yüksek aşınma miktarı 600m kayma mesafesinde, 15N yük altında ve %50 takviye içeren numune meydana gelmiştir. En düşük aşınma miktarı ise 200m kayma mesafesinde, 5 N yük altında ve %65 takviye içeren numune meydana gelmiştir. Aşınma miktarının; artan yük ve kayma mesafesiyle arttığı, takviye oranının artmasıyla azaldığı gözlemlenmiştir. Antep fıstık kabuğunun aşınma direnci epoksiye göre daha fazla olduğu için artan takviye oranlarında aşınma miktarının azalması beklenen bir durumdur. Aynı şekilde yükün artmasıyla aşınma miktarının artması, sürtünme kuvvetinin artmasına bağlanabilir. Aşınma testleri esnasında oluşan sıcaklık termal kamera ile ölçülmüştür. Takviye oranı %65 olan kompozit numunenin 5N yük altında 400 m kayma mesafesi sonucunda oluşan sıcaklığa ait görüntü Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekil 7'de ise farklı yük, takviye oranı ve kayma mesafeleri için sıcaklık grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 6. Aşınmadan kaynaklanan sıcaklık görüntüsü
(Figure 6. Temperature image due to wear)



Şekil 7. Sıcaklık Grafikleri
(Figure 7. Temperature graphics)

Şekil 7'den en düşük sıcaklığın 5N yük, 200m kayma mesafesi ve %50 takviye oranında, en yüksek numune sıcaklığının ise 15N yük, 600m kayma mesafesi ve %65 takviye oranında olduğu gözlemlenmiştir. Artan yük ile temas halindeki parçalar üzerine gelen sürtünme kuvvetlerinin artması, uzun kayma mesafeleri ile temas halindeki parçaların temas sürelerinin artması, takviye oranının artması ile de yağlayıcı matris görevi yapan polyesterin azalması sıcaklığın artmasına neden olmuştur.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Farklı fıstık kabuğu takviye oranlarında üretilen kompozitlerin basma, sertlik ve aşınma davranışı ile ilgili yapılan deneysel çalışmaya ait sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Malzeme sertliği ve basma dayanımı takviye oranının artmasıyla artmıştır.
- Uygulanan yükün ve kayma mesafesinin artması aşınma miktarını arttırmıştır.
- Takviye oranının artması aşınma miktarını azaltmıştır.
- Kayma mesafesi, takviye oranı ve uygulanan yükün artması ile beraber kompozit numunelerin sıcaklığı artmıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Mazaghery, A. and Shabani, M.O., (2012). Mechanical Properties of Squeeze-cast A356 Composites Reinforced with B4C Particulates. Journal of Materials Engineering and Performance Volume:21, pp:247-252, DOI:dx.doi.org/10.1007/s11665-011-9867-6.
2. Asif Iqbal, A.K.M. and Nuruzzaman, D.M., (2016). Effect of the Reinforcement on the Mechanical Properties of Aliminium Matrix Composite. International Journal of Applied Engineering Research Volume:21, pp:10408-10413.



3. Güzel, G., (2016). Epoksi Reçinesi-Yüksek Fırın Cürufu/Yerfıstığı Kabuğu Tozu Kompozitlerinin Hazırlanması ve Özelliklerinin İncelenmesi. İl: Konya. Yüksek Lisans Tezi.
4. <http://www.ika.org.tr/upload/yazilar/Ahsap-Kompozit-Yer-Dosemesi-Uretimi-Tesisi-On-Fizibilite-Raporu-463338.pdf>.
5. Türkiye İstatistik Kurumu 2016 Verileri.
6. Açıkalın, K., Karaca, F., and Bolat, E., (2012). Pyrolysis of Pistachio Shell: Effects of Pyrolysis Conditions and Analysis of Products, Fuel, Volume:95, pp:169-177.
7. Uvaraja, V.C. and Natarajan, N., (2012). Tribological Characterization of Stir-cast Hybrid Composite Aluminium 6061 Reinforced with SiC and B₄C Particulates. European Journal of Scientific Research. Volume:76, pp:539-552.
8. Ye, H., (2003). An Overview of the Development of Al-Si-Alloy Based Material for Engine Applications. Journal of Materials Engineering and Performance. Volume:12, pp:288-297. DOI: 10.1361/105994903770343132.
9. Mazahery, A. and Shabani, M.O., (2012). Study on Microstructure and Abrasive Wear Behavior of Sintered Al Matrix Composites, Ceramics International. Volume:38, pp:4263-4269. DOI: doi.org/10.1016/j.ceramint.2012.02.008.
10. Menezes, P.L., Nosonovsky, M., Kailas, S.V., and Lovell, M.R., (2013). Friction and Wear, Tribology for Scientists and Engineers, Springer, New york, pp:43-91.
11. Deuis, R.L., Subramanian, C., and Yellup, J.M., (1997). Dry Sliding Wear of Aluminium Composites-a Review, Composites Science and Technology, Volume:57, pp:415-435. DOI: doi.org/10.1016/S0266-3538(96)00167-4.



Tolga Topkaya

Batman University, tolga.topkaya@batman.edu.tr, Batman-Turkey

Murat Yavuz Solmaz

Fırat University, mysolmaz@firat.edu.tr, Elazığ-Turkey

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.1A36PB>

BAL PETEĞİ SANDVIÇ KOMPOZİTLERİN DÜŞÜK HIZLI DARBE TESTİ SONRASI EĞİLME MUKAVEMETİNDEKİ DEĞİŞİMİN ARAŞTIRILMASI

ÖZ

Teknolojinin farklı endüstri alanlarında gelişmesi ile birlikte enerji sönmleme ve hafif şok emicilerine olan ihtiyacın artması bal peteği sandviç kompozitler gibi yapılara olan ilgiyi arttırmıştır. Gerçekleştirilen çalışmada bal peteği sandviç kompozitlerin darbe ön hasarı sonrası üç nokta eğilme mukavemetlerindeki değişim araştırılmıştır. Darbe enerjisi olarak 5 ve 10 J kullanılmıştır. Bütün numunelerde artan darbe enerjisinin numune mukavemetini düşürdüğü görülmüştür. Darbeden en çok etkilenen modelin cam fiber yüzey malzemesine sahip numuneler olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Düşük Hızlı Darbe, Balpeteği Sandviç Kompozit, Üç Nokta Eğilme, Cam Fiber, Mukavemet

INVESTIGATION OF THREE POINT BENDING BEHAVIORS OF HONEYCOMB SANDWICH COMPOSITES AFTER LOW VELOCITY IMPACT

ABSTRACT

Through the increasing development of technology in different industries, and the integral requirement of energy absorption, light shock absorbers such as honeycomb structure under in-plane and out-of-planeloads have been in the center of attention. Flexural properties of sandwich composites after impact studied. Three different face sheet thicknesses used. 5 J and 10 J are used as impact energy levels. The results indicated that the strength of samples are decreased with increased impact energy. Most affected samples from impact are glass fiber reinforced composite face sheet models.

Keywords: Low Velocity Impact, Honeycomb Sandwich Composite, Three Point Bending, Class Fiber, Resistance

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bal peteği sandviç kompozitler çekirdeği doğada bulunan arı bal peteklerine benzetilerek üretilen yapılardır. İnce ve düz bütün malzemelerden üretilen, 500'ün üzerinde bal peteği çeşidi mevcuttur. İlk bal peteği yapısı Çinliler tarafından 2000 yıl önce kâğıttan süs yapımında kullanılmıştır.

Günümüzde bal peteği yapılar yalnızca sandviç kompozitlerde değil aynı zamanda enerji sönmleme, hava yönlendirme, termal panel, akustik panel, ışık yayını ve radyo frekansı kalkını uygulamalarında kullanılmaktadır.

Bianchi ve diğerleri, gerçekleştirdikleri çalışmada alüminyum bal peteği sandviç çekirdeklerin düzlem kayma yüklemesi altında statik ve yorulma davranışlarını incelemiştir. Numunelerde oluşan hasar tipleri farklı yükleme tipleri ve yorulma ömrünün farklı aşamalarında gözlenmiştir. Sonuçlar kayma mukavemeti ve kayma modülü ile yük uygulama doğrultusu arasında lineer bir ilişki olmadığı görülmüştür [1]. Belouettar ve arkadaşları gerçekleştirdikleri çalışmada aramid fiber ve alüminyum bal peteği ve alüminyum yüzey malzemesine sahip sandviç kompozit malzemelerin statik ve yorulma davranışlarını dört nokta eğilme yüklemesiyle



araştırmıştır. Çekirdek yoğunluğu ve hücre oryantasyonunun mukavemet ve hasar tipine olan etkisi araştırılmıştır. Sonuçlar rijitliğin numune sağlığını tahmin etmek için iyi bir parametre olmadığını göstermiştir. Yorulma testlerinin sonuna yaklaştıkça rijitlik düşmüştür. Ancak bal Peteği hücrelerde hasar rijitliğin düşmeye başlamasından önce başlamıştır [2]. Abbadi ev diğerleri, hasara uğramış ve hasarsız numunelerin yorulma davranışını dört nokta eğilme yüklemesi ile araştırmıştır. Sonuçlar oluşturulan hasarsız numunelerin statik mukavemetine etkisinin olmadığını göstermiştir. "L" konfigürasyonunun yorulma ömrünün "W" konfigürasyonundan daha yüksek olduğu görülmüştür. 48 kg/m³ yoğunluğa sahip Aramid fiber çekirdeğe sahip model için yüzey malzemesinin daha yüksek yorulma ömrüne sahip olduğu görülmüştür [3]. Shi ve arkadaşları, karbon fiber yüzey malzemesi ve alüminyum bal Peteğine sahip numunelerin mukavemetlerine yapışmanın etkisini eğilme ve basma testleriyle incelemiştir. Yapışma mukavemetinin artması amacıyla ara yüzeyde kısa kevlar fiberlerin kullanılabilirliği araştırılmıştır. Kevlar takviyeli ve takviyesiz numuneler karşılaştırılmıştır. Kısa kevlar fiberlerin uçları yüzey malzemesi ve bal Peteği hücre arasında köprü görevi görmüştür. Yapışma alanının artması ve ara yüzey ayrılmasına karşı gösterdiği direnç nedeniyle numunelerin mukavemeti artmıştır [4]. Demelio ve diğerleri, çelik levhaların sandviç kompozitlere birleştirilmesinin statik ve yorulma mukavemetine etkisini deneysel olarak araştırmıştır. Bağlantıyı sağlamak amacıyla kör ve mekanik kilitli cıvata kullanılmıştır. Sandviç kompoziti delirken uygun parametrelerin belirlenmesi amacıyla bir dizi test yapılmış ve en uygun değerler tespit edilmiştir. Numune mukavemetleri sıyırma ve kayma testlerine maruz bırakılmış ve numunelerin kaymaya karşı daha dayanıklı olduğu belirlenmiştir [5].

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bal Peteği sandviç kompozitler başta havacılık olmak üzere birçok uygulama alanına sahiptir. Kullanıldıkları kritik parçaların güvenliğe olan etkileri nedeniyle hasar uğradığı tespit edilen parçalar değiştirilmekte ve yüksek maliyetlere sebep olmaktadır. Gerçekleştirilen çalışmada bal Peteği sandviç kompozitlerin dış etkenler nedeniyle maruz kaldığı darbe hasarı sonrasında tamir edilmesinin gerekliliği ve mukavemetindeki düşüşün kabul edilebilir sınırlar içinde olup olmadığı araştırılmıştır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL METHOD-PROCESS)

Gerçekleştirilen çalışmada bal Peteği sandviç kompozit malzemelerin düşük hızlı darbe testi sonrası eğilme mukavemetlerindeki değişim deneysel olarak araştırılmıştır.

Kullanılan bal Peteği hücre malzemeleri AL-3003 alaşımıdır. Bal Peteği hücreler AL-5754 alaşımı, cam fiber takviyeli kompozit ve karbon fiber takviyeli kompozit plakalardan imal edilmiş yüzey malzemelerinin arasına yerleştirilmiştir. Yüzey malzemeleri ile bal Peteği hücreler arasındaki bağlantı 3M 2216 marka epoksi esaslı yapıştırıcı ile sağlanmıştır.

Bal Peteği hücreler 6.35 mm hücre boyutuna ve 10 mm, 15 mm ve 20 mm hücre yüksekliklerine sahiptir. Kullanılan yüzey malzemeleri ise 0.5 mm, 1 mm ve 1.5 mm kalınlıklara sahiptir. Elde edilen numuneler 80 mm genişliğe ve 135 mm uzunluğa sahiptir.

Kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri Shimadzu marka universal test cihazı kullanılarak tespit edilmiştir. Kullanılan test cihazı 5 kN ve 250 kN olmak üzere iki farklı yük hücresine sahiptir ve düşük hızlarda test yapmaya imkân tanımaktadır.

Testler sonucunda 3M 2216 malzemenin elastisite modülü 565 MPa, poisson oranı 0.47, alüminyum malzemenin elastisite modülü 70.3 GPa ve poisson oranı 0.33 bulunmuştur.

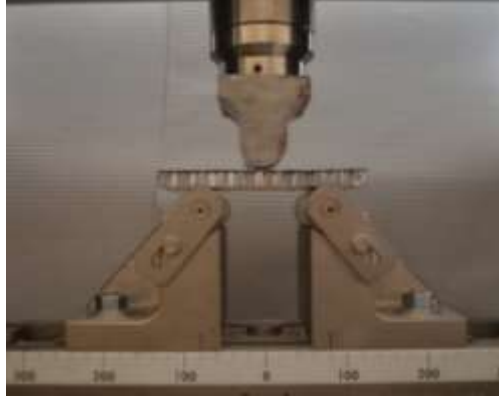
Yapılan testler sonucunda cam ve karbon fiber takviyeli kompozit malzemelerin mekanik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kompozit malzemelerin mekanik özellikleri
Table 1. Mechanical properties of composite materials

Açıklama	E_1 (GPa)	E_2 (GPa)	ν_{12}	G_{12} (GPa)
CFRP	83.4	83.5	0.05	6.8
GFRP	44.15	12.3	0.2	4.096

Darbe deneyleri CEAST-Fractovis Plus darbe test cihazı ile yapılmıştır. Testler sırasında 12.7 mm çapında, 5120 gram ağırlığında ve yarım küre şeklindeki çelik darbe elemanı (impactor) kullanılmıştır. Testler 5 J ve 10 J çarpışma enerjilerinde gerçekleştirilmiştir. Darbe sırasında numuneyi tutmak için kullanılan alt ve üst destekler 76 mm çapa sahiptir. Test cihazı 1800 J kapasite ve 22 kN kapasiteli yük hücresine sahiptir. Test cihazı ilk darbe sonrası tekrar vuruşu engellemek için tutucu mevcuttur.

Eğilme testleri ASTM C393 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Testler sırasında Shimadzu universal test cihazı kullanılmıştır. 250 kN yük hücresine sahip cihazda testler yapılırken ilerleme hızı 1 mm/dk seçilmiştir. Testler sırasında yük numuneye 30 mm çapındaki silindir ile uygulanmıştır. Alt desteklerin arasındaki mesafe 80 mm ve çapı 30 mm seçilmiştir. Şekil 1'de numuneye yükün uygulanışı verilmiştir.



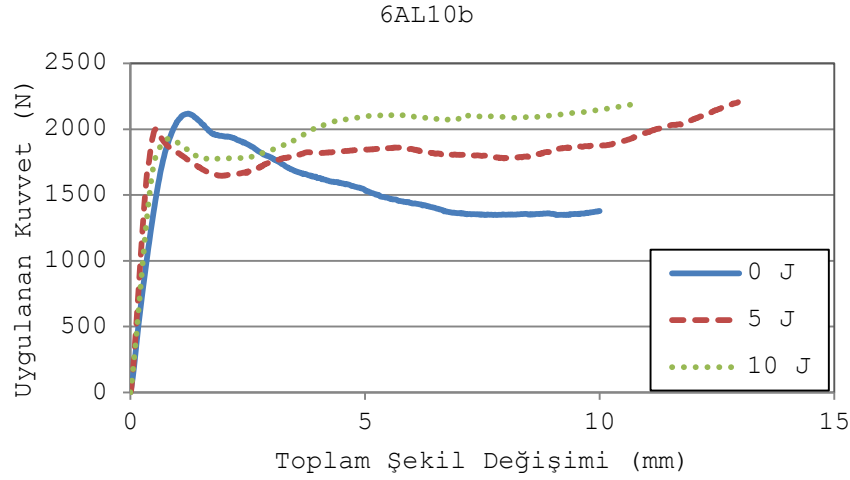
Şekil 1. Üç nokta eğilme testinde yükün uygulanışı
(Figure 1. Application of three point bending load)

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

Darbe deneyi sonrasında numuneler mukavemet değerlerinde ki değişimlerin görülebilmesi amacıyla üç nokta eğilme testlerine tabi tutulmuştur. Gerçekleştirilen testler sonucunda elde edilen değerler darbesiz numunelerin statik değerleri ile karşılaştırılmış ve sonuçlar aşağıda verilmiştir.

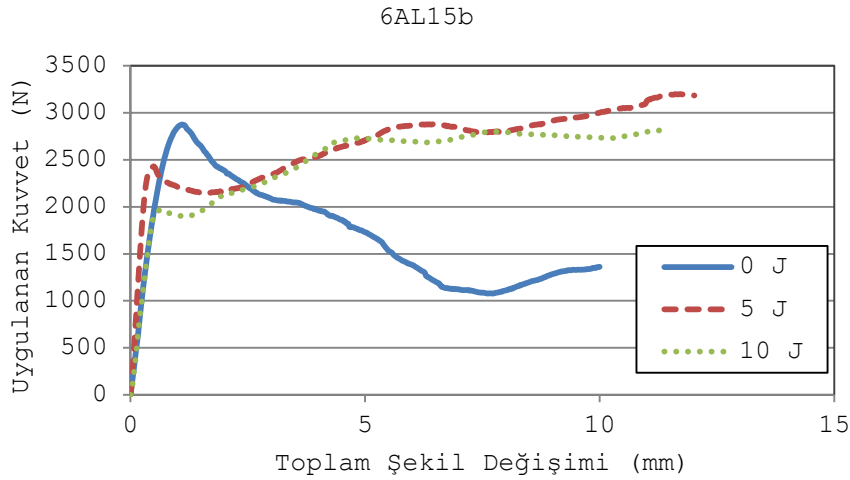
Eğilme sonuçları incelendiğinde alüminyum yüzey malzemesine sahip numunelerin yüzey malzemesi kalınlığının ve hücre yüksekliğinin darbeye etkisinin sınırlı olduğu görülmüştür. Yüzey malzemesi olarak cam fiber kompozit ve karbon fiber kompozit kullanılmasının ise etkisi daha fazladır. Özellikle darbe enerjisinin 10 J olduğu numunelerde mukavemet belirgin miktarda düşmüştür.

6AL10b modelinin hasarsız ve darbe hasarı sonrası üç nokta eğilme deneyi sonrasında elde edilen uygulanan kuvvet - toplam şekil değişimi grafiği Şekil 2'de verilmiştir. Hasarsız numunenin hasar yükü 2118.75 N çıkmıştır. 5 J ve 10 J darbe enerjisi ile yapılan darbe deneyleri sonucunda hasar yükleri sırasıyla 2001.719 N ve 1925.781 N'dur.



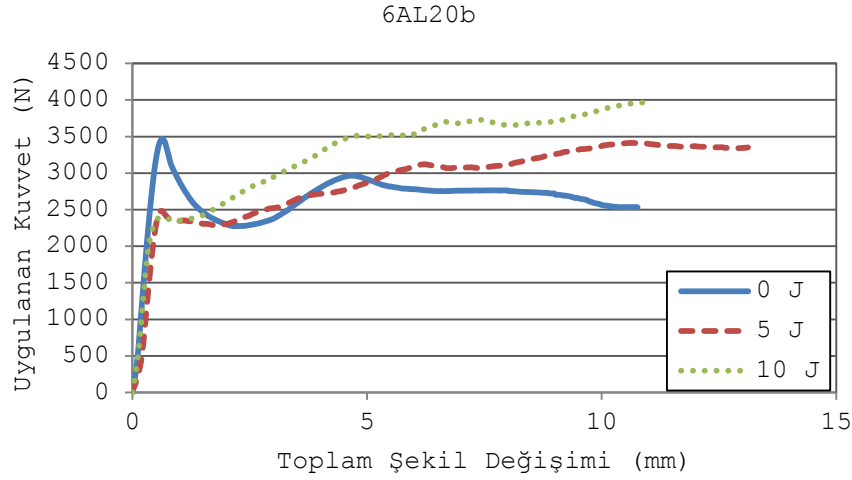
Şekil 2. 6AL10b numunesinin hasarlı ve hasarsız durumda üç nokta eğilme davranışı
(Figure 2. Flexural behavior of 6Al10b sample)

15 mm hücre yüksekliğine sahip 6AL15b numunesinin hasarsız, hasarlı ve tamir sonrasında üç nokta eğilme davranışı Şekil 3'de verilmiştir. Hasarlı numunelerde gözlenen hasar yükündeki düşüş miktarı 6AL10b numunesinde gözlenen düşüşten daha fazladır. Hasarsız, 5 J, 10 J ve tamir edilmiş numunelerin hasar yükleri sırasıyla 2875 N, 2430.344 N, 2120.313N ve 2786.719 N'dur.



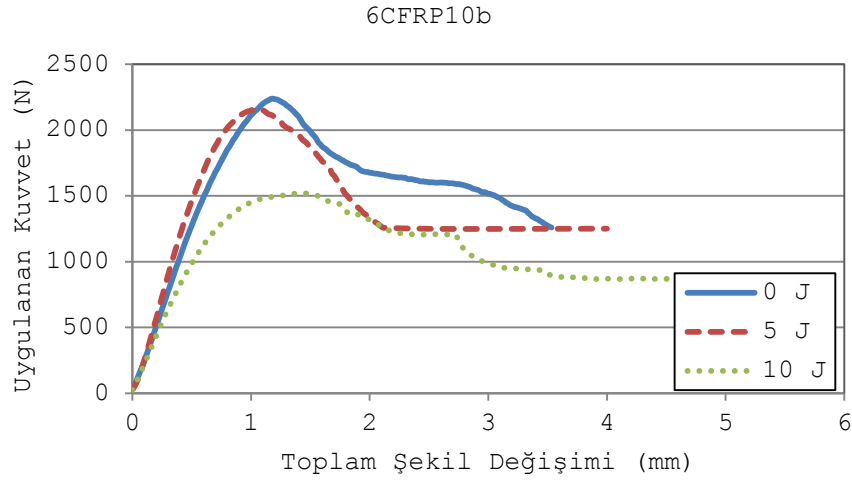
Şekil 3. 6AL15b numunesinin hasarlı ve hasarsız durumda üç nokta eğilme davranışı
(Figure 3. Flexural behavior of 6AL15b sample)

Farklı darbe enerjileri ile darbe testine tabi tutulduktan sonra, hasarsız ve tamir edilmiş 6AL20b modelinin üç nokta eğilme davranışı Şekil 4'de verilmiştir. Hasarsız numunenin hasar yükü 3467.969 N tespit edilmiştir. Darbe enerjisi numunelerin mukavemetini belirgin oranda düşürmüştü ve 5J darbe sonrasında numunenin hasar yükü 2482.813 N'a gerilerken 10 J darbe sonrasında hasar yükü 2399.219 N olmuştur.



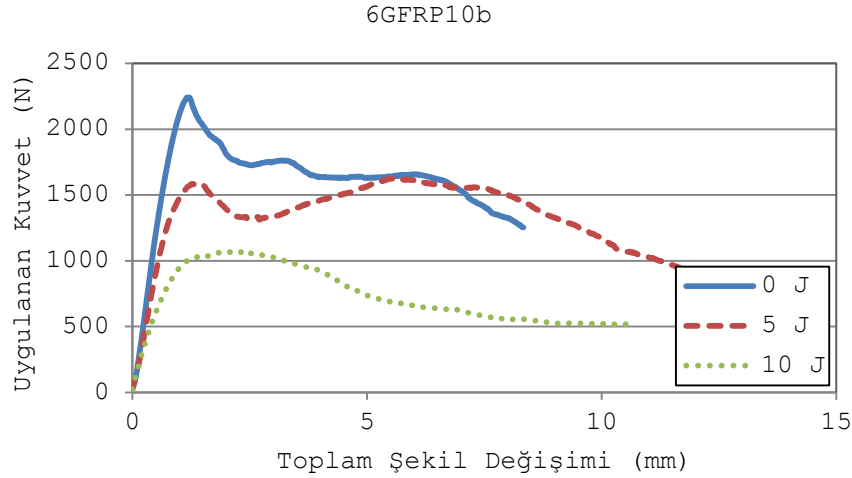
Şekil 4. 6AL20b numunesinin hasarlı ve hasarsız durumda üç nokta eğilme davranışı
(Figure 4. Flexural behavior of 6AL20b sample)

6CFRP10b modelinin hasarsız, hasarlı ve tamir edilmiş numunelerinin üç nokta eğilme davranışı Şekil 5’de verilmiştir. Hasarsız numunenin hasar yükü 2239.063 N iken 5 J ve 10 J darbe testlerinden sonra hasar yükleri sırasıyla 2155.469 N ve 1146.875 N değerlerini almıştır.



Şekil 5. 6CFRP10b numunesinin hasarlı ve hasarsız durumda üç nokta eğilme davranışı
(Figure 5. Flexural behavior of 6CFRP10b sample)

Şekil 6’da cam fiber yüzey malzemesine sahip 6GFRP10b numunesinin eğilme davranışı verilmiştir. İncelenen modeller içinde darbeden en çok etkilenen model olan 6GFRP10b için hasarsız numunenin eğilme hasar yükü 2240.625 N iken 10 J darbe testi sonrası hasar yükü %53 düşüşle 1067.969 N olmuştur. 5 J darbe deneyi sonrası hasar yükü 1587.5 N olmuştur.



Şekil 6. 6GFRP10b numunesinin hasarlı ve hasarsız durumda üç nokta eğilme davranışı

(Figure 6. Flexural behavior of GFRP10b sample)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Gerçekleştirilen çalışmada bal peteği sandviç kompozit malzemelerin darbe yüklemesi sonrasında üç nokta eğilme yüklemesi karşısında mukavemetlerindeki değişim deneysel olarak araştırılmıştır. Yapılan testler sonucunda elde edilen sonuçlar ışığında yapılan değerlendirmeler aşağıda verilmiştir.

- Bütün yüzey malzemesi türleri için artan darbe enerjisi numunelerin eğilme mukavemetlerini düşürmüştür.
- Eğilme mukavemetleri incelendiğinde darbeden en çok etkilenen modelin cam fiber yüzey malzemesine sahip modeller olduğu görülmüştür.
- Alüminyum yüzey malzemesine sahip modeller incelendiğinde bal peteği hücrelerin yüksekliğinin artması darbe öncesi ve sonrasında eğilme mukavemetini arttırmıştır.
- Darbe enerjisinin 5 J'den 10 J'e çıkması karşısında 6AL20b numunesinin hasar yükü 2482 N'dan 2399 N'a gerilemiştir. Diğer numuneler göz önüne alındığında eğilme mukavemetinin artan darbe enerjisi ile en az düşen modelin 6AL20b numunesi olduğu tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Destekleme Birimi tarafından MF.16.18 proje numarasıyla desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Bianchi, G., Aglietti, G.S., (2012). Static and Fatigue Behaviour of Hexagonal Honeycomb Cores under In-plane Shear Loads. Applied Composite Materials, 19 97-115.
2. Belouettar, S., Abbadi, A., Azari, Z., Belouettar, R., and Freres, P., (2009). Experimental investigation of static and fatigue behaviour of composites honeycomb materials using four point bending tests. Composite Structures, 87(3) 265-273.
3. Abbadi, A., Tixier, C., and Azari, Z., (2015). Experimental study on the fatigue behaviour of honeycomb sandwich panels with artificial defects. Composite Structures 120 394-405.
4. Shi, S-S., Sun, Z., Hu, X-Z., and Chen, A-R., (2014). Carbon-fiber and aluminum-honeycomb sandwich composites with and without Kevlar-fiber interfacial toughening. Composites: Part A 67 102-110.



-
5. Demelio, G., Genoveese, K., and Pappalettere, C., (2001). An experimental investigation of static and fatigue behavior of sandwich composite panels joined by fasteners. *Composites: Part B* 32 299-308.



Tolga Topkaya

Batman University, tolga.topkaya@batman.edu.tr, Batman-Turkey

Murat Yavuz Solmaz

Fırat University, mysolmaz@firat.edu.tr, Elazığ-Turkey

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.1A37PB>

BAL PETEĞİ SANDVIÇ KOMPOZİTLERİN DÜŞÜK HIZLI DARBE DAVRANIŞLARININ ARAŞTIRILMASI

ÖZ

Bal peteği sandviç kompozitler ileri mühendislik uygulamalarında önemli bir yapı elemanı olarak kullanılırlar. Bu nedenle darbe etkisi altında nasıl bir davranış sergileyeceklerinin bilinmesi diğer yükler kadar kritiktir. Gerçekleştirilen çalışmada bal peteği sandviç kompozitlerin düşük hızlı darbe yüklemesine karşı davranışları deneysel olarak araştırılmıştır. Bal peteği sandviç kompozitlerin tasarım parametrelerinin tamamına yakınının etkisi incelenmiştir. Sonuçlar bal peteği hücre yüksekliğinin mukavemet üzerinde bir etkisi olmadığını gösterirken numunenin darbe davranışını en çok etkileyen parametrenin yüzey malzemesi kalınlığı olduğunu göstermiştir. Numune yüzey malzemesi kalınlığı arttıkça en belirgin mukavemet artışı karbon fiber takviyeli kompozit yüzey malzemesi kullanılan modellerde görülmüştür. 10 J darbe enerjisinde bütün yüzey malzemesi tipleri için 0.5 mm yüzey malzemesi kalınlığının sahip numunelerin üst yüzey malzemeleri delinmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kompozit, Düşük Hızlı Darbe, Karbon Fiber
Balpeteği Sandviç Kompozit, Mukavemet

INVESTIGATION OF LOW VELOCITY IMPACT BEHAVIORS OF HONEYCOMB SANDWICH COMPOSITES

ABSTRACT

Honeycomb sandwich composites are used as significant structural members in advanced engineering applications. Thus, it is critical to determine how they behave under impact loading, in addition to other loads. In this study, low velocity impact loading behaviors of honeycomb sandwich composites were experimentally investigated. Almost all of the design parameters of honeycomb sandwich composites were investigated. The results indicated that the core thickness of honeycomb had no effect on the strength of the composite, and the parameter influencing the impact behavior of the specimen the most was the face sheet thickness. When the face sheet thickness of the specimen was increased, the most apparent strength increase was observed in the models using carbon fiber-reinforced composite face sheets. For all face sheet types subject to impact energy of 10 Joules, the upper face sheets of 0.5mm-thick specimens were perforated.

Keywords: Composite, Low Velocity Impact, Carbon Fiber,
Honeycomb Sandwich, Resistance,

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kompozit malzemeler günümüz mühendislik uygulamalarının temel malzemelerindendir. Kompozit malzemeler popüleritesini düşük ağırlıklarına rağmen sağladıkları yüksek mukavemete borçludur. Kompozit malzemeler genellikle iki veya daha fazla malzemenin birleştirilmesi ile elde edilir. Genellikle dayanıklı fiberler onları bir arada tutmak amacıyla kullanılan matris malzemesi ile oluşturulur. Kompozit malzemeler farklı uygulamalar için uyarlanabilir. Özellikle düşük ağırlık gerektiren uygulamalarda sandviç kompozitler tercih edilir. Bal peteği sandviç malzemeler yüksek özgül mukavemet ve ağırlıklarına göre sağladıkları yüksek rijitlik

değerleri sayesinde havacılık, uzay ve taşımacılık uygulamalarında geniş uygulama alanına sahiptir.

Bal Peteği kompozitlerin geliştirilmeye başlaması ve kullanımının artmasıyla birlikte birçok araştırmacı bal Peteği kompozitlerin mekanik özelliklerinin tespiti ve bu özelliklerinin geliştirilmesi için çalışmıştır. Bal Peteği çekirdekler alüminyum, nomex, polypropilen gibi farklı özelliklerde malzemelerden üretilebilir. Sandviç yapının kullanılacağı yer ve maruz kalacağı yükler malzeme seçimini doğrudan etkiler [1]. Bal Peteği sandviç kompozitler bal Peteği çekirdeği sayesinde atalet momenti artırır ve özellikle eğilme yüklemesine karşı rijitlik sağlarlar [2]. Seçilen çekirdek malzemesinin yüksekliğinin artması daha fazla eğilme rijitliği sağlarken burkulma direncini azaltır [3]. Herup ve arkadaşları, nomeks bal Peteği çekirdek ve 4 ile 48 arasında değişen tabaka sayısına sahip grafit/epoksi yüzey malzemesinden imal edilmiş sandviç kompozit malzemeyi düşük hızlı çarpışma ve statik girinti testlerine tabi tutmuştur. Çalışmada yükleme oranı ve yüzey malzemesinin mukavemete etkisi araştırılmıştır. Statik girinti testleri ve düşük hızlı darbe deneyi sonuçlarının benzer olduğu görülmüştür. Statik girinti testlerinde hasar yükünün düşük hızlı darbe testlerinden düşük olduğu görülmüştür. Yüzey malzemesinin kalınlaşması iki test arasındaki farkı arttırmıştır [4]. Tan ve Akil gerçekleştirdikleri çalışmada yüzey malzemesi olarak metal fiber tabakalar ve çekirdek olarak polipropilen bal Peteği kullanmıştır. Darbe davranışları düşük hızlı darbe testleri ile tespit edilmiştir. Darbe kuvveti ve süre kaydedilmiş ve analiz edilmiştir. Artan darbe enerjisinin temas kuvvetini arttırdığı görülmüştür. Artan darbe enerjisinin hasar alanını değiştirdiği çarpışma sonrası görüntülerle ortaya çıkmıştır. Darbe enerjisinin 7.84 J 11.76 J aralığında olması durumunda yüzey malzemelerinde delaminasyon ve sandviç yapıda eğilme gözlenmiştir [5]. Akatay ve arkadaşları Al 5052 alaşımından yapılmış bal Peteği hücreye sahip 10 mm kalınlığındaki sandviç kompozitlerin tekrarlı düşük hızlı çarpışma davranışını deneysel olarak incelemiştir. Boeing 737-800 uçaklarının yolcu zeminlerinde tercih edilen Gillefloor 5424 Type II model kompozit kullanılmıştır. Deneyleri Dynatup 9250 HV model bir test cihazıyla yapmışlardır. Numuneleri 1219 mm x 3658 mm büyüklüğündeki panelden 100 mm x 100 mm büyüklüğünde kesmişlerdir. Bal Peteği hücre ve yüzey malzemesi kalınlıkları sırasıyla 9.086 mm ve 0.457 mm'dir. Testler 3, 5, 8, 10, 20, 30, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100 ve 110 J enerji değerleri için yapılmıştır. Sonuçlar 110 J değerinin numuneyi ilk darbeye delindiğini göstermiştir. Çarpışma enerjisi düştükçe numunenin delinmesi için daha fazla çarpışma gerekmiştir. Hasar için maksimum çarpışma sayısına 81 çarpışma ile 3 J enerji değerinde ulaşılmıştır [6]. Schubel ve arkadaşları örgü karbon fiber kompozit ve PVC köpük çekirdek kullanılarak üretilen numuneleri düşen kütle yardımıyla darbe testine maruz bırakmıştır. Darbe yükünün uygulandığı yüzeylerde delaminasyon ve kalıcı delinme görülmüştür. Darbeyi maruz kalmış numuneler darbe sonrası basma testine tabi tutulmuş ve hasarsız numunelerle karşılaştırılmıştır. Görsel olarak tespit edilmesi zor olmasına karşın delaminasyon hasarının numunenin yük taşıma kapasitesini belirgin şekilde düşürdüğü görülmüştür [7]. Galehdari ve arkadaşları takviyeli bal Peteği sandviç kompozitlerin düşük hızlı darbe ve statik davranışlarını analiz etmiştir. Lower-bound teoremi kullanılarak tepe gerilme hesabı analitik olarak yapılmıştır. Analitik çalışma alüminyum 6061 malzemeden imal edilmiş numuneler kullanılarak yapılan testlerle karşılaştırılmıştır. Malzeme özelliklerinin belirlenmesi amacıyla aksenal çekme testleri yapılmıştır. Düşük hızlı darbe deneyleri ve statik testler ağırlık düşürme ve Santam basma test cihazları kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar Abaqus programıyla simüle edilmiştir. Sonuçlar deneysel, analitik ve sayısal çalışmalar arasında uyum olduğunu göstermiştir. Numunelerde genellikle "V" şeklinde hasar görülmüştür [8]. Baba yaptığı çalışmada köpük çekirdeğe sahip kavisli sandviç kompozitlerin darbe enerjisi karşısında davranışı ve hasar

tiplerini deneysel yöntemle araştırmıştır. Çalışmada çekirdek malzemesi olarak üç farklı köpük ve 6 farklı kombinasyon kullanılmıştır. Kare şeklinde kesilen numunelerde temas kuvveti, şekil değişimi ve tam delinme enerjileri tespit edilmiş ve hasar tipleri incelenmiştir. Sonuçlar sandviç kompozitlerde tam delinmenin geometrik parametrelere ve malzeme özelliklerine bağlı olduğunu göstermiştir. Kavisli modellerde tam delinme enerjisinin düz modellerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Tam delinmiş numunelerde farklı çekirdek yapı varyasyonları hasar tipini değiştirmiştir. Farklı uygulama alanları için kavisli sandviç kompozitlerde farklı çekirdek ayarlarının yapılması gerekeceği tespit edilmiştir [9].

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bal peteği sandviç kompozitler başta havacılık olmak üzere birçok uygulama alanına sahiptir. Kullanıldıkları kritik parçaların güvenliğe olan etkileri nedeniyle hasar uğradığı tespit edilen parçalar değiştirilmekte ve yüksek maliyetlere sebep olmaktadır. Gerçekleştirilen çalışmada bal peteği sandviç kompozitlerin dış etkenler nedeniyle maruz kaldığı darbe hasarının tespiti amaçlanmıştır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL METHOD-PROCESS)

Gerçekleştirilen çalışmada bal peteği sandviç kompozit malzemelerin düşük hızlı darbe, davranışları deneysel olarak araştırılmıştır.

Kullanılan bal peteği hücre malzemeleri AL-3003 alaşımıdır. Bal peteği hücreler AL-5754 alaşımı, cam fiber takviyeli kompozit ve karbon fiber takviyeli kompozit plakalardan imal edilmiş yüzey malzemelerinin arasına yerleştirilmiştir. Yüzey malzemeleri ile bal peteği hücreler arasındaki bağlantı 3M 2216 marka epoksi esaslı yapıştırıcı ile sağlanmıştır.

Bal peteği hücreler 6.35 mm hücre boyutuna ve 10 mm, 15 mm ve 20 mm hücre yüksekliklerine sahiptir. Kullanılan yüzey malzemeleri ise 0.5 mm, 1 mm ve 1.5 mm kalınlıklara sahiptir. Elde edilen numuneler 80 mm genişliğe ve 135 mm uzunluğa sahiptir. Üretilen numunelerden 6.35 mm hücre boyutuna, 10 mm hücre yüksekliğine ve 1 mm kalınlığında karbon fiber yüzey malzemesine sahip numunenin resmi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Karbon fiber takviyeli kompozit yüzey malzemesine sahip numune
(Figure 1. Sample with carbon fiber reinforced face sheet)

Aşağıdaki tabloda incelenen parametreler verilmiştir. Parametrelerden bir değer sabit tutulmuş ve diğer parametreler değiştirilerek etkileri incelenmiştir.

Tablo 1. Testlerde kullanılan parametreler
(Table 1. Parameters used on tests)

Hücre Boyutu (mm)	6,35	9,525	
Yüzey Malzemesi	Al	GFRP	CFRP
Hücre Yüksekliği (mm)	10	15	20
Yüzey Kalınlığı (mm)	0.5	1	1.5
Darbe Enerjisi (J)	0	5	10

Numuneler isimlendirilirken numune etiketinin başındaki rakam hücre boyutunu belirtmek için kullanılmıştır. 6 değeri 6.35 mm ve 9 değeri 9.525 mm hücre boyutunu tanımlamaktadır. İkinci sıradaki harf dizisi yüzey malzemesini tanımlamaktadır. AL: alüminyum, CFRP: karbon fiber takviyeli kompozit ve GFRP: cam fiber takviyeli kompozit için kullanılmıştır. Üçüncü sıradaki 10, 15 ve 20 değeri hücre yüksekliğini ifade etmektedir. Son sıradaki a, b ve c ise yüzey malzemesi kalınlığı için kullanılan ifadedir. Sırasıyla 0.5 mm, 1 mm ve 1.5 mm değerlerinin yerine kullanılmıştır. Örneğin "6AL10b" etiketi 6 mm hücre boyutuna, alüminyum yüzey malzemesine, 10 mm hücre yüksekliğine ve 1 mm yüzey malzemesi kalınlığına sahip numuneyi ifade etmektedir.

Yüzey malzemeleri 3M 2216 yapıştırıcısının bilgi dosyasında yazdığı gibi 180 kum zımpara ile zımparalanmış ve alüminyum malzemeler aseton ile kompozit malzemeler ise izopropil alkol ile temizlenmiştir.

Jen ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada 0.7 kg/m^2 yapıştırıcı miktarının maksimum eğilme mukavemeti sağladığını belirtmişlerdir [10]. Temizlenen yüzey malzemelerine 0.7 kg/m^2 yapıştırıcı miktarına denk gelen miktar olan 7.5 gr ağırlığında yapıştırıcı spatula yardımıyla sürülmüştür. Bütün numunelerde aynı baskıyı oluşturmak için yapıştırıcı sürülen numuneler 2.5 kg ağırlığa sahip beton ağırlıkların altına yerleştirilmiştir.

Bir yüzü yapıştırılan numunelerin 1 gün olan taşıma kürleşmesinin ardından diğer yüzeyi yapıştırılmıştır. Yapıştırıcı malzemenin tam kürleşmesi için hazırlanan sandviç kompozitler 1 hafta oda sıcaklığında bekletilmiş ve ardından testler gerçekleştirilmiştir.

Kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri Shimadzu marka universal test cihazı kullanılarak tespit edilmiştir. Kullanılan test cihazı 5 kN ve 250 kN olmak üzere iki farklı yük hücrelerine sahiptir ve düşük hızlarda test yapmaya imkân tanımaktadır.

Testler sonucunda 3M 2216 malzemenin elastisite modülü 565 MPa, poisson oranı 0.47, alüminyum malzemenin elastisite modülü 70.3 GPa ve poisson oranı 0.33 bulunmuştur.

Yapılan testler sonucunda cam ve karbon fiber takviyeli kompozit malzemelerin mekanik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Kompozit malzemelerin mekanik özellikleri
Table 2. Mechanical properties of composite materials

Açıklama	E_1 (GPa)	E_2 (GPa)	ν_{12}	G_{12} (GPa)
CFRP	83.4	83.5	0.05	6.8
GFRP	44.15	12.3	0.2	4.096

Darbe deneyleri CEAST-Fractovis Plus darbe test cihazı ile yapılmıştır. Testler sırasında 12.7 mm çapında, 5120 gram ağırlığında ve yarım küre şeklindeki çelik darbe elemanı (impactor) kullanılmıştır. Testler 5 J ve 10 J çarpışma enerjilerinde gerçekleştirilmiştir. Darbe sırasında numuneyi tutmak için kullanılan alt ve üst destekler 76 mm çapa sahiptir. Test cihazı 1800 J kapasite ve 22 kN kapasiteli yük hücrelerine sahiptir. Test cihazı ilk darbe sonrası tekrar vuruşu engellemek için tutucu mevcuttur. Kullanılan test cihazı şekil 2'de verilmiştir.



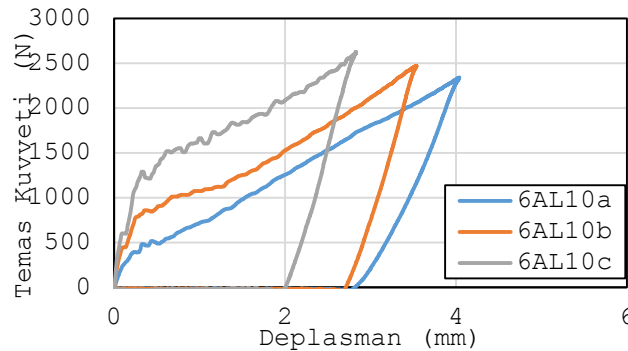
Şekil 2. Darbe testleri gerçekleştirilirken kullanılan CEAST-Fractovis Plus darbe test cihazı

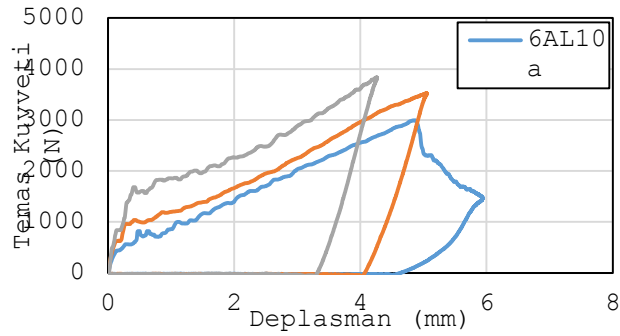
(Figure 2. CEAST-Fractovis low velocity impact test equipment)

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

Darbe testleri 12.7 mm çapında darbe elemanı kullanılarak yapılmıştır. Numuneler pnömatik çalışan destek elemanlarının arasına yerleştirilmiş ve farklı darbe enerjileri için testler yapılmıştır. Darbe testlerinde grafikler değerlendirilirken numunenin sönümlendiği enerji miktarı, geri dönüş enerjisi ve darbe elemanının numuneyi delip delmediğini tespit etmek mümkündür.

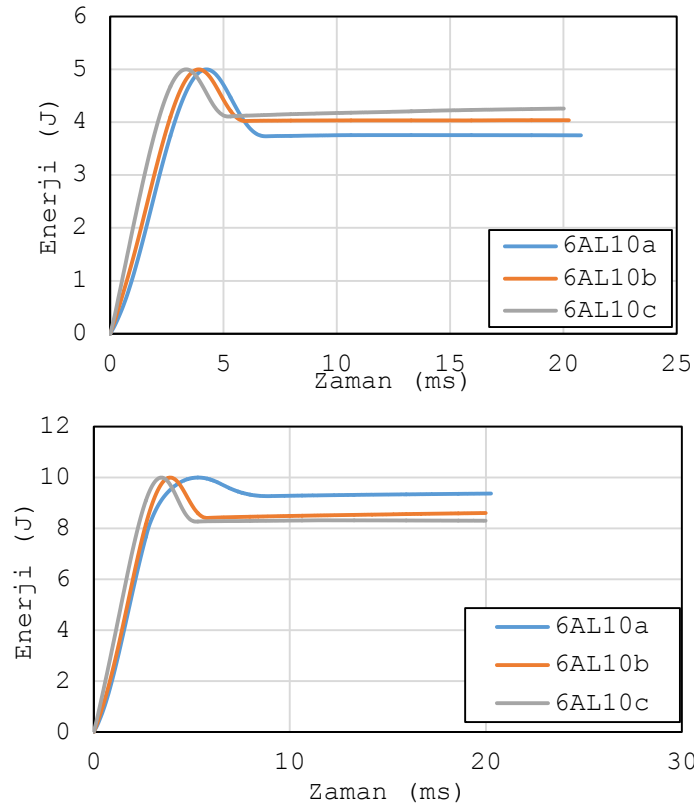
Alüminyum yüzey malzemesi kullanılan numunelerde yüzey malzemesi kalınlığının temas kuvvetine etkisi Şekil 3'de verilmiştir. İki enerji değeri içinde yüzey malzemesi kalınlığının artması temas kuvvetini arttırmıştır. 0.5, 1 ve 1.5 mm yüzey malzemesi kalınlıkları için temas kuvveti 5 J enerji için sırasıyla 2338.575 N, 2471.803 N ve 2624.873 N değerlerini almıştır. 10 J darbe enerjisi için ortaya çıkan temas kuvveti değerleri 5 J darbe enerjisi için görülen değerleri aşmıştır. 0.5 mm yüzey malzemesi kalınlığı için 2993.376 N, 1 mm yüzey malzemesi kalınlığı için 3526.287 N ve 1.5 mm yüzey malzemesi kalınlığı için 3838.097 N temas kuvveti meydana gelmiştir. Testler sonucunda yalnızca 0.5 mm yüzey malzemesi kalınlığına sahip model 10 J enerji değerinde delinmiştir. Darbe elemanı üst yüzey malzemesini delmiş ve numuneye saplanmıştır.





Şekil 3. Yüzey malzemesi kalınlığının temas kuvvetine etkisi (a. 5J b. 10J)
(Figure 3. The effect of face sheet thickness on the contact force)

Alüminyum yüzey malzemesi kullanılan numunelerde yüzey malzemesi kalınlığının enerji davranışına etkisi Şekil 4'de verilmiştir. Sönümlenen enerji değerleri göz önüne alındığında 5 J darbe enerjisi için yüzey malzemesi kalınlığının artması sönümlenen enerji miktarını arttırmıştır. 10 J darbe enerjisi için yüzey malzemesi kalınlığının artması sönümlenen enerji miktarını azaltmıştır. 10 J darbe enerjisi için 0.5 mm yüzey malzemesine sahip numunenin sönümlendiği enerji miktarı 9.334 J değerini almıştır. Sönümlenen enerji miktarının darbe enerjisine bu kadar yakın olmasının sebebi darbe elemanının numunenin üst yüzey malzemesini delmesi ve numuneye saplanmasıdır.

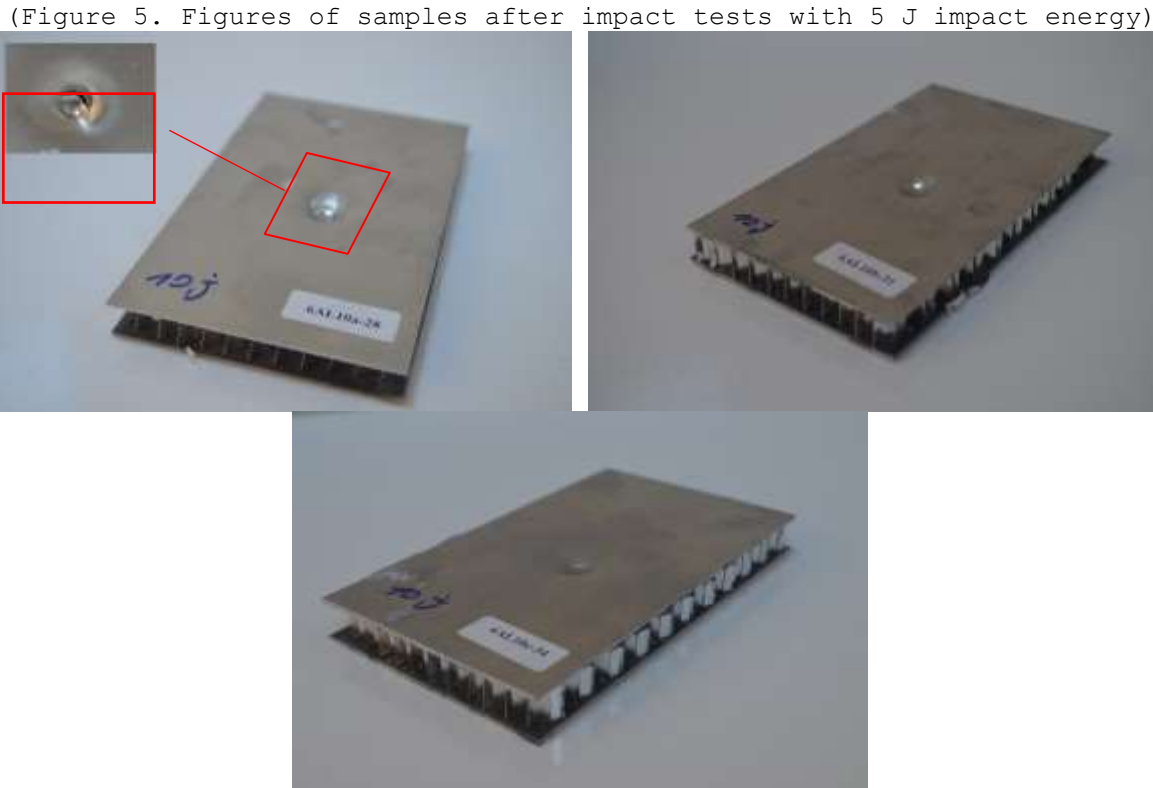


Şekil 4. Yüzey malzemesi kalınlığının enerji davranışına etkisi (a. 5J b. 10J)
(Figure 4. The effect of face sheet thickness on the energy behavior)

5 J ve 10 J darbe enerjileri için numunelerin test sonrası görüntüleri Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 5. 5 J darbe enerjisi için farklı yüzey malzemesi kalınlıklarına sahip numunelerin darbe testi sonrası görüntüleri (a. $H=0.5$ mm, b. $H=1$ mm, c. $H=1.5$ mm)



Şekil 6. 10 J darbe enerjisi için farklı yüzey malzemesi kalınlıklarına sahip numunelerin darbe testi sonrası görüntüleri (a. $H=0.5$ mm, b. $H=1$ mm, c. $H=1.5$ mm)

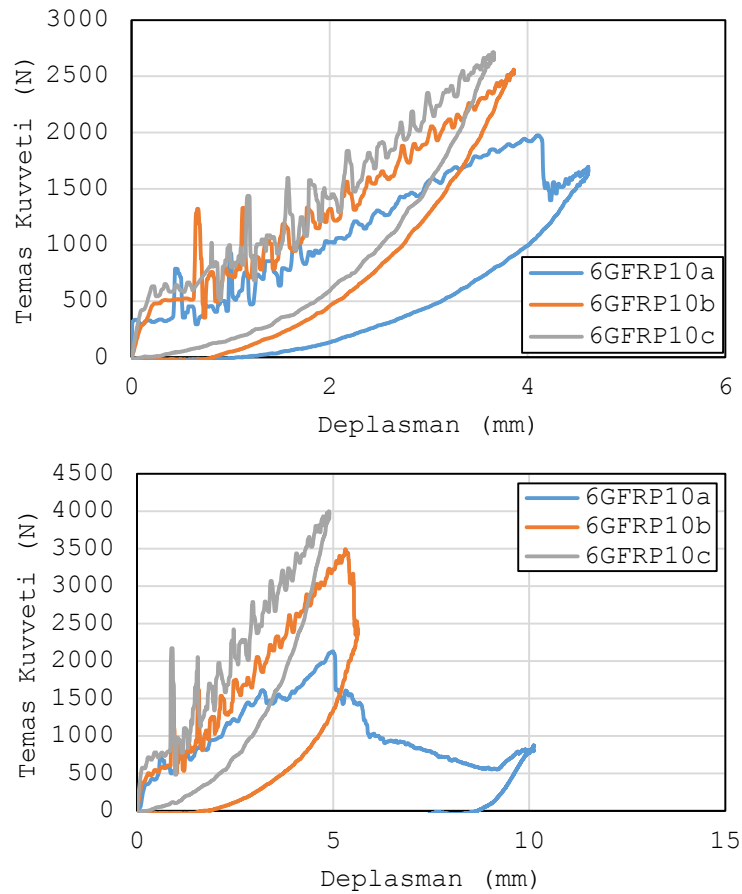
Figure 6. Figures of samples after impact tests with 10 J impact energy)

Alüminyum yüzey malzemesi kullanılarak test edilen numunelerde hücre yüksekliğinin değişimi Enerji-Zaman grafiğinde belirgin bir etkiye rastlanmamıştır. Bu durum literatürde bulunan çalışmalarla uyum göstermektedir. [11-13]

Yüzey malzemesi olarak Cam fiber takviyeli kompozit kullanılan numunelerde yüzey malzemesi kalınlığının temas kuvveti üzerindeki etkisi şekil 7'de verilmiştir. Grafikler alüminyum yüzey malzemesine sahip modellere göre daha dalgalı bir eğilim göstermiştir. Fiber ipliklerinin darbe testi sırasında kopması ve anlık direnç düşüşleri bunun sebebini açıklamak için kullanılabilir.

5 J darbe enerjisi için 0.5 mm yüzey malzemesine sahip numunenin maksimum temas kuvveti 1975.74 N çıkarken yüzey malzemesi kalınlığının 1 mm ye çıkması temas kuvvetini 2559.68 N ile %30 arttırmıştır. Yüzey malzemesi kalınlığının 1.5 mm ye çıkması temas kuvvetini yüzey malzemesi kalınlığı 1 mm olan numuneye göre %6 arttırmış ve 2712.75 N olmasına sebep olmuştur.

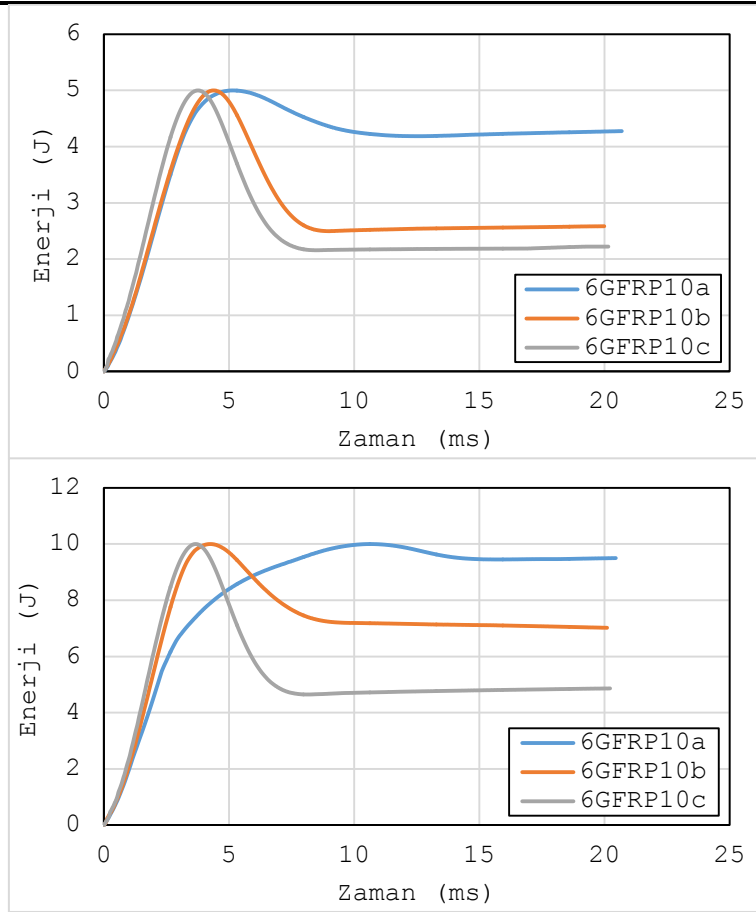
10 J darbe enerjisi için 0.5 mm, 1 mm ve 1.5 mm yüzey malzemesi kalınlıkları için maksimum temas kuvvetleri sırasıyla 2128.81 N, 3492.27 N, 3999.67 N değerlerini almıştır.



Şekil 7. Cam fiber yüzey malzemesi kalınlığının temas kuvvetine etkisi (a. 5J, b. 10J)

(Figure 7. The effect of GFRP face sheet thickness on the contact force)

Cam fiber takviyeli kompozit yüzey malzemesine sahip numunelerde yüzey malzemesi kalınlığının değişiminin enerji davranışına etkisi Şekil 8'de verilmiştir. İki enerji değeri için de yüzey malzemesi kalınlığının artması sönümlenen enerji miktarını düşürmüştür. Toplam darbe enerjisinin % 95'ini sönümleyen 6GFRP10a numunesinin üst yüzeyi büyük oranda delinmiş ve en fazla çekirdek hasarı bu numunede görülmüştür.

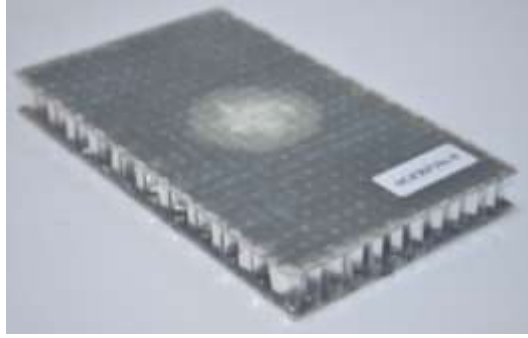


Şekil 8. Cam fiber takviyeli yüzey malzemesi kalınlığının sönmülenen enerji miktarının değişimine etkisi (a. 5J, b. 10J)

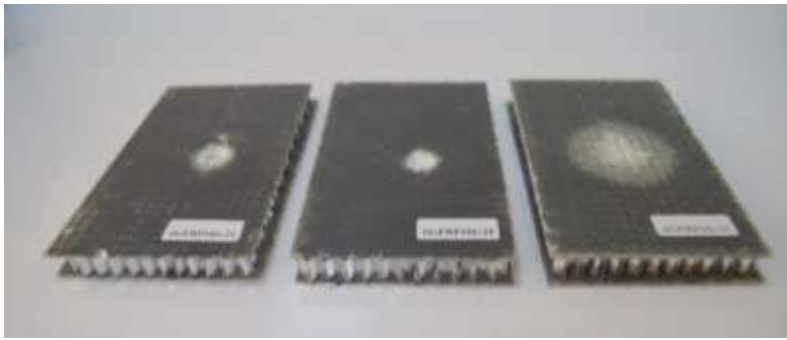
(Figure 8. The effect of GFRP face sheet thickness on the energy behavior)

Cam fiber takviyeli kompozit yüzey malzemesine sahip numunelerin 5J ve 10 J darbe enerjisinde test edildikten sonraki görüntüleri Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir. 0.5 mm ve 1 mm yüzey malzemesi kalınlıkları için darbe elemanının sebep olduğu hasar çapını gösteren beyaz bölge 5 J darbe enerjisinde 10 J darbe enerjisinden daha büyüktür. Ancak yüzey malzemesinde meydana gelen hasarın derinliği ölçüldüğünde artan darbe enerjisinin daha fazla deformasyona sebep olduğu görülmüştür. 1.5 mm yüzey malzemesi kalınlığına sahip numunelerde beyaz bölgenin fazla olması yüzey malzemesinin rijitliğinin artması nedeniyle çekirdek ile yüzey malzemesi arasında görülen ayrılma hasarının temel hasar tipi olmasındandır.



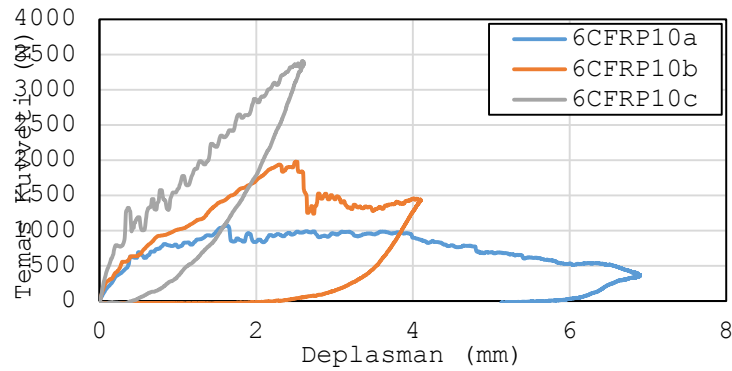


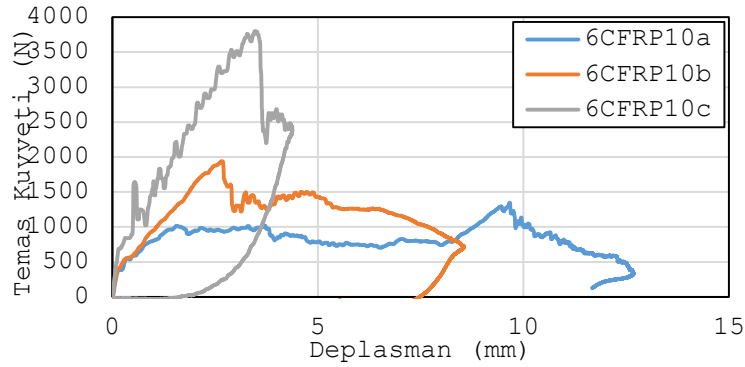
Şekil 9. 5 J darbe enerjisi ile test edilen numunelerin görüntüsü
Figure 9. Figures of GFRP samples after impact tests with 5 j impact energy)



Şekil 10. 10 J darbe enerjisi ile test edilen numunelerin görüntüsü
Figure 10. Figures of GFRP samples after impact tests with 10 J impact energy)

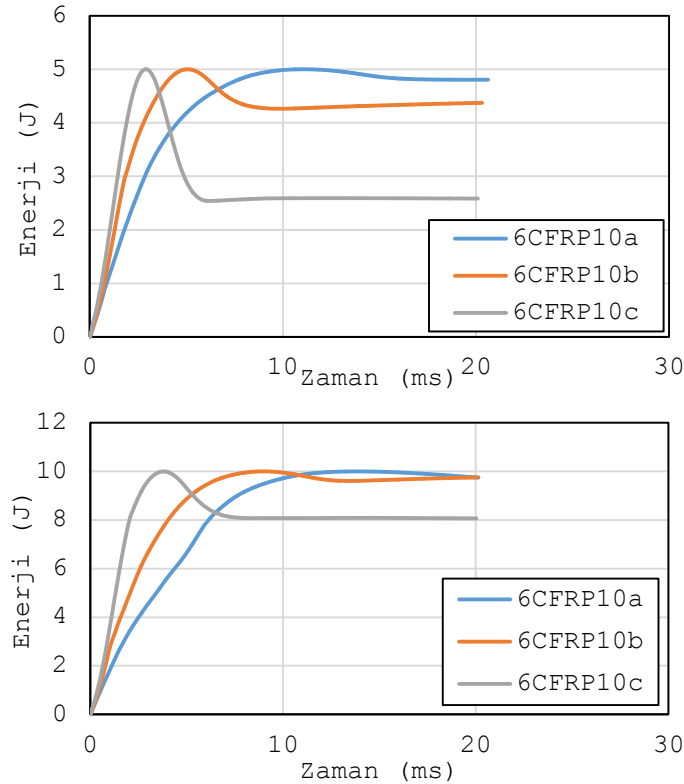
Karbon fiber takviyeli kompozit yüzey malzemesine sahip numunelerde gözlemlenen Temas Kuvveti - Deplasman eğrileri Şekil 11'de verilmiştir. 0.5 mm yüzey malzemesi kalınlığına sahip numunelerin üst yüzeyleri iki enerji değeri için de delinirken 10 J darbe enerjisi numunenin iki yüzeyinin de delinmesine sebep olmuştur. Yüzey malzemesi kalınlığının artması iki enerji değeri için de temas kuvvetinin artmasına yol açmıştır. En yüksek temas kuvveti 10 J darbe enerjisinde 3801.25 N ile 1.5 mm yüzey malzemesi kalınlığına sahip numunede görülmüştür. En düşük temas kuvveti ise 1074.32 N ile J darbe enerjisinde ve 0.5 mm yüzey malzemesine sahip numunede görülmüştür.





Şekil 11. Karbon fiber yüzey malzemesi kalınlığının temas kuvvetine etkisi
(a. 5J, b. 10J)
(Figure 11. The effect of CFRP face sheet thickness on the contact force)

Karbon fiber yüzey malzemesine sahip numuneler için yüzey malzemesi kalınlığının darbe enerjisi davranışı üzerindeki etkisi Şekil 12’de verilmiştir. En fazla enerji sönümleyen model olan 1.5 mm yüzey malzemesine sahip numune 6CFRP10c 5 J darbe enerjisinde 2.591 J, 10 J darbe enerjisinde 8.084 J enerji sönümlemiştir. 10 J darbe enerjisinde 0.5 mm yüzey malzemesine sahip numune darbe enerjisinin tamamını sönümleyen 1 mm yüzey malzemesine sahip numune 9.609 J enerji sönümlemiştir.



Şekil 12. Karbon fiber yüzey malzemesi kalınlığının enerji değişimine etkisi (a. 5J, b. 10J)
(Figure 12. The effect of CFRP face sheet thickness on the energy behavior)

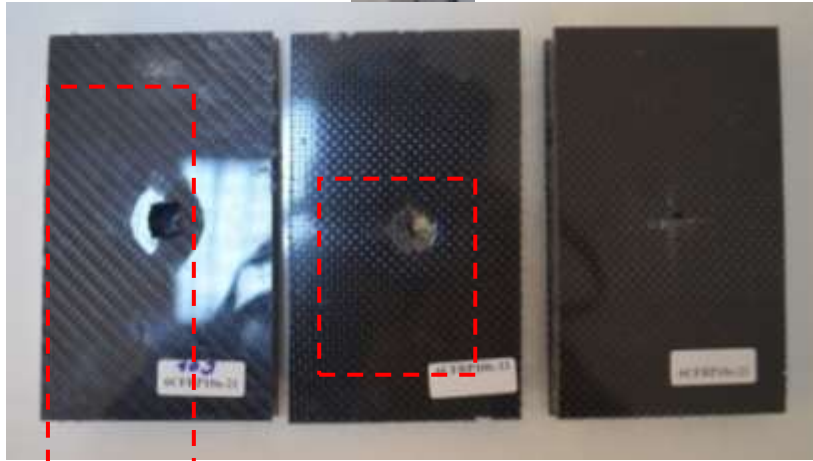
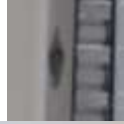
Karbon fiber yüzey malzemesine sahip numunelerin 5 J ve 10 J darbe enerjisinde yapılan test sonrası görüntüleri Şekil 13 ve Şekil 14’de verilmiştir. Şekiller incelendiğinde 6CFRP10a numunesinin üst yüzeyinin iki enerji değerinde de delindiği görülmektedir. 10 J darbe enerjisinde aynı numunenin arka yüzey malzemesinin de delindiği tespit edilmiştir. 1 mm

yüzey malzemesi kalınlığına sahip numunenin iki enerji değeri için de belirgin biçimde hasara uğradığı 10 J darbe enerjisinde bu hasarın tam delinme şeklinde olduğu görülmüştür. Tam delinme gerçekleşmeyen numunelerde bölgesel fiber hasarları ve tabakalar arası ayrılma hasarı tespit edilmiştir [8].



Şekil 13. Karbon fiber yüzey malzemesine sahip numunelerin 5 j darbe enerjisi ile test yapıldıktan sonraki görüntüsü

Figure 13. Figures of CFRP samples after impact Tests with 5 J impact energy)

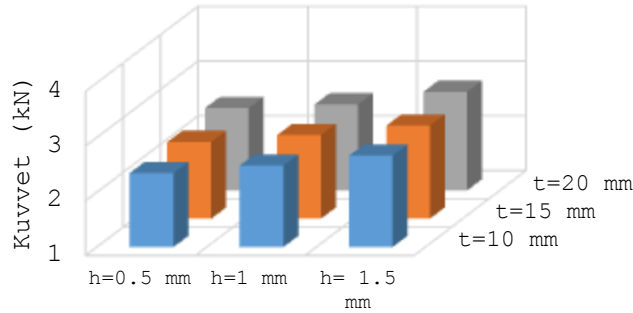


Şekil 14. Karbon Fiber yüzey malzemesine sahip numunelerin 10 J darbe enerjisi ile test yapıldıktan sonraki görüntüsü

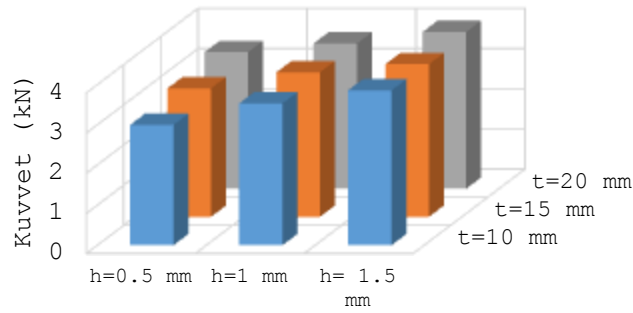
Figure 14. Figures of CFRP samples after impact tests with 10 J impact energy)

Darbe testleri sonucunda alüminyum yüzey malzemesine sahip numunelerde temas kuvvetinin darbe enerjisi, yüzey malzemesi kalınlığı ve hücre yüksekliği ile değişimi Şekil 15’de verilmiştir.

AL 5 J



AL 10 J



Şekil 15. Alüminyum yüzey malzemesine sahip numunelerde darbe deneyleri sırasında görülen maksimum temas kuvvetleri

Figure 15. Maximum contact forces of alluminium face sheet samples

Şekil 15’de görüldüğü üzere iki enerji değeri için de yüzey malzemesi kalınlığı ve hücre yüksekliğinin artması meydana gelen maksimum temas kuvveti değerini arttırmıştır. Yüzey malzemesi kalınlığının temas kuvveti üzerindeki etkisi hücre yüksekliğinin etkisinden daha fazladır. 10 J darbe enerjisi değeri daha yüksek temas kuvvetinin ortaya çıkmasına sebep olmuştur.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Gerçekleştirilen çalışmada bal peteği sandviç kompozit malzemelerin darbe yüklemesine karşı davranışları düşük hızlı darbe deneyi ile incelenmiştir. Yapılan testler sonucunda elde edilen sonuçlar ışığında yapılan değerlendirmeler aşağıda verilmiştir.

- Bal peteği sandviç kompozit yüzey malzemesi kalınlığının artması bütün malzeme türleri için darbe mukavemetini arttırmıştır.
- Yüzey malzemesi kalınlığının değişmesi en çok karbon fiber kompozit yüzey malzemesine sahip numuneleri etkilemiştir. Yüzey malzemesi kalınlığı arttıkça karbon fiber kompozit yüzey malzemesine sahip numunelerin mukavemetleri belirgin şekilde artmıştır.
- Bal peteği çekirdeğin yüksekliğinin artması sönmelenen enerji miktarını ve meydana gelen hasarın çapını değiştirmemiş ancak meydana gelen hasar derinliği hücre yüksekliği arttıkça artmıştır.
- 0.5 mm yüzey malzemesine sahip numunelerin hepsinde 10 J darbe enerjisi için üst yüzey malzemesi delinmiştir. Darbe elemanı numune içinde sıkıştığından dolayı darbe enerjisinin tamamı numune tarafından sönmelenmiştir.
- 10 J darbe enerjisi ile yapılan testlerde 0.5 mm karbon fiber yüzey malzemesine sahip numunenin arka yüzeyi de delinmiştir.



TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Destekleme Birimi tarafından MF.16.18 proje numarasıyla desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Belouettar, S., Abbadi, A., Azari, Z., Belouettar, R., and Freres, P., (2009). Experimental investigation of static and fatigue behaviour of composites honeycomb materials using four point bending tests. *Composite Structures*, 87(3), 265-273. doi:10.1016/j.compstruct.2008.01.015
2. Fojtl, L., Rusnáková, S., Žaludek, M., and Rusnák, V., (2015). Influence of the type and number of prepreg layers on the flexural strength and fatigue life of honeycomb sandwich structures. *Materiali in tehnologije* 49(4) (2015) 515-519. doi:10.17222/mit.2014.124
3. Bentouhami A., Keskes B., (2015). Experimental Analysis and Modeling Of The Buckling Of A Loaded Honeycomb Sandwich Composite. *Materiali in tehnologije*, 49(2), 235-242. doi:10.17222/mit.2014.039
4. Herup, E.J., & Palazotto, A.N., (1998). Low-velocity impact damage initiation in graphite/epoxy/nomex honeycomb-sandwich plates. *Composites Science and Technology*, 57(12), 1581-1598. doi: 10.1016/S0266-3538(97)00089-4
5. Tan, C.Y. and Akil, H.M., (2012). Impact response of fiber metal laminate sandwich composite structure with polypropylene honeycomb core. *Composites Part B: Engineering*, 43(3) (2012), 1433-1438. doi: 10.1016/j.compositesb.2011.08.036
6. Akatay, A., Bora, M.Ö., Çoban, O., Fidan, S., and Tuna, V., (2015). The influence of low velocity repeated impacts on residual compressive properties of honeycomb sandwich structures. *Composite Structures*, 125, 425-433. doi: 10.1016/j.compstruct.2015.02.057
7. Schubel, P. M., Luo, J. J., & Daniel, I. M. Impact and post impact behavior of composite sandwich panels. *Composites Part A: applied science and manufacturing*, 38(3) (2007), 1051-1057. doi: 10.1016/j.compositesa.2006.06.022
8. Galehdari, S.A., Kadkhodayan, M., and Hadidi-Moud, S., (2015). Low velocity impact and quasi-static in-plane loading on a graded honeycomb structure; experimental, analytical and numerical study. *Aerospace Science and Technology*, 47, 425-433. doi:10.1016/j.ast.2015.10.010
9. Baba, B.O., (2017). Curved sandwich composites with layer-wise graded cores under impact loads. *Composite Structures*, 159, 1-11. doi:10.1016/j.compstruct.2016.09.054
10. Jen, Y.M., Ko, C.W., and Lin, H.B., (2009). Effect of the amount of adhesive on the bending fatigue strength of adhesively bonded aluminum honeycomb sandwich beams. *International Journal of Fatigue*, 31(3), 455-462. doi:10.1016/j.ijfatigue.2008.07.008
11. Gunes, R. and Arslan, K., (2016). Development of numerical realistic model for predicting low-velocity impact response of aluminium honeycomb sandwich structures. *Journal of Sandwich Structures & Materials*, 18(1), 95-112. doi:10.1177/1099636215603047
12. Ramesh, S., Sharma, V.P., Raghupathy, Priyamvada, G.M., Abhishek, A., and Abhiraj, M., (2011). Investigation of Low Velocity Impact Response of Aluminium Honeycomb Sandwich Panels. *ARPJ Eng Appl Sci*, 6, 7-14.
13. Paik, J.K., Thayamballi, A.K., and Kim, G.S., (1999). The strength characteristics of aluminum honeycomb sandwich panels. *Thin-walled structures*, 35(3), 205-231. doi:10.1016/S0263-8231(99)00026-9.



Hasan Kolaylı
İbrahim Alp

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon-Türkiye
hasankolayli@gmail.com; ialp@ktu.edu.tr

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.1A39PB>

**ERZİNCAN (TÜRKİYE) CİVARI KROMİT POTANSİYELİNİN FERROKROM TESİSİ
BESLEMESİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

ÖZ

Erzincan çevresini saran sıradağlar ofiyolitik kayalar ile örtülüdür. Ofiyolitik kayaların yayılım alanları 100-750km² arasında değişir. Bu kayalar içinde harzburgitler çoğunlukta, dünitler daha az oranda bulunur. Kromititler ekonomik olarak özellikle dünit, nadiren harzburgit içinde bulunur. Kromitit ile dünit arasında jenetik bir ilişki mevcuttur. Eş yaşlı olan bu kayaların gelişim mekanizmaları da ortaktır. Dolayısı ile rezerv açısından da kromitit ile dünit (kısmen piroksenit) arasında doğrusal bir ilişki mevcuttur. Geniş alanlarda yüzeyleme veren dünitler, büyük rezervli kromitit yataklarına da ev sahipliği yaparlar. Jeolojik açıdan Erzincanı çevreleyen yakın alanda çok sayıda kromit yatağının ve yüzlerce kromitit zuhurunun varlığı, Erzincan'ı tüvenan kromit ve ferrokrom üretim merkezi yapabilecek durumdadır. Her yıl bu alandan 0.75-1 milyon ton kromit cevheri üretimi, bunun %40'ı kadar da ferrokrom üretimi yapılabilir.

Anahtar Kelimeler: Ferrokrom, Erzincan, Kromitit Potansiyeli, Türkiye, Tüvenan Kromit

**EVALUATION OF CHROMITE RESOURCE IN ERZİNCAN (TURKEY) REGION FOR
FERROCHROME PLANT SUPPLY**

ABSTRACT

Ophiolitic rocks are widely found in the mountains surrounding Erzincan. The extent of ophiolitic rocks varies between 100-750km². Within these rocks, harzburgites are mostly present and dunites are less. Chromites found mainly in dunite, rarely in harzburgite. These rocks, which have the same developmental mechanisms, are also of the same age. Therefore, there is a linear relationship between chromitite and dunite (partly pyroxenite) in terms of reserve. The dunites, outcropping in large areas, also host large-bedded chromite deposits. Geologically, the presence of numerous chromite beds and hundreds of chromitic occurrences in the Erzincan basin can make it the chromitite and ferrochrome production center. Every year, 750,000-1,000,000 tons of chromite ore production is produced from this area, of which up to 40% of ferrochrome production can be done.

Keywords: Ferrochrome, Erzincan, Chromite Potential, Turkey, Trusted Chromite



1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

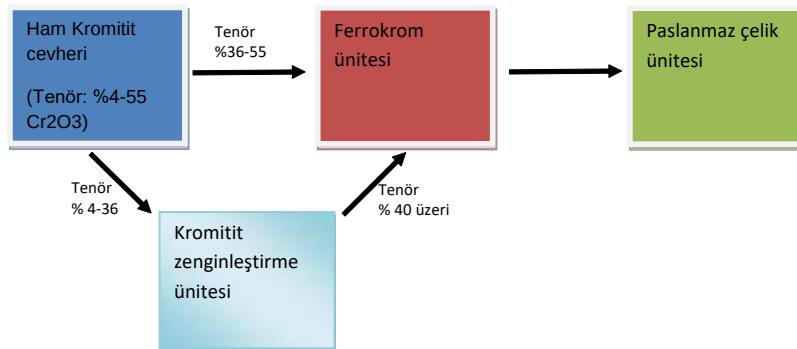
Ergime sıcaklığı ortalama 1860°C olan krom metalik özellikte bir elementtir. Tabiatta ekonomik olarak krom, sadece kromit minerali içinde bulunur. Kromit, başlıca krom, demir ve oksijenden oluşup bir miktar da Mg ve Al ihtiva eden metalik bir mineraldir. Kromit cevheri ise, kromit kristallerinden oluşan, içinde gang olarak olivin, piroksen ve serpantin bulunan ham cevhere denir. Kromit cevheri jeolojik anlamda Alpin ve Stratiform olmak üzere iki tiptir. Stratiform özellikte olan kromit yataklarının rezervleri çok fazla olup, yüz bin tondan birkaç on milyon tona kadar ulaşır. Güney Afrika Cumhuriyetinin sahip olduğu kromit yatakları bu tiptedir. Ülkemizin de içinde bulunduğu Alp kuşağındaki kromit yatakları Alpin tip olup bu yatakların rezervleri çok daha küçüktür (birkaç bin tondan birkaç milyon tona kadar). Ayrıca Stratiform tipteki kromit yatakları daha düzenli yataklanmalara sahipken, Alpin tipte olanlar çok daha düzensiz (pod, baca, mercek vs şekilli) yataklara sahiptir. Buna karşın Alpin tip (podiform) kromitlerde Cr/Fe rasyosu 2 ila 4 arasında iken, stratiform tipte olanlarda 1.6'dan daha düşük, ortalama 1.2 seviyesindedir. Ayrıca stratiform kromitlerin ergime ısıları podiform olanlardan çok daha yüksek izabe giderleri kat kat fazladır. Bu nedenlerle ülkemizin sahip olduğu Alpin tip kromit cevheri başlıca Ferrokrom ünitelerinde tercih edilen cevher konumundadır.

Dünya kromit rezervi 3.6 milyar ton civarındadır. Bunun %90'ından fazlası Güney Afrika, Zimbabve ve Kazakistan'da bulunmaktadır (Tahtakıran,2007). Güney Afrika kromit dünya rezervinin büyük bir bölümünü elinde bulundurmasına rağmen Stratiform karakterli olmaları nedeniyle daha az tercih edilir durumdadır. Dünya ham kromit cevheri üretimi yıllık ortalama 15 milyon tonun üzerinde olup, üretim her yıl %5 civarında artmaktadır. Türkiye potansiyel kromit rezervi 250 milyon tonun üzerindedir (tenör %5-56). Türkiye'de ilk bulunduğu 1848 yılından beri 50 milyon tonun üzerinde üretim yapılmıştır. Bu üretilen cevherin tamamına yakını parça cevher olup %38 üstü tenöre sahiptir. Bu durumda %38 altı cevherin önemli bir kısmı ya yakın yıllarda işlenmiş, ya da pasa olarak atıl halde bırakılmıştır. Türkiye'deki yıllık kromit cevheri üretimi düzenli olmayıp 300 bin ila 2 milyon ton arasında değişmektedir. Son yıllarda yıllık ham cevher üretimi ortalama olarak 1 milyon tonun üzerindedir.

Kromit cevheri, paslanmaz çelik üretiminde, kimya ve döküm sanayiinde kullanılan stratejik bir madendir. Dünyada üretilen kromit cevherinin %90'ından fazlası metalürji sanayinde ferrokrom üretiminde, üretilen ferrokromun da yaklaşık %90'ının paslanmaz çelik sektöründe kullanıldığı bilinmektedir. Kromit cevheri, ferrokrom üretiminde, ferrokrom ise paslanmaz çelik üretiminde ana ham maddeyi oluşturur (Tahtakıran, 2007). 2005 yılında dünyada üretilen yaklaşık 19 milyon ton kromit cevherinin %74'ü çıkarıldığı ülkelerde kullanılmış, geriye kalan %26'lık kısmı (yaklaşık 5 milyon ton) ise dünya krom piyasasında ham cevher olarak satılmıştır. Satıcı ülkeler sırayla Hindistan, Güney Afrika, Kazakistan ve Türkiye olup toplam dünya ham cevher ihracatının %73 ünü gerçekleştirmişlerdir. İthalatçı ülkeler olarak Çin, Rusya, Japonya, İsveç ilk 4 sırayı almaktadır. 2005 yılında; Türkiye ürettiği cevherin %85'ini, Hindistan %35'ini, Kazakistan %26'sını, Brezilya %17'sini, Güney Afrika %14'ünü, ham cevher olarak ihraç etmiştir. Türkiye ürettiği cevherin büyük bir kısmını herhangi bir ürüne çevirmeden sadece hammadde olarak satmaktadır. Az bir kısmı Elazığ ferrokrom tesisinde işlenmektedir (Tahtakıran, 2008).

- **Ocaktan ferrokrom tesisine kromit cevheri:** Ham kromit cevheri, ocaktan (açık işletme veya galeri) çıkarılmış haliyle olan cevherdir. Bu haliyle tenörü %5 ila 54 arasında değişir. Tenörü

%38 den yüksek olan doğal haliyle olan cevher ferrokrom tesislerinde işlenmeye hazırdır. Tenör %38 den düşük ise ham cevher çıkarıldığı ocak civarında kromit zenginleştirme tesislerinde tenör iyileştirmesi amacıyla konsantre tesislerinden geçirilir. Konsantre tesislerinde düşük tenörlü ham cevher tamamen öğütülerek ince kum haline getirilir. Kum içerisindeki cevher taneleri diğer tanelerden yoğunluk farkından faydalanılarak sallantılı masa veya santrifüj sistemi gibi basit fiziksel yöntemlerle ayrılıp zenginleştirilir. Kum halinde ve tenörü %46-48 arasında değişen bu zengin cevhere konsantre cevher adı verilir. Hem konsantre cevherde ve hem de parça cevher içinde olivin, serpantin, piroksen gibi cevher ile birlikte bulunan silikat mineralleri kalmıştır. Ayrıca kromit kristal şebekesi içinde Cr ve Fe ile birlikte bulunan Si, Mg ve Ca gibi istenmeyen bileşenler de mevcuttur. Bu istenmeyen bileşenlerin FeCr beraberliğinden uzaklaştırılması için fiziksel ayırma yöntemleri artık yeterli değildir. Ham cevher içinde sadece FeCr ikilisinin kalabilmesi için kromit kristal şebekesinin yüksek ısı ile parçalanarak istenmeyenlerin curuf olarak atılması gerekir. Bu işlemleri yapabilen tesislere **ferrokrom tesisi** adı verilmektedir. Ferrokrom tesislerinden ürün olarak çıkan FeCr (ferrokrom) malzemesi paslanmaz çelik sanayisinin ana ham maddesini oluşturur (Şekil 1). Ülkemizdeki cevherin %80 den fazlası ham cevher olarak ihraç edilerek değişik ülkelerin ferrokrom tesislerini, bir sonraki aşama olarak da paslanmaz çelik üretim tesislerini beslemektedir. Geri kalan %20 den az bir bölümü de ülkemiz ferrokrom tesislerinde işlenmektedir. Ferrokrom olarak üretilen bu yarı mamul ürün paslanmaz çelik üretim tesislerinden geçirilerek "paslanmaz çelik" haline getirilmektedir (genellikle yurt dışında yapılmaktadır). Paslanmaz çelik sektörü ise küçük, orta ve büyük ölçekli sayısız pek çok sektörün (mutfak eşyaları, motor-makine ekipman ve parçaları, silah sanayi (top, tank vb), paslanmaz inşaat malzemeleri, paslanmaz sac, otomobil sanayi vs) ana hammadidesidir.



Şekil 1. Ham cevher, ferrokrom ve paslanmaz çelik zinciri
(Figure 1. Crude ore, ferrochrome and stainless steel chain)

- **Ferrokrom üretim tesislerine ihtiyacın nedenleri:** Ham cevheri ithalatçı ülkeler CIF yani kendi limanlarında teslim olarak istemektedir. Ülkemizde üreticiler önce ocaktan limana (ortalama 20\$/ton) daha sonra da limandan-limana (ortalama 40\$/ton) olan ton başına yaklaşık 60\$ olan nakliye ücretini ödemeye mecbur kalmaktadır. Örneğin 2016 yılı fiyatları CIF olarak ortalama 170\$/ton olarak düşünülürse, üreticilerin ham kromit cevherini



110\$/ton gibi çok düşük fiyatla sattıkları, yakıt (motorin), elektrik, işçilik, orman harcı, devlet hakkı ve amortisman vb gibi giderler hesaba katıldığında üreticinin hemen hemen hiç para kazanamadıkları, bunun da üretim yapıldığı halde milli servetin kaybı anlamına geldiği açıktır.

Madencilikte dur-kalk üretici adına çok zararlı bir durumdur. Fiyatlar sabit değildir. Fiyatların ani düşmesiyle ocaklarda üretimin durması madenciler için son derece ağır faturaların ödenmesine neden olmaktadır. Yıllık harçlar gibi sabit giderler yanında alınan kredilerin düzenli ödenmesinde sıkıntılar ortaya çıkmaktadır. Bunun yanında iş bırakan eldeki kalifiye elemanların tekrar geri dönüşümünde önemli sıkıntılar yaşanmaktadır. Ayrıca çalışan makine-teçhizatın da atıl olarak yatması madencilikte durmanın en önemli sakıncalarından birini oluşturmaktadır. Bu yüzden madenciler bazen zararına da olsa bir sonraki yıla umutla girebilmede dur-kalk yapmayıp zararına da olsa üretimi sürdürmekte, umutla bir sonraki sezonda fiyatlardaki yükselmeyi bekleyerek üretimlerine devam etmektedirler. Bu durumda üretim yapılmış olsa da düşük fiyatlar nedeniyle milli servet kaybı yaşanmış olmaktadır.

- **Ferrokrom tesisleriyle sağlanabilecek istihdam:** Bugün ortalama bir ferrokrom tesisinde yaklaşık 1000-1500 kişiye iş istihdamı sağlanabilmektedir (Örnek: Elazığ ferrokrom). Ayrıca ferrokroma ham cevher sağlayan maden ocağı işletmelerinin de hesaba katılması gerekir. Bu amaçla onlarca kapalı işletmeler devreye girecek, bir o kadar da yeni ocaklar açılacak, önemli ölçüde iş istihdamı sağlanacaktır. Ayrıca ocaklardan çıkan düşük tenörlü cevher de atıl olarak kalmayarak zenginleştirme tesislerinde işlenecektir. Böylece şu anda çoğu kapalı olan ve konsantre cevher üreten krom zenginleştirme tesisleri işletmeye alınacak ve ayrıca onlarca yeni zenginleştirme tesisinin kurulması gündeme gelecektir. Hem ocaklarda hem de zenginleştirme tesislerinde ilave iş gücüne ihtiyaç duyulacaktır. Sıradan bir kromit ocağında ve devamı niteliğindeki zenginleştirme tesislerinde vardiyalı olarak ortalama 100 kişiye iş istihdamı sağlanabilir. Bu tip ocakların onlarcası Erzincan-Erzurum ve yakın civarında potansiyel olarak mevcuttur. Ayrıca tek başına bir ferrokrom tesisini besleyebilecek kadar ham kromit cevheri üretebilen işletmelerde yaklaşık 800 kişiye kadar iş imkanı sağlanabilir (örnek: Batı Kop dağları (Çayırılı) eski Birlik Maden, yıl 1990-96). Ocaklarda yıllık üretilebilecek ham cevher miktarları da (%38 üstü parça ve %42 üstü konsantre) küçük/orta işletmelerde 5.000-50.000 ton arasında değişebilir. Büyük ölçekli kromit cevheri üretimi yapan işletmelerde ise yıllık üretim 800.000 tona (örn.Kop bölgesi Eski Birlik Maden AŞ) kadar çıkabilmektedir (ancak Kop bölgesindeki işletmeler şu anda farklı sebeplerden dolayı çalışmamaktadır). Ferrokrom tesislerinde ortalama 1000-1500 kişiye, ferrokromu besleyecek kromit cevheri işletmelerinden/ocaklarından ve konsantre tesislerinden de toplamda 2 ila 3 bin kişiye iş imkanı sağlama imkanı olacaktır. Buna yan sektörlerle (hizmet, sağlık, taşımacılık, yedek parça vs.) sağlanacak istihdam dahil edilirse, bir ferrokrom ünitesi ile yaklaşık 5000 kişiye direkt ve dolaylı olarak iş imkanı sağlanabilecektir. Zenginleştirme tesislerinde tesise gönderilen ham cevher tenörünün daima "işletilebilir bir alt sınırı" vardır. Madenler tükendikçe, dolayısıyla giderek değer kazandıkça ve teknoloji ilerledikçe bu **işletilebilirlik alt sınır** da gittikçe

düşmektedir. Bu işletilebilir alt sınırın altında tenöre sahip cevherin üretimi günün şartlarında ekonomik değildir. Buna madencilikte "işletilebilirlik alt sınırı" anlamına gelen "cut off grade" adı verilir. Kromit cevheri için bu sınır eskiden yüksek olmasına karşın son yıllarda giderek düşmüştür. 90'lı yıllarda %10 luk tenöre sahip cevherin konsantre tesislerinde işletilmesi pek ekonomik sayılmazken, günümüzde uygun rezerve sahip işletmelerde bu tenör %3.5'e kadar düşmüştür (%3.5 lik cevherin anlamı: %80 verimlilikle çalışan bir konsantre tesisinde, 16 ton %3,5 lik tüvenan cevherden 1 ton %46 Cr₂O₃ luk konsantre cevher elde edilebilir demektir).

Ferrokrom tesisinin kurulması durumunda ithalatçı ülke limanına olan nakliye ücreti (CIF) ödenmeyip direkt olarak üreticinin cebinde kalacağından kromit adına işletme sınır tenörü çok daha aşağıya çekilerek, şimdilerde ekonomik olmayan çok düşük tenörlü (örn: %2- %3 gibi) kromit yataklarının işletilmesine ve hatta eski işletilmiş ocaklarda ekonomik sayılmayan çok düşük tenörlü atıkların (pasa) da yeniden üretime kazandırılmasına imkan sağlayacaktır.

Yarı mamül sayılan Ferrokrom ünitelerini tamamlayan, bir sonraki aşama **Paslanmaz Çelik** sanayisidir. Öyle ki paslanmaz çelik üretimi ülkelerin gelişmişlik seviyelerini belirleyen faktörlerden biri olarak kabul edilir. Ferrokrom üretim ünitesinden sonraki hedef paslanmaz çelik üretim üniteleri olmalıdır (**Görüş: Paslanmaz Çelik**, birçok paslanmaz mamül üretiminin ana maddesidir. Paslanmaz Çelik sanayisinin ana girdisi 3 ayaklı olup; ferrokrom, demir ve enerjiden ibarettir. Ferrokrom ünitelerinin (Erzincan veya yakın bir bölge) kurulması ile ferrokrom ihtiyacı sağlanmış olacaktır. İhtiyaç duyulacak demir cevheri rezervlerimiz de mevcuttur. Örneğin Divriği'den demiryoluyla rahatlıkla sağlanabilir. Paslanmaz çelik üretiminde önemli bir girdi olan enerji şu anda sorun olsa da gelecekte devreye girecek olan nükleer santraller bu enerji sorununu çözebilecek durumdadır. Dolayısı ile Ferrokrom ünitelerinden bir sonraki hedefimiz **Paslanmaz Çelik Sanayi** olmalıdır. Ferrokrom Erzincan-Erzurum arasında bir bölgede kurulursa (buna X bölgesi diyelim), daha sonraki yıllarda düşünülebilecek Paslanmaz Çelik üretim ünitesi de X ile Divriği arasında kurulması ülke menfaatine olacaktır)

Son yıllarda ham krom cevher fiyatları çok düşük seyretmiştir. Ortalama olarak, 2014 yılında ham kromit cevheri üretimi 1.5 milyon ton'un üzerinde ve ihracat birim fiyatı 230\$/tondur. 2015 yılında yaklaşık 1.4 milyon ton ham cevherin ortalama ihracat birim fiyatı yaklaşık 190 \$/tondur. 2016 yılında ilk altı aylık ortalama ihracat birim fiyatı 150\$/ton'un altındadır. Buradan da anlaşılacağı üzere ham cevher ihracatı yerine, ülkemizin ferrokrom üretim kapasitesi hemen artırılmalı ve yakın gelecekte Paslanmaz Çelik üretimi aşamasına geçilmelidir (Paslanmaz çelik hemen hemen metal sanayinin ana unsurudur. Akla gelebilecek daha küçük ölçekte metale dayalı yüzlerce küçük ölçekli fabrikanın (jant, paslanmaz mutfak eşyaları, paslanmaz iş makinesi parçaları, inşaat sektöründe kullanılan paslanmaz mamüller, otomobil ve gemicilikte paslanmaz metal kısımların üretimi ve daha yüzlercesi) ham maddesini oluşturacaktır).

- **Ham cevher fiyat sorunu:** Ham kromit cevherinde ihracatta görülen fiyat dalgalanmaları ve düşük fiyatlar kromit maden işletmecilerinin en önemli sorunlarından biridir. Fiyat dalgalanmaları işletmeleri dur-kalk pozisyonuna sokarak birçok

yönden kayıp yaşanmasına neden olmaktadır. Cevherin yüksek fiyatına göre yapılan üretim, sezon sonunda fiyatların düşmesiyle birlikte büyük zararların doğmasına işletmelerin kapanmasına neden olmaktadır. Düşük fiyatlar üretimin büyük ölçüde durmasına neden olmaktadır. Ham krom/kromit cevher fiyatlarını üreten ülkeler yerine ithalatçı birkaç ülke tarafından belirlenmesi bu sektörün en önemli açmazıdır. Bunun ortadan kalkması için, üreticilerin de fiyat üzerinde etkisinin olması şarttır. Bu da ancak ham cevher ihracatı yerine hiç değilse yarı mamul olarak ferrokrom üretimi yapılarak, birkaç yerine çok sayıda ülkeye ihracatın sağlanması ile mümkündür. Ham cevher yerine sadece yarı mamul olan ferrokrom üretimi ile karlılığın 6 kata kadar artırılması, üstelik 5000 kadar kişiye iş imkanı sağlanabilecek olması asla abartı değildir.

Son 20 yılın ortalaması olarak her yıl ortalama 1.2 milyon ton tüvenan kromit üretimi yapılırken bunun en az 800 bin tonu ham olarak ihraç edilmektedir. Bunun yerine ferrokrom tesisleri ile ham cevheri ülkemizde işleyip, hem iş istihdamı yaratarak sosyal faydaların sağlanması hem de ülke ekonomisine daha fazla katkının sağlanması mümkündür.

- **Ocakların rantabl kullanılması:** Etkin olarak yüzyılı aşkın bir zamandır ülkemizde üretimi yapılan kromit cevheri başlangıçta yüzey kotlarında işletilmekteydi. Daha sonraları yüzey cevherlerinin tükenmesiyle üretim derinlere yani galeri veya büyük açık işletmeciliğe kaydı. Galeri işletmeciliği üretim miktarını önemli ölçüde sınırladığından iş makinelerinin etkin kullanımıyla açık işletmelerle üretim yapılmaya başlandı. Açık işletmelerle bir yandan büyük üretimler yapılırken diğer yandan bu yatakların önemli ölçüde ve gereken katma değer sağlanmadan tükenmesine neden olmaktadır.

Yaklaşık 20-25 yıl öncesine kadar ocaklardan sadece parça cevher (%38 üstü) üretimi yapılırken günümüzde artık çok düşük tenörlü cevherler de (%3.5'e kadar) konsantre tesislerinde zenginleştirilip %46 üstüne çıkarılarak ihraç edilmeye başlandı. Düşük tenörlü cevherlerin konsantre tesislerinde zenginleştirilmesi sırasında önemli işgücü istihdamları da sağlanmış oldu.

Ferrokrom tesislerinde ana girdiyi tüvenan kromit cevheri oluşturur. Ortalama bir ferrokrom tesisi için yıllık olarak yaklaşık 400.000 ton ham cevher (%38 Cr_2O_3 üstü) gereklidir. Bu ölçekte bir ferrokrom tesisinden 150.000 ton FeCr (ferrokrom) ürün alınabilir. Ülkemizin ortalama yıllık ham cevher üretimi 1.2 milyon tonun üzerindedir. Ham cevherde ton başına 50\$ lık fiyat artışı üretimin rahatlıkla iki katına çıkmasına sağlayabilir. 1995 yılında, konsantre tesislerinin etkin kullanımının olmadığı yıllarda ham krom cevheri üretimimiz 2 milyon tonun üzerinde olmuştur. Bunun büyük bir bölümü Kop bölgesinden sağlanmıştır. Dolayısıyla, ortalama bir ferrokrom tesisi için gereken yıllık 400.000 tonluk ham cevher Erzincan ve yakın civarından rahatlıkla sağlanabilir.

- **Faydalar:** Bir ferrokrom tesisinin kurulması ile şu faydalar sağlanacaktır.
 - Ham cevher ithalatçı ülkesi/ülkeleri ham cevher fiyatının belirlenmesinde tek başına belirleyici faktör olamayacak.
 - Üretilen ham cevher ferrokroma dönüştürülerek ihraç edileceğinden veya ülke içinde işleneceğinden katma değere daha fazla katkı sağlayacak.



- Ferrokrom kurulduğu bölgelerde iş istihdamı sağlayacak, çevre piyasasına canlılık kazandıracak. Kromit üretimi yapılan maden ocaklarında işletmenin büyüklüğüne göre en az 100 en çok 800 kadar işçiye iş istihdamı sağlanabilecek. Ortalama bir Ferrokrom tesisinde ise 1500 kadar işçiye istihdam sağlanabilecektir. Bunlar doğrudan üretime katkı sağlayan rakamlar olup, bunun haricinde dolaylı olarak üretime katkı sağlayan çalışan sayısı bir o kadar olma durumundadır.
- Üretilen ham cevher şantiyelerden limanlara oradan da deniz yoluyla alıcı ülke limanlarına gönderilmektedir. Şantiye-liman arasında yerine göre ton başına ortalama 20\$, limandan-limana da yine ton başına ortalama 40\$, toplamda ton başına 60\$ lık bir nakliye masrafı üreticinin cebinde kalacaktır. Bu rakam maden üreticileri için çok önemli bir rakam olup çoğu ocaklarda üretimin durmamasını sağlayacaktır.
- Türk kromitleri içinde Pt, Pd, gibi kıymetli metaller rapor edilmektedir. Bunun yan ürün olarak eldesi önemlidir. Bunun üzerinde çalışılmalıdır.
- Kromit yatakları çalışırken ocak civarındaki peridot ilişkili yatakları da (örn. manyezit) az masrafla işletilebilir hale getirebilecektir.
- Ferrokrom tesis cürufları (bir çeşit maden atığı) sert ve dayanımlı olmaları nedeniyle inşaat sektöründe (yol ve yapı) ve çimento agregası olarak kullanılabilir (1 ton ferrokrom üretiminden açığa çıkan cüruf ortalama 1.1 ila 1.6 ton arasındadır)
- Düşük tenörlü (<7 Cr2O3) rezervlerin işletilmesine ivme kazandıracaktır.

Kromit cevheri; Metalurji, Kimya, Refrakter ve döküm sanayiinde kullanılmaktadır. Bu sektörlerde kromit cevherinin yerini alabilecek bir alternatif bulunmamaktadır. Dünyada üretilen kromit cevherinin %90'ından fazlası metalurji sanayisi için ferrokrom (FeCr) üretiminde, üretilen bu ferrokrom (FeCr) un da yaklaşık %90'ı paslanmaz çelik sektöründe kullanılmaktadır. Bu nedenle uluslararası piyasalarda krom cevheri genellikle metalurjik özelliğine göre alınıp satılmakta ve fiyatlandırılmaktadır. Ülkemizde çıkartılan krom cevheri, yüksek kalitesinden ve daha az masrafla ergitilmesinden dolayı FeCr üreticileri tarafından tercih edilmekte ve piyasalarda aranılmaktadır. Ülkemiz, tespit edilmiş bulunan rezerv miktarı açısından değilse bile, kalitesiyle dünyada önde gelen ham kromit üreticisi ülkelerden birisidir. Çin'de birçok firma daha rahat ve randımanlı üretim yapabilmek için diğer ülkelerden (Örn. Güney Afrika) ithal ettikleri krom cevherinin içerisine kaliteli Kazakistan ve Türk kromit cevherlerinden belli oranlarda karıştırmaktadır. Türk kromitlerinin SiO₂ içeriği dolayısı ile izabe için enerji gerekliliği düşüktür. Cr/Fe oranının yüksek oluşu birim ham cevherden yüksek ferrokrom eldesini sağlamasından dolayı tercih edilmektedir.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Türkiye'de Elazığ ve Antalya olmak üzere 2 adet ferrokrom tesisi mevcuttur. Yıllık ham kromit cevheri işleme kapasiteleri toplamda ortalama 430.000 ton civarındadır (Kromit zeng. fiz. rap, 2011). Ülkemizde üretilen yıllık ham cevherin ortalama 1,2 milyon ton olduğu düşünülürse (bu gerektiğinde 2 milyon tonun üzerine çıkabilir) ilave



ferrokrom tesislerine ihtiyaç duyulduğu açıkça ortadadır. Ham cevherin çıkarıldığı bölgede fazla nakliye gerektirmeden ferrokroma çevrilmeleri ekonomik açıdan son derece önemlidir. Ham kromit cevherinin ferrokrom üretiminde kullanılması durumunda elde edilecek ferrokromun sağlayacağı döviz girdisi ve katma değer, cevher olarak satışından sağlanacak gelirin en az 2-3 katıdır. Ayrıca binlerce kişinin istihdamı, yan sanayinin gelişimi ve hepsinden önemlisi ileride planlanabilecek paslanmaz çelik üretiminin de temelini oluşturacaktır.

3. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEMELER VE YÖNTEM (MATERIALS AND METHOD USED IN THE EXPERIMENTS)

Erzincan-Erzurum arası bölgenin kromit potansiyelinin değerlendirilmesinde genel jeolojik, mineraloji-petrografik ve tektonik açıdan irdelemeler yapılmıştır. Bölgenin kromit potansiyelini anlamada plaka dinamiği ve tektonik, petrolojik ve genel jeolojik açıdan değerlendirilmiştir. Bölgenin özellikleri belirlenerek uygun değerlendirilebilme seçenekleri tartışılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

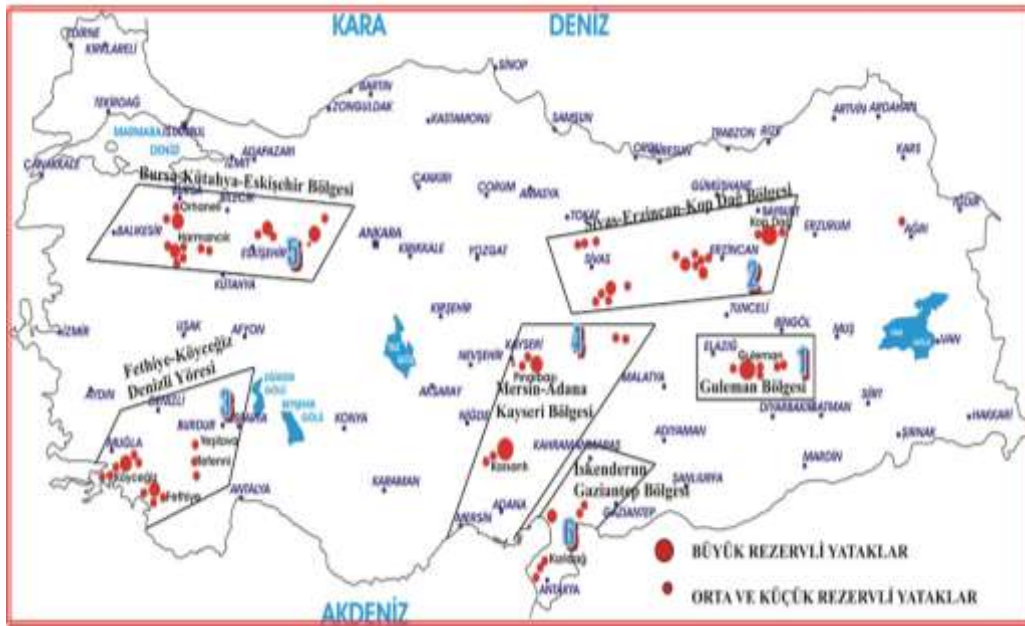
4.1. Türkiye Kromitlerinin Genel Özelliği ve Dağılımı

(General Properties and Distribution of Turkish Chromites)

Türkiye de bulunan peridotitler ve bunların içindeki kromit yatakları Alpin tip olarak sınıflandırılmaktadır. Alpin tip cevherlerde, Cr/Fe oranları daha yüksek, silis içeriği ve ergime ısısı düşük olup yüksek metalurjik kaliteye sahiptir. Türkiye, dünyadaki sayılı krom üreticisi ülkeler arasında yer almaktadır. Yurdumuzda bilinen krom yatakları yoğunlaştıkları bölgelere göre 6 alt gruba ayrılmışlardır (Şekil 2). Bunlar önem sırasına göre,

- Guleman (Elazığ)
- Erzincan-Erzurum (Kopdağ)-Sivas bölgesi
- Fethiye-Köyceğiz-Denizli
- Bursa-Kütahya-Eskişehir
- Mersin-Karsantı-Pınarbaşı
- İskenderun-Osmaniye-Kahramanmaraş yöresi olarak verilebilir

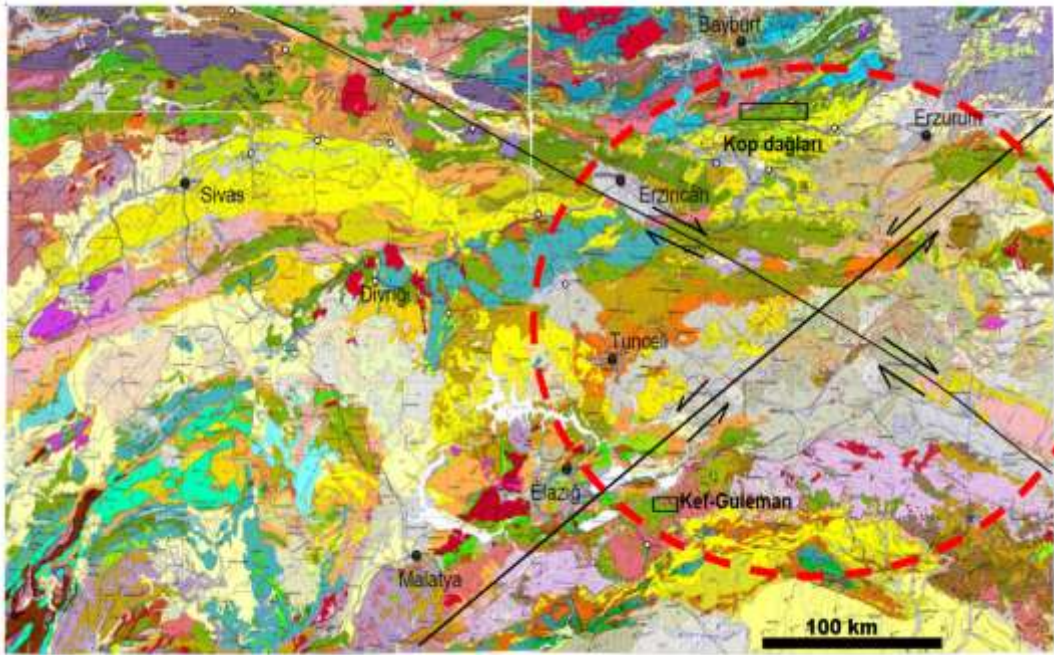
Bu bölgelerde yer alan onlarca krom ocaklarından her yıl önemli miktarda tüvenan cevher üretimi yapılmaktadır. Ülkemizde Guleman ve Antalya civarında bulunan iki ferrokrom tesisleri haricinde ferrokrom işletmesi yoktur. Bu yüzden üretilen cevherin büyük bölümü ihraç edilmektedir.



Şekil 2. Türkiye kromit yataklarının dağılımı (Engin ve diğ. 1986)
(Figure 2. Distribution of chromite deposits in Turkey)

4.2. Erzincan-Erzurum Arası Bölgenin Kromit Potansiyeli (Chromite Potential between Erzincan-Erzurum Region)

Kromit cevherine ana kaya görevini üstlenen peridotitler ülkemizde D-B doğrultulu 3 ana kuşak üzerinde bulunurlar (Şekil 2). Bu kuşaklar batı Anadolu'da birbirinden uzak iken, orta-doğu Anadolu'da ve özellikle Erzincan ve Elazığ civarında birbirlerine yaklaşırlar. Bu nedenle Erzincan-Erzurum arasında geniş peridotit masifleri yüzeylenir. Bu bölgeye yakınlığı itibariyle krom cevheri içerebilecek 9 farklı peridotit masifinin yüzeyleme alanları Tablo 1'de sunulmuştur. Tabloda da görüldüğü üzere Erzincan ve yakın çevresinde yayılım gösteren peridotit masiflerinin toplam alanları 375.000 ha ulaşmaktadır (Şekil 3). Alansal anlamda bir kıyaslama yapılacak olursa, Elazığ'daki ferrokrom tesisi olan Etikrom A.Ş., Elazığ-Diyarbakır arasında yaklaşık 20.000 ha'lık bir peridotit masifinden sağlanan ham kromit cevheri ile beslenmektedir. Krom cevherine ana kaya görevi üstlenen peridotit masiflerinin Erzincan-Erzurum arasında kalan bölgede yoğunluğu nedeniyle, bu bölgede değişik firmalar tarafından pek çok kromit cevheri işletme ruhsatı alınmıştır.



Şekil 3. Erzincan ve yakın civarının jeolojik haritası (koyu yeşil alanlar kromit cevherine ana kaya oluşturabilecek peridotitleri göstermektedir. Kaynak MTA, 1/500000 ölçekli jeolojik harita)
(Figure 3. Geological map of Erzincan and its vicinity (dark green areas show peridotites that can form a bedrock of chromite ore))

Tablo 1. Erzincan-Erzurum ve yakın civarında yüzeylenen peridotit masiflerinin yaklaşık boyutları (MTA, 1/500.000 ölçekli jeolojik harita)

(Table 1. Approximate dimensions of the peridotite massifs exposed in the vicinity of Erzincan-Erzurum
(MTA, 1/500.000 scale geological map))

Bölge	Masif		
Adı/Tanımlaması	Boy (km)	Genişliği (km)	Alanı (ha)
Kop Dağı	50-60	10-15	75.000
Tercan N ve S			15.000
Erzincan Kuzeyinde D-B Yönlü Peridotit Masifi Uzanımı	100	10-15	150.000
Ovacık Doğusu	40	3-10	15.000
Çağlayan-Kemah Arası			5.000
Refahiye Kuzeyi-Suşehri Arası			35.000
Kemah-İliç Arası			15.000
Hafik-Kangal Arası (Gürleyik Dağları)	50	10	50.000
Erzurum Palandöken-Şahvelet Dağları Arası	30	5	15.000
Erzincan ve Çevresi Toplam			375.000
Guleman	20	10	20.000

Sayı olarak; Erzincan'da 53, Erzurum'da 34, Sivasta 74, Kayseri'de 26, Tunceli'de 13, Bayburt'ta 3 işletme ruhsatı olmak üzere Erzincan-Erzurum merkezli 253.000 hektarlık bir bölge içinde toplamda 203 kromit cevheri işletme ruhsatı mevcuttur (Kaynak: Enerji ve Tabii Kaynaklar bakanlığı, Maden dairesi Bşk.). Bu ruhsatların tamamı kromit cevheri potansiyeline sahip olmasına rağmen, çoğunda değişik nedenlerden dolayı üretim yapılamamakta, pek azında düşük profilli

Üretim yapılmaktadır. Bu ruhsat sahaları içinde potansiyel rezervleri 100.000 ila 1.000.000 ton arasında, tenörleri ise %5 ila 54 Cr₂O₃ arasında değişen pek çok kromit yatağı mevcuttur. Ayrıca bu ruhsat sahaları içinde binlerce kromit zuhuru mevcut olup bu zuhurların yüzlercesi rezerv açısından geliştirmeye müsaittir (şekil 4'de mavi renkli işaretler orta/büyük rezervli yatakları, kırmızı işaretler geliştirmeye müsait küçük yatak ve zuhurları belirtmektedir).



şekil 4a. Erzincan yakın civarında yüzeylenen peridotitlerinde kromit yatak ve zuhurlar (Kaynak, Google Earth, lek 20km)
(Figure 4a. Chromite deposits and occurrences in the peridotites exposed near Erzincan)



şekil 4b. Kop Dağları doğu bölümünde (Aşkale Kuzeyi) kromit yatak ve zuhurları (Kaynak, Google Earth, lek 3km)
(Figure 4b. Chromite deposits and occurrences in the eastern part of the Kop Mountains (Aşkale North))



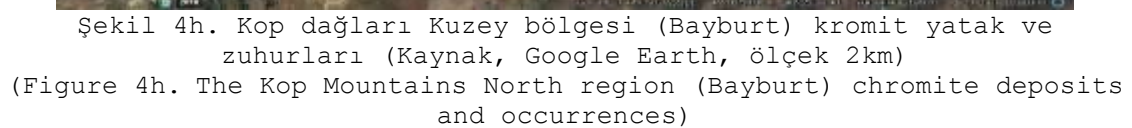
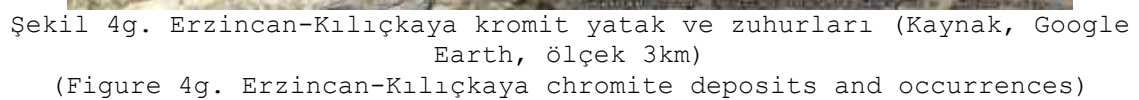
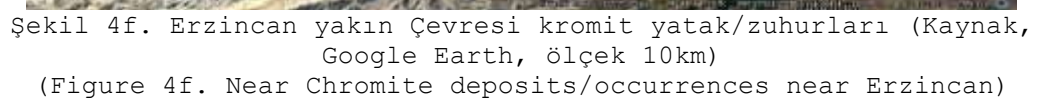
Şekil 4c. Mercan-Karasu (Tercan) arası kromit yatak ve zuhurları
(Çadirkaya bölgesi) (Kaynak, Google Earth ölçek 3 km)
(Figure 4c. Chromite deposits and occurrences between Mercan-Karasu
(Tercan) (Çadirkaya region))



Şekil 4d. Erzincan-Üzümlü kuzeyi kromit yatak/zuhurları (Kaynak,
Google Earth, ölçek 3 km)
(Figure 4d. Erzincan-Üzümlü north chromite deposits/occurrences)



Şekil 4e. Erzincan Kuzey bölümü (Pöske dağı civarı) kromit yatak ve
zuhurları (Kaynak, Google Earth, ölçek 3km)
(Figure 4e. The northern part of Erzincan (Pöske mountain near)
chromite deposits and occurrences)





Şekil 4i. Kop Dağları Batı bölgesi (Çayırılı) kromit yatak ve zuhurları
(Kaynak, Google Earth, ölçek 2km)
(Figure 4i. Kop Mountains West region (Çayırılı) chromite deposits and
occurrences)

4.3. Plaka Dinamiği ve Tektonik Açından Değerlendirme (Plate Dynamics and Tectonic Evaluation)

Anadolu plakası tektonik açıdan kuzeydeki Avrasya plakası ile güneydeki Arap plakası arasında K-G yönlü sıkışma rejimi altındadır. Sıkışmanın etkisiyle Anadolu plakası üzerinde 2 adet büyük ve birbirini kesen doğrultu atımlı fay (fay zonu) gelişmiştir. Fayların gelişimi, doğrultu ve yönleri tek eksenli basınç dayanımı deneyinde karotlarda ortaya çıkan kırıklarla eşdeğer özellik taşır. Karotlarda tek yönlü basınç ile ortaya çıkan ve iki farklı doğrultuda birbirini kesen kırıklar, Anadolu plakası üzerindeki KB-GD yönlü Kuzey Anadolu Fayı ve KD-GB yönlü Erzurum fay sistemlerinin oluşumuna eşdeğerdir (Şekil 2). Doğrultu atımlı bu fayların birleşme noktaları Karlıova civarındır. Karlıova'nın kuzeyinde ve güneyinde yer alan alt dilimler (Şekil 2 de 1 ve 3 nolu alanlar) tektonik açıdan birbirlerine yaklaşan özelliktedir. 1 nolu alanda güney, 3 nolu alanda ise kuzey yönünde bindirmeler hakimdir. Karlıova'nın doğu ve batısında yer alan dilimler ise (Şekil 2 de 2 ve 4 nolu alanlar) birbirinden uzaklaşan özellikte olup bu alanlar üzerinde gelişen faylar eğim atımlı normal fay niteliğindedir.

Karlıova kuzeydeki yaklaşan dilime "Karadeniz Alt Dilimi", güneydekini ise "Güneydoğu Anadolu Alt Dilimi" adı verilebilir. Birbirine yaklaşan bu dilimlerde dağ oluşum kuşakları sıkışma yönüne dik, yani D-B yönlü olup gelişen faylar ters/bindirme fayı özelliğindedir. Bu durum 5km den daha derinde bulunan eski okyanus kabuğuna ait peridotitik kayaların ters faylar ile yükselip-aşınması sonucunda yüzeylenmesine (yüzeye çıkmasına), dolayısı ile de ekonomik olarak dünyanın sayılı iki önemli krom havzasının (Kop ve Guleman) ortaya çıkmasına neden olmuştur. Ülkemizdeki dünya ölçeğine sahip Alpin tip kromit yatakları bu nedenle yoğun olarak Erzincan-Erzurum (Şekil 2 de, 1 nolu dilim) ile Elazığ-Diyarbakır (Şekil 2 de, 3 nolu dilim) arasında yoğunlaşmıştır. Alpin tip kromit yataklarına ev sahipliği yapan, ana kaya olma görevi üstlenen peridotitler, harzburgit ve dünit bileşimlidirler. Okyanus ortası sırtlarda peridotitler primer olarak lerzolit bileşiminde olup, eser miktarda dünit ve piroksenit içerirler. Ayrıca yine okyanus ortası sırtlarda yer alan peridotitler ekonomik ölçekte kromit içermezler. Kromit oluşumu, lerzolitlerden itibaren harzburgit ve dünit oluşumu ile



doğrudan ilişkilidir. Eski okyanus (Paleotetis) kabuğunun bir bölümü jeolojik zaman içinde ve yitim kuşaklarında mantoya gömülüp yiterken, bir kısmı da ters faylarla kalınlaşarak Anadolu plakası üzerinde yer alan kalıntı peridotitleri oluştururlar. Lertzolitik bileşimli bu peridotitler yitim zonlarında kısmi ergimeye uğrayarak harzburgit ve dünitlere vücut verirken Alpin tip kromitlerin oluşumunu da sağlarlar. Bu nedenle Türkiye’de ve dünyadaki tüm Alpin tip kromit yatakları yitim ile ilişkili olup, Alp kuşağı boyunca gözlenirler.

4.4. Petrolojik ve Genel Jeolojik Açından Değerlendirme (Petrological and General Geological Evaluation)

Yitim kuşaklarında okyanus plakasının bir bölümü diğer plaka altına dalıp yiterken, bir bölümü de ters faylarla kalınlaşır. Dalan okyanus plakası manto içinde ergiyip kaybolurken, üzerindeki sedimanların ergimesiyle yeni ve silisi bol magmalar gelişirler. Kalınlaşan plakaların altında gelişen petrolojik olaylarla da okyanusal kabuğun önemli bir bölümünü oluşturan lertzolitler uygun koşullarda bölümsel ergimeye uğrarlar. Lertzolit içinde diğer minerallere oranla ergimeye kolayca uğrayan mineral klinopiroksendir (Cpx). Lertzolit içerisindeki klinopiroksen bölümsel ergimenin şiddetine bağlı olarak kısmen veya tamamen ergir. Bu durumda lertzolit kalıntı peridotit adıyla harzburgite dönüşmüştür. Bölümsel ergimeyle ortaya çıkan ergiyik nispeten düşük yoğunluğundan dolayı yükselerek lertzoliti terk eder. Ergimenin kısıtlı olması durumunda ise Cpx in bir bölümü ergiyerek lertzoliti terk ederken bir bölümü yine eski lertzolit içinde kalır.

Kalıntı peridotit, yeni haliyle Cpx içeren harzburgittir. Ergimenin tam olması durumunda, Mg bakımından zengin Cpx ergiyişi ile yiten plaka ve üzerindeki sedimanlardan kaynaklı SiO₂ içeriği yüksek ergiyikler karışarak boninit bileşimli yeni bir melez magma oluştururlar. MgO ve SiO₂ içeriği yüksek olan bu magma, lertzolitten türeyen harzburgit içerisindeki uygun zayıf zonlarda normal magmatik diferansiasyonla katılaşır. Magmatik diferansiasyonla önce dünitler sonra da diğer ultramafit (verlit, vebsterit, piroksenit) ve en son mafitler oluşurlar. Başlangıçta lertzolit içinde bulunan primer Cpx’in kristal yapısındaki Cr, kromititlerin ana kaynağını oluşturur. Cr iyonları ergime ile birlikte yeni oluşan boninitik magmaya karışırlar. Diferansiasyon sırasında dünit içinde olivin ile eş zamanlı olarak kristalleşen kromit, yığılarak kromitit gövdelerini oluştururlar. Lertzolit içindeki primer Cpx in ortamdan uzaklaşmasıyla geri kalan jeolojik malzeme yeni mineralojik bileşimiyle artık harzburgittir (kalıntı peridotit). Diferansiasyon sonucu oluşan piroksenitlerdeki piroksen kristalleri diyopsit bileşimli olup Ca bakımından zengindir. Diferansiasyondan geriye kalan Si, Na, Ca ve Al bakımından nispeten zengin malzemenin de dayk veya küçük stoklar şeklinde diyabazlar (altere dolerit) gelişir. Bu nedenle kromit aramalarında dünit, piroksenit, ve diyabaz üçlüsü ana petrolojik kriter olarak değerlendirilir. Bunların peridotitler içindeki yayılımları kromitit rezervleri ile doğru orantılıdır.

Peridotitler içinde yatak boyutunda kromititin gelişip gelişmediğini anlamada bazı yaklaşımlardan faydalanmak mümkündür. Dünit, piroksenit veya diyabazın varlığı kromitit oluşumu için gereken şartların oluştuğunu gösterir. Ters durumda, peridotitin lertzolitik bileşimli veya klinopiroksen oranı yüksek harzburgit olması durumunda, gereken bölümsel ergimenin tam oluşmadığı, dolayısı ile ekonomik kromitit yataklarının gelişmediği anlaşılmalıdır. Ana kaya olarak harzburgitlerin klinopiroksen içeriği kromitit potansiyeli açısından gösterge olarak kabul edilebilir. Harzburgitte modal klinopiroksen ile



kromitit oluşumu arasında ters bağıntı mevcuttur. Önemli kromitit yatakları ihtiva eden harzburjit masiflerinde primer klinopiroksen içeriği modal olarak sıfıra yakın, içermeyen harzburjitlerde ise yüksek olduğu ve %5'e kadar çıktığı gözlenmiştir. Harzburjit içinde klinopiroksen oranının yüksek oluşu, ya peridotitik masifin tam olarak bölümsel ergimeye uğramadığını (dolayısı ile kromitit yatağı oluşturmadığını), veya masifin yeterince erozyona uğramadığını gösterir. Masifin yeterince erozyona uğramamış olması, arazide ofiyolitik istife ait üst üyelerin mostra verip vermemesiyle kolayca anlaşılabilir. Türkiye'de bazı harzburjitik peridotit masiflerin petrografik incelemesiyle tespit edilen primer (kalıntı) klinopiroksen oranları tablo 2 de sunulmuştur. Böylece bazı bölgelerin kromit potansiyeline yaklaşımda bulunulmuştur. Bu çalışmaya göre harzburjit içindeki klinopiroksen oranı Batı Kop dağları civarında %0-1 ile en düşüktür. Bu oran Doğu Kop dağlarında %1-2, Mercan-Karasu arasında %1-3, Erzincan kuzeyinde %2-4 ve doğusunda %2-5, Munzur dağı kuzeylerinde %1-5, Erzurum Palandöken civarında %1-3 aralığında olduğu belirlenmiştir. Bu değerlerin Anadolu'nun diğer bazı masiflerinde nispeten yüksek olduğu gözlenmiştir. Klinopiroksen içeriğine dayalı yapılan çalışmada da Erzincan bölgesinin kromitit yatakları açısından çok önemli olduğunu ortaya koymaktadır (Tablo 2).

Tablo 2. Türkiye'de bazı peridotitik masiflerin modal klinopiroksen içerikleri (n, petrografik analizi yapılan numune sayısı)
(Table 2. Modal clinopyroxene contents of some peridotitic massifs in Turkey (n, number of petrographic samples))

Peridotitik (Harzburjitik) Masifin Bulunduğu Bölge	n	Harzburjitlerin Primer Klinopiroksen Oranı (%)
Batı Kop Dağları (Erzincan-Çayırlı)	21	0-1
Doğu Kop Dağları (Erzurum-Aşkale)	15	1-2
Mercan-Karasu Arası (Erzincan)	11	1-3
Erzincan Kuzeyi	8	2-4
Erzincan Doğusu	12	2-5
Munzur dağl. kuzey etekleri	7	1-5
Sivas, Hafik	8	2-4
Erzurum Palandöken)	8	1-3
Kars Sarıkamış	11	2-5
Erzurum Narman	7	2-5
Mersin Erdemli	10	2-5
Burdur	10	2-4
Kastamonu)	12	2-6
Kayseri	10	1-4

Peridotit sahalarının kromit potansiyelini araştırmada diğer litolojik birimlerden de faydalanılır. Kromitit aramalarında bunlarla eş yaşlı ve genetik bağı olan ayrıca mekan birliği oluşturan litolojik birimlerin varlığı araştırılır. Buna göre önem sırasına göre; önce dünitler, sonra piroksenit damarları/daykları ve nihayet diyabaz daykları aranır. Bunların mostra anlamında büyüklükleri/yaylılımları kromitit rezervi ile doğrudan ilişkilidir.

4.5. Dünit (Dunite)

Mineralojik olarak sadece olivinden oluşup kromitit yataklarına ana kaya görevini üstlenen bu kayalar Erzincan-Erzurum arasındaki peridotit (harzburjit) masifleri içerisinde değişik boyutta bulunurlar. Harzburjit içerisindeki dünitin yayılımı/büyüklüğü, kromit cevherinin rezervi ile doğru orantılıdır. Dünit yayılımı ne kadar

geniş ise beklenen kromit cevher kütlesi (rezerv) de o kadar büyük olacaktır. Mesela, batı-orta Kop bölgesinde dünit yayılımının boyu 18 km, genişliği 1-1.5km kadardır (Kolaylı, 1996). Kromit cevher tenörleri orta-yüksek mertebesindedir. Bu bölgede yataklar birkaç yüz bin tondan 2 milyon tona kadar cevher verebilirler (Şekil 5). Dünitik oluşumlar harzburjit içinde kromitit kılıfı olarak da bulunabilirler. Burada dünit kılıfının kalınlığı 10cm den birkaç metreye kadar değişir. Dünitik kılıfın kalınlığı cevher kütlesi ile doğru orantılıdır. Bu tip kromit cevherleşmelerinde tenörler yüksek/çok yüksek olup rezervler genellikle küçüktür. Rezerv birkaç yüz tondan 100 bin tona kadar ulaşır. Batı-Orta ve Doğu Kop dağları (Erzincan-Erzurum), Erzurum Palandöken, Sarıkamış batı civarları, Erzincan Ahmediye civarı, Mercan-Karasu (Erzincan) arası kromitit yataklarını içeren dünit mostraları bunlara örnek olarak verilebilir. Dünitleri arazide tanımak bazen çok kolay bazen da çok zor olabilir. Taze kayalar zeytin yeşili renklidir. Serpantinleşme derecesine bağlı olarak giderek açık gri ve sarı renge dönüşür. En kesin sonuç petrografik analizler ile elde edilir. Mikroskopta %98-100 oranında olivin, %0-2 oranında kromitten oluşur. Tamamen serpantinleşmesi durumunda başlıca antigorit, lizardit, brusit ve manyezit içerir. Bununla birlikte kısmen veya tamamen serpantinleşmiş arazilerde yoğun brusit, manyezit ve hidromanyezitin varlığı ile, ve sekonder magnetitin bulunmayışı ile diğer peridotitlerden ayrılırlar. Dünit kökenli serpantinlitler batı-orta Kop dağlarında büyük kütleler halinde, Erzincan kuzeyi ve doğusu ile Munzur dağı eteklerinde irili ufaklı mostralar halinde gözlenmektedir.



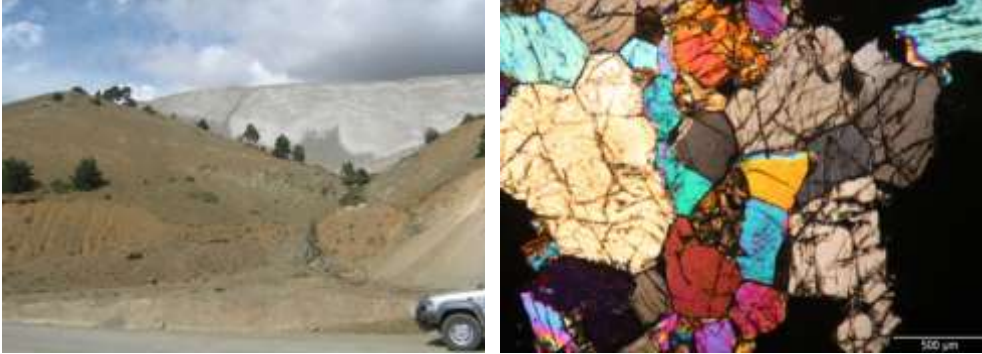
Şekil 5. Batı Kop dağlarında geniş dünit zonu içindeki kromit cevheri açık işletmesi (solda) ve polarizan mikroskop altında Çift nikolde serpantinleşmiş dünit görüntüleri (sağda) (görüntü 2400 kez büyütülmüştür)

(Figure 5. Chromite ore openings in the broad dunite zone in the West Kop Mountains (left) and dunite images (right) (magnified 2400 times under a polarizing microscope)

4.6. Piroksenit (Pyroxenite)

Genellikle klinopiroksenit bileşimli olan bu kayalar krom yataklarının civarlarında bulunurlar. Büyük mostralar (boy:30-100; genişlik 5-30 metre) dünit içerisinde, küçük mostralar (boy en çok 10m, genişlik en çok 2m) ise harzburjit içerisinde bulunur. Doğrultuları hem dünit ve hem de harzburjit içerisinde kromit kütlesine uyumlu olup, kütle hacimleri kromitit kütlesi ile doğru orantılıdır. Piroksenitleri arazide tanımak kolaydır (Şekil 6). Koyu yeşil renkleri ve sert röliyeğe sahip olmaları ile yan kayalar olan peridotitlerden ayrılırlar. Mikroskopta taneli dokulu olup, %2-15 olivin, %2-3 hipersten, %90-95 oranında diyopsitten oluşurlar (Şekil

6) . Batı, Orta ve Doğu Kop dağları, Erzincan kuzeyi ile doğusundaki peridotit masiflerinde çok yoğun olarak gözlenirler.



Şekil 6. Kop dağları piroksenit mostraları (solda) ve polarizan mikroskop altında ve çift nikolde Piroksenit, sağda (görüntü büyütme 2880 kat)

(Figure 6. Pyroxenite outcrops of Kop mountains (left) and Pyroxenite under polarizing microscope and double-nix, right (image magnification 2880 times))

4.7. Diyabaz (Diabase)

Özellikle harzburjitik sahalarda kromit yataklarına klavuzluk ederler. Cevher kütlesinin hemen dokanağında olabilecekleri gibi 100-150m kadar uzağında da bulunabilirler. Doğrultuları kromit cevheri ile aynıdır. Özellikle bantlı-bantlı saçınımlı veya saçınımlı düşük/orta tenörlü cevherleşmelere (tesislik cevher) eşlik ederler. (Örnek: Burdur-Yeşilova ve Tefenni, Erzurum-Palandöken, Aşkale kuzeyi, Sivas-Divriği, Erzincan kuzeyi, Tercan kuzeyinde yüzeyleyen harzburjitletler içinde yoğun olarak bulunurlar. Mostra ölçütleri kromitit rezervleri ile doğru ilişkilidir. Diyabazların arazideki tanınmaları oldukça kolaydır. Açık gri-bej renkli olmaları ve sert röliyeveli olmaları ile diğer yan kayalardan kolaylıkla ayrılabilirler. Mikroskopta entersertal ve doleritik dokulu olmaları, yoğun albitleşme, uralitleşme ve kloritleşme göstermeleri ayırtman özellikleridir. Mineralojik olarak başlıca albit-oligoklas ile hornblendden oluşur. İkincil olarak aktinolit-tremolit, klorit, albit, kuvars, kalsit ile epidot içerir (Şekil 7).



Şekil 7. Kop dağlarında yüzeyleyen diyabaz mostrası (solda) ile bu diyabazın polarizan mikroskopta çift nikol görüntüsü (sağda)
(Figure 7. Double neck image of the diabase on a polarizing microscope with the diabase outbreak on the Kop mountains (on the right))



4.8. Erzincan-Erzurum Arası Bölgenin Kromit Potansiyelini Değerlendirmede Jeolojik Açısından Olumlu ve Olumsuz Özellikler (Positive and Negative Characteristics in the Geological Perspective of Evaluating the Chromite Potential of the Region Between Erzincan and Erzurum)

4.8.1. Olumlu Özellikler (Positive Features)

- Sıkışma zonunda birbirine yaklaşan dilimler üzerinde olmaları
- Yer yer geniş dünitik sahaların mevcudiyeti
- Bu bölge peridotitleri içinde bol ve kalın piroksenit damarlarının bulunuşu
- Diyarbaz dayklarının bulunuşu
- Bu bölgenin diğer bölgelere oranla daha fazla aşınmış olması sonucu 5km den daha derinde bulunan kromit ve bağlı kayaçların yüzeylemesi
- Bölge peridotitleri içinde lerzolitinin bulunmaması
- Diğer bölgelerde harzburgit içinde bulunan primer klinopiroksenin bahsi geçen bölgede Türkiye ortalamasının altında olması
- Platin grubu kıymetli elementlerin potansiyel varlığı
- Kromit cevherinde Cr/Fe oranının yüksek, Silis oranının düşük olması.

4.8.2. Olumsuz Özellikler (Negative Features)

- Yoğun tektonizmadan dolayı cevher kütlesi etrafında yoğun fayların varlığı (aramaları zorlaştırır)
- Yoğun serpantinleşme (aramaları zorlaştırır)
- Cevhere ana kaya özelliği oluşturan Peridotitler üzerinde genç örtü sedimanlarının (akarsu alüvyonları ve eski gölssel tortular) varlığı (aramaları zorlaştırır).
- Bölgede eskiden beri süregelen mostra madenciliği (çoban madenciliği) ile yüzeydeki primer cevher kütlesine ait ölçülerin (doğrultu, dalım, eğim, lineasyon vs) kaybolmuş olması, derindeki potansiyel cevher ile olan bağın silinmesine neden olmakta (bu durum cevher aramalarını aşırı derecede zorlaştırır).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Türk kromitleri dünya krom pazarlarında her zaman talep edilen metalürjik kalitesi çok yüksek cevherlerdir. Ülkemizin bu cevherden maksimum fayda sağlayabilmesi için ham cevher ihraç etmek yerine ferrokrom sanayisinin kurularak en azından yarı mamul hale getirilerek değerlendirilmesine acilen ihtiyaç vardır. Erzincan-Erzurum arasında kalan havzada ofiyolitik (peridotitik) kayaçlar içinde binlerce cevher mostrası (zuhur), yüzün üzerinde küçük-orta ölçekte yatak, on kadar büyük ölçekli yatak mevcuttur. Adı geçen ofiyolitik sahalar kromit ARGE çalışmalarına son derece müsait olup, işletilebilir kromit yatak sayısının en az üç katına, yıllık üretim hacminin ise en az iki katına çıkma potansiyeli son derece yüksektir (Bunun için adı geçen bölgenin 1/1000 ölçekli detay mikropetrografiye dayalı jeolojik haritaları yapılmalı, yüksek metrajlı sondaj programı hazırlanmalıdır). Erzincan-Erzurum havzasındaki çok sayıdaki kromit yatakları burada kurulabilecek bir ferrokrom tesisini çok uzun yıllar rahatlıkla besleyebilir potansiyele sahiptir. Ayrıca ekonomik açıdan bölgede demiryolunun ve doğalgazın varlığı ilave artılar gerektirirken enerji fiyatlarının yüksek oluşu en önemli olumsuz etki olarak durmaktadır.



Ferrokrom tesislerinin kurulmasında birçok kriter aranır. Bu kriterlerin çoğu Erzincan-Erzurum arasındaki havzada mevcuttur. Bu bölgede gereken hammaddenin fazlasıyla mevcudiyeti, kromit cevherinde düşük fiyat ve fiyatlarda dalgalanmalarının önlenmesi, ferrokrom tabanlı ve devamında paslanmaz çelik sanayisinin öncelikle bölge, daha sonra da ülke ekonomisine kazandırılması ve bu esnada da iş istihdamının sağlanması gibi birçok sebepleri mevcuttur. Erzincan-Erzurum havzası ülkemizin en önemli kromit havzasıdır. Erzincan-Erzurum arasında kalan havzada ofiyolitik (peridotitik) kayalar içinde binlerce cevher mostrası (zuhur), yüzün üzerinde küçük-orta ölçekte yatak, on kadar büyük ölçekli yatak mevcuttur. Çıkarılan cevherin ham olarak ihraç edilmesi yerine en azından yarı mamul olan Ferrokrom haline dönüştürülmesiyle ülke ekonomisine 6 kat daha fazla katma değer katılabilir. Ferrokrom ünitelerinde yaklaşık 5000 kişiye direkt ve dolaylı olarak iş imkanı sağlanabilir. Yarı mamul üretim sağlayan Ferrokrom üniteleri, tam mamul olarak kabul edilen ve daha sonraki yıllarda kurulabilecek Paslanmaz Çelik sektörünün bir önceki adımını oluşturacaktır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Kolaylı, H., (1996). Kop Dağları (Erzincan, Erzurum, Bayburt) Ultramafik ve Mafik Kayaçlarının Jeolojik, Petrolojik Ve Metallojenik İncelemesi, KTÜ, Doktora Tezi, Trabzon.
2. Tahtakıran, E., (2007). Kromit, Ferrokrom ve Paslanmaz Çelik Sektörlerine Genel bir bakış, Ulaşım Yalıtı Kazıları Semp., İstanbul, www.maden.org.tr.
3. Tahtakıran, E., (2008). Krom Cevheri, Ferrokrom ve Paslanmaz Çelik İle İlgili İstatistiksel Bilgiler Ve Yorumlar, TMMOB, <http://www.maden.org.tr/genel/bizden>.
4. İkinci Krom: <http://ekincikrom.tech/ferrokrom>.
5. Kromit zenginleştirme Tesisi Fizibilite Raporu (2011), Elazığ STO.
6. Engin, T., Özkocak, O., and Artan, U., (1986). General Geological Setting and Character of Chromite Deposits in Turkey, Petrascheck, W., Karamata, S., Kravchenko, G. G., Johan, Z., Economou, M., Engin., eds., T. Fac. Min. and Geol., Belgrade, Yugoslavia. Pp:199-228. IGCP Project No:197.
7. MTA, (1961). 1/500000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası.
8. Google Earth, 2016.



Önder Halis Bettemir

İnönü University, onder.bettemir@inonu.edu.tr, Malatya-Turkey

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.1A40IJ>

PREDICTION OF ORBITAL DECAY OF LOW EARTH ORBIT SATELLITES

ABSTRACT

Electric energy requirement of satellites are supplied by the assembled solar panels which increases the surface area of the satellites. Altitude of a satellite affects orbital period, velocity of the satellite and many operational parameters such as ground resolution, swath width and temporal resolution of imaging satellites, tracking duration with a point on the ground or ground station, tracking duration of communication satellites and life-time of the satellite. In this study, several Low Earth Orbits with different altitudes are analyzed for specific satellites. Orbital decay of commercial imaging satellites is examined. This study illustrates the affects of altitude and effective surface area of the satellite on the orbital decay. Moreover, the effects of orbital decay on the operational parameters are briefly represented and the output of the study can be beneficial for research institutes for predicting the performance of the satellite.

Keywords: Atmospheric Drag, Satellite Orbits, Solar Panels, Especially Low Earth Orbits (LEO), Atmospheric Drag Dorce

1. INTRODUCTION

Mankind use satellites both for civil and military applications for more than half a century. Utilization of satellites provides significant benefits especially on communication, remote sensing, location based services and many daily life applications. Therefore, maintaining the daily life without the convenience provided by satellites is almost impossible. However, operating a satellite is considerably expensive due to high hardware and launch costs. Because of its high cost, satellites are designed and manufactured after detailed surveys and inspections. Operators of satellites aims to get maximum benefit from satellites during its lifetime, since the lifetime of a satellite is limited with endurance of the satellite's hardware which is exposed to tough condition in the space. Another limiting condition is the orbital decay caused by the atmospheric resistance. Even tough density of the atmosphere is very low in the upper layers of the atmosphere, due to high velocity of the satellite atmospheric drag force may become an important factor which restrict the lifetime of a satellite. Cook (1965) examined the satellite drag coefficient and suggested using 2.2 between the altitudes of 140 and 400 km at times of low solar activity. During the high solar activity periods the aforementioned coefficient can be assigned between the altitudes of 140 and 600km. Accuracy of the drag coefficient is estimated as 10%.

Storz et al. (2005) developed High Accuracy Satellite Drag Model (HASDM) which estimates and predicts the density of the atmosphere of the earth. The model employs Dynamic Calibration Atmosphere (DCA) algorithm for the LEO region by near real-time solving the phases and



amplitudes of the diurnal and semidiurnal variations of thermospheric density.

Emmert et al. (2007) examined the effect of uncertainty of atmospheric density on the satellite orbits. Vallado and Finkleman (2014) examined atmospheric drag models and concluded that there is not an overall winner. Each model works well on certain cases but may give poor results on other circumstances.

Hatten and Russell (2017) proposed a simplified Harris-Priester atmospheric density model for low earth orbit applications. The model reduces the computational demand of the Harris-Priester model without compromising from accuracy.

Mehta et al., (2014) employed response surfaces to predict drag coefficients. The developed model reduces the computational demand by avoiding analytical or empirical atmospheric models. The savings from the computational demand reduces the accuracy by 0.3% for simple satellite surfaces. However, the deviation from the exact solution increases to 1.0% for the international space station. Consequently, the model works well on satellites with simple surface geometry.

2. RESEARCH SIGNIFICANCE

Literature review represents that there are many studies on the prediction of atmospheric drag force on the satellites. In this study, the effect of atmospheric drag is examined and orbital decay of two satellites is examined. This study is expected to be beneficial for the satellite mission planner about how the atmospheric drag perturbs the orbit. The remaining of the paper explains the force model of the satellite including the gravitational force of the earth and the atmospheric drag. The analytical force equations are not practical for the implicit solution; therefore numeric integration by Runge-Kutta 4 is implemented to compute the velocity and position of the satellite. In the next part of the paper changes in the velocity of the satellite and altitude of the satellite are represented and a short discussion is made on the results. Especially Low Earth Orbits (LEO) in which satellites have altitudes between 300 and 1500 km, satellite's orbit can decay rapidly because of the resistance of the Earth's atmosphere. Some satellites have boosters to overcome the affect of the atmospheric drag force but this is not a sustainable solution since the amount of fuel a satellite can carry is significantly limited. Consequently, atmospheric drag designates the lifetime of a satellite in most cases. Researchers pay significant attention on the atmospheric drag because of its effect on the lifetime of satellites. Xu, et al. (2011) derived analytical equations for the force model of a satellite orbit and avoid numerical integration. The resistive force of the atmosphere is transformed and rotated to the orbital frame. After this the force vector is expanded to triangular functions of the Keplerian angular elements. The analytical representation avoids numerical integration and saves significant computation endeavor.

3. ANALYTICAL STUDY

For the sake of simplicity the forces acting on the satellite is assumed to be limited by the earth's gravitational force and the atmospheric drag force. The earth's gravitational force is computed by the radially symmetric force model given in equation 1 (Montenbruck and Gill, 2012).

$$F = -m \frac{GM_{\oplus}}{r^2} e_r \quad (1)$$



In this equation m is the mass of the satellite G is the gravitational constant, $M_{\oplus}$ is the mass of the earth, r is the distance between the mass center of the earth and the satellite, and e_r is the normalized position vector of the satellite in earth centered earth fixed reference system. As a result the acceleration of the satellite caused by the earth's gravitational force is represented by equation 2.

$$a_G = -\frac{GM_{\oplus}}{r^2}e_r \quad (2)$$

Atmospheric drag force is computed by equation 3.

$$a_D = -\frac{1}{2}C_D \frac{A}{m} \rho v_r^2 e_v \quad (3)$$

In this equation C_D is a dimensionless quantity which represents drag coefficient of the satellite, A is the area of the satellite, ρ is the density of the atmosphere, v_r is the velocity of the satellite, and e_v is the unit velocity vector of the satellite which is computed

$$\text{by } e_v = \frac{v_r}{\|v_r\|}.$$

The drag coefficient is suggested to be taken as 2.2 by Cook, therefore in this study C_D is taken as 2.2. The density of atmosphere is the most difficult coefficient to compute. In this study, Harris-Priester density model is implemented to compute the atmospheric density.

The Harris-Priester density model is obtained by the solution of heat conduction equation. Seasonal latitude variations are neglected. Solar radiation heats the atmosphere which increases the atmospheric density. There is an approximately 30° delay in the apex of the heated atmospheric bulge (Long et al. 1989). The antapex and apex density at a given altitude h is represented as $\rho_m(h)$ and $\rho_M(h)$ respectively. These quantities are computed by exponential interpolation between minimum and maximum density values which are provided by Long et al. 1989.

Antapex density is computed by equation 4.

$$\rho_m(h) = \rho_m(h_i) \exp\left(\frac{h_i - h}{H_m}\right) \text{ where } h_i \leq h \leq h_{i+1} \quad (4)$$

Apex density is computed by equation 5.

$$\rho_M(h) = \rho_M(h_i) \exp\left(\frac{h_i - h}{H_M}\right) \quad (5)$$

The tabulated density values are given for certain altitude values. Density of atmosphere for altitude h is interpolated by using the tabulated values between altitudes h_i and h_{i+1} . The density values, $\rho_m(h_i)$ and $\rho_M(h_i)$ are obtained from the table for altitude h_i which is smaller than the altitude h and the highest altitude in the table. Similarly altitude h_{i+1} is the subsequent altitude in the table.

Equations 4 and 5 contain quantities H_m and H_M which are represented as scale heights. These parameters are computed as in equations 6 and 7 respectively.



$$H_m(h) = \frac{h_i - h_{i+1}}{\ln\left(\frac{\rho_m(h_{i+1})}{\rho_m(h_i)}\right)} \quad (6)$$

$$H_M(h) = \frac{h_i - h_{i+1}}{\ln\left(\frac{\rho_M(h_{i+1})}{\rho_M(h_i)}\right)} \quad (7)$$

The diurnal density variation is obtained by equation 8.

$$\rho(h) = \rho_m(h) + (\rho_M(h) - \rho_m(h)) \left(\frac{1}{2} + \frac{e_r \cdot e_b}{2} \right)^{\frac{n}{2}} \quad (8)$$

In equation 8 e_r represents the unit satellite position, e_b represents the apex of the diurnal bulge. This quantity is computed by equation 9. The exponent n can be taken as 2 for low inclination orbits and 6 for polar orbits.

$$e_b = \begin{pmatrix} \cos\delta \cos(\alpha + \lambda_l) \\ \cos\delta \sin(\alpha + \lambda_l) \\ \sin\delta \end{pmatrix} \quad (9)$$

In equation 9, α represents sun's right ascension angle, δ is the sun's declination angle and λ_l is the lag angle which is approximately 30° . A series of computations is required in order to obtain right ascension and declination of the sun. Initially mean longitude of the sun is computed as given in equation 10.

$$MLS = 280.461 + 0.9856474 * MJD \quad (10)$$

In equation 10, MJD represents modified Julian Date which is the number of days after the date January 1st 2000. The mean longitude of the sun is computed in degrees. If the angle is larger than 360, 360 is subtracted until it is greater than 0 but smaller than 360. Mean anomaly of the sun is computed by equation 11.

$$MAS = 357.528 + 0.9856003 * MJD \quad (11)$$

Ecliptic longitude (EL) is computed by using MLS and MAS. The computation is given in equation 12.

$$EL = MLS + 1.915 * \sin(MAS) + 0.020 * \sin(2 * MAS) \quad (12)$$

Obliquity of the ecliptic plane (OEP) is computed by equation 13.

$$OEP = 23.439 - 0.0000004 * MJD \quad (13)$$

Right ascension of the sun is computed by equation 14.

$$\alpha = a \tan\left(\frac{\cos(OEP) * \sin(EL)}{\cos(EL)}\right) \quad (14)$$

Declination of the sun is computed by equation 15.

$$\delta = a \sin(\sin(EL) * \sin(MAS)) \quad (15)$$

At this point atmospheric drag on the satellite can be computed. The acceleration of the satellite is obtained by adding the gravitational acceleration and the drag acceleration given in equation 16.

$$a_T = a_G + a_D \quad (16)$$

Equation 16 is considerably difficult to solve analytically because direction and magnitude of the total acceleration is not constant with respect to time. Therefore the velocity and position of the satellite is numerically computed. Selection of proper numeric



integration technique is an important point since truncation errors accumulates and may reduce the computational accuracy significantly at the end of the computations. However, assigning too small step size increases computation without improving the accuracy. Chapra and Canale suggest fourth order Runge-Kutta numerical integration method, since higher order methods are very complex to implement and require considerable computation. Therefore, using RK4 with smaller step size is preferred. Implementation of numerical integration requires execution of RK4 six times. Initially the acceleration equations are numerically integrated three times both for X, Y and Z directions and velocity is obtained. Then by using the velocity equations RK4 is executed three times and position of satellite is obtained with respect to X, Y, and Z axis. Fourth order Runge-Kutta equations are given in equation 17.

$$y = \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \quad (17)$$

where;

$$k_1 = f(t_0, y_0)$$

$$k_2 = f\left(t_0 + \frac{h}{2}, y_0 + h \frac{k_1}{2}\right)$$

$$k_3 = f\left(t_0 + \frac{h}{2}, y_0 + h \frac{k_2}{2}\right)$$

$$k_4 = f(t_0 + h, y_0 + hk_3)$$

In order to implement RK4 six times, 24 coefficients are computed. Since the coefficients are interrelated, initially six k_1 terms are computed. Then, by using these first k terms, second six k terms are computed. This procedure is continued until all of the required coefficients are computed.

4. FINDINGS AND DISCUSSIONS

LandSAT 8 is analyzed in order to reveal the effect of orbital decay. In the first case, LandSAT 8 satellite is examined by the following initial parameters. Epoch year is 2014, and epoch day of the decimal of the year is 147.140862. Position of the satellite is $e_r = [-5535244.723, -4411005.570, 15420.028]$ meters and the velocity of the satellite is $v_r = [-655.502, 849.835, 7427.240]$. Mass of the satellite is 2782kg and effective area of the satellite is $7m^2$. The analysis is conducted with step size 0.05 second. The orbit is computed for 35,000 days which makes more than 60 billions of iterations. The analysis is conducted on i3 CPU in 5 days. Altitude and velocity of the satellite is given in Figure 1 and 2 respectively.

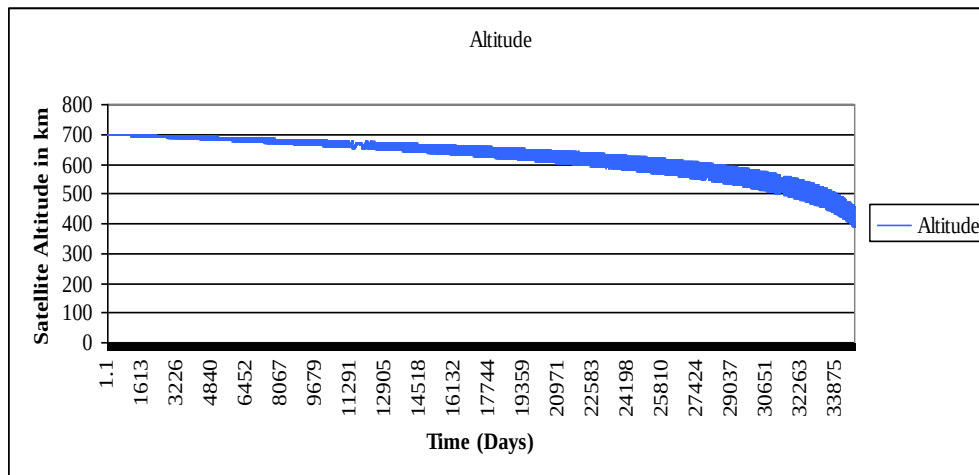


Figure 1. Altitude of the satellite with respect to time

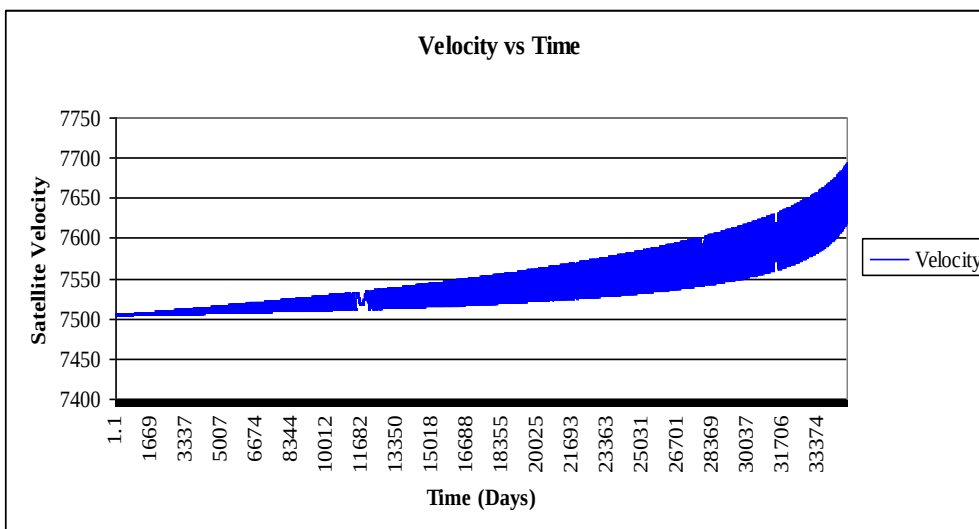


Figure 2. Velocity of the satellite with respect to time

Initially eccentricity of the orbit is very low and both velocity and altitude of the satellite can be assumed constant. Altitude of the satellite systematically decays as time passes. However, the eccentricity of the orbit increases and the difference between the apogee and perigee increases steadily as seen in Figure 1. The thickness of the blue line represents the difference between apogee and the perigee and the average of these gives the altitude of the satellite. Especially after the 20000th day orbital decay significantly increases and the altitude of the satellite significantly decays after the 33000th day. After this date the satellite can be assumed to be crashed to the earth surface. Velocity of the satellite increases steadily as the altitude of the satellite decreases. However, total energy of the orbit decreases since the initial total energy is significantly less than the final total energy. Kinetic energy of the satellite increases a little by the approximately 200m/s increase in the velocity. However, the satellite loses more than 200km altitude at that period. Therefore it is for sure that the atmospheric drag significantly reduced the total energy of the satellite. Figure 2 represent the bandwidth of the velocity due to the eccentricity of the orbit. The figure represents that the



eccentricity of the orbit increases as the orbit decays. The analysis contains many assumptions to simplify computations but the basic concepts are preserved and the analysis results can represent the big picture. The analysis represents that the satellite may orbit around the earth for almost a century. Therefore for remote sensing satellite with altitude of 700km there is not a problem caused by atmospheric drag since the hardware of the satellite is expected to fail before the orbit decays. The analysis can be implemented on military satellites which have altitudes of approximately 100 to 150 km where the drag force is more significant. The lifetime of these satellites is significantly lower than the remote sensing satellites. Also the orbit of International Space Station can also be examined since it is an extremely expensive investment.

5. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

In this study lifetime of satellites with LEO is examined. It is seen that the atmospheric drag force is significant on the orbital parameters and perturbs the orbit at the end of the 10th year. There are significant changes in the eccentricity and period of the orbit. These parameters affect both the orbital period and altitude of the satellite. Therefore, temporal and spatial resolution is expected to change after the 10th year of the satellite. This study is expected to be beneficial for the mission planners and satellite operators by predicting the perturbations caused by the atmospheric drag force.

REFERENCES

1. Xu, G., Tianhe, X., Chen, W., and Yeh, T.K., (2010). Analytical Solution of a Satellite Orbit Disturbed by Atmospheric Drag. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 410(1), 654-662.
2. Cook, G.E., (1965). Satellite Drag Coefficients. Planetary and Space Science, 13(10), 929-946.
3. Storz, M.F., Bowman, B.R., Branson, M.J.I., Casali, S.J., and Tobiska, W.K., (2005). High Accuracy Satellite Drag Model (HASDM). Advances in Space Research, 36(12), 2497-2505.
4. Emmert, J.T., Warren, H.P., Segerman, A.M., Byers, J.M., and Picone, J.M., (2017). Propagation of Atmospheric Density Errors to Satellite Orbits. Advances in Space Research, 59(1), 147-165.
5. Hatten, N. and Russell, R.P., (2017). A smooth and Robust Harris-Priester Atmospheric Density model for Low Earth Orbit Applications. Advances in Space Research, 59(2), 571-586.
6. Mehta, P.M., Walker, A., Lawrence, E., Linares, R., Higdon, D., and Koller, J., (2014). Modeling Satellite Drag Coefficients with Response Surfaces. Advances in Space Research, 54(8), 1590-1607.
7. Vallado, D.A. and Finkleman, D., (2014). A Critical Assessment of Satellite Drag and Atmospheric Density Modeling. Acta Astronautica, 95, 141-165.
8. Montenbruck, O. and Gill, E., (2012). Satellite Orbits: Models, Methods and Applications. Springer Science & Business Media.
9. Chapra, S.C. and Canale, R.P., (1988). Numerical Methods for Engineers (Vol:2). New York: McGraw-Hill.
10. Long, A.C., Cappellari, J.O., Velez, C.E., and Fuchs, A.J., (1989). Mathematical Theory of the Goddard Trajectory Determination System. Goddard Space Flight Center.



Önder Halis Bettemir

İnönü University, onder.bettemir@inonu.edu.tr, Malatya-Turkey

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.1A41IJ>

SOLUTION OF INDETERMINATE TRUSS STRUCTURES WITHOUT HUMAN INTERVENTION

ABSTRACT

Truss structures become statically indeterminate because of support or member conditions. Solution of indeterminate truss structures can be implemented by virtual load method. However, virtual load method requires elimination of redundant support reactions or member forces to obtain statically determinate structures. In this study, an algorithm which determines the redundant support reactions or member forces and implements virtual load method and solves statically indeterminate structures is developed. The algorithm avoids obtaining three parallel reaction forces or three intersecting reaction forces when it obtains a statically determinate structure. In case of internally indeterminate truss structure, a network analysis algorithm determines the critical joints where a truss member cannot be eliminated. The analysis results show that the developed algorithm can solve statically indeterminate truss structures successfully without any human intervention. The proposed algorithm can be beneficial for the truss designers to try several design alternatives without entering too much input data.

Keywords: Virtual Load Method, Statically Indeterminate Truss, Truss Systems, Virtual Load, Static

1. INTRODUCTION

Truss structures have significant importance on structural mechanics since they provide considerable economy on large span bridges and tall power-supply cable towers. The economy provided by the truss structures has a cost of high computational demand for the structural engineers. The solution of truss structures is straightforward but for even an ordinary structure, the computations are too long for hand computations. For this reason, there are many commercial software choices for the analysis of truss structures. Structural analysis software for a steel structure is a significant cost item for a design office since they are mainly concentrated on concrete structure. The structural analysis software would stay idle for a long period until another truss structure is analyzed. Structural equations of a statically determinate truss structure can easily be constructed by an algorithm which can run on a spreadsheet application. The truss elements between the nodes can be identified and force equilibrium can be formed for each node and the equation set can be solved both numerically and analytically by the spreadsheet application. However, in case of statically indeterminate truss structures the solution is not straightforward.

Force method requires removal of redundant support reaction or truss member which has to be a correct decision. Otherwise, the engineer may end up with an unstable structure. On the other hand, matrix method which is an advanced subject for undergraduate curriculum may not be implemented by every structural engineer. In addition to this, if an optimization procedure is executed for the



truss structure, the optimization process requires solution of the truss structure thousands of times. If matrix method is implemented for the analysis of the truss structure, the optimization process can be too long because of the high computational demand. Force method can be a suitable tool if removal of redundant support reaction or member is executed without human intervention. There are basic rules for stability conditions which support reactions should satisfy. All of the support reactions must not be at the same direction. In other words, they should not be parallel (Hibbeler, 2013). Second rule requires, support reactions should not intersect at the same point. These rules can be validated easily but if the redundancy is caused by truss members, a truss member should be removed which is not a straightforward task.

2. RESEARCH SIGNIFICANCE

Matrix method for the analysis of trusses does not require removal of support reaction or truss member. However they require computation of inverse of large matrixes. At first glance this computational demand may seem unimportant but if the design of the truss structure is executed by an optimization procedure the requirement of computation of matrix inverse becomes significant. If the optimization procedure is executed by meta-heuristic algorithms, the optimization procedure requires analysis of the truss structure significantly many times. Therefore, the optimization procedure may take very long time. In this case the computational demand of the truss analysis becomes extremely important. In addition to this, structural analysis software is an important cost item for design offices. Instead of implementing complex computations, statically indeterminate truss structures can be solved by force method more easily. The solution procedure can be automated by simplifying the selection redundant support reaction and truss members. If the solution of statically indeterminate truss structures is executed on spreadsheet applications, significant savings can be achieved by the design offices. In this study, an algorithm is proposed which selects redundant support reaction or truss member without human intervention is proposed. Moreover, the obtained statically determinate truss structure is solved by triangulation and significant savings in terms of computational demand are obtained (Chapra and Canale, 1988). The redundant support reactions or the force on the redundant truss member is computed by the virtual load method. If the truss structure is statically determinate, the triangulation method always solves the equation set Kreyszig (1999). The proposed algorithm provides the opportunity of analyzing the statically indeterminate truss structures by spreadsheet applications or executable computer programs with very simple algorithm. The proposed algorithm may require solution of inverse of a matrix depending on the degree of statically indeterminacy. However, size of the matrix to be inversed is significantly smaller than the size of the matrix obtained by the matrix method. Consequently, the proposed algorithm requires significantly less computational demand than matrix methods. The proposed algorithm has potential to be beneficial for both researchers studying on truss optimization and design offices.

3. ANALYTICAL STUDY

The proposed algorithm initially determines whether the truss structure is statically determinate or not by equation 1 for 2-Dimensional truss structures.



$$DH_{2D} = 2n - m - 3 \quad DH_{2D} \quad (1)$$

In equation 1, DH_{2D} represents degree of statically indeterminacy of 2-Dimensional truss structures, n is the number of joints, m is the number of truss members. For 3-Dimensional structures degree of statically indeterminacy is computed by equation 2.

$$DH_{3D} = 3n - m - 6 \quad (2)$$

If $DH=0$, this means that the truss structure is statically determinate. If DH is greater than zero, DH represents the degree of statically indeterminacy of the truss structure. If DH is less than zero, this means that the structure is unstable. If the truss structure is classified as statically indeterminate structure, then whether the externally or internally indeterminacy of the structure is determined. The structure is externally indeterminate if the number of support reactions is more than the number of equilibrium equations. At first glance, the number of equilibrium equations seems to be always three and six for 2-dimensional and 3-Dimensional truss structures respectively. However, some joints of the truss structure may behave like hinges, which is very difficult to detect by examining the topology of the truss. On the other hand, a joint behaves like a hinge if a necessary truss member is removed. In order to prevent forming a hinge at the joint of the truss selection of redundant truss element must be made correctly. The selection process initially examines the number of truss members. This examination provides the state of internally indeterminacy of the truss structure. Equation 3 gives the degree of internally indeterminacy for 2-Dimensional truss structures.

$$II_{2D} = m - 2n + 3 \quad (3)$$

Degree of statically indeterminacy for 3-Dimensional truss structures is computed by equation 4.

$$II_{3D} = m - 3n + 6 \quad (4)$$

Degree of statically internally indeterminacy can be less than zero. In this case number of support reactions must be more than three or six by the absolute value of the degree of statically internally indeterminacy. If II is equal to zero, no truss member is removed and the number of equilibrium equations becomes equal to three and six for 2-D and 3-D truss structures respectively. If II is greater than zero, number of truss members to be removed becomes equal to II . In this case, the number of equilibrium equation is equal to three and six for the 2-D and 3-D truss structures respectively. State of statically externally determinacy is examined after the examination of internal determinacy. The degree of statically indeterminacy should satisfy the condition given in equation 5.

$$HS = II + EI \quad (5)$$

EI represents the degree of statically externally indeterminacy. The degree of external indeterminacy provides the number of support reactions to be removed. Degree of statically internally determinacy can be less than zero. In this case, an external element which is a support reaction compensates this insufficiency. However, degree of statically externally determinacy can not be less than zero. If EI is less than zero, this means the truss structure is unstable. After the determination of how many redundant support reaction or truss member is going to be removed, the ones to be removed are determined. If a redundant support reaction is to be removed, the selection criteria are to be based on obtaining a stable structure. The first rule is to avoid making all of the reaction forces parallel. In order to accomplish this rule, the proposed algorithm searches for a support



reaction whose direction is the same with the support reaction under consideration. If the algorithm finds another support reaction with the same direction, then removal of the support reaction under consideration would not make all of the support reactions parallel. On the other hand, if the search procedure can not find support reaction with the same direction, the support reaction under consideration is skipped and the next support reaction is examined. This procedure is continued until a suitable support reaction is obtained.

Avoiding the support reactions being parallel is not sufficient. The support reactions must not intersect at the same point. This condition is more difficult to check than the first one. In order to make sure that this condition is satisfied; unit support reactions are assigned for all of the supports except for the one which is under consideration. Then, moments of the remaining support reactions with respect to joints where a support exists are computed. If moments of all support reactions with respect to a joint are zero, this shows that the support reactions intersect at that joint which ends up with an unstable structure. If this condition is not satisfied, the support reaction is skipped and the next support reaction is examined. This procedure is executed until a suitable support reaction is found. If moment of a support reaction with respect to a joint is different than zero, this condition is adequate to prove that the support reactions do not intersect at that joint. This condition is checked for all of the joints and if there is not a joint violating the rule, the support reaction can be assigned as redundant support reaction and the support reaction is removed. This procedure is repeated number of statically externally indeterminacy times.

Determination of redundant support reaction is a straightforward procedure. However, selection of redundant truss member is easy. Checking the internal stability of the truss requires the solution of the whole structure. Therefore, selection of the redundant truss member without human intervention may become computationally very demanding. Because of this, a robust but computationally less demanding algorithm is required. An algorithm for the selection of a redundant truss member is developed. In order to reduce the computational demand, the developed algorithm avoids structural analysis of the truss members, but the algorithm examines the truss topologically. Number of truss member joining to each joint is determined. Then for each truss member, number of joining truss members at its start-node and end-node is summed. The truss member with the highest sum is determined and assigned as redundant truss member. The highest sum indicates that the most number of truss members are connected to these joints and these joints are the most probable joints to have redundant truss members. Removal of redundant joints and supports provides statically determinate structure. The statically determinate structure is analyzed by force method and the redundant support reactions and member forces are computed by analyzing the consistency of the deflections. The details of the virtual load method can be found on Leet and Uang (2002) and West and Geshwindner (2002).

4. FINDINGS AND DISCUSSIONS

Developed algorithm is coded on C++ programming language. Two truss structures are analyzed in order to determine the validity of the developed algorithm. The first truss structure which is statically externally indeterminate is shown in Figure 1.

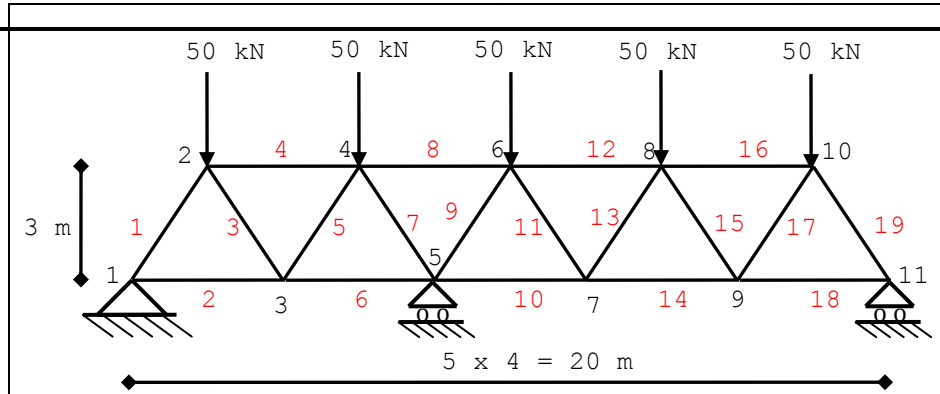


Figure 1. Statically externally indeterminate truss structure

The first truss structure has 11 nodes and 19 members. There are two roller support and one fixed support which makes the number of unknowns 23. Number of equilibrium equations are 22 which makes the structure statically indeterminate.

Table 1. Analysis result of the first problem

Unknown	Value	Unknown	Value
M1	-39.784	M13	-43.5853
M2	22.0682	M14	60.8031
M3	-20.3085	M15	-16.5072
M4	-10.8031	M16	-51.6465
M5	20.3085	M17	16.5072
M6	-0.46209	M18	42.4899
M7	-80.401	M19	-76.5998
M8	45.0606	R1	0
M9	-103.678	R2	33.1023
M10	12.4495	R3	153.163
M11	43.5853	R4	63.7349
M12	-36.6263		

Initially the developed algorithm investigates the condition of statically determinacy by considering the number of unknowns and the equations. Once the truss is classified as statically indeterminate structure with degree of one, the algorithm analyses whether it is caused by internal or external indeterminacy. By considering the number of joints, members and supports the algorithm detects that the indeterminacy is external. Developed algorithm removes the support reaction in y direction of the support located at the first node. Obtained statically determinate structure is solved and then unit load is applied on the first node and the structure is solved by virtual load method. The first case problem showed that the developed algorithm can detect and remove redundant support reaction for statically externally indeterminate structures. Analysis results are shown in Table 1.

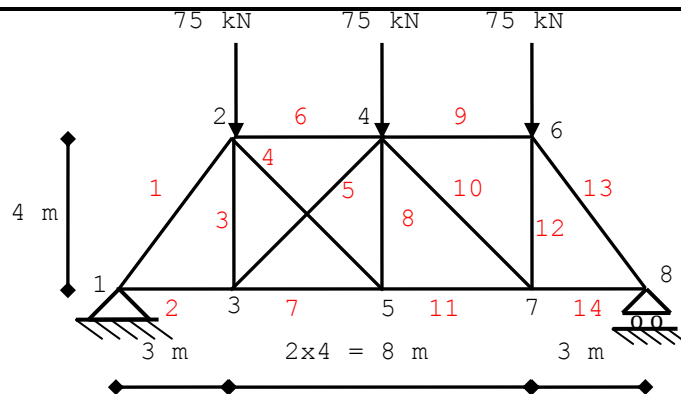


Figure 2. Statically internally indeterminate truss structure

The second truss structure has 8 nodes and 14 members. There are one roller support and one fixed support which makes the number of unknowns 17. Number of equilibrium equations are 16 which makes the structure statically indeterminate. Developed algorithm detects that the structure is statically indeterminate to the first degree. Then the state of whether the structure is internally or externally indeterminate is investigated. The developed algorithm detects that the structure is internally indeterminate by considering the number of joints, members and supports. The next step of the algorithm is the selection of the redundant truss member to be removed. The algorithm selects the fourth truss member which is between the second and fifth nodes as redundant truss member.

Table 2. Analysis result of the second problem

Unknown	Value	Unknown	Value
M1	-140.625	M10	-53.033
M2	84.375	M11	121.875
M3	18.75	M12	37.5
M4	26.5165	M13	-140.625
M5	-26.5165	M14	84.375
M6	-103.125	R1	-5.00E-14
M7	103.125	R2	112.5
M8	-18.75	R3	112.5
M9	-84.375		

Statically determinate truss structure is obtained by removing the fourth member and this statically determinate structure is solved. Then the fourth structure is assumed to be under tension by 1 kN load and the structure is analyzed by this assumption. Deflection of the fourth member is computed for both cases and the initial form of the truss member is preserved by the force equation and the following results are obtained. Support reaction of the first support in x direction is actually zero but because of rounding errors it is slightly different than zero. Numerical errors of the both case problems are very small and within acceptable region.

5. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

In this study a new method is proposed for the analysis of statically indeterminate structures by virtual load method without human intervention. The developed algorithm is programmed as



executable file which is programmed on C++ programming language. The implementation of the algorithm can be performed by novice programmers. The developed algorithm is tested on two case problems. One of the case problems is statically externally indeterminate and the latter case problem is statically internally indeterminate. The developed algorithm successfully solved the case problems by virtual load method without human intervention. Computational demand of the developed algorithm is less than the matrix method. Therefore the algorithm can be implemented for truss optimization process and considerable savings can be obtained in terms of computational demand. In addition to this, the developed method can easily be implemented by structural engineers and statically indeterminate truss structures can be analyzed without interrupting the analysis.

REFERENCES

- Chapra, S.C. and Canale, R.P., (1988). Numerical Methods for Engineers (Vol:2). New York: McGraw-Hill.
- Hibbeler, R.C., (2013). Statics and Mechanics of Materials. Pearson Higher Ed.
- Kreyszig, E., (1999). Advanced Engineering Mathematics (8th Ed.). John Wiley & Sons, Singapore.
- Leet, K. and Uang, C.M., (2002). Fundamentals of Structural Analysis (2nd ed), McGraw-Hill Education.
- West, H.H. and Geshwindner, L.F., (2002). Fundamentals of Structural Analysis. John Wiley & Sons, United States of America.



Belkis Tekgüler
İlkay Koca

Ondokuz Mayıs University, Samsun-Turkey
belkisg@omu.edu.tr; itosun@omu.edu.tr

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.1A60PB>

THE PRODUCTION OF TAHINI (SESAME PASTE) AND ITS COMPOSITION

ABSTRACT

Tahini is a food product obtained from sesame seed (*Sesamum indicum* L.), and it is widely consumed with pekmez, honey and sugar syrup, or commonly consumed as tahini halva in Turkey. Tahini is also used in many salads and appetizers. The production of tahini includes the separation of sesame seed skin in accordance with the technique, drying and roasting in the oven and grinding stages. Due to the separation of the sesame skin, tahini, which contains higher fat and protein content than sesame's, is important and nutritionally unique food, since it contains unsaturated fatty acids, vitamins E and B, minerals and lignans. In this review, the contents of sesame and tahini, and tahini production technique are discussed.

Keywords: Sesame Paste, Tahini, Sesame, Lignans, Public Health

1. INTRODUCTION

In Turkey, there are many traditional food products which are different kinds and in composition produced locally or industrially. Tahini, one of these products, is directly consumed mixed with sugar, honey or pekmez, or as halvah, and also found in various uses, which are appetizers like humus in local cuisines in Turkey (Özcan, 1993; Güven et al., 2007; Anılakumar et al., 2010). According to the Turkish Food Codex (No: 2015/27), "tahin is defined as the product obtained by grinding of sesame seeds (*Sesamum indicum* L.) after dehulling, drying and roasting. Tahini word is "Tahn" in Arabic. Tahn means "grinding" (TGK, 2017a; Lokumcu, 2000). Tahini, which is directly obtained by milling of the dehulled and roasted sesame seeds, contains 50-65% fat, 17-27% high value protein and B vitamins (Özcan, 1993; Arslan et al., 2005; Karakahya, 2006). Tahini and sesame are rich in mineral substances such as Ca, Mg, Fe, Zn, P and dietary fiber. Sesame and tahini also contain valuable compounds such as sesamin and sesamolin. Sesamin and sesamolin are lignan compounds in plants and show strong antioxidative effects. In this review, the composition of sesame, the raw material of tahini, the processing of sesame, and the composition of tahini are examined. The composition of tahini is close to the composition of sesame, which is the raw material of tahini. For this reason, the composition of sesame was firstly considered followed by sesame processing, and the composition of tahini was studied.

2. RESEARCH SIGNIFICANCE

Tahini is a product made from sesame seeds. Tahini can be consumed alone, and is also used in the preparation of some traditional products. To produce tahini, sesame seeds are firstly dehulled, then roasted and ground. It is more nutritious than sesame due to the removal of antinutritional components such as oxalic acid in the hull. Tahini is rich in fat, protein, B vitamins, mineral



substances and antioxidant compounds like lignan, tocopherol, phenolic compounds. The production and composition of tahini are important for food technology and human nutrition.

3. THE PROPERTIES OF SESAME (*Sesamum indicum* L.) SEEDS

Sesame (*Sesamum indicum* L.) is one of the oldest cultivated plants grown in the world and has been known since Babylon and Assyrian times (Sağır et al., 2010; Tan, 2011). Although the lack of certain information about the origin of sesame, there are different approaches to this issue. Some researchers have shown Africa as the origin of sesame, based on the fact that two thirds of the sesame species are economically and predominantly found in Africa. Likewise, some researchers have stated that sesame is originated from Africa and have been spreaded through India, China and Japan over Western Asia, and that these regions have been secondary spreading centers (Purseglove, 1977; Silme and Çağırğan, 2009). Sesame is an important oilseed and India is major sesame producer (Elleuch et al., 2007; Visavadiya and Narasimhacharya, 2008). Sesame word is originated from "simsim" in Arabic. Sesame is mentioned as "gingılı" in some countries, "küncü, sirik, sırılağan" in some regions of Turkey, "til" in India, "cheema" in China, "bijan" in Malaysia, "dee la" in Thailand (Lokumcu, 2000). Sesame, is an annual plant belonging to Personatae order in Pedaliaceae family and has about 40 species. 26 species of them are wild, 13 species of them are partially cultivated and only one of them is cultivated species which has two subspecies possessing $2n=26$ and $2n=52$ chromosomes in the world. It is reported that one of the subspecies ($2n=52$) is common in India, USA, Japan and Venezuela and the other subspecies ($2n=26$) is common in tropical and temperate regions and there are about 3000 varieties and ecotypes (Gölükcü, 2000; Özdemir, 2001; Anılakumar et al., 2010; Tan, 2011). Sesame, is an oil crop, grows in tropical savannah, dry tropical, steppe areas, moist subtropical and dry subtropical (Mediterranean region, etc.) where are located between 40° north and 40° south latitudes. (Gölükcü, 2000; Soydinç, 2005). From this aspect, sesame is mostly grown in Africa, Central and South America and Arab and Asian countries (Koca, 2007).

According to the data of the year 2015, the cultivation area of sesame among cereals and other herbal products in Turkey is about 0.16% and has an average of 66 kg/da. The Aegean region, which supplies 47% of Turkey sesame production, is the region where sesame production is the highest (7252 tons), followed by Mediterranean, Western Marmara, Southeast Anatolia, Middle East Anatolia and Eastern Marmara respectively. Sesame production, which was 39000 tonnes in the 1990s, was 17716 tonnes in 2014 and 19521 tonnes in 2016. (Seçer, 2016; TÜİK, 2016). Sesame export in Turkey is almost nonexistent. In contrast, sesame import in 2007-2013 was realized as 100000 tons. Sesame seeds are mainly imported from Nigeria, followed by Ethiopia (Seçer, 2016). Sesame is mainly used in edible oil production; It is also used as spices, and in the production of confectionery and biscuits, bakery products, tahini, halva, antioxidants (Özcan, 1993; Xu, 2005; Anılakumar et. al, 2010; Mohdalya, 2011; Tan, 2011). It is desirable that the oil content of the sesame seed is different according to the purpose of use. For example; in the production of bagels, biscuits and tahini, sesame seed with low fat-high protein is desired; however the sesame seed with low protein-high fat content is required for vegetable oil production (Koca, 2007).



3.1. Physical and Chemical Properties of Sesame Seed

Since sesame seed is raw material for tahini, the composition of sesame seeds and its oil and many other properties also influence the composition of tahini. For this reason, it is firstly necessary to specify the characteristics of the sesame seeds. Sesame seeds are small (2.5-3.0mm in length, 1.5mm in width), oval shaped and flat. The average the mass of 1000 grains is around 3.02g (Özcan, 1993). The seeds are white, cream, light yellow, yellow, dark yellow, brown, dark brown or black (Tan, 2011). The sesame seeds grown in Turkey are 45% brown, 35% yellow, 12% white, 7% dark brown and 1-2% black seeds. (Özcan, 1993). The sesame seed grown in Marmara region is mostly yellow, Aegean region sesame is mostly brown and white, Mediterranean region sesame is more brown and Southeastern Anatolia sesame is dark brown and brown. There is a close relationship between sesame seed color and seed contents. For example; dark seeds contain higher protein and lower fat than the light colored seeds (Koca, 2007). As a result of researchs conducted by various researchers on different sesame seeds, the composition of sesame seeds varies (Table 1). Sesame seeds contain more oil than most other oil seeds. The oil content is reported to be between 43.3% and 65% by different researchers (Table 1) (Anilakumar et al., 2010; Gharehyakheh et al., 2014). The oil content of the seeds also varies according to the color, size, variety, growing conditions and climate. It's reported that the white and light colored big sized sesame seeds contain more fat than the seeds which have dark color and small sizes. In addition, the harvest time also affects the amount of seed oil content (Özdemir, 2001).

Table 1. Some chemical properties of sesame seed

Compenent	Content (%)	References
Moisture	3.16-5.3	Özcan, 1993; Gölükçü, 2000; Elleuch et al., 2007; Anilakumar et al., 2010; Nagendra Prasad et al., 2012; Asghar et al., 2014; Saeed et al., 2015; Zebib et al., 2015.
Crude Protein	16.44-35.80	Özcan, 1993; Gölükçü, 2000; Elleuch et al., 2007; Anilakumar et al., 2010; Nagendra Prasad et al., 2012; Asghar et al., 2014; Gharehyakheh et al., 2014; Saeed et al., 2015; Zebib et al., 2015
Lipids	43.30-61.00	Özcan, 1993; Gölükçü, 2000; Elleuch et al., 2007; Anilakumar et al., 2010; Nagendra Prasad et al., 2012; Asghar et al., 2014; Gharehyakheh et al., 2014; Saeed et al., 2015; Zebib et al., 2015
Ash	3.67-11.29	Özcan, 1993; Gölükçü, 2000; Elleuch et al., 2007; Anilakumar et al., 2010; Nagendra Prasad et al., 2012; Asghar et al., 2014; Saeed et al., 2015; Zebib et al., 2015
Crude Fiber	2.90-6.26	Özcan, 1993; Nagendra Prasad et al., 2012; Saeed et al., 2015; Zebib et al., 2015

Palmitic, stearic, oleic and linoleic fatty acids are the most important components of sesame oil. Oleic and linoleic acid are unsaturated fatty acids, the total of them is more than 80% in the sesame oil fatty acid composition (Table 2).

Table 2. The fatty acid composition (%) of sesame (sesame oil)

Fatty Acids	ln Literature*	TGK (2017b)
Palmitic (16:0)	11.28-21.67	7.9-12.0
Palmitoleic (16:1)	0.21-0.42	TED-0.2
Stearic (18:0)	2.43-6.40	4.5-6.7
Oleic (18:1)	42.43-50.73	34.4-45.5
Linoleic (18:2)	34.03-50.73	36.9-47.9
Linolenic (18:3)	0.42-0.75	0.2-1.0
Arashidic (20:0)	0.51-0.75	0.3-0.7
Eicosenoic (20:1)	0.18-0.38	TED-0.3
Lignoceric (24:0)	0.20	TED-0.3

*Adopted from (Elleuch et al., 2007; Saeed et al., 2015)

The fatty acid composition is affected by ecological regions, environmental changes, roasting method, especially temperature (Turgut and Baydar, 1996). The total amount of sterols contained in the lipid fraction is 450-1900mg/100g. Beta-sitosterol content is 57.7-61.9% of the sterols (TGK, 2017b). Gharby et al. (2017) reported that the amount of tocopherol in Morocco sesame seed oils was 446mg/kg, γ -tocopherol, Δ -tocopherol and α -tocopherol fraction ratios in the oils was 90%, 7.3% and 2.2%, respectively. Another important component of sesame is protein, which is present in the seeds at an average of 16.44-35.80% (Özcan, 1993; Baydar, 2005; Hahm and Kuei, 2015; Saeed et al., 2015). Sesame is a protein rich food containing protein equivalent to legumes. (Gölükcü, 2000; Baydar, 2005; Özdemir, 2001). Makinde and Akinoso (2014) have determined the amino acid content of raw and roasted sesame seeds (Table 3). They can not define tryptophan in raw and roasted sesame. But, Sawaya et al. (1985) reported that the amount of sulfur-containing amino acids, which are methionine and cysteine, and tryptophan was greater than the reference protein values of FAO/WHO. It has been reported that sesame seed contains 11.26% of sugar, and vitamins, which are vitamin A in trace amount, vitamins B (10 ppm thiamin, 2.5ppm riboflavin, 50ppm niacin, 6ppm pantothenic acid) and 5 ppm ascorbic acid (Gölükcü, 2000; Hahm and Kuei, 2015). However, Nagendra Prasad et al. (2012) reported that the contents of niacin, thiamin, riboflavin, pantothenic acid, vitamin B6 and vitamin A in sesame seeds were as 6.7, 0.24, 0.20, 0.052, 0.816mg/100g and 3 μ g/100g, respectively. The mineral composition of sesame is shown in Table 4.

Table 3. Amino acid composition of raw and roasted sesame (mg/100g)
(Makinde and Akinoso, 2014)

Amino Acid	Raw Sesame	Roasted Sesame
Valine	4.97	4.56
Histidine	3.83	3.02
Lysine	3.12	2.85
Leucine	7.89	7.08
Iso-Leucine	4.34	3.95
Threonine	5.16	4.49
Methionine	3.42	2.94
Tryptophan	nd	nd
Glycine	3.47	3.22
Alanine	3.46	3.39



Table 4. Mineral composition of sesame seed

Minerals	Content, mg/100g	References
Phosphorous (P)	516-840	Gölükçü, 2000; Elleuch et al., 2007; Nagendra Prasad et al., 2012; Gharehyakheh et al., 2014.
Potassium (K)	300-582	Gölükçü, 2000; Elleuch et al., 2007; Nagendra Prasad et al., 2012.
Magnesium (Mg)	300-362	Gölükçü, 2000; Elleuch et al., 2007; Nagendra Prasad et al., 2012.
Calcium (Ca)	429-1225.71	Gölükçü, 2000; Elleuch et al., 2007; Nagendra Prasad et al., 2012; Gharehyakheh et al., 2014; Zebib et al., 2015.
Sodium (Na)	12-15.28	Elleuch et al., 2007; Nagendra Prasad et al., 2012;
Manganese (Mn)	1.10-3.46	Gölükçü, 2000; Elleuch et al., 2007; Nagendra Prasad et al., 2012.
Iron (Fe)	0.25-19.2	Gölükçü, 2000; Elleuch et al., 2007; Nagendra Prasad et al., 2012; Gharehyakheh et al., 2014; Zebib et al., 2015.
Copper (Cu)	1.73-4.21	Gölükçü, 2000; Elleuch et al., 2007; Nagendra Prasad et al., 2012.
Zinc (Zn)	4.23-8.87	Gölükçü, 2000; Elleuch et al., 2007; Nagendra Prasad et al., 2012; Zebib et al., 2015.
Selenium (Se)	0.0355	Nagendra Prasad et al., 2012.

The ratio of carbohydrates in sesame seeds is determined by Nagendra Prasad et al. (2012), Gharehyakheh et al. (2014) and Zebib et al. (2015) as 24.05%, 6.4-21% and 8.3-11.69%, respectively. The amount of crude fiber in sesame seeds is in the range of 2.90% to 6.26% (Nagendra Prasad et al., 2012; Gharehyakheh et al., 2014; Saeed et al., 2015; Zebib et al., 2015). Anilakumar et al. (2010) reported that the glucose, fructose and sucrose quantities were as 3.2, 2.6 and 0.2%, respectively. It's stated that the phytic acid, total phenolics and FRAP values of sesame seed were as 307.61-324.91mg/kg, 23.16-25.69mgGAE/g, 32.33-34.53µmol/g, respectively (Zebib et al., 2015).

4. TAHINI (SESAME PASTE) PRODUCTION

In Turkey, sesame is most commonly used in tahini production. Tahini is mainly consumed with pekmez, honey and sugar syrup, or most commonly as tahini halvah. (Gölükçü, 2000). Tahini is obtained by milling the sesame seeds suitable for tahini production after dehulling and roasting of the seeds (TGK, 2017a). Since tahini is a product obtained by milling of dehulled sesame seeds, the nutritional value of tahini is higher than sesame seed (Güven et al., 2007). Traditionally tahini is produced in three main stages: dehulling, roasting, grinding (Özdemir et al., 2006). Sesame seeds are firstly sieved to remove organic-inorganic foreign substances such as stones and soil, and then soaked in the water in large pools in order to easily separate hulls from the sesame seeds. The sesame seeds separated from coarse impurities are allowed to stand for 5-6 hours in some concentrations (10-18%) of saline (NaCl) solutions and the hull is separated. Sesame seeds are centrifuged to remove excess water. The sesame seeds are roasted in rotary boilers at 100-150°C for 1-3 hours.

Roasting temperatures and time may different in the facilities which produce tahini. At the end of this phase, the moisture content of sesame should be less than 1%. For this purpose the sesame seeds are roasted and then finally cleaned by sieving. Cold sesame seeds are grinded through an emery mill and a certain consistency is obtained (Figure 1) (Özcan, 1993; Soydinç, 2005; Elleuch et al., 2007; Çiftçi, 2008; Güneşer, 2009).

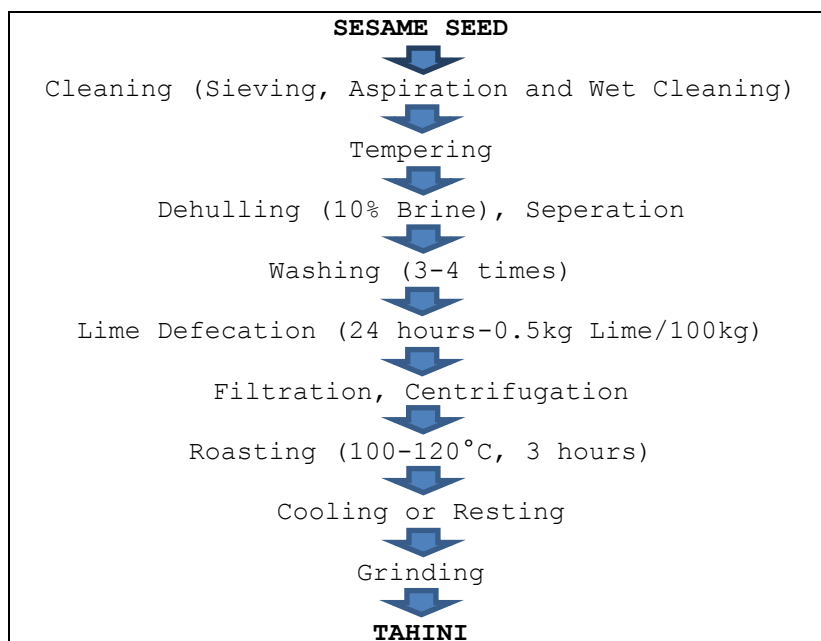


Figure 1. Tahini production flow chart

The hull ratio in sesame is very important; Because it is economically limited in its area of use. The hull is 10-20% of the seed weight. The sesame hulls has a bitter taste, because it contains high levels of oxalic acid, phytic acid, calcium and selenium. In addition, oxalic acid and phytic acid are complexed with minerals, especially calcium, thereby reducing the bioavailability of these substances and causing negativite effects on metabolism. This is one of the main reasons why sesame hull is removed during tahini processing. The rate of oxalic acid is around 2-3% in hulled sesame and almost all of it is in the hull. The percentage of oxalic acid in dehulled sesame seeds drops to 0.25% (Lokumcu, 2000; Özdemir, 2001; Hassan, 2012). Hulls are separated by density difference. Dehulling process prevents transferring the color of sesame hull into tahini (Karakahya, 2006).

Sesame is kept in a certain amount of limy water and then washed again and lime is removed. The purpose of liming process is to maintain the sesame color throughout the roasting process (Karakahya, 2006; Güneşer, 2009). The region where the sesame grows has a great influence on the sensorial properties of tahini. Thanks to the increased brittleness of sesame seeds and the decrease in their hardness, sesame seeds are easy to grind. The roasting stage is a key step in the production of tahini to facilitate grinding and to take the unique smell of tahini. Many physical, chemical, structural and sensorial changes are taking place at this stage. Roasting affects characteristics of the tahini such as color, composition, taste and textural qualities (Ünsal and Nas, 1995; Özdemir et al., 2006; Akbulut and Çoklar, 2008; Cürat, 2010). Tahini has hazelnut-like and slightly



sweet characteristic flavors due to the aromatic compounds which are 2-furylmethanethiol, phenylethanethiol, furanol, 2-methoxyphenol (guaiacol) and pyrazines. Shimoda et al. (1997) reported that guaiacol increased from 32 to 321 ppb, while 2-furan methanethiol rised from 6 to 40 ppb in deep-roasted sesame oil.

In the production of tahini and sesame oil, the roasting time and temperature change the composition and the amounts of aroma compounds. The distinctive taste and odor formation and oxidative stability depends on roasting temperature and time. The flavor and aromatic compounds occur at high temperatures, but in this case low quality oil or low quality products may be obtained (Shahidi et al., 1997; Shimoda et al., 1997; El-Adawy and Mansour, 2000; Özdemir, 2001). Roasted sesame has a very impressive flavor due to the volatile sulfur compounds (Lokumcu, 2000). El-Adawy and Mansour (2000) studied the sensorial, physicochemical properties of tahini and the effect of roasting temperatures on nutritional value by applying different temperature and roasting times. These applications were at 100°C for 3 hours of steam (steamed roasting), at 100°C in a vacuum oven for 1 hour (vacuum roasting), at 130°C on a hot surface for 1 hour and at 130°C for 1 hour in hot air. The best quality tahini was obtained from sesame roasted at 130°C for 1 hour hot air application. In the tahini samples produced by this procedure, sulfur-containing amino acids were found in high levels.

Kömez (2002) studied the parameters of the process conditions of domestic and imported sesame. In the study, the best conditions for the production of tahini from imported sesame seeds were 6 hours wetting time, 16% salt and 0.1% lime concentration, at 130-150 °C roasting temperature. The best conditions for tahini produced from domestic sesame were 12 hours wetting time, 14% salt and 0.1% lime concentration, at 130-150 °C roasting temperature. One of the important steps affecting the quality of the tahini is grinding. If grinding is not carried out with the required fineness, an inhomogeneous structure containing sesame particles in the tahini is formed, which may be rejected by the consumer (Soydınç, 2005).

4.1. The Composition of Tahini

Tahini composition is similar to the composition of sesame. The significant changes in the mineral substances, water content, aroma substances, antioxidative properties and antioxidant substances in the structure especially occur due to dehulling and roasting processes in the production phase. In tahini, the fat and protein content should be at least 50% and 20%, respectively, while the max moisture, ash content and acidity (oleic acid) should be at 1.5, 3.2 and 2.4%, respectively, Kreis test must be negative (Table 5).

Tablo 5. Composition of tahini

Compounds (%)	TGK (2017a)	In literature*
Moisture	Maximum 1.5	<1.0
Fat	Minimum 50	54-65
Protein	Minimum 20	17-27
Ash	Maximum 3.2	2.55-3.00
Cellulose	-	0.76-3.71
Dietary Fibre	-	9.3
Salt	-	0.38-0.42
Total Acidity	Maximum 2.4	1.35
Carbohydrates	-	6.4-21

*Adopted from different report (Sawaya et al., 1985; Özcan, 1993; Lokumcu, 2000; Arslan et al., 2005)



The researchers have reported that the contents of fat, moisture, protein, ash and fiber content are 54-65%, <1.0%, 17-27%, 2.55-3.2 and 0.76-3.71 respectively (Sawaya et al., 1985, Özcan, 1993; Arslan et al., 2005). Lokumcu (2000) noticed the energy value of tahini as 634 kcal/100g. El-Adawy and Mansour (2000) have found that tahini proteins contain sulfur-containing amino acids, aromatic amino acids, and tryptophan at high levels. Tahini also contains leucine, threonine and lysine amino acids. Leucine, sulfur-containing amino acids, are the main essential amino acids of tahin. Sesame protein ratio is 16.44-35.80% and tahini protein ratio is between 17-28% (Kömez, 2002; Karakahya, 2006; Nzikou et al., 2009; Kim et al., 2014). General observation that sesame and tahini protein ratios are similar. Makinde and Akinoso (2013) found the highest protein ratio in dehulled sesame seed (25.3-26.8%) and the lowest in the hull (2.35-2.72%) in their study of all sesame seeds, dehulled sesame seeds and sesame seeds.

It's indicated that tahini is an important source of vitamins B, especially for niacin. (El-Adawy and Mansour, 2000; Karakahya, 2006). In some studies, the fatty acid composition of tahini is as given in Table 6. The content of minerals in tahini is less than that of sesame seeds, except sodium. Due to dehulling process, the minerals are lost (Lokumcu, 2000). Compared with sesame seeds, the amount of calcium in tahini is very low due to the dehulling of the sesame hull containing 80% of calcium. In addition, the amount of phosphorus (692mg/100g) and magnesium (362mg/100g) in tahini is lower than the amounts in sesame seeds (872mg/100g, 521mg/100g). The amounts of micro elements such as copper, manganese and zinc are 1.96mg/100g, 1.46mg/100g, 7.82mg/100g, respectively. The amount of selenium in tahini is 0.05mg/100g (El-Adawy and Mansour, 2000).

Table 6. Fatty acid composition of tahini

Fatty Acid	In Literature*	TGK (2017b)
Palmitic (16:0)	9.8-9.10	7.9-12.0
Palmitoleic (16:1)	-	nd-0.2
Stearic (18:0)	4.87-6.54	4.5-6.7
Oleic (18:1)	41.75-42.4	34.4-45.5
Linoleic (18:2)	39.7-42.73	36.9-47.9
Linolenic (18:3)	0.33	0.2-1.0
Arashidic (20:0)	0.21-0.71	0.3-0.7
Eicosenoic (20:1)	-	nd-0.3
Lignoceric (24:0)	-	nd-0.3

*Adopted from Sawaya et al., 1985, Gölükçü, 2000, Lokumcu, 2000

As a results of some research, it's concluded that the phenolic contents, DPPH and FRAP values of the tahini were decreased due to dehulling process (Shahidi et al., 2006; Elleuch et al., 2007). However, as mentioned earlier, tahini is resistant to oxidative deterioration although it contains sesame oil, which constitutes more than half of the tahini, and unsaturated fatty acids. Sesame oil and tahini has a long shelf life due to the presence of lignan substances with antioxidant properties such as sesamol, sesaminol, as well as tocopherols, and some sterols. The antioxidant activity of sesame oil and tahini is thought to be the result of synergistic effect of sesamol, γ -tocopherol and some unknown Maillard reaction products in the oil (Yamashita et al., 1992; Kato et al., 1998; Altay & Ak, 2005; Arslan et al., 2005; Suja et al., 2005; Bozkurt, 2006; Hemalatha & Ghafoorunissa, 2007; Kumar et al., 2009; Yeo et al., 2011).



Sesamin and sesamol are major lignans in unroasted sesame seeds, but sesamol is in trace amount (Yeo, 2011). The roasted sesame oil is more stable than the other oils due to sesamol. Sesamol is derived from sesamol during heat treatment or storage. In a study conducted, it was observed that the sesamol content increased 78-fold for 30 minutes roasting at 200°C, and 51% of the sesamol was converted into sesamol. They determined that the type of heater, the duration of heating and the temperature affected this conversion. The melanoidin compounds formed during roasting also have a role in oil stability (Kumar et al., 2009). In a study by Wu (2007), the mean lignan amounts of sesame oil in 14 kinds of sesame oil were found to be 11.5mg/g. 82% of them is Sesamin and 15% of them is sesamol. The main lignans found in unroasted sesame oil are sesamin (474ppm), sesamol (159ppm) and sesamol (<7ppm). By roasting of sesame, sesamol is hydrolyzed to sesamol, and the value of sesamol increases to over 36 ppm. Sesamin and sesamol extracted from roasted sesame oil and the sesaminol extracted from bleached sesame oil is more heat-stable than α -tocopherol (Choe and Min, 2009).

Because of its antioxidative properties, lignans not only influence the shelf life of tahini, but also human health. Study on 21 hyperlipidemic patients it's shown that a significant decrease was in cholesterol levels in patients consuming roasted sesame (40g/day) every day. Due to the sesaminol, the oxidation products of LDL have been reduced and it has been observed that it has protective effect on atherogenesis. Visavadiya and Narasimhacharya (2008) determined that the feeding of sesame seed flour to rats resulted in an increase in HDL levels and a decrease in cholesterol and LDL levels in rats' plasma (Chen et al., 2005).

5. CONCLUSION

Tahini is a precious food in terms of high value protein, fat, vitamins, mineral substances and its unique antioxidant substances. The main stages of tahini production process are dehulling, drying, roasting and grinding. By using salty water, the hull of sesame are separated by taking advantage of the density differences. The resulting sesame are grinded to produce final product tahini after roasting and sieving. The nutritional value of tahini is higher than that of sesame seeds because low-quality sesame hulls are separated in dehulling stage of tahini production. Tahini is an important food because of its high content of unsaturated fatty acids and its high value protein, its E, C, B vitamins, minerals, and lignans with antioxidative properties.

REFERENCES

- Akbulut, M. and Çoklar, H., (2008). Physicochemical and Rheological Properties of Sesame Pastes (Tahin) Processed from Hulled and Unhulled Roasted Sesame Seeds and Their Blends at Various Levels. *Journal of Food Process Engineering*, 31(4), 488-502.
- Altay, F.L. and Ak, M.M., (2005). Effects of Temperature, Shear Rate and Constituents on Rheological Properties of Tahini (sesame paste). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(1), 105-111.
- Anilakumar, K.R., Pal, A., Khanum, F., and Bawa, A.S., (2010). Nutritional, Medicinal and Industrial Uses of Sesame (*Sesamum indicum* L.) Seeds. *Agriculturae Conspectus Scientificus* 75(4), 159-168.

- Arslan, E., Yener, M.E., and Esin, A., (2005). Rheological Characterization of Tahin/pekmez (sesame paste/concentrated grape juice) Blends. *Journal of Food Engineering*, 69(2), 167-172.
- Asghar, A., Majeed, M.N., and Akhtar, M.N., (2014). A Review on the Utilization of Sesame as Functional Food. *Am. J. Food. Nutr*, 4(1), 21-34.
- Baydar, H., (2005). Susamda (*Sesamum indicum* L.) Verim, Yağ, Oleik ve Linoleik Tipi Hatların Tarımsal ve Teknolojik Özellikleri. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(2), 267-272.
- Bozkurt, G., (2006). Susam Yağının Antioksidan Özellikteki Başlıca Bileşenlerinin Nitelik ve Nicelikleri Üzerine Araştırmalar. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 182777.
- Chen, P.R., Chien, K.L., Su, T.C., Chang, C.J., Liu, T., Cheng, H., and Tsai, C., (2005). Dietary Sesame Reduces Serum Cholesterol and Enhances Antioxidant Capacity in Hypercholesterolemia *Nutrition Research* 25, 559-567.
- Choe, E. and Min, D.B., (2009). Mechanisms of Antioxidants in the Oxidation of Foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 8(4), 345-358.
- Cürat, D., (2010). Kilis ve Yöresinde Yetiştirilen Yerel Susam (*Sesamum indicum* L.) Populasyonlarının Biyolojik ve Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Kilis, 287545.
- Çiftçi, D., (2008). Colloidal Stability and some Rheological Properties of Tahin and Pekmez-Tahin Blend. Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 179660.
- El-Adawy, T.A. and Mansour, E.H., (2000). Nutritional and Physicochemical Evaluations of Tahina (sesame butter) Prepared From Heat-Treated Sesame Seeds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(14), 2005-2011.
- Elleuch, M., Besbes, S., Roiseux, O., Blecker, C., and Attia, H., (2007). Quality Characteristics of Sesame Seeds and by-products. *Food Chemistry*, 103(2), 641-650.
- Gharby, S., Harhar, H., Bouzoubaa, Z., Asdadi, A., El Yadini, A., and Charrouf, Z., (2017). Chemical Characterization and Oxidative Stability of Seeds and Oil of Sesame Grown in Morocco. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16, 105-111.
- Gharehyakheh, S., Amiri, M., and Savareh, S.J., (2014). Rheological Behavior of Sesame Paste/Honey Blend with Different Concentration of Honey. *European Journal of Experimental Biology*, 4(1), 53-57
- Gölükcü, M., (2000). Susam Kavrulmasında Mikrodalga Uygulamaları ve İşlemin Susam ve Tahinin Kalitesi Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, T1150.
- Güneşer, O., (2009). Farklı Gıda Katkı Maddeleri Kullanımının Tahin Helvası Emulsiyon Stabilitesi ve Kalitesine Olan Etkilerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Çalışma. Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 259577.
- Güven, S., Demirel, N.N., Kırca, A., Güneşer, O., and Kaptan, M., (2007). Tahin Helvalarının Kimyasal ve Mikrobiyolojik



- Kalitesine Üretim Aşamalarının Etkisi. Tübitak Tarım, Ormancılık ve Veterinerlik Araştırma Grubu, Proje No 104 O 290, Çanakkale.
- Hahm, T. and Kuei, C., (2015). Present And Potential Industrial Applications of Sesame: A Mini Review. Journal of Food Processing and Preservation, 39, 3137-3144.
 - Hassan, M.A.M., (2012). Studies on Egyptian Sesame Seeds (*Sesamum indicum* L.) and its Products 1-physicochemical Analysis and Phenolic Acids of Roasted Egyptian Sesame Seeds (*Sesamum indicum* L.). World Journal of Dairy & Food Sciences, 7(2), 195-201.
 - Hemalatha, S. and Ghafoor, U., (2007). Sesame Lignans Enhance The Thermal Stability of Edible Vegetable Oils. Food Chemistry, 105(3), 1076-1085.
 - Kamel-Eldin, A. and Appelqvist, L.A., (1994). Variation in the Composition of Sterols, Tocopherols and Lignins in Seed Oils from Four *Sesamum* Species. Journal of the American Oil Chemist's Society, 71, 135-139.
 - Karakahya, E., (2006). Tahin Helvası Üretiminde Farklı Bikisel Yağ ve Soya Proteini Kullanımının Kalite Özellikleri Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 183298.
 - Kato, M.J., Chu, A., Davin, L.B., and Lewis, N.G., (1998). Biosynthesis of Antioxidant Lignans in *Sesamum indicum* Seeds. Phytochemistry, 47(4), 583-591.
 - Kim, J.H., Seo, W.D., Lee, S.K., Lee, Y.B., Park, C.H., Ryu, H.W., and Lee, J.H., (2014). Comparative Assessment of Compositional Components, Antioxidant Effects, and Lignan Extractions From Korean White And Black Sesame (*Sesamum indicum* L.) Seeds For Different Crop Years. Journal of Functional Foods, 7(1), 495-505.
 - Koca, H., (2007). Tuz Stresinin Farklı Susam Çeşitlerinin Fizyolojik Ve Biyokimyasal Özellikleri Üzerine Etkisi. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 200580.
 - Kömez, E., (2002). Tahin Üretimi İçin Uygun Koşulların Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 120094.
 - Kumar, C.M., Appu, Rao, A.G., and Singh, S.A., (2009). Effect of Infrared Heating on The Formation of Sesamol and Quality of Defatted Flours from *Sesamum indicum* L. Journal of Food Science, 74(4), 105-111.
 - Lokumcu, F., (2000). Tahinin Reolojik Karakterizasyonu. ITU Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksel Lisans Tezi, 69s., İstanbul.
 - Makinde, F.M. and Akinoso, R., (2013). Nutrient Composition and Effect of Processing Treatments on Anti Nutritional Factors of Nigerian Sesame (*Sesamum indicum* Linn) cultivars. International Food Research Journal, 20(5):2293-2300.
 - Makinde, F.M. and Akinoso, R., (2014). Comparison Between the Nutritional Quality of Flour Obtained From Raw, Roasted and Fermented Sesame (*Sesamum indicum* L.) Seed Grown in Nigeria. Acta Sci. Pol., Technol. Aliment., 13(3), 309-319.
 - Mohdaly, A.A.A., Smetanska, I., Ramadan, M.F., Sarhan, M.A., and Mahmoud, A., (2011). Antioxidant Potential Of Sesame (*Sesamum indicum*) Cake Extract in Stabilization of Sunflower and Soybean Oils. Industrial Crops and Products, 34, 952-959
 - Nagendra Prasad, M.N., Sanjay, K.R., Prasad, D.S., Vijay, N., Kothari, R., and Nanjunda, Swamy S., (2012). A Review on

- Nutritional and Nutraceutical Properties of Sesame. J. Nutr. Food Sci., 2(2), 1-6.
- Nzikou, J.M., Matos, L., Bouanga-Kalou, G., Ndangu, C.B., Pambou-Tobi, N.P.G., Kimbonguila, A., Silou, Th., Linder, M., and Desobry, S., (2009). Chemical Composition on the Seeds and Oil of Sesame (*Sesamum indicum* L.) Grown in Congo-brazzaville. Advance Journal of Food Science and Technology, 1(1), 6-11.
 - Özcan, M., (1993). Susam, Susam Yağı Ve Tahinde Fiziksel-Kimyasal Analizler ve Yağ Asitleri Bileşiminin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 028402.
 - Özdemir, F., (2001). Tahin Üretim Amaçlı Susam Kavrulmasında Mikrodalga Uygulamaları. Tübitak Türkiye Tarımsal Araştırma Projesi, Proje No: TARP-2365.
 - Özdemir, F., Gölükcü, M., and Erbaş, M., (2006). Influence of Different Microwave Seed Roasting Processes on the Changes in Quality and Fatty Acid Composition of Tehina (Sesame butter) oil. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 19(2), 207-216.
 - Purseglove, J.W., (1977). Tropical Crops: Dicotyledons. Longman Group, London, Third Edition, London, 719p. [Monograph of tropical crops belonging to the Dicotyledons, including sesame ecology, structure, land husbandry and major diseases].
 - Saeed, F., Qamar, A., Nadeem, M.T., Ahmed, R.S., Arshad, M.S., and Afzaal, M., (2015). Nutritional Composition and Fatty Acid Profile of Some Promising Sesame Cultivars. Pak. J. Food Sci., 25(2), 98-103
 - Sağır, P., Sağır, A., and Söğüt, T., (2010). Farklı Ekim ve Sulamanın Susamda Kök Boğazı Çürüklüğü Hastalığı (Macrophomina phaseolina), Verim ve Verim Unsurlarına Etkisi. Bitki Koruma Bülteni, 50(4), 157-170.
 - Sawaya, W.N., Ayaz, M., Khalil, J.K., and Al-Shalhat, A.F., (1985). Chemical Composition and Nutritional Quality of Tehineh (Sesame butter). Food Chemistry, 18(1), 35-45.
 - Seçer, A., (2016). Türkiye’de Susam Üretim ve Dış Ticaretinde Gelişmeler. Çukurova Tarım Gıda Bil. Der., 31, 27-36.
 - Shahidi, F., (1997). Natural Antioxidants Chemistry, Health Effects, and Applications. VIII and 432 pages, AOCS Press, Champaign, Illinois.
 - Shahidi, F., Pathirana, C.M.L., and Wall, D.S., (2006). Antioxidant Activity of White and Black Sesame Seeds and Their Hull Fractions. Food Chem. 99; 478-483.
 - Shimoda, M., Nakada, Y., Nakashima, M., and Osajima, Y., (1997). Quantitative Comparison of Volatile Flover Compounds in Deep-Roasted and Light-Roasted Sesame Seed Oil. J. Agric. Food Chem., 45, 3113-3196.
 - Silme, R.S. and Çağırğan, M.İ. (2009). Seçilmiş Mutant ve Dünya Susam Materyalinin Verim ve Verim Komponentleri Bakımından Değerlendirilmesi. X. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, 6-9 Ekim, Cilt.1, 333-339, Muğla
 - Soydinç, H., (2005). Farklı Oranlarda Kuru Meyve İlavesinin ve Depolama Süresinin Tahin Helvasının Bazı Kalite Özellikleri Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, 197745.



- Suja, K.P., Jayalekshmy, A., and Arumughan, C., (2005). Antioxidant Activity of Sesame Cake Extract. Food Chemistry, 91, 213-219.
- TGK, (2017a). Tahin tebliği. (No: 2015/27, Resmi Gazete Sayısı: 29385). <http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=9.5.20835&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch=tahin> (Erişim tarihi: Temmuz, 2017).
- TGK, (2017b). Bitki Adı İle Anılan Yağlar Tebliği (No: 2012/29, Resmi Gazete Sayısı: 28262). <http://mevzuat.basbakanlik.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=9.5.16053&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch=ya%C4%9Flar> (Erişim tarihi: Temmuz, 2017).
- Tan, A.Ş., (2011). Bazı Susam Çeşitlerinin Menemen Koşullarında Performansları. Anadolu, Journal of AARI, 21(2), 11-28.
- Turgut, İ. and Baydar, H., (1996). Türkiye Susam (*Sesamum indicum* L.) Populasyonlarında Bazı Özelliklerin Varyasyonu Ve Seleksiyon İle Hat Geliştirme Olanakları. Tübitak Tarım ve Hayvancılık Araştırma Grubu, Proje No:TOGTAG-1371.
- TÜİK, (2016). Tahıllar ve Diğer Bitkisel Ürünler (Susam üretimi). <http://rapory.tuik.gov.tr/10-07-2017-18:16:42-9341026391832052864684569495.html> (Erişim tarihi: Temmuz, 2017).
- Ünsal, M. and Nas, S., (1995). Tahin Helvasının Ve Yağının Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri. Gıda, 20(1), 43-47.
- Visavadiya, N.P. and Narasimhacharya, A.V.R.L., (2008). Sesame as a Hypocholesteremic and Antioxidant Dietary Component. Food and Chemical Toxicology, 46, 1889-1895.
- Wu, W.H., (2007). The contents of Lignans in Commercial Sesame Oils of Taiwan And Their Changes During Heating. Food Chemistry, 104(1), 341-344
- Xu, J., Chen, S., and Hu, Q., (2005). Antioxidant Activity of Brown Pigment and Extracts from Black Sesame Seed (*Sesamum indicum* L.). Food Chemistry, 91, 79-83.
- Yamashita, K., Nohara, Y., Katayama, K., and Namiki, M., (1992). Sesame Seed Lignans and γ -Tocopherol Act Synergistically to Produce Vitamin E Activity in Rats. The Journal of Nutrition, 122, 2440-2446.
- Yeo, J.D., Park, J.W., and Lee, J.H., (2011). Evaluation of Antioxidant Capacity of Sesamol and Free Radical Scavengers at Different Heating Temperatures. Eur. J. Lipid Sci. Technol., 113, 910-915.
- Zebib, H., Bultosa, G., and Abera, S., (2015). Physicochemical Properties of Sesame (*Sesamum indicum* L.) Varieties Grown in Northern Area. Ethiopia. Agricultural Sciences, 6, 238-246.



İlkay Koca, Belkis Tekgüler, Volkan Arif Yılmaz
Ondokuz Mayıs University, itosun@omu.edu.tr, Samsun-Turkey

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.1A61PB>

EFFECTS OF MICROWAVE AND CONVECTIVE HOT-AIR DRYING CONDITIONS ON SOME CHARACTERISTICS OF *LACTARIUS DELICIOSUS* L. MUSHROOM

ABSTRACT

Lactarius deliciosus L. is one of the naturally grown mushrooms. It is known as a "kanlıca" mushroom in Turkey. In this study, it was dried by different drying techniques and the properties of the dried product were evaluated. For this purpose, the sliced samples were dried by two dryers which are convective air dryer and microwave oven. The drying characteristics, color and antioxidant activity of dried mushrooms were investigated. It was observed that as the temperature and microwave power increased, the total drying time decreased. Six different mathematical models were compared according to their coefficients of determination to estimate drying curves. The rehydration characteristics of the dried samples were monitored at 20°C during 10 hours. As a result, it was concluded that the convectional drying was better than the microwave drying for the *Lactarius deliciosus* L. mushroom, and the rehydration abilities, color and antioxidant activity values of the dried samples were good at 50 and 60°C.

Keywords: Mushroom, Conventional Drying, Microwave Drying, Antioxidants, *Lactarius deliciosus* L

***LACTARIUS DELICIOSUS* L. MANTARININ BAZI ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE MİKRODALGA VE KONVEKTİF SICAK HAVA KURUTMA ŞARTLARININ ETKİSİ**

ÖZ

Lactarius deliciosus L. doğal olarak yetişen mantarlardan biridir. Bu mantar Türkiye'de "kanlıca" mantarı olarak bilinmektedir. Bu çalışmada, *Lactarius deliciosus* L. farklı kurutma teknikleri ile kurutulmuş ve kuru ürünün özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla, dilimlenmiş mantar örnekleri, geleneksel hava kurutucu ve mikrodalga fırında kurutulmuştur. Kurutulmuş mantarların kuruma karakteristikleri, renk ve antioksidan aktivitesi incelenmiştir. Sıcaklık ve mikrodalga gücü arttıkça, kurutma süresinin azaldığı gözlenmiştir. Kuruma eğrilerini tahmininde kullanılan altı farklı matematiksel model karşılaştırılmıştır. Kurutulmuş örneklerin rehidrasyon özellikleri, 20°C'de 10 saat süresince izlenmiştir. *Lactarius deliciosus* L. mantarı için geleneksel kurutmanın mikrodalga kurutmadan daha iyi olduğu, kurutulmuş örneklerin rehidrasyon yetenekleri, renk ve antioksidan aktivite değerlerinin 50°C ve 60°C iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mantar, Geleneksel Kurutma, Mikrodalga Kurutma, Antioksidanlar, *Lactarius deliciosus* L



1. INTRODUCTION

Wild edible and cultivated mushrooms are mostly consumed in the developing world. The mushrooms are popular because of their positive effects on health. They have low calories. But they are rich in proteins, vitamins, fibre, chitin and minerals including iron, zinc, selenium and sodium. It's reported that mushrooms are functional foods which are efficient against diseases like cancer, hypertension and hypercholesterolemia (Gezer and Kaygusuz, 2014). Mushrooms are quickly perishable matters. They directly begin to decay within a day after collecting. For this reason, their shelf lives have to be lengthened. So, the mushrooms can be found out of season, too. For preservation, the various methods are used to lengthen their shelf life in many other ways such as drying, pickling, etc. Drying is a comparatively inexpensive method, and dehydrated mushrooms, packed in hermetic containers can have a shelf life of above one year (Walde, et al., 2006). Also, dried mushrooms are valued ingredients in some soups and sauces (Ma, et al., 2013). Drying is used to conserve agricultural products including fruits, vegetables and cereals etc. In the drying process, the moisture content of food decreases the microbial spoilage and deterioration reaction. Drying allows lengthening storage period of food products (Pei, et al., 2014). A reducing in bulk weight and volume occurs in dried foods. The different commercial drying methods, that have been developed, are not very advantageous in terms of providing economic and high-quality products. The energy consumption and the quality of the final dried products limit these methods (Dutta, et al., 2012). The aim of this study was to determine the effect of microwave and convective air drying on the mushroom. For this purpose, the drying kinetics, the temperature profile of dried material and some quality factors of the finished product, which are the rehydration behaviour, total phenolics, antioxidant activity, and color, were evaluated. The content of phenolics, antioxidant activity, and changes in color were used as quality indicators of the dried mushrooms.

2. RESEARCH SIGNIFICANCE

Wild mushrooms becomes more popular because of their positive effects on health. Mushrooms are known as quickly perishable food. For preservation, the various methods are used to lengthen their shelf life in many other ways. One of these methods is drying. There are several processes for drying the food samples. In this study, two different methods, microwave and convective air drying, were used for kanlica mushroom (*Lactarius deliciosus* L) drying. The color, rehydration ratio and changes in antioxidant properties were analyzed to evaluate the quality of the dried the mushrooms. Convective drying is found the better process for preserving the color, rehydration and antioxidants of *Lactarius deliciosus* L. samples.

3. MATERIAL AND METHODS

3.1. Materials

Fresh mushrooms (*Lactarius deliciosus* L.) were collected at Bolu province, Turkey in October 2016 and were immediately brought to the laboratory for further processing. The mushrooms were cut into strips with a width of 1.0cm for dehydration in order to increase the surface area. The moisture content of fresh mushrooms was 92.86% on average.

3.2. Experimental Facility

Two different methods have been used for the drying of fresh mushrooms. These were convective air drying and microwave drying.

- **Convective Air Drying:** Experiments were conducted at three drying temperatures (40, 50 and 60°C) and at a constant air velocity (1ms⁻¹) in the dryer (Eksis Industrial Drying Systems, Isparta, Turkey) given in Table 1.
- **Microwave Drying:** The microwave drying was maintained at different 3 levels, including 350, 500 and 650W (Table 1). The individual samples were loaded to the microwave oven (Arçelik MD581 Model, Turkey) for all the time interval readings and the weight control was performed every two minutes.

Table 1. The convective hot-air dryer properties

Properties of Dryer	The Values
Material	Stainless Steel Interior and Exterior Cabin
External Width	130cm
External Depth	150cm
External Height	150cm
Temperature Ranges	40°C-85°C
Air Velocity Ranges	0.5-2.0m/s
Power	Electric Heating System 5W
Programming	By the help of touch screen the setting of temperature, air velocity, relative humidity and time, and instant monitoring and changing feature, automatic weighing feature
Tray Properties	10 Aluminum Trays (45x45cm) with Teflon-coated, Punched

The moisture ratio (MR) of the mushroom slices was calculated using Equation (1) (Doymaz and Ismail, 2011), as follows

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (1)$$

M_t , M_0 , and M_e are the moisture contents (in unit kg kg⁻¹, dry matter) where are at time "t" (drying time), initial time and equilibrium time, respectively. It was reported that the equilibrium moisture content (M_e) was accepted equal to 0, since the M_e was nearly 0, when the drying time was long (Doymaz and Ismail, 2011; Pei, et al., 2014). The thin layer and microwave drying curves were fitted with six well-known thin-layer drying models (Table 2) that are widely used in most fruits and vegetables (Doymaz and Ismail, 2011; Routray et al., 2014; Gazor and Roustapour, 2015). The regression analysis was performed by using Matlab (2016a version). The determination of coefficient (R^2), reduced chi-square (X^2), and root mean square error (RMSE), which were used to evaluate the goodness of fit, were calculated in this study by using the following equations (Doymaz and Ismail, 2011).

Table 2. Mathematical models used to describe the drying and rehydration kinetics

Process	Model Name	Model Equation
Drying	Lewis or Newton	$MR = \exp(-kt)$
	Page	$MR = \exp(-kt^n)$
	Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt)$
	Logarithmic	$MR = a \exp(-kt) + c$
	Wang and Singh	$MR = 1 + at + bt^2$
	Midilli et al.	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$
Rehydration	Peleg	$W = W_0 + t / (k_1 + k_2 t)$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N-n} \quad (2)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

The number of observations is "N" and "n" is constant. The experimental and predicted moisture ratios are resembled by MR_{exp} and MR_{pre} , respectively. If the R^2 value is high and the values of χ^2 and RMSE are low, the goodness of fit is better (Doymaz, et al. 2006). In this research, Peleg's model was used to fit (Table 2) the rehydration curves of the samples dried by microwave and convective air drying (Planinić, et al., 2005). The values of R^2 , χ^2 , and RMSE were also used to evaluate the goodness of fit for rehydration curves.

3.3. Analytical Methods

- **Moisture:** The moisture content was determined by vacuum-oven drying method (AOAC, 2000).
- **Color Analysis:** The color of the mushrooms was measured using a Minolta chromameter (model CR 400) with CIE color scale before starting the drying process. Five replicates were taken for maximum accuracy. Color parameters L^* , a^* and b^* characterize lightness ($L^*=0$ for black, $L^*=100$ for white), intensity of green-red ($-a^*$ for green, $+a^*$ for red) and intensity of blue-yellow ($-b^*$ for blue, $+b^*$ for yellow), respectively. The variation in color due to drying was analyzed using L^* , a^* , b^* , chroma, hue and ΔE values. The L^* value indicates the darkness or lightness of the product.

The hue angle denotes the range of color from dark red color to light magenta. For the h value, an angle of 0° or 360° indicates a red hue, while angles of 270° , 180° and 90° indicate blue, green and yellow hue, respectively. The hue angle was calculated using the formula (Argyropoulos, et al., 2011):

$$\text{Hue angle (H)} = \tan^{-1}(b^*/a^*) \quad (4)$$

Chroma (C^*) was indicates color saturation, which is proportional to its intensity. Chroma was calculated as:

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (5)$$

The total color difference was expressed as ΔE . A larger ΔE denotes greater color changes from fresh material. ΔE was calculated using the formula:

$$\Delta E = [(L^*_d - L^*_{*0})^2 + (a^*_d - a^*_{*0})^2 + (b^*_d - b^*_{*0})^2]^{1/2} \quad (6)$$

where subscripts "0" and "d" refer to fresh samples and the dried samples, respectively.

- **Rehydration Ratio:** The rehydration ratio or capacity of dried mushroom slices (3g) was determined. For this purpose, certain amount of the dried samples wetted in distilled water (500mL) at 25°C . The samples were taken out, drained by absorbent paper, and then weighed at regular intervals. The rehydration ratio was described as that the water, which was absorbed (g) into the samples, divided by the dried sample weight (g) (Doymaz, 2008).

$$\text{Rehydration ratio} = W_t / W_0 \quad (7)$$

Where;

W_t ; the weight at time t , g

W_0 ; dry mushroom sample weight, g

- **Extraction of Antioxidant Compounds:** 1g of each of dried mushroom sample and 5g fresh sample were mixed with 100mL and 50 mL of ethanol 70%, respectively. The samples were extracted for 15 min in the ultrasonic bath, and the extracts were filtered through a 0.45 μ filter.

- **Determination of Total Phenolics:** The total phenolic contents of the samples were colorimetrically analyzed by the Folin method (Singleton and Rossi, 1967). The ethanolic extract (1mL), diluted in appropriate proportions, was mixed with 1mL of Folin-Ciocalteu reagent and 2mL of 10% sodium carbonate solution, and then the mix was incubated for 2h at room temperature. The absorbance was spectrophotometrically measured at 760nm. The gallic acid standard solutions, which had concentrations between 10 and 100µgml⁻¹, were used drawn for the standard curve. The total phenolic content was expressed as gallic acid equivalent (GAE) in mg per kg of sample in dry weight.
- **Determination of Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP):** The FRAP assay was done according to the method described by Benzie and Strain (1999). The acetate buffer (300mM, pH3.6), TPTZ solution (10mM in 40mM HCl), and 2.5mL of FeCl₃.6H₂O solution (20mM) in the proportion of 10:1:1 (v/v/v) were mixed to prepare the FRAP solution. The reagent (450µL) was added to 50µL of extracts. After 5min, the absorbance at 593 nm was measured. The results of the assay were expressed relative to milimoles of Trolox per gram of dry matter.
- **2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) Radical Scavenging Activity:** The free radical scavenging activity of the extracts was spectrophotometrically determined (Brand-Williams, et al., 1995). The hydrogen atom or electron donation abilities of the mushroom extract was measured from the bleaching of a purple-colored ethanol solution of stable DPPH radical. Briefly, 0.5ml of mushroom extract in 70% ethanol or 0.5ml of ethanol (control) were mixed with 3.0ml of 6x10⁻⁵M DPPH solution in ethanol. The mixture was thoroughly vortexed for 1 min and left at room temperature for 120 min, than the absorbance was read against control at 517nm. DPPH scavenging activity value, expressed as mmol of trolox per g of dry matter, was determined using the calibration curve trolox standard. The capability to scavenge the DPPH radicals was calculated using the following equation:

$$\text{DPPH radical-scavenging activity (\%)} = [(A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) / A_{\text{control}}] \times 100 \quad (8)$$

Where:
 A_{control} ; absorbance of the control reaction
 (containing all reagents except the extract)
 A_{sample} ; absorbance in the presence of the mushroom extract

4. RESULTS AND DISCUSSION

The drying behaviour and the quality characteristics of product were studied in terms of product moisture content, rehydration ratio and color.

4.1. Drying Behaviour

The drying conditions affect the drying characteristic of the mushroom slices. The effects of operating conditions, total drying time and drying kinetics on the drying rates were analyzed.

4.1.1. Total Drying Time

For reducing the moisture content of mushroom from approximately 92.86% to about 5.85%, the total drying times required were in Table 3.

Table 3. Under different drying conditions, the total drying time required to dry the samples up to a moisture content of about 5.85%

Drying Method	Drying Conditions	Time (Minutes)
Convective Air	40°C	270
	50°C	180
	60°C	120
Microwave	350W	34
	500W	25
	650W	20

Depending upon the operating conditions, the drying time varied from 2 h to 4 h 30 min for convection drying, and from 20 min to 34 min for microwave drying. In microwave drying the product was dried about 6-8 times faster than the other drying method. As a result, while the temperature increased, the drying time considerably shortened in the convective air drying. In microwave drying, the time shortened as frequency increased. In other words, the convective air drying of mushrooms took a longer time to reach the target moisture content comparing to microwave drying of the mushrooms, as shown in Table 3. Giri and Prasad (2007) dried the mushroom slices in different thicknesses (6, 10 and 14mm) by hot air and vacuum microwave systems. The study was carried out at 50, 60 and 70°C at a constant air velocity of 1.5ms^{-1} , and in 115, 200 and 285W by microwave power and at 6.5, 15 and 23.5kPa pressure. At the end of the study, they found the drying times at 50 and 70°C for 270 min and 180 min, respectively. In the vacuum microwave system, drying times of 115W, 200W and 285W were determined as 45, 30 and 20 min, respectively. While the microwave power and the temperature increased, the drying times decreased. The results are consistent with our findings.

4.1.2. Modeling and Analysis of Drying Data

The moisture ratios (MR) are shown in Figure 1.

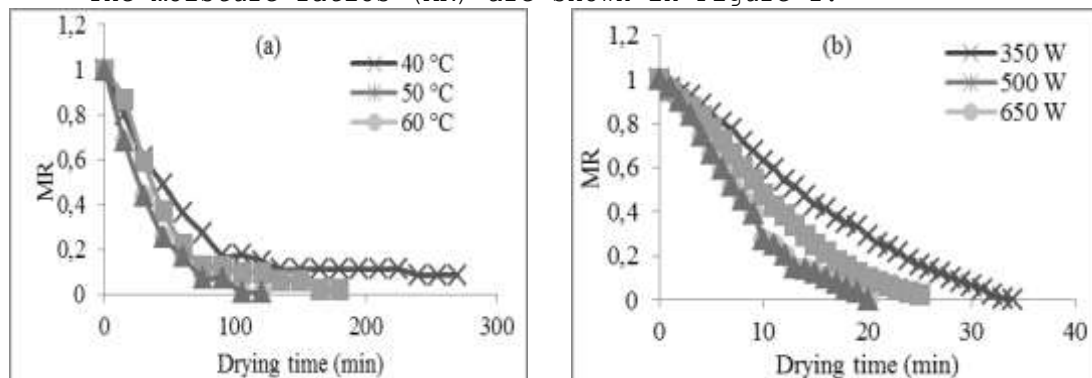


Figure 1. Plot of moisture ratio with respect to drying time at different temperatures or microwave power for (a) hot air drying and (b) microwave drying

Six different mathematical models, Newton, Wang and Singh, Page, Modified Page, logarithmic, Henderson and Pabis and Midilli et al., were compared with each other, according to their coefficients of determination to estimate these drying curves. In different drying conditions the model constant values of the different models were in Table 4. The highest R^2 value and the lowest X^2 values and RMSE values of the constants were belongs to the best-fitting model. As seen in Table 4, Midilli et al. method had determined the best suited moisture ratio model. Arora et al. (2003) utilized Page's model to express the

drying characteristics of mushrooms. The drying constant correlated with the drying air temperature adopting an Arrhenius-type equation. Walde et al. (2006) used different dryers including fluidized bed dryer, hot air cabinet dryer, microwave oven and vacuum dryer for dehydration of oyster mushrooms (*Pleurotus flavus*) and button mushrooms (*Agaricus bisporus*) which were pretreated by various proceedings such as blanching followed by soaking in potassium metabisulphite and citric acid, blanching, curd fermentation and whey fermentation using lactic acid bacteria. They studied that the effect of drying methods was described by a polynomial equation and the regression coefficients.

Table 4. Summary of modeling of moisture ratio with drying time for hot air and microwave drying

Models		40°C	50°C	60°C	350W	500W	650W
Newton	R^2	0.9668	0.9738	0.9946	0.9413	0.941	0.9464
	RMSE	0.04883	0.05346	0.02521	0.0775	0.0792	0.0777
	$\chi^2 \cdot 10^{-4}$	23.4	28.6	6.36	60	62.72	60.35
	$k \cdot 10^{-3}$	15.61	21.24	29.32	60.33	84.11	113.7
Wang and Sing	R^2	0.9147	0.9631	0.9884	0.9953	0.9915	0.9884
	RMSE	0.08054	0.06631	0.03954	0.02214	0.0306	0.0371
	$\chi^2 \cdot 10^{-4}$	64.8824	43.9636	15.6429	4.903	9.3833	13.784
	$a \cdot 10^{-3}$	-10.52	-14.71	-20.37	-41.37	-58.97	-81.96
	$b \cdot 10^{-4}$	0.2817	0.5413	1.041	3.331	7.37	15.8
Page	R^2	0.9751	0.9858	0.9985	0.996	0.9983	0.9982
	RMSE	0.04352	0.04115	0.01403	0.02056	0.0137	0.0148
	$\chi^2 \cdot 10^{-4}$	18.94	16.94	1.97	4.22	1.89	2.18
	$k \cdot 10^{-3}$	31.34	6.427	16.64	12.47	18.9	31.82
	n	0.838	1.303	1.151	1.553	1.591	1.566
Midilli et al.	R^2	0.9966	0.9935	0.9986	0.9993	0.9995	0.9983
	RMSE	0.01717	0.03071	0.01617	0.008789	0.0077	0.0152
	$\chi^2 \cdot 10^{-4}$	2.938	9.42778	2.616	0.772258	0.6014	2.3165
	a	1.002	1.015	1.00	0.9968	0.9781	0.9966
	$k \cdot 10^{-3}$	11.38	3.744	17.69	16.57	17.31	32.17
	n	1.115	1.47	1.131	1.381	1.591	1.55
Henderson and Pabis	R^2	0.9673	0.9786	0.9952	0.9621	0.9606	0.9662
	RMSE	0.04988	0.05048	0.02549	0.06323	0.0660	0.0633
	$\chi^2 \cdot 10^{-4}$	24.88	25.49	6.5	39.97	43.67	40.04
	a	0.9797	1.067	1.021	1.129	1.125	1.13
	$k \cdot 10^{-3}$	15.26	22.56	29.88	68.42	94.86	128.3
Logarithmic	R^2	0.9937	0.9786	0.9976	0.9968	0.9927	0.9901
	RMSE	0.02265	0.05294	0.0194	0.0187	0.0291	0.0352
	$\chi^2 \cdot 10^{-4}$	5.13	28.03	3.76	3.5	8.47	12.37
	a	0.9483	1.068	1.054	1.743	1.617	1.419
	k	0.0206	0.02245	0.02667	0.02779	0.0433	0.0727
	$c \cdot 10^{-3}$	80.51	-1.72	-43.25	-697.9	-565.2	-349

Giri ve Prasad (2007) shown that the rate constants of the exponential and Page's model for thin layer drying were identified by regression analysis of the experimental data. The data was mainly influenced by the microwave power level followed by sample thickness. But, the system pressure had a little impact on the drying rate. Our drying model was more compatible with the model Midilli et al. (2002). In a research studied by Xanthopoulos et al. (2007), it's found that seven mathematical thin layer drying models were complied to mushrooms *Agaricus bisporus* drying experimental data, applying nonlinear regression analysis techniques. They dried mushrooms at temperatures which were between 50 and 65°C and used air velocities at 1.0-5.0ms⁻¹. They determined that the best model was the logarithmic model in terms of proper performance.

4.1.3. Changes in Color

The changes in color by drying were given in Table 5. High L^* values indicate a lighter color and low L^* values indicate a darker color. As seen in Table 5, the L^* values decreased by drying. The lowest L^* value was found at 50°C of drying temperature. The values of a^* and b^* decreased due to drying. As a result of drying, a^* and b^* values decreased. The lowest and highest a^* values were found in the samples dried at 650W and 350W, respectively. b^* value was found to be the lowest at 50°C and the highest at 60°C (Table 5). The value of coordinate a^* decreased compared to the fresh material and denoted a more red chroma, which is indicative of the browning reaction (Wojdyło, et al., 2014).

Table 5. The color parameters of mushrooms affected by different drying methods

Drying Method	Drying Conditions	L^*	a^*	b^*	ΔE	C	H
	Fresh	35.77	9.18	16.36	–	18.82	56.28
Convective Air (°C)	40	24.53	3.59	8.60	14.76	9.33	67.62
	50	21.99	3.64	7.26	17.45	8.17	63.48
	60	27.15	4.95	9.66	11.65	10.82	62.92
Microwave (W)	350	25.10	5.08	8.59	13.84	9.99	59.32
	500	23.12	4.39	8.13	15.86	9.27	61.54
	650	24.93	3.40	7.53	15.22	8.27	65.66

Visible quality like the color of the product is very important in dried products for preference of consumers. ΔE values describe the human eye's ability to discriminate between colors of a sample (Wojdyło, et al., 2014). The lowest ΔE value was determined in the samples dried at 60°C (Table 5). As seen in the Table 5, the samples, dried at 350W, had the lowest hue values compared to the other dried samples. Dutta et al. (2012) found that the hue value of the fresh material was lower than that of dry mushrooms. This result was opposite our findings. They found that the L values did not significantly change in high electric field-treated mushrooms compared to the control samples. In their study, the L values of microwave drying mushrooms were different from those of fresh samples. Our results supported their findings. Krokida, et al. (2003) studied the effect of different pretreatments on preventing browning reactions during drying of some fruit and vegetables. They reported that microwave pretreatment before convective air drying did not help to prevent browning, as indicated by the decrease in L values. Kulshreshtha, et al. (2009) found that the color was better at lower velocity and lower temperature (50°C). We found the lowest value of chroma (C value) in the samples dried at 50°C.

4.1.4. Rehydration Ratio

Rehydration capacity or ratio is also an important factor to determine the quality of dried products, and it is influenced by factors including product characteristics, internal structure of the products and rehydration temperature (Doymaz, 2014; Pei, et al., 2014). The change in the weight at the time of rehydration is given in Figure 2.

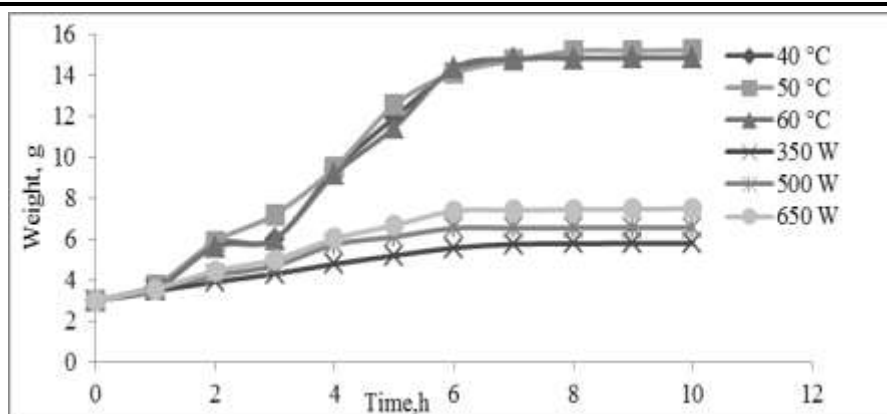


Figure 2. The change in weight of dry mushrooms depending on time during rehydration

Rehydration was performed at room temperature (average 22°C). As shown in Figure 2, the weight was increased until 6th hours and then weight gain stabilized. However, changes in weight were recorded for 10 hours. Both in the microwave dryer and in the convective air dryer, the rehydration rates of the dried samples were close to each other (Table 6 and Figure 2). The highest rehydration rate was found in the samples dried at 50°C. The rehydration rate of the microwave-dried samples was low. Dutta, et al. (2012) found that the high electric field-pretreated freeze-dried sample had the highest rehydration ratio (3.5), whereas convective air dried samples after microwave-pretreated had the lowest rehydration ratio (2.3). The dehydrated mushrooms can be rehydrated by soaking in water before the consumption. The rehydration characteristics of dried products are used as quality parameters, and indicate the levels of physical and chemical changes occurred during the drying process due to process conditions, pre-treatments and sample composition (Apati, et al., 2010).

Table 6. Rehydration ratio values of the samples after 10 hours

Drying Method	Drying Conditions	Rehydration Ratio
Convective Air (°C)	40	4.95
	50	5.02
	60	4.93
Microwave (W)	350	1.92
	500	2.17
	650	2.45

Table 7. Rehydration constants of Peleg's model

Constants	40°C	50°C	60°C	350W	500W	650W
R ²	0.9299	0.9504	0.9278	0.9758	0.9545	0.9594
RMSE	1.359	1.139	1.385	0.1683	0.3004	0.3595
χ ²	0.9771	1.0618	2.4671	0.0077	0.0338	0.0612
k ₁	0.5027	0.4626	0.5212	1.518	0.9892	0.9213
k ₂	0.02477	0.02754	0.02281	0.1775	0.1576	0.1117

Kulshreshtha, et al. (2009) dried the milk mushroom at drying air temperatures of 50, 70, and 90°C and air velocities of 1.71 and 2.13ms⁻¹. They found that rehydration ratio ranged from 2.563 to 4.015 for different drying conditions. The rehydration ratio was higher at the lower temperatures, and was highest at 50°C. There was no significant effect of drying air velocities on the rehydration ratio. They reported that higher rehydration ratio indicates better product.



In our results, the highest rehydration rate was found in the samples dried at 50°C. Apati, et al. (2010) investigated dehydration and rehydration processes of *Pleurotus ostreatus* mushroom, and dried at 40, 50 and 60°C. They studied at different temperatures of immersion water (25, 55 and 85°C) and different soaking times (30, 75 and 120 min) for rehydration test, found that the best rehydration occurred in the samples dried at 40°C. Giri and Prasad (2007) observed the microwave-vacuum dehydration characteristics of button mushroom (*Agaricus bisporus*) in a microwave oven (0-600W). The effect of drying parameters on the drying kinetics and rehydration characteristics were investigated. They found a 70-90% decrease in drying time with respect to the microwave-vacuum drying results. The dried products had better rehydration characteristics compared to those dried using convective air drying.

4.1.5. Change in Antioxidants

The change in antioxidants during drying was given in Table 8. Total phenolics of fresh mushroom were 3016.06mgkg⁻¹ in dry matter (DM), FRAP value was 6.51mM TE g⁻¹, DM and DPPH radical scavenging activity was 7.33mM TE g⁻¹, DM. Pogoń et al. (2013) found that total phenolic content in *Lactarius deliciosus* (L.) mushrooms was 490mgg⁻¹ in fresh weight; Onbaşılı et al. (2015) found that the total phenolic content of the same mushroom grown in Kastamonu which was 4840mgkg⁻¹, DM. Their findings were higher than our values.

Table 8. The changes in total phenolics and antioxidant activity values during drying

Drying Methods	Drying Conditions	Total Phenolics (mg/kg)	FRAP (mM/g)	DPPH (mM/g)
Convective Air (°C)	40	1452.24	3.10	3.70
	50	1622.36	3.78	4.50
	60	2603.24	6.46	6.80
Microwave (W)	350	940.59	1.18	1.20
	500	1398.38	1.52	2.60
	650	1521.43	1.94	3.56

The best result was given by convection drying in terms of the preservation of total phenolic matter, FRAP and DPPH values. The loss was high in the samples dried by microwave. As temperature increases in convection drying and the frequency increases in microwave drying, the antioxidants of the samples preserved better. The highest total phenolic compound and antioxidant activity were found at 60°C, while the lowest protection was in the samples dried at 350W. This is related to the probable duration. The drying time affected this loss than the drying temperature. We will compare the results with those of the researchers in the literature who dry some herbal products. Wojdyło, et al. (2014) observed the antioxidant capacity of the sour cherries samples during microwave and convective air drying at 70°C and 60°C than at 50°C. They found that a greater decrease in the antioxidant capacity of the samples dried by convective air drying. The greatest change in polyphenols was found in the fruits dehydrated by convective air drying. They recorded that the loss of total phenolics in the samples dried at 50, 60 ve 70°C was 44%, 48%, and 49%, respectively. They reported that the bioactivity of dried sour cherries is better if it's dried by low drying temperature, a short processing time, and limited contact of the material with available oxygen in the air.



In a study, the orange samples, which was firstly divided into two parts, removed from juice and then separated into "pulp and shell" parts, dried at 30, 40, 50, 60, 70, 80 and 90°C temperature and constant air velocity (2ms^{-1}) in hot air drying system. According to the obtained results, it is stated that as the total phenolic substances and antioxidant substances were lost the temperature value and the drying time increase. They noted that the optimum temperature for the protection of antioxidant substances was 60°C (Garau et al., 2007).

Vega-Galvez et al. (2009) have dried red pepper samples with a thickness of 4mm at a temperature of 50, 60, 70, 80 and 90°C and a constant air velocity of 2.0ms^{-1} . The highest antioxidant activity was noted at dry temperatures of 80 and 90°C. Lopez et al. (2010) have dried blue fruits of 1.5cm in diameter by a laboratory scale convective hot air dryer at 50, 60, 70, 80 and 90°C temperature and constant air velocity of 2.0ms^{-1} . The products, which were dried at high temperatures (80°C and 90°C), were found to have higher antioxidant activity than those dried at low temperatures (50, 60 and 70°C). We concluded that the total phenolics and antioxidant activity of the samples, dried at 60°C, were high.

5. CONCLUSION

The convective air drying and microwave air drying were used for the drying of *Lactarius deliciosus* mushroom slices. As the mathematical models for the drying processes, Newton, Page, Wang and Singh, Modified Page, Henderson and Pabis, logarithmic and Midilli et al., were used. When the R^2 , X^2 and RMSE values were examined, the slices drying kinetics were calculated by Midilli et al. model. The parameters analyzed were color, rehydration rate, total phenolic substance and antioxidant activity. The least color change and loss of antioxidant activity occurred at 60°C in convectively dried mushroom.

REFERENCES

- AOAC, (2000). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists (17th edition). AOAC International, Gaithersburg, MD.
- Argyropoulos, D., Heindl, A., and Müller, J., (2011). Assessment of Convection, Hot-air Combined with Microwavevacuum and Freeze-Drying Methods for Mushrooms with regard to Product Quality. International Journal of Food Science and Technology, 46, 333-342.
- Apati, G.P., Furlan, S.A., and Laurindo, J.B., (2010). Drying and Rehydration of Oyster Mushroom. Brazilian Archives of Biology and Technology, 53, 945-952.
- Arora, A., Shivhare, U.S., Ahmed, J., and Raghavan, G.S.V., (2003). Drying kinetics of Agaricus Bisporus and Pleurotus Florida Mushrooms. Transactions of the ASAE 2003, 46,3, 721-724.
- Benzie, I.F.F, Strain, J.J., (1999). Ferric Reducing/antioxidant Power Assay: Direct Measure of Total Antioxidant Activity of Biological Fluids and Modified Version for Simultaneous Measurement of Total Antioxidant Power and Ascorbic Acid Concentration. Methods Enzymol, 299:15-27.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., and Berset, C., (1995). Use of Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. Lebensm.-Wiss. Technol., 28, 25-30.
- Doymaz, İ., (2006). Drying Kinetics of Black Grapes Treated with Different Solutions. Journal of Food Engineering, 76, 212-217.
- Doymaz, I., (2008). Convective Drying Kinetics of Strawberry. Chemical Engineering and Processing, 47, 914-919.

-
- Doymaz, I. and Ismail, O., (2011). Drying Characteristics of Sweet Cherry. Food and Bioproducts Processing, 89, 31-38.
 - Doymaz, I., (2014). Drying Kinetics and Rehydration Characteristics of Convective Hot-air Dried White Button Mushroom Slices. Journal of Chemistry, 1-8.
 - Dutta, B., Raghavan, G.S.V., Dev, S.R.S., Liplap, P., Murugesan, R., Anekella, K., and Kaushal T., (2012). A Comparative Study on the Effects of Microwave and High Electric Field Pretreatments on Drying Kinetics and Quality of Mushrooms. Drying Technology, 30:8, 891-897.
 - Gezer, K. and Kaygusuz, O., (2014). An Assessment of the Heavy Metal Content of Various Wild Edible Mushrooms in the Denizli Province, Turkey. Journal of Environmental Protection and Ecology 15, 2, 425-432.
 - Garau, M.C., Simal, S., Rossello, C., and Femenia, A., (2007). Effect of air-drying Temperature on Physico-chemical Properties of Dietary Fibre and Antioxidant Capacity of Orange (*Citrus aurantium* v. *Canoneta*) by-products. Food Chemistry, 104:3, 1014-1024.
 - Giri, S.K. and Prasad, S., (2007). Drying Kinetics and Rehydration Characteristics of Microwave-vacuum and Convective Hot-air Dried Mushrooms. Journal of Food Engineering, 78, 512-521.
 - Gazor, H.R. and Roustapour, O.R., (2015). Modelling of Drying Kinetic of Pretreated Sour Cherry. International Food Research Journal. 22, 476-481.
 - Krokida, M.K., Karathanos, V.T., Maroulis, Z.B., and Marinos-Kouris, D., (2003). Drying Kinetics of some Vegetables. Journal of Food Engineering, 59, 391-403.
 - Kulshreshtha, M., Singh, A., and Vipul, D., (2009). Effect of Drying Conditions on Mushroom Quality. Journal of Engineering Science and Technology, 4, 90-98.
 - Lopez, J., Uribe, E., Vega-Galvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Gonzalez, E., and Di Scala, K., (2010). Effect of Air Temperature on Drying Kinetics, Vitamin C, Antioxidant Activity, Total Phenolic Content, Non-enzymatic Browning and Firmness of Blueberries Variety O'Neil. Food Bioprocess Technology, 3, 772-777.
 - Ma, L., Chen H., Zhu, W., and Wang, Z., (2013). Effect of Different Drying Methods on Physicochemical Properties and Antioxidant Activities of Polysaccharides Extracted from Mushroom *Inonotus Obliquus*. Food Research International 50, 633-640.
 - Midilli, A., Kucuk, H., and Yapar, Z., (2002). A New Model for Single Layer Drying. Drying Technology, 20, 1503-1513.
 - Onbaşılı, D., Çelik, GY., Katırcıoğlu H., and Narin, I., (2015). Antimicrobial, Antioxidant Activities and Chemical Composition of *Lactarius deliciosus* (L.) Collected from Kastamonu Province of Turkey. Kastamonu University, Orman Fakültesi Dergisi, 15(1):98-103.
 - Pei, F., Shi, Y., Mariga, A.M., Yang, W-J., Tang, X-Z., Zhao, L-Y., An, X-X., and Hu, Q-H., (2014). Comparison of Freeze-drying and Freeze-drying Combined with Microwave Vacuum Drying Methods on Drying Kinetics and Rehydration Characteristics of Button Mushroom (*Agaricus bisporus*) Slices. Food Bioprocess Technol, 7, 1629-1639.



-
- Planinić, M., Velić, D., Tomas, S., Bilić, M., and Bucić, A., (2005). Modelling of Drying and Rehydration of Carrots Using Peleg's Model. *European Food Research and Technology*, 221,446-451.
 - Pogoń, K., Jaworska, G., Duda-Chodak, A., and Maciejaszek, I., (2013). Influence of the culinary treatment on the quality of *Lactarius deliciosus*. *Foods*, 2, 238-253.
 - Routray, W., Orsat, V., and Gariepy, Y., (2014). Effect of Different Drying Methods on the Microwave Extraction of Phenolic Components and Antioxidant Activity of Highbush Blueberry Leaves. *Drying Technology*, 32:16, 1888-1904.
 - Singleton, V.L. and Rossi, J.A., (1965). Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16,144-158.
 - Vega-Galvez, A., Ah-Hen, K., Chacana, M., Vergara, J., Martinez-Monzo, J., Garcia-Segovia, P., Lemus-Mondaca, R., and Di Scala, K., (2012). Effect of Temperature and Air Velocity on Drying Kinetics, Antioxidant Capacity, Total Phenolic Content, Colour, Texture and Microstructure of Apple (var. *Granny Smith*) slices. *Food Chemistry*, 132, 51-59.
 - Walde, S.G., Velu, V., Jyothirmayi, T., and Math, R.G., (2006). Effects of Pretreatments and Drying Methods on Dehydration of Mushroom. *Journal of Food Engineering* 74, 108-115.
 - Wojdyło, A., Figiel, A., Lech, K., Nowicka, P., and Oszmiański, J., (2014). Effect of Convective and Vacuum-microwave drying on the Bioactive Compounds, Color, and Antioxidant Capacity of Sour Cherries. *Food Bioprocess Technol.*, 7, 829-841.
 - Xanthopoulos, G., Lambrinos, Gr., and Manolopoulou H., (2007). Evaluation of thin-layer models for mushroom (*Agaricus bisporus*) drying. *Drying Technology*, 25:9, 1471-1481.



U. Teoman Aksoy

Fırat University, taksoy@firat.edu.tr, Elazığ-Turkey

Y. Tuğrul Şiranlı

Erzincan University, ytsiranli@erzincan.edu.tr, Erzincan-Turkey

Yüksel Esen

Ömer Keleşoğlu

Fırat University, Elazığ-Turkey

yesen@firat.edu.tr; okelesoglu@firat.edu.tr

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.1A71PB>

KENTSEL ULAŞIM ALANLARDAKİ KULLANICI MEMNUNİYETİ: ERZİNCAN ÖRNEĞİ

ÖZ

Kentler, insanların ortak yaşamlarını sürdürdükleri yapısal ortamın yani, ortak hayatın varlık nedeni ve yaşama alanıdır. Kentsel ulaşım alanları, cadde/sokak genişliklerinden bisiklet yoluna, bulvar ve kavşak çözümlerinden toplu taşıma durak yerlerine, yaya yollarından otopark alanlarına kadar geniş bir yelpazeyi içermektedir. Bu işlev alanları planlanırken kent imar planlarıyla eşgüdüm içinde yapılmalıdır. Bu çalışmada, Erzincan kent merkezindeki ulaşım alanları, fiziki planlama esaslarına göre incelenmiş, kent merkezindeki farklı mahallelerde yaşayanların ulaşım alanlardan memnuniyetleri bir anket uygulaması yapılarak değerlendirilmiştir. Uygulama çalışmasına göre katılımcılar; ulaşım imkanlarından yüksek oranda (ortalama 3.63) memnun ve ulaşım alanlarını yeterli (2.991) düzeyde bulmuşlardır. Çalışmada, kentlerin sağlıklı bir şekilde yerleşimine katkıda bulunmak ve kullanıcılarında ihtiyaçlarına cevap veren kentsel ulaşım alanları için öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Ulaşım, Kent Planlama, Kentsel Ulaşım Alanı, İmar Planı, Kullanıcı Memnuniyeti

USER SATISFACTION IN THE URBAN TRANSPORT AREAS: THE CASE OF ERZINCAN

ABSTARCT

Cities are structured environment in which people's communal life. That is why the presence of common life and a living area. Urban transport areas contains a wide range of that to bicycle route from street widths, to public transport stops from boulevard and intersection solutions, to parking areas from pedestrian roads. This function areas should be done in coordination with of urban development plans. In this study, transport areas in the Erzincan center was examined according to the principles of physical planning, transport areas satisfaction from living in different neighborhoods in the city center was evaluated by a survey. According to application study; There is a high level of satisfaction (average 3.63) and a sufficient (2.991) level on the transport areas. In this work for the city is presented proposals that for urban settlements are contributing to a healthy way and for urban transport areas that meet the needs of users.

Keywords: Transportation, Urban Planning, Urban Transport Area, Development Plan, User Satisfaction



1. GİRİŞ (INRODUCTION)

Fiziksel açıdan kent, işlevsel öğelerin çok ve kendi içinde çeşitli olduğu mekândır; konut, üretim, alışveriş, yönetim, sağlık, eğitim, ulaşım, savunma, eğlence, konaklama gibi işlevlerde yoğunluk ve nitelik farklılaşmaları kentlere özgü özelliklerdir. Büyük kentler pek çok farklı işlevi bir arada barındırırlar [1]. Yine fiziksel açıdan önemli bir diğer öğe kent yol dokusudur. Yollar; sokaklar, toplayıcı yollar, caddeler, bulvarlar şeklinde farklılaşarak, kentin diğer bileşenleriyle ilişkilerini kurmada ve kentin makro formunu biçimlendirmede yönlendirici özelliğe sahiptirler. Alanlar yollarla belirlenen, zaman içinde işlev ve biçim değiştirerek bazen alışveriş merkezi, bazen toplumsal bir buluşma yeri gibi bağımsız öğeler haline gelmiş, sınırlandırılmış arazi parçalarıdır. Mahalleler ve semtler, park ve bahçelerde kent fiziksel öğeleridir [2]. Kentleşme, kentsel alanların sürekli büyümesi ve yakın çevresindeki alanlara yayılması olarak fiziksel mekân da izler bırakmaktadır. Kentsel yayılmayı ulaştırma araçları teknolojisindeki gelişmeler, öncelikle otomobil sonrada raylı taşımacılıktaki gelişmeler hızlandırmıştır [3]. Ulaşım "malların, insanların, enerji ve haberlerin en ucuza ve en kısa sürede yer değiştirmesi" olarak tanımlanabilir [4].

Ulaşım, günlük hayatın ayrılmaz bir parçasıdır ve tarihin başlangıcından beri yerleşmelerde büyük önemi olmuştur. Ulaşımın meydana getirdiği her türlü hareketi "trafik" deyiimiyle adlandırıyoruz [5]. Yer değiştirme işlemi çeşitli "yol"lar üzerinden yapılır. Yollar mesafeleri ortadan kaldırır, ekonomik faaliyetleri kolaylaştırır. Herhangi bir arazi parçasına yol yapılması buraya olan yerleşme talebini artırır. Aynı şekilde her arazi kullanma kararı da ulaşım talebi doğurur. Ulaşım teknolojisinin ve araçlarının gelişmesi kentleşmeyi hızlandırıcı etki yapmış, nüfusu ulaşımın kolay olduğu bölgelere çekmiş, kentlerin aşırı büyümesini kolaylaştırmıştır. Nüfusun toplandığı yoğunluk bölgeleri oluşmuş, şehrsel gelişme bantları önerilmiştir [6]. Bunun yanında yeni ulaşım biçimleri artan trafiğin baskısıyla eski kentlerin tarihi dokularını zorlayarak kent formunu değiştirici etkileri olmuştur. Bugün artık planlama büyük ölçüde ulaşım aksları ile düşünülmektedir. Günümüzde ulaşım, planlamanın en önemli basamaklarından biri haline gelmiştir.

Yollar, kent içinde yayaların ve taşıtların hareket ettiği her türlü teknik alt yapıyı barındıran arazi şeritleridir. Kent içinde bulundukları yerlere göre;

- Yalnız yayalara açık,
- Gerektiğinde taşıt girebilen yaya yolları olmak,
- Bisiklet yolları bulundurmak,
- Sürekli park yapmaya elverişli olmak,
- Toplu taşıma araçlarının hareketlerine olanak verecek şeritler bulundurmak,
- Diğer teknik altyapı tesisleri bulundurmak gibi özellikler gösterirler.

Yol planlaması yapılırken; kişi ve eşyanın hareketliliğini maksimize etmek bunu sağlarken de seyahat süresini kısaltmak, yol kapasitesini artırmak, güvenilirliği artırmak, yayanın hareketini kolaylaştırmak, gürültü ve hava kirlenmesini minimize etmek, topografyaya uyum, maliyetleri düşürmek gibi konulara dikkat edilmelidir. Kent içi ulaşım, yaya ve taşıt ulaşımı olarak ikiye ayrılır. Yaya yolları mümkün olduğunca yoğun trafikle kesilmemeli, ana trafik yolları konut bölgelerinin içinden geçmemelidir. Trafiğin rahat işleyebilmesi açısından ana trafik yolları sık sık kavşaklarla kesilmemeli, yollar birbirine bağlanırken büyükten küçüğe kademeli



olarak bağlanmalıdır. Yollar, imar mevzuatına göre 10m. den dar olmamalı, çıkmaz sokaklar düzenlenmemeli, her parselin yola en az bir cephesi olmalıdır. Kavşaklar, kentiçi ve kent dışı yollarda araç ve yaya trafiğinin çakıştığı bölgelerde yapılan yapılardır. Kavşaklar yaya-taşıt ilişkisinin olduğu bu noktalarda trafik akımının; sürekliliğin kesilmesi, emniyetin azalması, hızın azalması, yakıt maliyetinin artması, kapasitenin azalması gibi olumsuzlukların giderilmesi amacıyla yolun bir bölümü olarak görev yapmaktadır [7]. Kavşaklar kendilerini oluşturan yolların kesişme şekillerine, trafik yön ve hacimlerine göre düzenlenirler [8]. Otoparklar yola göre konumlanma ve zemini kullanma biçimine göre yol üstü ve yol dışı parklar, çevre parkı ve gündüz garajları olarak sınıflandırılabilir [4].

Günümüzde kent içi yolların büyük bir kısmı park alanı olarak kullanılmaktadır. Ancak bu, yolların kullanım kapasitesini düşürmekte, trafik akışını zorlaştırmaktadır. Bu yüzden kentte uygun yer ve büyüklüklerde otopark alanları ayrılması gerekmektedir. Yapılan araştırmalar, taşıt trafiğinin yoğun olduğu yollarda (yaklaşık 1900 taşıt/saat), yolun her iki yakasında sosyal ilişkilerin son derece zayıf olduğunu, taşıt yoğunluğu azaldıkça ilişkilerin önemli ölçüde arttığını göstermektedir. Kent merkezleri gerek yayanın gerekse taşıtın çok yoğun bulunduğu alanlardır. Özellikle trafik karmaşası kent merkezine alışverişe gelenlerde azalmaya neden olunca merkezlerde yayalaştırma çalışmalarına gidilmiştir [9]. Yayalar ile taşıtlar birbirini engelleyici özelliktedir. Yayanın emniyeti ve rahatlığı için yaya ve taşıtın hareket alanları ayrılmış kaldırımlar ve/veya yaya yolları oluşturulmuştur.

Yaya yollarının düzenlenmesini etkileyen başlıca etmenler; teknik, iklimsel ve fiziksel etmenlerdir. Ayrıca, duyuşal, psikolojik etmenler de çevre düzenlemesinde önemlidir. Teknik etmenler yaya yolunun ölçülendirilmesinde, iklimsel etmenler tasarlanmasında (yönlenme, gölge ve örtü elemanları, rüzgâr perdeleri, vb. düzenlemelerde), fiziksel etmenler (doğal ve yapay çevre koşulları) ise yaya yolunun biçimlendirilmesinde etkilidir. İlke olarak kent içi yaya yolları/kaldırımlarında en az iki kişi yan yana yürüyebilmelidir. Bu nedenle genişliği en az 135-155cm olmalıdır. Ancak bu ölçü yaya mekânı özelliğine göre değişir. Örneğin, alışveriş merkezlerinde elinde yük taşıyan bir yayanın yolda kaplayacağı alan artacağından yaya yolu genişliği de artacaktır. Yapıların giriş aldığı yaya yolları 7m' den dar olamaz. Uzakdoğu ülkeleri bisikleti hemen herkesin kullanabileceği yaygınlığa getirmiş durumdadır. Bisiklet için özel yolların ayrılması görülen uygulamalardandır. Sağladığı hız ve uzak mesafelere erişme bisikletin kent içi ulaşım aracı olarak kullanılmasını yaygınlaştırmaktadır.

1990'lı yıllarda ev-işyeri arası erişim için olduğu kadar alışveriş ve rekreasyon amaçlı kent içi yolculuklarda bisikletin kullanımının arttığı gözlenmektedir. Almanya'da kentlerin günlük ulaşımında bisiklet kullanımı yüksek bir oran oluşturmaktadır. Almanya'da Nurnberg kentinin kuzeyinde kalan ve nüfusu 103 bin olan Erlangen'de bisiklet yollarının uzunluğu 175km'dir. Siemens fabrikaları ve 20 bin nüfuslu bir üniversite kampusunun bulunduğu kentte yolculukların %25'i bisiklet ile yapılmaktadır [10]. Son yıllarda ülkemiz kentlerinde, bisikletin rekreasyon, spor ve az da olsa ulaşım amaçlı kullanıldığı gözlenmektedir. Az eğimli yerleşmelerin bisiklet kullanımına uygun olduğu görüşü yaygındır. Oysa uygun geçitler düzenlenerek ve uygun altyapıların oluşturulmasıyla bisikletin her kentte kullanılması sağlanabilir. Ancak bisiklet yollarının bir sistem içinde ele alındığı ve düzenlendiği örnekler henüz ülkemizde yoktur.



Diğer ulaşım araçlarının yükünü azalttığı gibi ülke ekonomisi açısından önemli enerji tasarrufu sağlamaktadır. Bisiklet için özel bir şerit ayırmak kullanım emniyeti açısından önemlidir.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışmada kentsel donatı alanlarından ulaşım alanlarının planlanmasındaki kullanıcı memnuniyeti farklı değişkenlerle bir arada ele alınmış ve kullanıcı memnuniyeti uygulanan bir anket ile değerlendirilmiştir.

3. ÇALIŞMANIN YÖNTEMİ (RESEARCH METHOD)

3.1. Temel Yaklaşım (Main Approach)

Bu çalışmanın amacı; mevcut kentsel ulaşım alanlarının durumu ve kullanımı hakkında, kullanıcıların beklentilerini belirlemek ve bu beklentilere karşı belli bir standart oluşturmanın önemini vurgulamaktır. Bu amaca temel teşkil etmek üzere bir anket çalışması uygulanmıştır.

3.2. Araştırma Tasarımı (Research Desing)

Bu çalışma için Erzincan'ın yakın zamanda imara açılan ve halen en fazla konut üretiminin gerçekleştiği bölgesi olan Yavuz Selim ve Ergenekon Mahalleleri ile kentin büyük bir nüfus yoğunluğunu barındıran, farklı demografik özelliklere sahip İnönü, Aslanlı, İzzet Paşa ve Taksim mahalleleri seçilmiştir. Anket sorularında, insanların yaşadıkları kentsel çevreyle ilgili bilgileri almanın yanı sıra beklentileri ve eksiklik hissettikleri hususların belirlenmesine yönelik olmasına dikkat edilmiş ve toplam 300 anket uygulanmıştır [11].

3.3. Verilerin Değerlendirilmesi (Evaluation of Data)

Çalışmada elde edilen bulgular değerlendirilirken, istatistiksel analizler için SPSS for Windows 19.0 programı kullanılmıştır. Çalışma verileri değerlendirilirken tanımlayıcı istatistiksel metotlar (Frekans, Yüzde, Ortalama, Standart sapma) kullanılmıştır [7]. Araştırmada kullanılan Likert Ölçeği, kullanıcı memnuniyetini belirlemede tercih edilmiştir. Anketi yanıtlayan kişilere verilen önermelerle ilgili görüşlerini, çok olumludan çok olumsuzu kadar sıralanan seçeneklerden belirtmeleri istenmiştir. Buna göre; (5) kesinlikle katılıyorum, (4) katılıyorum, (3) kararsızım, (2) katılmıyorum, (1) kesinlikle katılmıyorum şeklinde bir ölçek kullanılmıştır.

4. BULGULAR (FINDINGS)

4.1. Örneklem Grubun Bilgileri (Information of Sample Group)

Araştırma kapsamına alınan örneklem grubunun oturduğu mahallere göre dağılımı ikamet ettikleri görülmektedir.

Tablo 1'de incelenmiştir. Araştırmaya katılan mahalle sakinlerinin 51'i (%17.0) Yavuz Selim Mahallesi, 50'si (%16.7) Ergenekon Mahallesi, 50'si (%16.7) İnönü Mahallesi, 49'u (%16.3) Aslanlı Mahallesi, 50'si

(%16.7) İzzet Paşa Mahallesi, 50'si (%16.7) Taksim Mahallesi'nde ikamet ettikleri görülmektedir.

Tablo 1. Örneklem grubunun mahallere göre dağılımı
(Table 1.The breakdown of residence neighborhood of the sample group)

Açıklama	Frekans(f)	Yüzde (%)
Yavuz Selim Mahallesi	51	17.0
Ergenekon Mahallesi	50	16.7
İnönü Mahallesi	50	16.7
Aslanlı Mahallesi	49	16.3
İzzet Paşa Mahallesi	50	16.7
Taksim Mahallesi	50	16.7
Toplam	300	100.0

Erzincan'da belediye sınırları içinde 25 adet mahalle bulunmaktadır. Kent merkezinin nüfusu 2010 yılında 102.173 kişidir. Seçilen mahallelerin nüfusu toplam 31.460 kişidir ki bu sayı kent nüfusunun yaklaşık üçte biri kadardır. Seçilen bu altı mahalle hem nüfus bakımından hem de farklı demografik özelliklerinden dolayı yaptığımız anket çalışmasına iyi bir örneklem grup teşkil edeceği düşünülmüştür [14]. Örneklem grubunun eğitim durumlarına göre dağılımı Tablo 2'de incelenmiştir. Buna göre araştırmaya katılan mahalle sakinlerinin 25'inin (%8.6) ilkökul, 60'ının (%20.7) ortaokul, 155'inin (%53.4) lise, 50'sinin (%17.2) üniversite mezunu olduğu görülmektedir.

Tablo 2. Örneklem grubunun eğitim durumlarına göre dağılımı
(Table 2.Distribution of the sample by Education Group)

Açıklama	Frekans (f)	Yüzde (%)
İlkökul	25	8.6
Ortaokul	60	20.7
Lise	155	53.4
Üniversite	50	17.2
Toplam	290	100.0

Anketin uygulandığı örneklem grubunun eğitimli ve toplamda %70'nin lise ve üniversite mezunu olması kentteki eğitim seviyesi ve eğitim alanlarının yeterliliğini göstermektedir. Bu da, anket sorularına verilen cevapların anlamlılığı ve güvenilirliği açısından önemlidir [14].

4.2. Örneklem Grubun Kentsel Ulaşım Alanları Memnuniyeti (Sampling Group Urban Transportation Areas Satisfaction)

Anketimize katılan tüm örneklem grubun mahalle ayrımı gözetmeden kentsel ulaşım alanlarıyla ilgili memnuniyet önermeleri Tablo 3'de sunulmuştur. Araştırmaya katılan örneklem grubun fiziki memnuniyet önermelerden "Kentinizde ve mahallenizde ki cadde-sokak genişlikleri yeterlidir." sorusuna verdiği cevapların dağılımı Tablo 3.'de incelenmiştir. Buna göre araştırmaya katılan örneklem grubun 75'i (%25.4) kesinlikle katılıyorum, 72'si (%24.4) katılıyorum, 39'u

(%13.2) kararsızım, 58'i (%19.7) az katılıyorum, 51'i (%17.3) hiç katılmıyorum cevabını verdiği görülmektedir. Erzincan kent merkezi I. derece deprem bölgesi olduğu için cadde ve sokak genişlikleri yaşanacak bir deprem felaketi anında ulaşımın sağlanması için çok önemlidir. Örneklem grup verdiği cevaplara göre cadde ve sokak genişliklerinin yeterli olduğunu düşünmektedir.

Tablo 3. Örneklem grubun kentsel ulaşım alanları memnuniyet önermelerinin dağılımları
(Table 3. Distribution of urban transport areas satisfaction suggestions of the sample group)

	Hiç katılmıyorum		Az katılıyorum		Kararsızım		Katılıyorum		Kesinlikle katılıyorum		Toplam
	f	%	f	%	f	%	f	%	f	%	
Kentinizde Ve Mahallenizde Ki Cadde-Sokak Genişlikleri Yeterlidir.	51	17	58	20	39	13	72	24	75	25	295
Kentinizdeki Bulvar Çözümleri Yeterlidir.	38	13	69	23	45	15	83	28	60	20	295
Kentinizdeki Kavşak Çözümleri Yeterlidir.	28	9	70	24	50	17	89	30	60	20	297
Kentinizdeki Toplu Taşıma Araçları İçin Durak Yerleri Yeterlidir.	66	22	87	29	28	9	79	26	39	13	299
Kent Merkezindeki Ticaret Alanlarında Kaldırım Genişlikleri Yeterlidir.	54	18	97	33	38	13	57	19	51	17	297
Kent Merkezindeki Ticaret Alanlarının Çevresindeki Otopark Alanları Yeterlidir.	27	9	33	11	54	18	72	24	113	38	299
Konutunuzdan Otopark Alanına Erişebilirlik Kolaydır.	41	14	55	19	67	23	60	20	72	24	295

Araştırmaya katılan örneklem grubun fiziki memnuniyet önermelerden "Kentinizdeki bulvar çözümleri yeterlidir." sorusuna araştırmaya katılan örneklem grubun 60'ı (%20.3) kesinlikle katılıyorum, 83'ü (%28.1) katılıyorum, 45'i (%15.3) kararsızım, 69'u (%23.4) az katılıyorum, 38'i (%12.9) hiç katılmıyorum cevabını verdiği görülmektedir. Örneklem grubun verdiği cevaplara göre kentteki bulvar çözümlerinin yeterli olduğu düşünülmektedir. Özellikle 1992 depremi

sonrası yapılan planlama ve bulvar çözümleri ile kentin ana ulaşım aksları oluşturulmaya çalışılmıştır. Araştırmaya katılan örneklem grubun fiziki memnuniyet önermelerden "Kentinizdeki kavşak çözümleri yeterlidir." sorusuna araştırmaya katılan örneklem grubun 60'ı (%20.2) kesinlikle katılıyorum, 89'u (%30.0) katılıyorum, 50'si (%16.8) kararsızım, 70'i (%23.6) az katılıyorum, 28'i (%9.4) hiç katılmıyorum cevabını verdiği görülmektedir. Genel olarak kentteki kavşak çözümlerinin yeterli olduğu düşünülmektedir. Fakat özellikle iş çıkış saatlerindeki trafik yoğunluğu kavşak noktalarını yetersiz hale getirmektedir. Kavşak noktalarındaki trafik ışıklandırması akıcılığın sağlanması için yeniden yapılandırılmalıdır. Ayrıca güney çevreyolunda bulunan kavşak noktaları ise köprülülük kavşak çözümleri geliştirilerek trafik kazalarını önlemek açısından daha sağlıklı hale getirilmelidir. Araştırmaya katılan örneklem grubun fiziki memnuniyet önermelerden "Kentinizdeki toplu taşıma araçları için durak yerleri yeterlidir." sorusuna araştırmaya katılan örneklem grubun 39'u (%13.0) kesinlikle katılıyorum, 79'u (%26.4) katılıyorum, 28'i (%9.4) kararsızım, 87'si (%29.1) az katılıyorum, 66'sı (%22.1) hiç katılmıyorum cevabını verdiği görülmektedir. Buna göre kentteki toplu taşıma durak yerlerinin tam olarak yeterli olduğu söylenemez. Fakat toplu taşıma araçları yolcularını araca alırken durak yeri olup olmadığını gözetmemektedir. Bu durum bazı zamanlarda trafiği zor duruma sokmaktadır. Durak yerlerinin özellikle mahalle aralarında sayı olarak daha fazla ve donanımlı olması hem yayaları rahatlatacak hem de trafiğin aksamasının önüne geçecektir.

Araştırmaya katılan örneklem grubun fiziki memnuniyet önermelerden "Kent merkezindeki ticaret alanlarında kaldırım genişlikleri yeterlidir." sorusuna araştırmaya katılan örneklem grubun 51'i (%17.2) kesinlikle katılıyorum, 57'si (%19.2) katılıyorum, 38'i (%12.8) kararsızım, 97'si (%32.7) az katılıyorum, 54'ü (%18.2) hiç katılmıyorum cevabını verdiği görülmektedir. Buna göre kent merkezindeki ticaret alanlarındaki kaldırım genişliklerinin tam anlamıyla yeterli olduğu söylenemez. Bu düşüncenin en büyük nedeni kaldırım genişliklerinin yetersiz olması değildir. Kent merkezindeki kaldırımların önemli bir kısmı esnafların ürünlerinin işgali altındadır. Bu durum insanların yaya trafiğinde güçlük çekmesine neden olmaktadır. Erzincan Belediyesi yapacağı denetleme ve uygulamalarla kaldırım işgalinin önüne geçmelidir ve kaldırımlar yayaların kullanımına bırakılmalıdır.

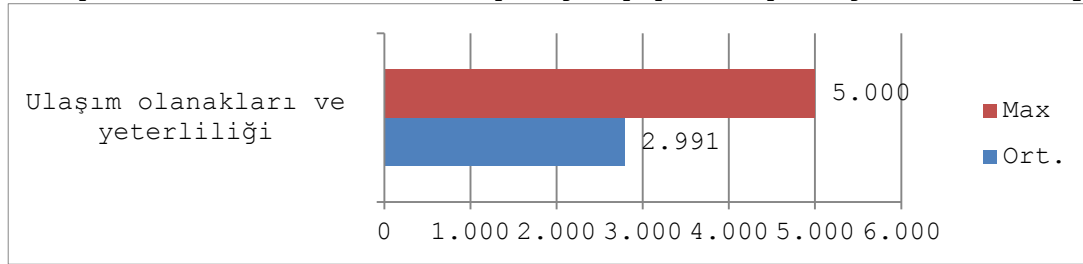
Araştırmaya katılan örneklem grubun fiziki memnuniyet önermelerden "Kent merkezindeki ticaret alanlarının çevresindeki otopark alanları yeterlidir." sorusuna araştırmaya katılan örneklem grubun 113'ü (%37.8) kesinlikle katılıyorum, 72'si (%24.1) katılıyorum, 54'ü (%18.1) kararsızım, 33'ü (%11.0) az katılıyorum, 27'si (%9.0) hiç katılmıyorum cevabını verdiği görülmektedir. Örneklem grubun "ticaret alanlarının çevresindeki otopark alanı yeterlidir" önermesine verdikleri cevaplara göre genel olarak yeterli olduğu düşünülmektedir. Fakat kentin ana caddeleri üzerinde yapılan araç parkları iş çıkış saatlerinde trafik akışını çok olumsuz etkilemektedir. Hafta sonları ise bu durum, öğlen ve akşam saatlerinde yaşanmaktadır. Erzincan kent merkezi için katlı otopark çözümleri geliştirilmeli, caddelerde yapılan araç parkları yasaklanmalı ve trafik akış sorunu çözüme kavuşturulmalıdır.

Araştırmaya katılan örneklem grubun fiziki memnuniyet önermelerden "Konutunuzdan otopark alanına erişebilirlik kolaydır." sorusuna araştırmaya katılan örneklem grubun 72'si (%24.4) kesinlikle katılıyorum, 60'ı (%20.3) katılıyorum, 67'si (%22.7) kararsızım, 55'i (%18.6) az katılıyorum, 41'i (%13.9) hiç katılmıyorum cevabını verdiği

görülmektedir. Buna göre kentteki konut alanlarının bulunduğu yerlerde otopark erişebilirliğinin büyük oranda kolaylıkla sağlandığı düşünülmektedir. Şekil 1'de, araştırmaya katılan örneklem grubun kentsel ulaşım alanlarındaki memnuniyet düzeylerinin ortalaması Likert Ölçeğine göre incelendiğinde, ortalama değer 2.991 ve iyi olduğu söylenebilir.

Şekil 1. Araştırmaya katılan örneklem grubun ulaşım alanları memnuniyet düzeylerinin ortalamaları

(Figure 1. The average of the satisfaction levels of the transportation areas of the sample group participating in the survey)



Ayrıca, araştırmaya katılanlar fiziki memnuniyet önermelerinden "Mahallenizdeki ulaşım imkanları yeterlidir." Sorusuna ortalama 3.63 puan vermişlerdir (Tablo 4). Likert ölçeğine göre bu, **yüksek** (3.4-4.19) bir değerlendirmedir.

Tablo 4. Örneklem grubun "mahallenizdeki ulaşım imkanları yeterlidir" Önermesi memnuniyet dağılımı

(Table 4. Distribution of "Your local transportation facilities are sufficient" for satisfaction suggestions of the sample group)

	Mahallenizdeki Ulaşım İmkanları Yeterlidir
	Ortalama
Yavuz Selim Mahallesi	3.8
Ergenekon Mahallesi	3.388
İnönü Mahallesi	3.673
Aslanlı Mahallesi	3.894 (mak.)
İzzet Paşa Mahallesi	3.286 (min.)
Taksim Mahallesi	3.74
Genel Ortalama	3.63

4.3. Sadece Yayaalara Açık Cadde/Sokak (Street is Only for Pedestrian)

Örneklem grubun ulaşım alanlarından "Kentinizde sadece yayaalara açık cadde veya sokak var mı?" sorusuna verdiği cevapların dağılımı Tablo 4' de incelenmiştir. Buna göre araştırmaya katılan mahalle sakinlerinin %20'si Evet, %66'sı Hayır, %14'ü kısmendir.

Tablo 4. Örneklem grubun "Kentinizde sadece yayaalara açık cadde/sokak var mı?" sorusuna verdiği cevaplar

(Table 4. The answers given by the sample group to the question "Is there street is only for pedestrian?")

	Frekans	Yüzde (%)
Evet	60	20.1
Hayır	198	66.2

Kısmen	41	13.7
Toplam	299	100.0

Araştırma bulguları kentte sadece yayalara ait bir yol olmadığını belirtilmiştir. Yayalaştırma çalışması günümüzde artık tüm kent planlamalarında yapılmaktadır.

4.4. Bisiklet Yolu (Bicycle Route)

Örneklem grubun "Kentinizde bisiklet yolu var mı?" sorusuna verdiği cevapların dağılımı Tablo 5'de incelenmiştir. Buna göre araştırmaya katılanların %9'u Evet, %82'si Hayır, %9'u kısmendir.

Tablo 5. Örneklem Grubun "Kentinizde bisiklet yolu var mı?" sorusuna verdiği cevaplar

(Table 5. The answers given by the sample group to the Question "Do you have a bicycle route in your city?")

	Frekans	Yüzde (%)
Evet	27	9.0
Hayır	246	82.0
Kısmen	27	9.0
Toplam	300	100.0

Örneklem grubun verdiği cevaplara göre kentte bisiklet yolu bulunmadığı anlaşılmaktadır. Kent merkezinin az eğimli bir yerleşim alanına sahip olmasına rağmen bisiklet yolu olmaması kent planlamasında bu yönde eksikliğin olduğunu göstermektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

İnsanlar binalar da yaşar; binalar sokakları oluşturur; sokaklar, mahalleleri; mahalleler, semtleri; semtler şehirleri oluşturur ve şehirler medeniyetlerin göstergesi olur. Sokaklar, meydanlar, parklar ve diğer alanlar uygun olarak ölçeklendirilmiş olmalıdır. Toplumda yaşlı ve engelli insanları da düşünerek çekici, güvenli, karmaşık olmayan ve etkili olarak işleyen yollar ve kamu alanları geliştirilmelidir. Değişen sosyal, teknolojik ve ekonomik koşullara cevap verebilen, birbiriyle ilişkili ve içinde hareket kolaylığı olan alanlar yaratarak, trafikten önce insanları düşünen arazi kullanımı ve ulaşım kolaylığıyla getiren planlamalar geliştirilmelidir [11]. Araştırma kapsamında Erzincan kent merkezindeki 6 mahalle değerlendirilmiştir. Değerlendirme de önce, örneklem grup bilgileri, kentsel ulaşım alanlardaki memnuniyet düzeyleri değerlendirilmiş ve Erzincan'daki kentsel ulaşım alanlarının planlanmasına dair bazı öneriler sunulmuştur. Sonra sadece yayalara açık yollar ve bisiklet yolu gibi özel ulaşımın bilgileri ortaya konulmuştur.

Şehirlerin afetlere dirençli bir anlayışla planlanabilmesi, afet gerçekleşmeden önce şehrin sistemsel işleyişine ve mekânsal kurgusuna yönelik kararların alınması ile mümkün olabilmektedir. Kentsel risklere yönelik bu kararların ve önlemlerin afetler öncesinde alınmaması durumunda, yerleşmeleri oluşturan yapılar, yeşil alanlar, okullar, hastaneler, karakollar, camiler gibi ortak kullanım alanları, sanayi ve diğer çalışma alanları, doğalgaz hatları, yollar ve benzeri yapıların tümü üzerindeki riskler ve afetlere karşı zarar görülebilirlik artmaktadır. Türkiye de marka şehir olma iddiasını taşıyan Erzincan'ın önündeki en önemli engel, deprem afetiyle baş edebilme yeteneğinin ve kapasitesinin geliştirilmesi olarak öne çıkmaktadır. Bu



zorlu engel, başta karar vericiler olmak üzere toplumun bütün kesimlerinin katılımı, bilgiyi ve deneyimleri paylaşarak yaygınlaştırmaları ve çok iyi ulaşım alanları planlanması sayesinde gerçekleşebilecektir. Bizde bu çalışmada kentte yaşayanların etraflarında nasıl bir ulaşım planlaması gördüklerini, kentsel ulaşım alanlarının eksik ve tam yönlerini belirleyerek öneriler sunduk. Erzincan'ın 1992 depreminden sonra şehirleşmesi büyük bir oranda tamamlanmıştır. Bu çalışmada yapılan anket sonuçlarına göre kentteki bulvar çözümlerinin yeterli olduğu görülmüş, deprem sonrası yapılan planlama ve bulvar çözümleri ile kentin ana ulaşım aksları oluşturulmaya çalışılmıştır. Şehir başlıca dört ana cadde üzerine ve bu caddelerin birleştiği Cumhuriyet Meydanı çevresine oturtulmuştur. Yapılan büyük iş merkezleri Halit Paşa, Ordu, Fevzi Paşa ve 13 Şubat caddeleri üzerinde kurulmuş, böylece ticarethanelerin de bu caddeler üzerinde yoğunlaşmasına sebep olmuştur. Erzincan kent merkezi I. derece deprem bölgesi olduğu için cadde ve sokak genişlikleri yaşanacak bir deprem felaketi anında ulaşımın sağlanması için çok önemlidir. Kent merkezini oluşturan caddelerin genişlikleri 8m dir ve 60cm'lik refüjlerle ayrılmıştır. Ana caddelerde bulunan kaldırımların genişlikleri ise 5m'dir [13]. Bu çalışmada uygulanan anket sonuçlarına göre, cadde ve sokak genişliklerinin yeterli olduğu düşünülmektedir. Bütün iş kolları bu caddeler de toplanmıştır ve insanlar mağaza, banka, işyeri, pastane, lokanta gibi hemen hemen bütün ihtiyaçlarını buralardan karşılayabilmektedir. Özellikle iş çıkış saatlerindeki trafik yoğunluğu kavşak noktalarını yetersiz hale getirmektedir. Kavşak noktalarındaki trafik ışıklandırması akıcılığın sağlanması için yeniden yapılandırılmalıdır.

Şehirler planlanırken mevcut yol aksları ve mevcut yerleşme önemli verilerdir. Genellikle şehir merkezlerin de bu veriler kullanılarak plan yapılır, ancak yeni oluşturulan yerleşim alanlarında planlama daha serbest ve simetriktir. Buralarda daha çok ızgara yol aksı tercih edilmektedir. Erzincan ülkemizdeki deprem bölgelerinin en başında yer almaktadır bu nedenle kent fiziki planlaması yapılırken ulaşılabilirliğin en yüksek seviyede olduğu ızgara kent formu uygulanmıştır. Yeni imara açılan alanlarda bu form hassasiyetle uygulanmalıdır. Ayrıca imar planlarında belirtilen kat sayısı, arsa kullanım alanı, yapılar arası mesafe, cephe hattı vb. imar planı şartlarına uyulmasına dikkat edilmelidir. Türkiye'nin birçok şehrinde olduğu gibi Erzincan'da da ciddi anlamda otopark sorunu yaşanmaktadır. Şehir merkezinde bulunan büyük iş hanlarının bodrum katlarındaki otoparkların çözüm getireceği sanılmışsa da bu otoparklar deprem riskinden dolayı tercih edilmemektedir. Şehir merkezi çok küçük olduğu için insanlar merkeze yürüyerek gitmeyi tercih etmektedir. Ancak aracıyla gitmek zorunda olanlar otopark sorununu, aracını merkez caddelere ve arka sokaklara park ederek çözmektedir bu da iş çıkış saatlerinde trafik akışını çok olumsuz etkilemektedir. Hafta sonları ise bu durum öğlen ve akşam saatlerinde yaşanmaktadır. Erzincan kent merkezi için katlı otopark çözümleri geliştirilmeli, caddelerde yapılan araç parkları yasaklanmalı ve trafik akış sorunu çözüme kavuşturulmalıdır. Özellikle Cumhuriyet Meydanı çevresinde oluşan bu trafik yoğunluğunun önlenmesi için ana caddeler üzerinde otoparka izin verilmemeli, meydana yakın eski Devlet Hastanesi boş arazisinde katlı otopark uygulaması yapılmalıdır.

Kent merkezinde otopark sorunu yaşanmasına rağmen bu çalışmada yapılan anket sonuçlarına göre kentteki konut alanlarının bulunduğu yerlerde otopark erişebilirliğinin büyük oranda kolaylıkla sağlandığı düşünülmektedir. Şehir merkezlerinde yaya ulaşımının kolaylaştırılması, bazı alanların motorlu taşıtlardan arındırılması



amacıyla merkezi bölgelerde yayalaştırma projeleri uygulanmaktadır. Bu şekilde insanlar merkezdeki trafik yoğunluğuyla karşılaşmadan işlerini halletmekte ve kendilerini daha güvende ve rahat hissetmektedirler. Türkiye’de yayalaştırma projeleri birçok şehrimizde uygulanmıştır. Ankara da Sakarya Caddesi, Eskişehir Porsuk Çayı etrafı, İstanbul İstiklal Caddesi, Taksim vs... Erzincan kent merkezinde de böyle bir alana ihtiyaç vardır. Yeni düzenlenen caddelerden olan doğu batı aksındaki Nerim TOMBUL Caddesi yayalaştırma için uygun bir yapıya sahiptir. Ayrıca kentin ana caddelerindeki kaldırım genişlikleri 5m gibi büyük bir değer olsa da kaldırımların önemli bir kısmı esnafın ürünlerinin işgali altındadır. Bu durum insanların yaya trafiğinde güçlük çekmesine neden olmaktadır. Erzincan belediyesi yapacağı denetleme ve uygulamalarla kaldırım işgalinin önüne geçilmelidir ve kaldırımlar yayaların kullanımına bırakılmalıdır. Bütün bunlar sağlandığı takdirde, Erzincan daha iyi bir kentsel yeşil forma kavuşacaktır. Belirtilen eksiklikler giderildiğinde kullanıcılar için daha iyi bir kent alanı ortaya çıkacaktır. Tarihin birçok döneminde deprem felaketi yüzünden yerle bir olan Erzincan kent merkezi artık Sağlıklı Kentleşme kistaslarına uygun olarak planlanmakta ve gelişmektedir. Daha güzel daha güçlü ve acıların yaşanmadığı bir Erzincan için tüm kurum ve kişilerin bir araya gelerek kentin planlanmasında aktif rol almaları gerekmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. <http://odur.let.rug.nl/> 11 Nisan 2010.
2. Aydemir, Ş., Aydemir, S.E., Beyazlı, D.Ş., Ökten, N., Öksüz, A.M., Sancar, C., Özyaba, M. ve Türk, Y.A., (200). Kentsel Alanların Planlanması ve Tasarımı, ss:1-500, İber Matbaacılık, Trabzon.
3. <http://www.chesapeake.towson.edu/landscape/urbansprawl/fomrs.asp> Forms of Sprawl 13 Nisan 2010.
4. Keskin, A., Atalık, G., Çetiner, A., Göçer, O., Özdeş, G. ve Suher, H., (1985). Ulaşım, Şehircilik, İTÜ, İstanbul.
5. Keskin, A., (1979). Ulaşım ve Şehirselleşme İlişkileri Üzerine Bir Araştırma, İTÜ, İstanbul.
6. Göçer, O., (1977). Ülke Planlama Çalışmaları İçinde Gelişme Aksları-Şehirselleşme Merkezleri İlkeleri ve Türkiye İçin Bir Model, İTÜ, İstanbul.
7. Tunç, A., (2003). Trafik Mühendisliği ve Uygulamaları, Asil Yayın Dağıtım, Ankara.
8. Günel, C., (1983). Kent ve Yol, Özgün Matbaacılık, Ankara.
9. Kuntay, O., (1994). Yaya Mekanı, Ayıntap Yayıncılık, Ankara.
10. Kılıçarslan, T., (1998). Bisiklet Şehirleri Türkiye İçin Bir Lüks mü? Kent Gündemi TMMOB Şehir Plancıları Odası Yayını, Ankara.
11. Şiranlı, Y.T., (2015). Kentsel Yerleşim Alanlarında Fiziki Planlama Memnuniyetinin Araştırılması: Erzincan Örneği. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü.
12. Büyükoztürk, Ş., (2002). Sosyal Bilimler İçin Veri Analizi El Kitabı, 2. Baskı, Ankara: Pegem Yayıncılık.
13. Erzincan İl Özel İdaresi, (2010). Stratejik Plan, (2010-2014), Erzincan.
14. Şiranlı, Y.T. ve Aksoy, U.T., (2016). Kentsel Yeşil Alanlardaki Kullanıcı Memnuniyeti: Erzincan Örneği. 1st.International Sciences Symposium. İstanbul, Bildiriler Kitabı, ss:143-152.





Yüksel Esen
U. Teoman Aksoy
Ömer Keleşoğlu

Fırat University, Elazığ-Turkey
yesen@firat.edu.tr; taksoy@firat.edu.tr; okelesoglu@firat.edu.tr

Y. Tuğrul Şiranlı
Erzincan University, ytsiranli@erzincan.edu.tr, Erzincan-Turkey

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.1A72PB>

LİMONİT AGREGASI İLE ÜRETİLEN BETONLARIN HVL VE TVL DEĞERLERİ

ÖZ

Radyasyon günümüzde birçok yararlı amaç için kullanılmaktadır. Radyasyonun yararlı yönü olduğu gibi, canlı organizmalara zarar verme özelliğinden dolayı, kullanımı sırasında bu zararlı yönü de dikkate alınmalıdır. Tecrübeler göstermiştir ki eğer, radyasyonun etki ve tehlikeleri iyi anlaşılır ve bu tehlikeleri minimuma indirgeyecek önlemler alınırsa radyasyon ile güvenli bir biçimde çalışmak mümkündür. Bu çalışmada TS EN 802 ye uygun dökülmüş normal beton ile agrega miktarları hacimce sırasıyla %20, %40, %60, %80, %100 oranında azaltılıp yerine aynı oranlarda Limonit madeni ilave edilerek elde edilen ağır beton karışımlarının radyasyon tutuculuğu HVL ve TVL cinsinden incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Radyasyon, Limonit, Beton, HVL, TVL

HVL AND TVL VALUES OF CONCRETES PRODUCED WITH LIMONITE AGGREGATE

ABSTRACT

Penetrating radiation serves many useful purposes, but it can also damage or destroy living organism, and these effect must be considered when radiation is used. Experience has shown that radiation can be used safely if its dangers are understood and work with radiation to planned to minimize these dangers and eliminate unnecessary exposure. For this purpose, with the normal concretes prepared according to TS EN 802, amounts of aggregates were reduced at the rates of 20%, 40%, 60%, 80% and 100% by volume respectively and heavy concrete mixes were prepared that were obtained by adding limonite at the same rates in their place and the radiation holdings of heavy concrete obtained in terms of HVL and TVL.

Keywords: Radiation, Limonite, Concrete, HVL, TVL

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Radyasyon, radyoaktif atom çekirdeğinin parçalanması ve bu arada kendisi yeni bir atom çekirdeğine dönüşürken çevresine alfa (α), beta (β) ve gama (γ) ışınları yaymasıdır. Alfa ışını 2 proton ve 2 nötrondan oluşan bir helyum çekirdeğidir, diğerlerine göre daha ağırdır ve pozitif yüklüdür. Beta ışını negatif yüklü elektronlardan oluşur ve alfa'ya göre daha hafiftir. Gama ışınları ise salt enerjiden oluşan elektromanyetik ışınlardır. Bu ışınlar dışında endüstride kullanılan X-ışınları da vardır. X-ışınları (röntgen ışınları), X-ışını tüplerinde elektriksel olarak üretilirler. Endüstride kullanılan gama ışınları ise Ir-192, Co-60 v.b. izotopların bozunması sonucunda elde edilirler [1]. Endüstriyel radyografik muayenede yüksek radyasyon



veren cihazlar kullanıldığından, yeterli radyasyondan korunma önlemleri alınmadığı takdirde, çalışan personelin ve/veya çevredeki insanların yüksek radyasyon alma tehlikesi her zaman vardır. Çalışma bölgelerinin radyoaktif kaynaktan ne kadar uzaklıkta olduğu radyoaktif kaynak cinsine, gama ışını kaynağı ise aktivitesine, X-ışını cihazı ise akım değeri ve kV değerine bağlıdır. Tabii ki bir de arada ışınlıyı zayıflatacak engel (zırhlama) olup olmamasına bağlıdır. Çalışma bölgelerinin ışınlı kaynağından uzaklığı doz hızı ölçer cihazıyla ölçülerek saptanabildiği gibi, doz hızı sabiti formülü ile de teorik olarak saptanabilir [1].

Beton, ucuzluğu ve tatmin edici mekaniksel özelliği sayesinde reaktör koruması için en yaygın kullanılan malzemedir. Ağır beton yoğunluğu agreganın özgül ağırlığına ve betonun diğer bileşenlerinin özelliklerine dayanır. Özgül ağırlıkları 2600kg/m^3 'den yüksek betonlara ağır beton denir ve TS EN 206-1'e göre ağırlıkça 3000kg/m^3 'den yüksek agregalara da ağır agrega denir [2]. Yüksek yoğunluklu betonda kullanılan agregalarda hematit, manyetit, limonit, barit, siderit gibi bazı doğal mineraller ve demir cevheri bulunur. Ağır beton, günümüzde nükleer santrallerde, radyo terapi odalarında ve radyoaktif atıkların taşınmasında kalkan olarak kullanılmaktadır. Bu amaçla, beton yüksek mukavemet ve yoğunluğa sahip olmalıdır. Koruyucu amaçlar için ağır ve yüksek dayanımlı beton kullanılabilir. Araştırmacılar bu betonların radyasyon korunmak için davranışlarını gözlemek adına farklı mineraller ve ağır agregalar kullandılar. Farklı minerallerin ağır agrega ile hazırlanan betonların yararlı radyasyon emiciler olduğu görülmüştür [2]. Mevcut araştırmanın temel amacı, X-ışınlarına karşı koruyucu etkinliği artırabilen farklı agrega türlerini kullanarak "yüksek performanslı ve yüksek yoğunluklu beton" üretmek için bazı beton bileşenlerinin uygunluğunu araştırmaktır.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Radyasyon günümüzde birçok yararlı amaç için kullanılmaktadır. Radyasyonun yararlı yönü olduğu gibi, canlı organizmalara zarar verme özelliğinden dolayı, kullanımı sırasında bu zararlı yönü de dikkate alınmalıdır. Tecrübeler göstermiştir ki eğer, radyasyonun etki ve tehlikeleri iyi anlaşılır ve bu tehlikeleri minimuma indirgeyecek önlemler alınırsa radyasyon ile güvenli bir biçimde çalışmak mümkündür. Bu çalışmada, limonit betonunun radyasyona karşı koruyucu özellikleri araştırılmıştır. Sonuçlardan, betonda limonitin bir agrega olarak kullanılması durumunda ihtiyaç duyulan kalınlığın azalması ile birlikte radyasyondan korunma kapasitesinin arttığı açık bir şekilde görülmektedir.

3. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

Ağır beton üretiminde kullanılacak olan Limonit madeni Malatya ili Hekimhan bölgesinden kayaç olarak temin edilmiş ve kırılarak gronülometrik hale getirilmiştir. Kimyasal bileşenleri tespit edilmiş, Tablo 1'de bu madenlere ait kimyasal analiz sonuçları verilmiştir. Normal agrega olarak Elazığ Palu yöresine ait dere yatağı agregası kullanılmıştır. Maksimum dane çapı (D_{max}) 16mm seçilmiştir. Karışım oranları hesaplanmış ve hazırlanan deneme dökümleri üzerinde yapılan Slump test deneyi neticesinde çökme miktarı $5\pm 1\text{cm}$ olacak şekilde, su/çimento (W/C) oranı 0.40 olarak belirlenmiştir. Değişik oranlarda $30\text{cm}\times 30\text{cm}\times 2\text{cm}$ ebadında plak şeklindeki numuneler dökülmüş, boşluk kalmayacak ve ağır agregaların dibe çökmesine imkân tanımayacak oranda vibrasyona tabi tutulmuştur. Kalıplardan sökülen beton numuneler, TS 802 ye göre kür edilmiştir [3]. Her deney için üç numune dökülmüş ortalama değerler alınmıştır.

Tablo 1. Limonit madeninin kimyasal analiz sonuçları [54]
(Table 1. Chemical analysis results of limonite mine)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Kızdırma Kaybı	Tespit Edilemeyen Madde
Limonit	3.31	3.85	60.65	3.39	5.85	15.90	7.04

Farklı oranlarda ve kalınlıklarda (2, 4, 6, 8cm) hazırlanan numuneler radyasyon geçirgenliği deneyi için Çekmece Nükleer tesislerine ölçüm için gönderilmiştir. Plaklar; 118 Kev ışınımına maruz bırakılmış ve sonuçları irdelenmiştir. Bu çalışmada kontrol numunesi, K ve karışımda bulunma yüzdeleri harfin yanında olacak şekilde barit ile üretilen numuneler (B) harfi ile temsil edilmiştir [4].

4. TARTIRŞMA (DISCUSSION)

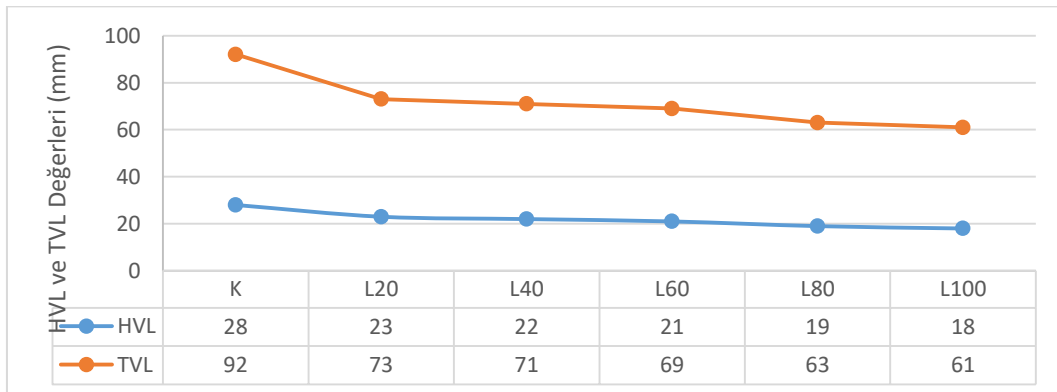
Bir materyal tarafından sağlanan radyolojik korumanın dolaylı bir ölçüsü HVL ile verilir. Bu parametre, bir duvara uygulanan radyasyonun %50'lik zayıflatılması için gereken minimum kalınlığı temsil eder. Bu kalınlık, lineer zayıflama katsayısı (μ) ile ters orantılıdır ve Denk. (1) ile hesaplanır. HVL, radyolojik koruma duvarlarının tasarımında referans olarak kullanılır. Bu anlamda, daha küçük HVL değerleri olan malzemeler ince duvarlara neden olmaktadır [5]:

$$HVL = X_{1/2} = \ln(2) / \mu = 0.693 / \mu \quad (1)$$

Onda Bir Değer Kalınlığı (TVL); geçen ışınım şiddetini malzemeye gelen ışınım şiddetinin onda birine düşürebilmek için gereken malzeme kalınlığıdır ve Denk. (2) ile hesaplanır[6]:

$$TVL = X_{1/10} = \ln(10) / \mu = 2.3025 / \mu \quad (2)$$

Şekil 1, 117 keV X ışınımına maruz her bir karışım için HVL ve TVL değeri arasındaki değişimi göstermektedir. HVL ve TVL değerleri ne kadar düşükse, kalınlık gereksinimleri açısından radyasyona karşı koruyucu malzemeler o kadar iyi olur. Kontrol numunesinde HVL değeri 28mm iken, L100 numunesinde 18mm bulundu. Sonuçlar ayrıca HVL değerlerinin betondaki limonit miktarının artışı ile ters orantılı olduğunu ve 10mm kadar daha ince malzeme kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca TVL değeri için kontrol numunesinde gereken kalınlık 92mm iken limonit katkısıyla bu değer azalmakta ve L100 numunesinde bu değer 61mm'ye kadar düşmektedir. Yaklaşık 30mm'lik bir azalma olmaktadır.



Şekil 1. 117keV X ışınımına maruz her bir karışım için HVL ve TVL değeri

(Figure 1. For each mixture exposed to 117keV X-rays, HVL and TVL value)



5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, limonit betonunun radyasyona karşı koruyucu özellikleri araştırılmıştır. Sonuçlardan, betonda limonitin bir agrega olarak kullanılması durumunda ihtiyaç duyulan kalınlığın azalması ile birlikte radyasyondan korunma kapasitesinin arttığı açık bir şekilde görülmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Ertuğrul Yılmaz, Radyasyondan Korunma, HDM Kalite Kontrol Teknolojileri Hizmetleri Ltd., www.hdm.com.tr, 1-12
2. Ahmed, S.O., (2015). Development of High-performance Heavy Density Concrete Using Different Aggregates for Gamma-ray Shielding, HBRC Journal 11, 328-338,
3. TS EN 802., (2009). Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları, Türk Standardları Enstitüsü.
4. Dogan, Z.M., (2012). Investigation of Usability of Limonite and Siderite for Heavy-weight Concrete Production. Firat University, M.Sc. Thesis, (In Turkish).
5. González-Ortega, M.A., Segura, I., Cavalaro, S.H.P., Toralles-Carbonari, B., Aguado, A., and Andrello, A.C., (2014). Radiological Protection and Mechanical Properties of Concretes with EAF Steel Slags, Construction and Building Materials, 51, 432-438.
6. Akkurt, İ. and Akyıldırım., H., (2012). Radiation Transmission of Concrete Including Pumice for 662, 1173 and 1332 keV Gamma Rays, Nuclear Engineering and Design, 252, 163-166.



Ömer Keleşoğlu

U. Teoman Aksoy

Yüksel Esen

Fırat University, Elazığ-Turkey

okelesoglu@firat.edu.tr; taksoy@firat.edu.tr; yesen@firat.edu.tr

Y. Tuğrul Şiranlı

Erzincan University, ytsiranli@erzincan.edu.tr, Erzincan-Turkey

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.1A73PB>

2007 DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE MEVCUT BETONARME BİR YAPININ PERFORMANSININ BELİRLENMESİ

ÖZ

Bu çalışmada deprem hesabı 1975 deprem yönetmeliğine göre yapılmış 5 katlı çerçeve sistemli betonarme bir bina ele alınmıştır. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik 2007 Bölüm 7'ye göre konut türü yapılar için ön görülen "Can Güvenliği" performans seviyesi araştırılmıştır. Bina taşıyıcı elemanlarına ait eğilme moment kapasiteleri, mevcut malzeme dayanımları ve donatı miktarlarına göre hesaplanmış, yatay yük analizlerinden elde edilen deprem etkileri de göz önüne alınarak her bir eleman üzerinde oluşacak hasar seviyeleri belirlenmiştir. Bu çalışma sonunda yapının "Can güvenliği" performans seviyesini karşılamadığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: 2007 Deprem Yönetmeliği, Mevcut Bina Performans Değerlendirmesi, Bina Güçlendirilmesi, Hasar Düzeyi, Can Güvenliği

2007 DETERMINING PERFORMANCE OF AN EXISTING REINFORCED CONCRETE BY EARTHQUAKE REGULATION

ABSTRACT

In this study, a reinforced concrete building with a 5-story frame system constructed according to the 1975 earthquake regulations was dealt with. Regulation on Buildings to be performed in Earthquake Regions 2007 According to Chapter 7, the "Life Safety" performance level for residential buildings was researched. Bending moment capacities of building bearing elements are calculated according to existing material strengths and reinforcement quantities and damage levels to be formed on each element are determined by considering earthquake effects obtained from horizontal load analyzes. At the end of this study, it was seen that the building did not meet the performance level of "Life Safety".

Keywords: Turkish Seismic Design Code 2007, Performance Evaluation of the Existing Building, Strengthening the Level of Damage, Building Strengthening, Life Safety

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda ülkemizde meydana gelen depremler sonrasında, mevcut yapı stokumuzun önemli bir bölümünün deprem güvenliğinin ne denli yetersiz olduğunu ortaya çıkarmıştır. Özellikle ülkemiz sanayi tesislerinin ve nüfusunun en yoğun olduğu bölgede meydana gelen 1999 yılı depremleri bilânçolarına bakıldığında, bizlere gerek çok büyük acılar yaşatmış gerekse de ülkemiz ekonomisine büyük zararlar vermiştir. Sismik bir yer hareketinde yapılarımızın yıkılmasında ve

ciddi hasarlara uğramasındaki en önemli faktör; yapılarımızın inşa edildikleri dönem mevcut yönetmeliklere uygun yapılmadığı gerçeğidir. Bina taşıyıcı sistem ve tasarım hataları, kullanılan kalitesiz malzeme ve yetersiz işçiliğin yanı sıra bina yapım aşamasındaki yetersiz kontrol ve denetim, çoğu mevcut binalarımızın olası bir depremde istenilen performansı gösteremeyeceği gerçeğini son yıllarda yapılan incelemeler ortaya çıkarmıştır.

Deprem yükleri etkisi altında betonarme karkas yapıların taşıyıcı elemanlarında çeşitli şekillerde yapısal hasarlar meydana gelmektedir. Yapı güvenliğini yeniden sağlamak için, tüm sistemin ve hasar görmüş elemanların onarılması ve güçlendirilmesi gerekmektedir. Özellikle yeni deprem yönetmeliğine uygun olmayan yapılarda hasar görmemiş sistemlerin de güçlendirilmesi, son yıllarda zorunlu olarak uygulama alanı bulmuştur. Bunun temel nedeni ise, seçilmiş olan taşıyıcı sistemin düzenli akslara sahip olmayan çerçeveli sistem olması ve genelde yerinde ölçümler ile elde edilen beton dayanımlarının, proje dayanımının çok altında olmasıdır [1].

Bu çalışmada, 1975 yılında yapılmış mevcut çerçeve sistemli betonarme bir binanın 2007 deprem yönetmeliğine göre performans analizi yapılarak yapılmıştır. Bu kapsamda "2007 deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmeliği" bölüm 7'ye göre konut türü yapılar için öngörülen "Can Güvenliği" performans seviyesi araştırılmıştır [2 ve 3]. Çalışmada mevcut donatılar girildikten sonra karot ile bulunan beton kalitesine göre yapı tanımlanmış ve yapının kapasitesi ortaya çıkartılmıştır. Bunun için yapı elemanlarının hasar durumu belirlenmiştir. Elemanlarda oluşacak hasarın sınıflandırılması için hasar sınırları belirlenmiştir. Yapıdaki bütün elemanların hasarı belirlendikten sonra, yapı içindeki hasar dağılımına ve oranına göre yapının performansı ortaya çıkarılmıştır.

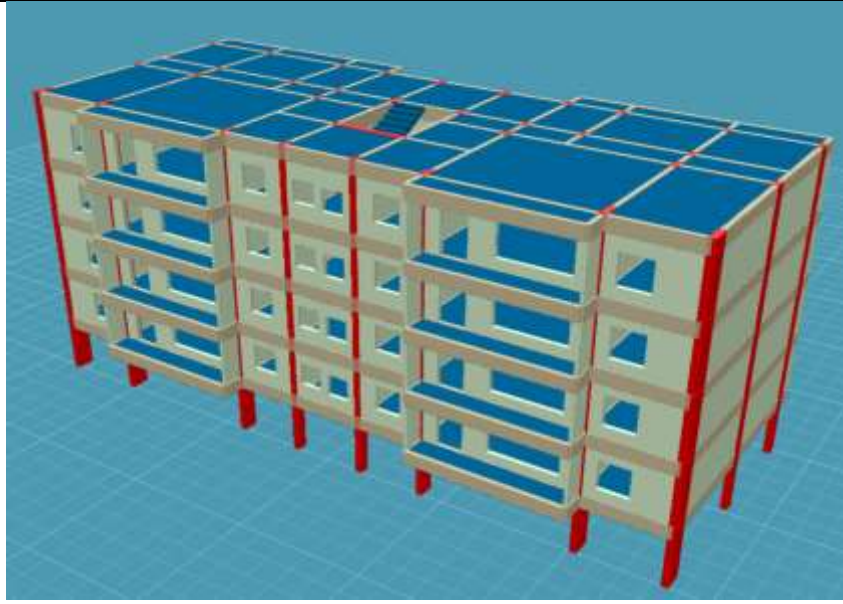
2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik 2007 Bölüm 7'ye göre konut türü yapılar için ön görülen "Can Güvenliği" performans seviyesi araştırılmıştır. Bina taşıyıcı elemanlarına ait eğilme moment kapasiteleri, mevcut malzeme dayanımları ve donatı miktarlarına göre hesaplanmış, yatay yük analizlerinden elde edilen deprem etkileri de göz önüne alınarak her bir eleman üzerinde oluşacak hasar seviyeleri belirlenmiştir. Bu çalışma sonunda yapının "Can güvenliği" performans seviyesini karşılamadığı görülmüştür.

3. BİNANIN PERFORMANSININ BELİRLENMESİ (DETERMINING PERFORMANCE OF BUILDING)

3.1. Binanın Genel Özellikleri (General Properties of Building)

Bina 1975 yılında yapılmış betonarme karkas yapı olup, Zemin+4 Normal kat olarak inşa edilmiştir. İncelenen yapı 1975 Deprem Yönetmeliğine göre tasarlanmış olup, düşey taşıyıcı elemanları çerçeve yapı tipindedir. Binaya ait herhangi bir nedenden dolayı güçlendirme yapılmamıştır.



Şekil 1. Binanın 3 boyutlu görüntüsü
(Figure 1. 3D image of the building)

3.2. Binadan Toplanan Bilgiler (Information from the Building)

Yerinde yapılan incelemeler sonucunda sisteme ait bir takım parametreler elde edilmiştir.

Tablo 1. Binaya ait röleve bulguları
(Table 1. Findings of building relays)

Kat Adedi	5
Kat Yüksekliği	2.80m
Döşeme Kalınlığı	14cm
Döşemelerde Sıva + Kaplama Ağırlığı	0.562t/m ²
Hareketli Yükler	0,32t/m ² Merdiven 0.702t/m ²
Ölü Yük:	0.727t/m ²
Dış Duvar Kalınlığı	19cm
Dış Duvar Malzemesi	Delikli tuğla (20/20/19cm)
Dış Duvar Birim Ağırlığı	1.52t/m
İç Duvar Kalınlığı	13cm
İç Duvar Malzemesi	Delikli tuğla (20/20/13cm)
İç Duvar Birim Ağırlığı	1.24t/m
Yerel Zemin Sınıfı	Z3 D Grubu (Ta=0.15, Tb=0.60)
Bina Önem Katsayısı	1.0
Beton Sınıfı	C 12 (fck=12MPa)
Çelik Sınıfı	S220 (fyk=220MPa)

Kiriş Boyutları;

- Ana Kirişler; 20/60cm
- Kolon Boyutları; 25/40-25/75cm
- Perde Duvar Boyutları; 25/310cm

Elde edilen bulgular, binanın taşıyıcı sistem elemanlarının kapasitelerinin hesaplanmasında ve deprem dayanımlarının değerlendirilmesinde kullanılacaktır. Eleman detayları ve boyutları, taşıyıcı sistem geometrisine ve malzeme özelliklerine ilişkin bilgiler ışığında ele alınan bina "**Kapsamlı Bilgi Düzeyi**" inde olduğu kabul edilmiştir. 'Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik



2007 Bölüm 7.2.2 maddesi uyarınca incelenen bina taşıyıcı sistem elemanlarının kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılacak mevcut malzeme dayanımını belirlemek için "**bilgi düzeyi katsayısı**" 1.00 alınır.

3.3. Yapının Modellenmesi (Build Modeling)

Mevcut yapının taşıyıcı sistemi betonarme çerçeve yapı tipinde olup, kolonlar y yönünde atılmıştır. Yapının üç boyutlu modellenmesinde Structural Analysis For Computer Aided Design v13.1 (Sta4-CAD v13.1) programı kullanılıp, yapı iki durumda incelenmiştir [4]. Birinci durumda yapının tanımlanması bittiğinde, yapının kapasitesi ortaya çıkacak ve yapı elemanlarının hasar durumu belirlenecektir. TDY-2007 Bölüm 7.5.2'de elemanlarda oluşacak hasarın sınıflandırılması için hasar sınırları ve aralıkları kavramları getirilmiştir. İkinci durumda ise, hasarlı elemanlar mantolama ve ilave perdeler ile güçlendirildikten sonra binanın performansı yeniden belirlenmiştir.

3.4. Yapının Deprem Performansının Belirlenmesi

(Determination of Earthquake Performance of the Building)

TDY-2007'de mevcut yapıların değerlendirilmesinde "dayanım" yerine "kapasite" kavramı ortaya sürülmüştür. Bilindiği gibi yeni bir yapı tasarlanırken bu yapıya gelen dış yükler belirlenmekte, yapının bu dış yükler altında gerekli dayanım ve koşulları sağlanması beklenmekte ve buna göre tasarım yapılmaktadır. Mevcut bir yapının yeterli olup olmadığı incelenirken karşımıza kapasite kavramı çıkar. Buna göre belirlenen dış yükler altında yapının davranışı incelenir, doğrusal ve doğrusal olmayan davranış altında bazı elemanlarda hasarlar oluşmasına izin verilebilir. Fakat doğrusal olmayan davranış gereği yapıda hasar gören elemanların karşılayamadığı kuvvetler hasar görmeyen elemanlara aktarılacak, yani yapı kapasitesine göre yüklere mukavemet edecektir [5]. Bina deprem performansının doğrusal elastik yöntem ile belirlenmesinde, düşey yükler altında ve deprem yükleri altında olmak üzere iki ayrı analiz yapılmalıdır. Binadan toplanan bilgilerden yararlanarak düşey yük analizi G+nQ yüklemesi altında Doğrusal Elastik Analiz yapılır ve yatay yük analizi için TDY-2007 Bölüm 2.7'deki doğrusal elastik yöntem olan "**Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi**" ile binanın performansı belirlenir [3, 6 ve 7].

Yapının tipine göre yapıdan beklenen performans seviyeleri değişmektedir. Yapıdan beklenen performans seviyeleri Tablo 2'de belirtilmiştir. Bu tabloya göre tasarım ivme spektrumu ve istenen yapı performansı değişecektir. Tablo 2'ye göre, yapı 1. Derece deprem bölgesinde, her katta burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} \leq 2$ koşulunu sağladığından ve toplam bina yüksekliği $H=10m \leq H_N=25m$ olduğundan "Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi" uygulanır.

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile analizde **Yönetmelik Bölüm 2.7'de** belirtilen kurallara ek olarak dikkat edilmesi gereken hususlardan bazıları şunlardır: Taban kesme kuvvetinin **Yönetmelik Denk. 2.4'e** göre hesabında $R_a=1$ ve $I=1$ olarak alınacaktır ve denklemin sağ tarafı λ katsayısı ile çarpılacaktır. I katsayısı birinci moda ait kütle katılımını göz önünde bulundurmak içindir. Bodrum hariç bir ve iki katlı binalarda 1.0 diğerlerinde 0.85 olarak alınır [3].

Tablo 2. Farklı deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri

(Table 2. Estimated minimum performance values for buildings at different earthquake levels)

Binanın Kullanım Amacı	Deprem Aşılma Olasılığı		
	50 Yılda %50	50 Yılda %10	50 Yılda %2
Deprem Sonrası Kullanımı Gereken Binalar: Hastaneler, Sağlık Tesisleri, İtfaiye Binaları, Haberleşme ve Enerji Tesisleri, Ulaşım İstasyonları, Vilayet, Kaymakamlık Ve Belediye Yönetim Binaları, Afet Yönetim Merkezleri, vb.	-	HK	CG
İnsanların Uzun Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Okullar, Yatakhaneler, Yurtlar, Pansiyonlar, Askeri Kışlalar, Cezaevleri, Müzeler, vb.	-	HK	CG
İnsanların Kısa Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Sinema, Tiyatro, Konser Salonları, Kültür Merkezleri, Spor Tesisleri	HK	CG	-
Tehlikeli Madde İçeren Binalar: Toksik, Parlayıcı ve Patlayıcı Özellikleri Olan Maddelerin Bulunduğu Ve Depolandığı Binalar	-	HK	GÖ
Diğer Binalar: Yukarıdaki Tanımlara Girmeyen Diğer Binalar (Konutlar, İşyerleri, Oteller, Turistik Tesisler, Endüstri Yapıları, vb.)	-	CG	-

3.5. Bina Performansının Belirlenmesi

(Determination of Building Performance)

Doğrusal elastik hesap yöntemlerinden **Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi** ile yapılan performans analizi sonucunda ele alınan yapının taşıyıcı elemanlarında her iki doğrultudaki deprem etkisi altında hesaplanan hasar yüzdeleri Tablo 3, Tablo 4 ve Tablo 5’de özetlenmektedir.

Tablo 3. Kirişlerin hasar yüzdeleri

(Table 3. Damage percentages of beams)

Kat No	-X				+X				-Y				+Y			
	MH	BH	IH	GB	MH	BH	IH	GB	MH	BH	IH	GB	MH	BH	IH	GB
5	93.9	6.1	0.0	0.0	93.9	6.1	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
4	93.9	6.1	0.0	0.0	93.9	6.1	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	92.1	7.9	0.0	0.0
3	93.9	6.1	0.0	0.0	93.9	6.1	0.0	0.0	94.7	5.3	0.0	0.0	92.1	7.9	0.0	0.0
2	93.9	6.1	0.0	0.0	93.9	6.1	0.0	0.0	97.4	2.6	0.0	0.0	94.7	5.3	0.0	0.0
1	93.9	6.1	0.0	0.0	93.9	6.1	0.0	0.0	97.4	2.6	0.0	0.0	84.2	15.8	0.0	0.0
Max.									100.					15.8		0.0

Tablo 4. Kolon kesme kuvveti dağılımı

(Table 4. Column cutting force distribution)

Kat No	-X				+X				-Y				+Y			
	MH	BH	IH	GB	MH	BH	IH	GB	MH	BH	IH	GB	MH	BH	IH	GB
5	69.5	30.5	0.0	0.0	68.1	31.9	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
4	43.0	57.0	0.0	0.0	41.5	58.5	0.0	0.0	97.9	2.1	0.0	0.0	95.0	5.0	0.0	0.0
3	31.7	68.3	0.0	0.0	35.5	64.5	0.0	0.0	68.7	31.3	0.0	0.0	82.9	17.1	0.0	0.0
2	49.1	50.9	0.0	0.0	49.5	50.5	0.0	0.0	61.9	38.1	0.0	0.0	60.0	39.3	0.0	0.0
1	88.5	11.5	0.0	0.0	88.6	11.4	0.0	0.0	80.4	19.6	0.0	0.0	62.3	37.3	0.0	0.0
Max.						100.0			100.0						0.7	

Tablo 5. Can güvenliğini sağlamayan elemanların dağılımı
(Table 5. Distribution of elements without security)

Kat No	X		Y	
	Kiriş %	Kolon %	Kiriş %	Kolon %
5	0/33 (%0.0)	0/33 (%0.0)	0/38 (%0.0)	0/33 (%0.0)
4	0/33 (%0.0)	0/33 (%0.0)	0/38 (%0.0)	0/33 (%0.0)
3	0/33 (%0.0)	0/33 (%0.0)	0/38 (%0.0)	0/33 (%0.0)
2	0/33 (%0.0)	0/33 (%0.0)	0/38 (%0.0)	1/33 (%0.0)
1	0/33 (%0.0)	0/33 (%0.0)	0/38 (%0.0)	1/33 (%0.0)

Bu çalışmada **kolon-kiriş birleşimi** olarak tanımladığımız **kesit yetersizliği**, **kesme güvelliği yetersizliği** ve **kuşatılmış kolon birleşim** sonucu güçlendirilmesi gereken gevrek elemanlar olarak **SZ03, SZ04, SZ05, SZ06, SZ08, SZ15, SZ23, SZ25, SZ27, SZ28, SZ31, SZ32, S102, S103, S104, S105, S106, S107, S108, S109, S115, S22, S124, S127, S128, S129, S130, S131, S132, S133, S202, S203, S204, S205, S206, S207, S208, S209, S227, S228, S229, S230, S231, S232, S302, S303, S305, S306, S308, S309, S327, S328, S331, S332, S427, S428, S431 ve S432** kolonları görülmektedir.

- **Hemen Kullanım Durumu Yeterlilik Kontrolü:** Tablo 3 ve Tablo 4'ün incelenmesi neticesinde görüleceği gibi, her bir kattaki kirişlerin ve kolonların %10'dan fazlasının **Belirgin Hasar Bölgesinde** olduğu ve bu nedenle binanın "**Hemen Kullanım**" koşulunu sağlayamadığı anlaşılmaktadır.
- **Can Güvenliği Yeterlilik Kontrolü:** Tablo 3, Tablo 4, Tablo 5'de görüleceği gibi yapıda **İleri Hasar Bölgesinde** kiriş veya kolon bulunmamaktadır. Dolayısıyla binanın "**Can Güvenliği Performans**" düzeyini sağladığı anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda ele alınan yapının "Can Güvenliği" performans düzeyini sağladığı, "Hemen kullanım" koşulunu sağlayamadı bazı kolonların gevrek davranış gösterdiği ve bu kolonların güçlendirilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS)

Bu çalışmada, 1975 Deprem Yönetmeliğine Göre Yapılmış Mevcut Betonarme Bir Binanın 2007 Yönetmeliğine Göre binanın performansı incelenmiştir. Binanın TDY-2007'de verilen "Doğrusal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine" göre deprem performansı irdelenmiştir. Binanın genel özellikleri ve binadan toplanan bilgiler Sta4Cad v13.1 paket programında aktarılarak yapının modellenmesi oluşturulmuştur. Daha sonra, yapısal elemanların mevcut donatı miktarları ve tespit edilen beton basınç dayanımı göz önüne alınarak, TDY-2007'de öngörülen şartlara uygun olarak elemanların eğilme momentleri ve kesme kuvveti kapasiteleri hesaplanmıştır [8 ve 9]. Yapının her bir taşıyıcı elemanı için r (etki/kapasite) oranları hesaplanmış, TDY 2007'de verilen sınır değerlerle karşılaştırılarak elemanların hasar düzeyleri belirlenmiştir. Doğrusal eşdeğer deprem yükü yöntemiyle yapılan çalışmanın sonucunda;

- Tablo 3 ve Tablo 4 görüleceği gibi Binanın **X** yönünde istenilen performansı sağlayamadığı ve bu yöndeki kolon ve kirişlerin %10'dan fazlasının **Belirgin Hasar Bölgesinde** olduğu tespit edilmiştir. **X** yönünde oluşan hasarlardan dolayı "**Hemen Kullanım**" koşulunu sağlayamadığından gevrek elemanların güçlendirilmesine ihtiyaç duyulmuştur.
- **X** yönünde %10'dan fazlasının belirgin hasar bölgesinde olması sebebi, bu yönde deprem perdesinin olmaması ve kolanların tümünün **Y** yönünde atılmış olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum

da kolonların kesit yetersizliği, kesme güvelliği yetersizliği ve kuşatılmış kolon probleminin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Sonuç olarak, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda ele alınan yapının **"Can Güvenliği"** performans düzeyini sağladığı, **"Hemen kullanım"** koşulunu sağlayamadı bazı kolonların gevrek davranış gösterdiği ve bu kolonların güçlendirilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Celep, Z. ve Kumbasar, N., (2005). Betonarme Yapılar, Beta Dağıtım, İstanbul.
2. Deprem Yönetmeliği, Mart., (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
3. Özer, E., (2005 Mayıs). Betonarme Binaların Deprem Performansının Belirlenmesi İçin Bir Yaklaşım.
4. SAT4CAD-v13.1, 20, Yapıların Üç Boyutlu Dinamik Analiz ve Tasarımını Yapabilen Bilgisayar Programı.
5. Sucuoğlu, H., (2007). 2007 Deprem Yönetmeliği Performans Esaslı Hesap Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı/444-445-2006/4-5.
6. TS-498, (1997). Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
7. TS-500, (2001). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
8. Altun, F., Kara, H.B., Uncuoğlu, E. ve Karahan, O., (2003). Betonarme Yapılarda Deprem Hasarları Ve 6 Katlı Bir Yapının Güçlendirme Çalışmaları, Gazi Üniversitesi-Fen Bilimleri Dergisi, 16(2):309-318.
9. Murat, S., (2013). Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Atölyesi Binasının 2007 Deprem Yönetmeliğine Göre Güçlendirme Projesinin Hazırlanması, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Bitirme Tezi.



Halil Ibrahim Burgan

Istanbul Technical University, burgan@itu.edu.tr, İstanbul-Turkey

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.1A78PB>

PREDICTION OF RUNOFF USING RAINFALL AND EVAPORATION DATA

ABSTRACT

Predetermination of the quantity of water is important for all water resources projects. It becomes vital particularly when low and high extreme events; i.e., low flows, droughts and floods, are dealt with. Streamflow data are used in the determination of available amount of water to provide for the demand. Therefore, it is important to have a wide network of streamflow gauges; however, it is a fact that catchments are not properly gauged in Turkey creating lack of information for many case studies. This makes the estimation of water availability a hard practical task. Due to non-availability of streamflow data, in this study, a simple relationship between runoff as the dependent variable and precipitation and evaporation as independent variables is investigated. Precipitation data are acquired from State Meteorological Service (MGM) of and State Hydraulic Works (DSI) of Turkey, while evaporation and runoff data are provided by DSI. Multiple variable-linear regressions are used for the purpose of this study in deriving the model for a catchment in Meric-Ergene River Basin in the European part of Turkey. The simple model is expected to be helpful in providing runoff data for any water resources project planned in the ungauged basin.

Keywords: Evaporation, Meric-Ergene River Basin,
Precipitation, Runoff, Ungauged Basin

1. INTRODUCTION

Rainfall-runoff models are needed to define and solve problems related about water demand. It is very important in terms of low flow, drought and flood studies. Therefore, the hydrological and meteorological measurements should be made in the field on catchments. But it isn't possible and easy for every time. For this, we got help from rainfall-runoff models. Rainfall undergoes many processes before being transformed to streamflow. Such uncertainties must therefore be accounted for in the development of any rainfall-runoff model (Lyne & Hollick 1979). We therefore need a means of extrapolating from those available measurements in both space and time, particularly to ungauged catchments (where measurements are not available) and into the future (where measurements are not possible) to assess the likely impact of future hydrological change. Models of different types provide a means of quantitative extrapolation or prediction that will hopefully be helpful in decision making (Beven 2012). For engineers who wish to use a rainfall-runoff model in a catchment study, how to represent the evaporative demand introduced into a model often poses a dilemma. Rainfall-runoff models often use potential evapotranspiration (PE), which is mainly an agronomic concept that lacks a clear definition at the catchment or regional scale (Oudin et al. 2005). Also new methods are widely used in hydrology and rainfall-runoff model as Artificial Neural Networks (ANN), Genetic Algorithms (GA). However, the use of artificial neural networks for flood forecasting

is an area which has yet to be fully explored (Dawson & Wilby 1998). The application of neural networks, like any other rainfall-runoff model, requires input information as precipitation (Shamseldin, A. Y. (1997). In this study, rainfall and evaporation are used as parameters to estimate runoff in a catchment because especially rainfall is the most effective parameter on runoff. The relationship between rainfall, evaporation and runoff using regression analysis is investigated.

2. RESEARCH SIGNIFICANCE

Forecasting of streamflow is vital important for flood caution, operation of flood-control-purposed reservoir, determination of river water potential, production of hydroelectric energy, allocation of domestic and irrigation water in drought seasons and navigation planning in rivers. Also rainfall data plays important role to estimate streamflow. The study area is selected from European part of Turkey. Meriç River has transboundary waters. It is difficult to determinate the water amount and demand of a region which is fed by transboundary river. Meriç River is coming from Bulgaria to Turkey and there are 5 big dams before Turkey. And it goes to Greece then it flows through Saros, Aegean Sea (Figure 1).



Figure 1. Dams on Meriç River from Bulgaria

Because of limitation of knowledge about streamflow data, estimation of discharge and flood events is difficult. In this study, Regressional equation is proposed to estimate runoff. Annual total and maximum precipitation (mm), annual total evaporation and annual mean flow (m^3/s) are used in the equation.

3. METHOD

3.1. Data

Precipitation data are acquired from State Meteorological Service (MGM) of and State Hydraulic Works (DSI) of Turkey, while evaporation and runoff data are provided by DSI. The same observation period (1986-2003 years) is used for the calibration of model. 2004-2008 (5 years) period is selected for the validation of model. D01A003 numbered station is selected in this study because of its long term

observation (Figure 2). The nearest meteorological station of flow gauging station is selected as D01M018 Suleoglu Baraji station.



Figure 2. Location of D01A003 gauging station

3.2. Model

Using SPSS v.24 statistical software and nonlinear regression analysis, the following equation is acquired. Physically, we can consider that the relationship between runoff and total precipitation and evaporation are positive and maximum precipitation is negative.

$$Q = 0.00553697(EP)^{0.6503}(Max P)^{-0.394149}(Total P)^{1.10124}$$

where Q=Discharge (cms), EP=Evaporation (mm), Max=Maximum Precipitation (mm), Total P=Total Precipitation (mm). The data is total and annual.

4. RESULTS

According to Table 1, the estimations are looking as underestimation. But the estimated annual mean streamflow can be used practically in an ungauged basin.

Table 1. Validation parameters and runoff from observed data-estimation

Year	Streamflow (cms)	Evaporation (mm)	Max Prec (mm)	Total Prec (mm)	Est. Q (cms)
2004	141.2	1418.4	28.4	384.2	116.5
2005	291.4	1270.2	41.0	615.1	157.5
2006	278.8	1144.3	30.8	426.4	110.0
2007	195.8	1416.9	55.0	571.9	139.0
2008	148.6	1305.9	29.4	284.4	78.2

The reason of underestimation is possible that less data and one region is considered (Figure 3). Instead of annual data, daily data can be used. Using another gauging stations and observations, the results can be compared.

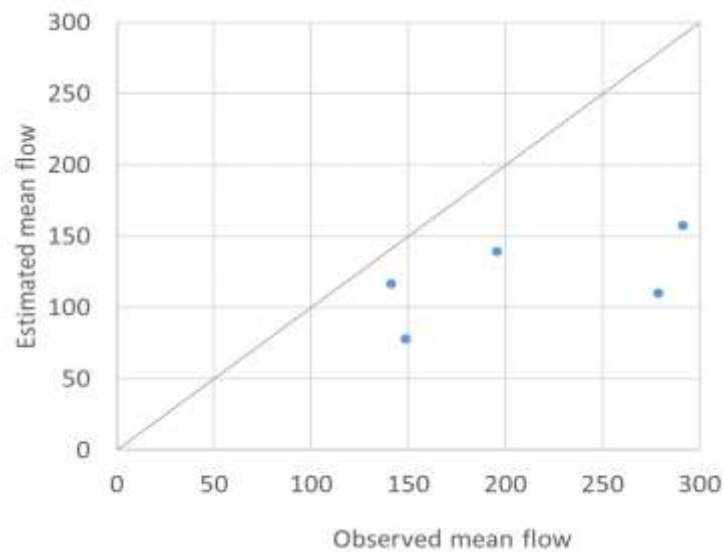


Figure 3. Comparison between observed and estimated mean flow

5. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

Some assessments and suggestions are given below:

- Maximum precipitation indicates negative correlation as shown in power.
- Other parameters are logical and positive as expected. Physically, we know precipitation and flow have linear and positive relationship.
- The simple model is expected to be helpful in providing runoff data for any water resources project planned in the ungauged basin.
- Morphological characteristics of the basin can be considered and used in the regression model. To acquire data, GIS technologies can be used.
- Instead of annual data, the daily data can be used and the model can be developed as further studies.
- To calibrate meteorological data, nearest stations can be analyzed.

REFERENCES

- Beven, K.J., (2012). Rainfall-Runoff Modelling: the Primer, Second Edition, John Wiley & Sons, 457 pages.
- Dawson, C.W. and Wilby, R., (1998). An Artificial Neural Network Approach to Rainfall-Runoff Modelling, Hydrological Sciences Journal, 43:1, 47-66.
- Lyne, V. and Hollick, M., (1979). Stochastic Time-Variable Rainfall-Runoff Modelling. Institute of Engineers Australia National Conference, 1979, pp:89-93.
- Oudin, L., Hervieu, F., Michel, C., Perrin, C., Andréassian, V., Anctil, F., and Loumagne, C., (2005). Which Potential Evapotranspiration Input for a Lumped Rainfall-Runoff Model?: Part 2-towards a Simple and Efficient Potential Evapotranspiration Model for Rainfall-runoff Modelling. Journal of Hydrology, 303(1), 290-306.
- Shamseldin, A.Y., (1997). Application of a Neural Network Technique to Rainfall-runoff Modelling. Journal of Hydrology, 199(3-4), 272-294.



Cemile Uçar

T.C. Sağlık Bakanlığı, cemo.ucar@hotmail.com, İzmir-Turkey

Rabia Ekti Genç

Ege University, rabia.genc@ege.edu.tr, İzmir-Tukey

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.1B8PB>

**ACİL SERVİSE BAŞVURAN OBSTETRİ HASTALARININ TRIYAJ SINIFLANDIRILMASINA
GÖRE DAĞILIMLARI VE YAPILAN UYGULAMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ**

ÖZ

Obstetrik nedenlerle acile gelenlerin 10 dakika içinde değerlendirilip, aciliyetlerine göre sınıflandırılması için sağlık personeli tarafından yapılan işleme de obstetrik triyaj denir. Araştırma, T.C Sağlık Bakanlığı Türkiye Kamu Hastaneler Kurumu İzmir İli Kamu Hastaneler Birliği Kuzey Genel Sekreterliği Buca Kadın Doğum ve Çocuk Hastalıkları Hastanesinde 01.09.2013-30.09.2013 tarihleri arasında acil servise başvuran 1981 obstetri hastasının kayıtları incelenerek yapılmıştır. Gebelerin triyaj sınıflamasına göre dağılımlarında; %54.6 sı 1. öncelik grubunda yer alırken, %35.5 i 2. öncelik ve %9.8 si 3. öncelik grubunda yer almıştır. Acile başvuru şikayetlerine göre; hastaların %34.3 ünün sancı şikayeti nedeniyle, %10.4 ünün kanama veya lekelenme şikayeti nedeniyle, %8.9 unun suları geldiği için, %2.7 sinin bebek hareketlerinde azalma olduğu şikayeti için, %8.3 ünün kasık ağrısı şikayeti ile %7.6 sinin bulantı ve kusma şikayetleri ile %10.6 sinin kontrol amaçlı geldikleri görülmektedir. Acil servise başvuran gebelerin triyaj dağılımları arasında iyi düzeyde uyum ve istatistik olarak ileri düzeyde anlamlılık ($k=0.601$, $p=0.000$) saptanmıştır.

Anahtar kelimeler: Triyaj, Obstetrik Triyaj, Gebelik,
Halk Sağlığı, Acil Servis

**ADMITTED TO THE EMERGENCY DEPARTMENT OF OBSTETRICS TRIAGE PATIENTS
ACCORDING TO THE CLASSIFICATION OF DISTRIBUTIONS AND THE EVALUATION OF
APPLICATIONS**

ABSTRACT

Obstetric reasons for patients coming to the emergency room in 10 minutes, and treated according to the urgency of the classification made by medical personnel for processing obstetric triage. Research was carried out at in the Buca Maternity and Children Diseases Hospital, and data were collected between 01.09.2013/30.09.2013. At the emergency department between these dates were admitted 1981 obstetric patients by examining the records. Pregnant women were distribution of 54.6% 1. priority group, while 35.5% 2. priority and 9.8% 3. priority group. Pregnant women reference to the emergency room, when we examine the distribution of these patients 34.3% flour pain due to complaints, and 10.4 %of the flour bleeding or spotting due to complaints, 8.9% flour water, 2.7% side of decrease in the baby moving for complaints, 8.3% flour with complaints of groin pain, and 7.6 %s with the complaints of nausea and vomiting, 10.6% s with the purpose of control, they can be seen. Reference to emergency obstetric triage distributions between patients and good level of compliance as advanced statistical significance ($k=0.601$, $p=0.000$) were identified.

Keywords: Triage, Obstetric Triage, Pregnancy,
Public Health, Emergency Service



1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sağlık hizmetlerinin sunumunda önemli bir yere sahip olan acil servisler, hastaların en fazla 48 saat gözlemde tutularak tedavi edildikleri veya uygun servislere yatırıldıkları hizmet alanlarıdır [1]. Acil Sağlık Hizmetleri (ASH) son 15 yılda dünyada ve ülkemizde büyük gelişmeler göstermiştir. Özellikle 1990'lı yıllarda akademik alanda ve hizmet sunumunda önemli gelişmeler sağlanmıştır. 1999 büyük Marmara depreminden sonra toplumda ve siyasi idarelerin gündeminde her zaman yer alan ASH, ülkemizde de özellikle son dönemde dinamik alt yapısı ile son derece üretken ve diğer sağlık alanlarına önder ve örnek bir yapılanma göstermektedir [2]. Hastanede verilen tıbbi müdahalelerin en iyi gösterilebildiği yer acil servislerdir. Bir hastaneyi değerlendirirken, öncelikle acil servisler göz önünde bulundurulmalıdır. Acil servisler bütün müdahale çeşitlerinin bir arada yapıldığı tek yer olmasının yanı sıra, hastanenin diğer bölümlerine hasta sevk eden, merkezi bir konumda yer alır [3].

Gebelik ve doğum olayı yaşamın önemli bir parçası, kadın ve ailesi için ise önemli bir yaşam deneyimidir. Gebelik ve doğum doğal, fizyolojik bir süreçtir, kadınların çoğu iyi bir destekle, fazla bir tıbbi girişime gerek kalmadan bu süreci sağlıklı bir şekilde geçirirler. Böylece gebeliğin sağlıklı geçirilmesi dar anlamda sağlıklı anne ve bebek, geniş anlamda sağlıklı bir aile ve toplumun oluşmasına olanak sağlayacaktır [4]. Acil obstetrik bakım (AOB) gebelik, doğum ve doğum sonrası oluşabilecek acil durumlara karşı sağlık kuruluşlarının cevap verme yeteneği olarak tanımlanabilecek hayat kurtarıcı hizmetlerin bütünüdür [5]. Güvenli annelik programı her zaman kanama, ilerlemeyen eylem, güvensiz düşük, eklampsi ve enfeksiyon gibi sık görülen obstetrik ölüm nedenlerinin yönetiminde AOB hizmetlerine ulaşılabilirliğin önemini vurgulamıştır [6]. Kadının AOB hizmetlerine ulaşmasında rol alabilecek birçok faktör gruplanarak "Üç Gecikme Modeli" olarak tanımlanmıştır ki bu modelde gecikmeye neden olabilecek nedenler üç başlık altında toplanmıştır;

- Sağlık bakım hizmetini almaya karar vermede gecikme,
- Sağlık bakım hizmeti verecek kuruluşa ulaşmada gecikme,
- Kurulusta uygun tedaviyi almada gecikme [7].

Birinci ve ikinci gecikme modelindeki engelleri aşarak hastaneye ulaşan kadınların bir kısmı da hastanede ölmektedir. AOB hizmet sunumu; eğitimli personelin sayısı, gerekli ilaç ve malzemenin yeterliliği, kuruluşun genel durumu gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Yanı sıra hizmetlerin yönetimi son derece yaşamsal bir öneme sahiptir, sağlık kuruluşu hizmet sunumu için ihtiyacı olan tüm personel ve malzemeye sahip olsa da yine de iyi hizmet veremeyebilir [8].

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Fizyolojik bir süreç olan gebelik ve doğum olayları sağlık ve hastalık çizgisinin birbirine yaklaştığı önemli yaşam deneyimleridir. Bu nedenle verilecek sağlık bakım hizmetlerinin bireylere özel planlanması ve risk faktörlerinin erken dönemde tespit edilerek anne, fetus ve yenidoğanın sağlığının korunup geliştirilmesi gerekmektedir. Bugünkü bilgilerimiz ve çeşitli sağlık göstergeleri, kadının sağlığını ve yaşam kalitesini olumsuz yönde etkileyen en önemli sağlık sorunlarının gebelik, doğum ve doğum sonu süreçleri kapsayan perinatal dönemde ortaya çıktığını göstermektedir [9]. Anne ölümlerinin önlenmesinde, dolayısıyla sağlıklı yenidoğanların yetiştirilmesinde obstetrik triyajın önemi büyüktür. Ülkemiz için güvenilir kanıt düzeyi yüksek obstetrik triyaj protokolünün hazırlanmasına ve tüm



hastanelerin kendi triyaj alanlarının oluşturmasına yardımcı olması beklenmektedir. Eğitim programlarında bu konuda da eğitilmeye yer verilerek kadın doğum acillerinde çalışan sağlık personelinin özelikle ebelerin gerekli bilgilere sahip olması sağlanmalıdır. Çünkü triyajda sorumluluk alan ebelerin; iyi bir tanılama becerisinin ve organizasyon yeteneğinin olması, obstetrik hastalıklara ilişkin kapsamlı temel bilgisinin ve hastanın aciliyeti ile ilgili açıkça görülmeyen ipuçlarını belirleyebilme becerisinin olması gerekir. Bu araştırmada acil servise başvuran obstetri hastalarının triyaj sınıflandırılmasına göre dağılımları ve yapılan uygulamalarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

3. YÖNTEM-METHOD

Bu araştırma acil servise başvuran obstetri hastalarının triyaj sınıflandırılmasına göre dağılımlarını ve yapılan uygulamaları değerlendirmek amaçıyla yapılan kesitsel, tanımlayıcı ve retrospektif bir araştırmadır. Araştırmanın evrenini 01.09.2013-30.09.2013 tarihlerinde T.C. Sağlık Bakanlığı Türkiye Kamu Hastaneler Kurumu İzmir İli Kamu Hastaneler Birliği Kuzey Genel Sekreterliği Buca Kadın Doğum ve ocuk Hastalıkları Hastanesi kadın hastalıkları acil servisine başvuran hastalardan, obstetri hastalarının tümü oluşturmuştur. Araştırmada rneklem seçimine gidilmemiş, 01.09.2013-30.09.2013 tarihleri arasındaki 1 aylık sürede acil servise başvuran tüm obstetri hastalarının kayıtları incelenerek veriler toplanmıştır. Kaydı tutulan ve süreç içinde başvuran 2020 obstetri hastasından kaydı tam olan 1981 gebe araştırmaya dhil edilmiştir. 39 gebe bilgilerinin tam doldurulmaması sebebiyle araştırmaya dahil edilmemiştir.

Araştırma verilerinin toplanmasında, acil serviste görev yapan ebe/hemşireler ve gebeleri değerlendiren kadın doğum uzmanları tarafından doldurulan hasta tanılama formu kayıtları, araştırmacı tarafından oluşturulan birey tanılama formu ve araştırmanın yapıldığı hastanenin kullandığı Acil Servis Triyaj Protokolü kullanılmıştır. Birey tanılama formunda toplam 15 adet soru bulunmaktadır. Sorular obstetri hastalarının demografik bilgilerini, doğurganlık öyküsünü, triyaj bilgilerini ve acil serviste yapılan işlemleri ve sonucunda hekim tarafından verilen kararı kapsamaktadır. T.C Sağlık Bakanlığı Türkiye Kamu Hastaneler Kurumu İzmir İli Kamu Hastaneler Birliği Kuzey Genel Sekreterliği Buca Kadın Doğum ve ocuk Hastalıkları Hastanesi Kadın Hastalıkları Acil Servisi Triyaj Protokolü; renk skalasına göre triyaj sınıflandırılması şeklinde oluşturulmuş olup, kırmızı renk 1. Öncelikli obstetri hastalarını, sarı renk 2. Öncelikli obstetri hastalarını, yeşil renk 3. Öncelikli obstetri hastalarını, siyah renk ise exitusları kapsamaktadır.

4. BULGULAR VE TARTIşMA (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

Bu bölümde; acil servise başvuran obstetri hastalarının tanımlayıcı bilgileri, obstetrik triyaj sınıflamasına göre derecelendirilmesi, sağlık personeli tarafından yapılan obstetrik triyaj sınıflandırılması ile araştırmacı tarafından yapılan triyaj sınıflandırılması arasındaki uyumluluk düzeyi bulguları sunulmuştur.

Tablo 1. Obstetrik hastalarının sosyo-demografik özellikleri
(Table 1. Sociodemographic characteristics of obstetric patients)

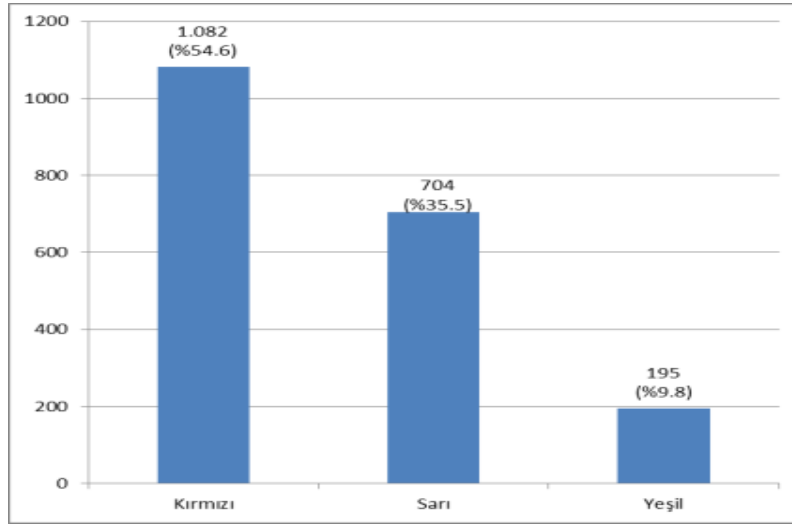
Özellik	Sayı (N)	Yüzde (%)
Yaş		
<19	192	9.7
20-24	633	32.0
25-29	581	29.3
30-34	397	20.0
>35	178	9.0
SGK		
Var	1947	98.3
Yok	34	1.7
Toplam	1981	100.0

Tablo 1 de acil servise başvuruda bulunan obstetrik hastalarının yaş durumları ve SGK durumları gösterilmiştir. Acil servise başvuran obstetrik hastalarının %9.7'si 19 yaşından küçük, %32'si 20 ile 24 yaşları arasında, %29.3'ü 25 ile 29 yaşları arasında, %20'si 30 ile 34 yaşları arasında ve %9'u 35 yaşından büyüktür. Başvuruda bulunan kadın hastaların %98.3'ünün sağlık güvencesine (SGK) sahip olduğu görülürken, %1.7'sinin ise SGK'dan bir sağlık güvencesinin bulunmadığı görülmüştür (Tablo 1). Türkiye Nüfus ve Sağlık Araştırmaları (TNSA 2013) raporuna göre, Türkiye de gebelerin dağılımlarının en yüksek olduğu yaş grubu 25-29 yaş arasında yer alan kadınlardır. Ayrıca gebelik ve doğumla ilgili risklerin en yüksek olduğu dönem 20 yaş altı ve 35 yaş üstü doğumlardır ve bu doğumlar tüm doğumların beşte birini oluşturmaktadır [10]. Ülkemizde Saka ve ark. tarafından yapılan bir çalışmada 35 yaş üstü gebelik sıklığı %11.78 olarak belirtilmiştir [11]. 19 yaş altı gebelikler adölesan gebelik olarak tanımlanmakta ve araştırma bulgularına göre bir aylık sürede acile başvuran adölesan gebelik yüzdesi %9.7'dir. Dünya'da sosyoekonomik ve kültürel farklılıklara bağlı olarak adölesan gebeliklerin görülme sıklığı %3.2-42 arasında değişmektedir [12]. TNSA 2013 verilerinde ise bu oranın %5 olduğu belirtilmiştir [10]. Bu bulgulara göre, araştırma bölgesinde belirtilen tarihler arasında acil servise başvuran adölesan gebelik oranı Türkiye geneline göre yüksek orandadır. Bu durum araştırmanın yapıldığı hastanenin bölgenin donanımlı kadın doğum hastaneleri arasında yer alması ve bu nedenle riskli hasta başvurusunun çok olmasıyla açıklanabilir. Ayrıca hastanenin bulunduğu yerin İzmir'in göç alan bölgesi olması da etken olabilir.

Tablo 2. Obstetrik hastalarının gebelik ve doğum ile ilgili öyküleri
(Table 2. Pregnancy and birth histories of obstetric patients)

Özellik	Sayı (N)	Yüzde (%)
Gebelik Öyküsü		
1. Gebelik	946	47.8
2. Gebelik	587	29.6
3. Gebelik	264	13.3
4. Gebelik ve Üstü	184	9.4
Gebelik Haftası		
4-8 Hafta	143	7.2
9-16 Hafta	248	12.5
17-24 Hafta	156	7.9
25-29 Hafta	109	5.5
30-34 Hafta	197	10.0
35 Hafta ve Üstü	1.128	56.9
Toplam	1981	100

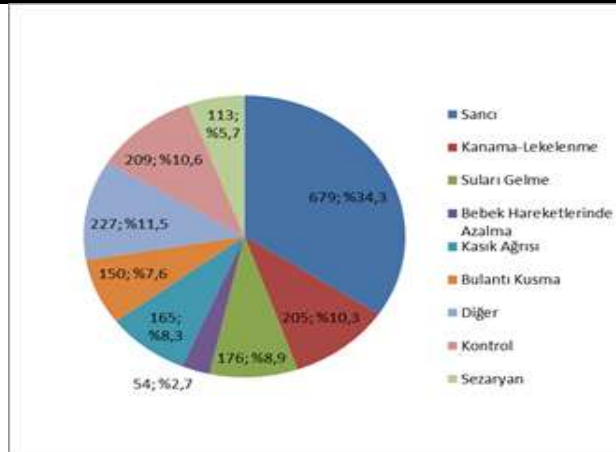
Acil servise başvuruda bulunan obstetri hastalarının %47.8'nin ilk gebeliklerinde olduğu, %9.4'ünün dört ve üstü gebelikte oldukları Tablo 2 de gösterilmektedir. Saka ve arkadaşlarının Diyarbakır doğumevinde 1 aylık sürede gebelerde risk faktörlerinin değerlendirilmesi amacıyla yaptıkları bir araştırmaya göre, gebelik sayısı 4 ve üzeri olan kadınların % 2.33 oranında olduğu ve bu kadınların %56.9'unun da 35 hafta veya üzeri gebelik haftasında oldukları belirlenmiştir [11].



Grafik 1. Acil servise başvuran obstetri hastalarının yapılan triyaj sınıflandırılması

(Graphic 1. Triage classification of obstetric patients admitted to emergency service)

Acil servise başvuran obstetri hastalarının triyaj dağılımları incelendiğinde (Grafik 1), %54.6' sının kırmızı (birinci derece) triyaj sınıflandırılması içinde yer aldığı saptanmıştır. Droobinin ve arkadaşları tarafından 2003 yılında çocuk acil servisinde 250 kişi üzerinde yapılan çalışmada, hastaların %33.6'sının gerçekten acil hastalıkları için başvurduğu, bunun yanında %62.8'inin sağlık hizmetine daha rahat ulaştıkları için acil servise başvurmayı tercih ettikleri saptanmıştır [13]. Atabek ve arkadaşlarının çocuk aciline başvuruları değerlendirmek için yaptıkları çalışmalarında; acil birimine getirilen çocukların %52'sinin gerçek acil, %11'i acil olduğu düşünülerek getirilenler ve %37'sinin acil olmayan hastalardan oluştuğu belirlenmiştir [14]. Yine ülkemizde yapılan başka bir çalışmada, devlet hastanesi acil servisine başvuranlar içinde gerçek acil olgularının oranı %52.3 olarak saptanmıştır [15]. Amerikan Acil Tıp Hekimleri Birliği (ACEP) kriterlerine göre acil servislerin uygunsuz kullanım oranı ise %10.8 olarak belirlenmiştir [16].



Grafik 2. Obstetrik hastalarının acile başvuru şikayetlerine göre dağılımları

(Graphic 2. Distribution of obstetric patients according to complaints of emergency application)

Gebelerin acil servise geliş şikayet bulgularına bakıldığında %34.3'lük oranla ilk sırada sancı şikayeti yer almaktadır. Bunu takiben gebelerin, %10.4' ü kanama veya lekelenme, %8.9'u su gelmesi, %2.7'si bebek hareketlerinde azalma, %8.3'ü kasık ağrısı, %7.6'sı bulantı ve kusma şikayetleri nedenleriyle acil servise başvurdıkları belirlenmiştir (Grafik 2). Sözeri ve arkadaşları Sakarya Kadın Doğum ve Çocuk Bakım Hastanesi'nde yaptıkları çalışmalarında, gebelerin %28.6'sının ağrılı veya ağrısız kanamaları olduğunda, %21.9'unun bebek hareketlerinde azalma hissettiklerinde, %19.6'sının devamlı bulantı-kusmaları olduğunda, %14'ü idrar yaparken yanma, kasıklarda ağrı, %16'sı da devamlılık gösteren kasılma şikayeti ile sağlık kuruluşuna başvurdıklarını belirlemişlerdir [17].

Tablo 3. Obstetrik Hastalarının Acile Geliş Şikayeti ve Sonuç
(Table 3. Obstetric Patients Complaints of Emergency Service And Conclusion)

Açıklama	Taburcu		Servise Yatış		Doğumhane Yatış		Sevk		Toplam	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Acile Gel. Şik.										
Sancı	287	14,5	37	1,9	340	17,2	15	0,8	679	34,3
Kanama-lek.	154	7,8	41	2,1	11	0,6	1	0,1	207	10,4
Sular gel.	40	2,0	6	0,3	126	6,4	4	0,2	176	8,9
B.H. Azalma	42	2,1	3	0,2	8	0,4	1	0,1	54	2,7
Kasık Ağrısı.	156	7,9	3	0,2	1	0,1	5	0,3	165	8,3
Bulantı-Kusma	112	5,7	36	1,8	2	0,1	1	0,1	151	7,6
Diğer	205	10,3	14	0,7	5	0,3	3	0,2	227	11,5
Kontrol	174	8,8	4	0,2	28	1,4	3	0,2	209	10,6
Sezaryan	79	4,0	1	0,1	33	1,7	0	0	113	5,7
Toplam	1249	63,0	145	7,3	554	28,0	33	1,7	1981	100

Araştırma kapsamına giren gebelerin %63'ü acil serviste tedavi görerek taburcu edilmiş, %28'inin de doğumhaneye yatırılması yapılmıştır (Tablo 3). Gürsoy ve arkadaşlarının bir üniversite acil servisine başvuran hastaların durumlarını inceledikleri çalışmalarında; ayaktan tedavi gören hastaların oranı %80.8 olarak belirtilmiştir [18]. Bizim çalışmamızda Gürsoy ve ark. göre ayakta tedavi gören hasta sayısı daha az bulunmuştur. Ancak ülkemizde obstetrik triyajın değerlendirildiği çalışmanın olmaması, yurt dışı literatürde de bu verinin

değerlendirilmemesi bu bulgunun yeterli tartışılmasına neden olmuştur.

Tablo 4. Acile başvuran obstetrik hastalarının triyaj dağılımlarının uyumluluk düzeyi

(Table 4. Compliance level of triage distributions of emergency service obstetric patients)

	N	Kappa (K)	P
Triyaj uyumluluk	1981	0.601	0.000

*Kappa katsayısı 0-1 aralığında değer alır ve buna göre;
0,93-1: Mükemmel
0,81-0,92: Çok İyi
0,61-0,80: İyi
0,41-0,60: Orta Düzeyde
0,21-0,40: Ortanın Altında
0,01-0,20: Zayıf Uyumu Tanımlamaktadır (Aksakoğlu, 20013)

Tablo 4'de yer alan Kappa (k) testi sonuçlarına göre, acil servise başvuruda bulunan obstetrik hastalarının sağlık personeli tarafından yapılan triyaj sınıflandırılması ile araştırmacının yapılan bu triyajı hastane triyaj protokolü ile karşılaştırması arasında iyi derece uyum tespit edilmiş ve istatistiksel olarak da ileri düzeyde anlamlı bulunmuştur (Tablo 4) ($k=0.601$, $p=0.000$). Araştırma bulgularına göre kappa analizi ile elde edilen iyi derece uyum; hastane personelinin yaptığı triyaj sınıflaması ile hastane triyaj protokolünün arasında düzeltilmesi gereken noktalar olmakla birlikte tutarlıdır. Acil servise başvuran hastalara müdahale önceliğini veren triyaj sınıflandırılmasında; hastaların bulunmaları gereken triyaj sınıflamasından bir alt sınıfa yerleştirilmeleri hasta tedavi güvenliğini tehlikeye sokarken, üst sınıfa yerleştirilmeleri de kaynakların erken tükenmesine neden olabilir [19]. Göransson ve arkadaşları tarafından 423 triyaj hemşiresi üzerinde yapılan bir çalışmada, hemşirelerin doğru sınıflama yapabilme oranının ortalama % 58 olduğu ve doğru triyaj kararı ile kişisel özellikler arasında bir ilişki olmadığı saptanmıştır [20]. Chung tarafından triyaj kararı ile hemşirelerin deneyimleri arasında bir ilişki olup olmadığının saptanmaya çalışıldığı kalitatif bir çalışmada ise, hemşireler bölünerek çalışmanın, zaman kısıtlılıklarının ve eğitim eksikliğinin triyaj kararı sürecini olumsuz etkilediğini bildirmişlerdir [21].

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Acil sağlık hizmetlerinde triyaj önemli yer tutar. Sayı veya talep ne kadar yüksek ve yoğun olursa, eldeki imkânlar cevap verebilecek kapasitede ve yeterlilikte değil ise triyaja duyulan gereksinim artar. 2. Basamak sağlık hizmeti sınıfında bulunan dal hastanelerinin artması sonucunda ise genel triyaj sistemlerinin yerini özerk triyaj sistemlerinin doğmasını beraberinde getirmiştir. Ülkemizde sadece karma acil servislerde ve çocuk acil servislerinde yapılmış çalışmalar vardır. Biz bu çalışmayla triyaja yeni boyut kazandıran ve ebelik mesleğiyle yakından ilgili olan kadın doğum hastanelerinin acil servisine uygulanan obstetrik triyajı ele aldık. Ülkemizde bu konuyla ilgili yapılmış bir çalışma araştırmalarımıza göre henüz bulunmamaktadır. Obstetrik triyaj, acil obstetrik bakımda anne ölümlerinin önlenmesinde ortaya konan gecikme modellerinin ortadan kaldırılmasına katkı sağlayan bir sistem olması nedeniyle, sağlık hizmeti veren kurum ve kuruluşlarında ve sağlık bakım vericiler tarafından da bilinmesi gereken bir süreçtir. Ülkemizde son yıllarda



yapılan anne ölümleri ile ilgili çalışmalara göre; anne ölümlerinde düşüş olmakla beraber istendik düzeyde değildir.

6. ÖNERİLER (RECOMMENDATIONS)

Araştırma sonucunda elde edilen bulgular doğrultusunda acil serviste uygulanan triyajın hastanenin mevcut triyaj protokolüne uygun olduğu görülmüştür. Ancak;

- Daha kapsamlı bir triyaj protokolünün hazırlanması yararlı olabilir.
- Kadın doğum hastanelerinin acil servislerinde obstetrik triyaj ile ilgili daha çok çalışma yapılması ve elde edilen sonuçların obstetrik triyaj protokollerinin geliştirilmesinde kullanılması önerilebilir.
- Anne ve bebek ölümlerini önlemede önemli bir yere sahip olan triyaj uygulamasının tüm hastanelerde sağlıklı bir biçimde uygulanması önerilebilir.
- Obstetrik triyaj konusuna sağlık profesyonellerinin lisans ve lisansüstü müfradat programlarında ayrıntılı bir biçimde yer verilebilir.
- Hastanelerin hizmet içi eğitimlerinde sağlık personelinin obstetrik triyaj bilgilerinin güncellenmesini sağlayacak eğitim programlarına yer vermeleri önerilebilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Edirne, T., Edirne, Y., Atmaca, B. ve Keskin, S., (2008). Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tıp Fakültesi Acil Servis Hastalarının Özellikleri. Van Tıp Dergisi, 15(4):107-111.
2. Eryılmaz, M., (2007). Ülkemizde Acil Sağlık Hizmetleri: İhtiyaca Yönelik Güncel Çözüm Önerileri. Ulus Travma Acil Cerrahi Dergisi, 13(1):1-12.
3. Asplin, B.R., Magid, D.J., Rhodes, K.V., et, al., (2003). A Conceptual Model of Emergency Department Crowding. Ann Emerg Med, 42:173-80.
4. Taşkın, L., (2005). Doğum ve Kadın Sağlığı Hemşireliği. VII. Baskı: Ankara; Sistem Ofset.
5. Maine, D., Wardlaw, T.M., Ward, V.M., McCarthy, J., Birnbaum, A., Akalin, M.Z., et, al., (1997). Guidelines for Monitoring the Availability Emergency Obstetric Care in Pakistan: Potential for reduced maternal mortality and use of obstetric services. New York, UNICEF/WHO/UNFPA.
6. Government of Pakistan. Economic survey 2002-03. Economic Advisers Wing, Islamabad Finance Division; 2003.
7. Maine, D., (2001). Rosenfield A. The AMDD Program: History, focus and structure. Intern J Gynecol Obstetri, 74:99-103.
8. İçde, F.A., Gül, R., Yalçın, M. ve Karadenizli, M., (2008). Anne Ölümleri ve Acil Obstetrik Bakım. Genel Tıp Dergisi, 18(1):47-53.
9. Taşkın, L. ve Koç, G., (2006). I. Basamak Sağlık Kuruluşlarında Verilen Perinatoloji Hizmetlerinde Ebe ve Hemşireler. Hemşirelik Yüksekokulu Dergisi, 1:48-56.
10. Hacettepe Üniversitesi Nüfus Etütleri Enstitüsü Türkiye Nüfus ve Sağlık Araştırması, (2013). Hacettepe Üniversitesi Nüfus Etütleri Enstitüsü, Sağlık Bakanlığı Ana Çocuk Sağlığı ve Aile Planlaması Genel Müdürlüğü, Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı ve TÜBİTAK, Ankara, Türkiye. (Erişim Tarihi: 30.12.2013)

11. Saka, G., Ertem, M. ve İlçin, E., (2008). Diyarbakır Doğum Evi Hastanesinde Doğum Yapan Gebelerde Risk Faktörleri: Ön Çalışma. *Perinatolaji Dergisi*, 9(2):110-115.
12. Keskinoglu, P., Bilgiç, N., Pıçakçiefte, M., ark., (2007). Perinatal Outcomes and Risk Factors of Turkish Adolescent Mothers. *J Pediatr Adolesc Gynecol*, 20:19-24.
13. Droobinin, K.A., Heidt Davis, P.E., Gross, T.K., and Isaacmen, D.J., (2003). Nourgent Pediatric Emergency Deperment Visits: Care-seeking Behavior and Parental Knowledge of Insurance. *Pediatr Emergcare Fub*, 19(1):10-14.
14. Atabek, M.E., Oran, B., Çoban, H. ve Erkul, İ., (1999). Çocuk Acile Başvuran Hastaların Özellikleri. *Selçuk Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi*, 15(2):89-92.
15. Civaner, M., (1999). Bir Devlet Hastanesinin Acil Servisine Başvuran Hastaların Analizi. *Sağlık ve Toplum*, (1):3-7.
16. Buesching, D.P., Jablonowski, A., Vesta, E., Dilts, W., Runge, C., Lund, J., et, al., (1985). Inappropriate Emergency Department Visits. *Ann Emerg Med*, 14:672-6.
17. Sözeri, C., Cevahir, R., Şahin, S. ve Semiz, O., (2006). Gebelerin Gebelik Süreci İle İlgili Bilgi Ve Davranışları. *Fırat Sağlık Hizmetleri Dergisi*, 1(2):93-104.
18. Gürsoy, Ş.T., Çiçeklioğlu, M., Türk, M., Sözbilen, M., (1999). E.Ü.T.F Acil Servisine Bir Yıl İçinde Başvuran Hastaların Sosyo Demografik Özelliklerinin ve Başvuru Zamanlarının Değerlendirilmesi. *Ege Tıp Dergisi*, 38(2):109-112
19. Fernandes, C.M.B., Tanabe, P., Gilboy, N., Johnson, L.A., McNair, R.S., Rosenauü, A.M., e,t al., (2005). Five-level Triage: a Report from the ACEP/ENA Five-level Triage Task Force. *J Emerg Nurs*, 31:39-50.
20. Göransson, K.E., Ehrenberg, A., Marklund, B., Ehnfors, M., (2006). Emergency Department Triage: Is there any Link Between Nurses' Personel Characteristic and Accuracy in Triage Decisions? *Accid Emerg Nurs*, 14:83-8.
21. Josephine, Y.M. and Chung, J.Y., (2005). An Exploration of Accident and Emergency Nurse Experiences of Triage Decision Making in Hong Kong. *Accident and Emergency Nursing*. Vol:13, Issue:4, pp:206-213.



Uğur Çaligülü

Fırat University, ucaligulu@firat.edu.tr, Elazığ-Turkey

Mustafa Türkmen

Kocaeli University, mustafa.turkmen@kocaeli.edu.tr, Kocaeli-Turkey

Ali Kaya Gür

Fırat University, alikayagur@gmail.com, Elazığ-Turkey

Remzi Kallı

Fırat University, Elazığ-Turkey

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.2A1PB>

FRICION WELDING OF AZ63 MAGNESIUM ALLOYS

ABSTRACT

In this study, the weldability of AZ63 magnesium alloys using friction welding was investigated. AZ63 magnesium alloys each of which had a 12 mm diameter were used to fabricate the joints. The friction welding tests were performed by using a direct-drive type friction welding machine. After friction welding, interface regions of the welded specimens were examined by OM, SEM, EDS and X-Ray analysis to determine the microstructure changes. Microhardness and tensile tests were conducted to determine mechanical properties of the welded specimens. The experimental results indicated that AZ63 magnesium alloys using the friction welding technique for achieving a weld with sufficient strength. Tensile strength values also confirmed this result and intermetallic phases did not occur at the interface.

Keywords: AZ63, Friction Welding, Microstructure,
Tensile Strength, Microhardness Test

1. INTRODUCTION

Due to their low weight and high specific strength (strength/density) properties, magnesium alloys are the lightest one among the metals currently used as building materials mainly in automotive and aerospace industry and in the fields like defense industry [1, 2 and 3]. While these alloys are likening to plastics in terms of their density and evaporation properties, they also have the mechanical properties of a metal. It is a material sought in terms of density, strength, and rigidity advantage for fuel efficiency and performance enhancement. In addition, magnesium is much more rigid than engineering plastics and is a much more recyclable material. Recyclability, as important as light weight, has become a key factor in the selection of materials for the protection of raw materials and energy resources of the world [3, 4 and 5]. Unalloyed magnesium has low strength and toughness values. Therefore, it is used by alloying. Al, Zn, and Mn from alloying elements increase strength, toughness, and corrosion resistance, respectively. However, more than 2% Zn causes red shortness. Nowadays, rare earth metals to reduce microporosity, Zr for grain refinement, Ag or Cu for improving high temperature properties, and Th for improving creeping properties are used as alloying elements.

Mg-Zn-Al triple alloy is the alloy group most commonly used and tried to be developed [1 and 6]. By alloying magnesium with alkaline earth metals, particularly Al and Zn, and with elements of trace amounts like Si, Y, Ca, Sr, Ba, Sb, Sn, Pb and Bi, its mechanical



properties are increased and its usage area gradually increases with its performance [4]. AZ series magnesium alloys are the most used alloys in magnesium alloys due to their good castability and mechanical properties. They are frequently used especially in aerospace industry and automotive sector [7]. Friction welding is a solid state joining process which can be used to join a number of different metals. The process involves making welds in which one component is moved relative to, and in pressure contact, with the mating component to produce heat at the faying surfaces. Softened material begins to extrude in response to the applied pressure, which create an annular upset. Heat is conducted away from the interfacial area for forging. The weld is completed by applying a forge force during or after the cessation of relative motion. The joint undergoes hot working to perform a homogenous, full surface, and high-integrity weld [16 and 20].

Friction welding is the only viable method in this field to overcome the difficulties encountered in the joining of dissimilar materials with a wide variety of physical characteristics. Compared to others, the advantages of this process are; no melting, high reproducibility, short production time, and low energy input [21 and 25]. Kati et al., observed that there was an increase in the strength and hardness of the welded joints depending on the increase in friction and upsetting pressure [3]. Buldum et al., observed that the less amount of metallurgical transformations and precipitates affecting negatively the connection performance of the weld zone due to the absence of a fusion event in solid state welding methods as in fusion welding methods is more efficient for the welding of magnesium and its alloys [8]. Bulut observed that temperatures sufficient for joining could not be reached at low rotational speed in the joints welded by friction stir welding and a more brittle structure retained itself since recrystallization did not take place [4]. Şık observed in his studies that the amount of heat entering the weld metal can be controlled by the welding parameters [9]. As a result of SEM and EDX analyses, Uslu observed that the problems encountered in fusion welding such as cracks and pore formation are less because the loss in mechanical properties is minimal and the method is a solid state welding since the materials welded with resistance spot welding are not affected by heat compared to the other welding methods [10]. In the radiography examinations conducted by Turkmen et al., they observed that flange amount increased depending on the increase in the rotational speed, friction and upsetting pressure [11]. In their studies, Kırık et al., determined that microstructure elements changed based on the increase in the friction time [12]. Caligulu et al., observed after their radiographic examinations on the friction-welded specimens that more efficient and effective joints were realized with the increasing rpm [13]. Orhan et al., found that HAZ extended and accordingly the hardness values also increased depending on the increasing rpm [14]. Mercan and Özdemir observed that the mechanical and microstructural properties changed according to the welding parameters and the weld quality increased when the compatible parameters were selected [15]. In this study, the objective of the present work is to examine the weldability of AZ63 magnesium alloys using friction welding.

2. RESEARCH SIGNIFICANCE

AZ series magnesium alloys are the most used alloys in magnesium alloys due to their good castability and mechanical properties. They are frequently used especially in aerospace industry and automotive

sector. In this study, the weldability of AZ63 magnesium alloys using friction welding was investigated. The friction welding tests were performed by using a direct-drive type friction welding machine. After friction welding, interface regions of the welded specimens were examined by OM, SEM, EDS and X-Ray analysis to determine the microstructure changes. Microhardness and tensile tests were conducted to determine mechanical properties of the welded specimens. The experimental results indicated that AZ63 magnesium alloys using the friction welding technique for achieving a weld with sufficient strength.

3. EXPERIMENTAL PROCEDURES

AZ63 magnesium alloys 12mm diameter were used to fabricate the joints in this study. Table 1 shows the chemical compositions of the base metals. The friction welding tests were carried out using a direct-drive type friction welding machine. Table 2 presents mechanical properties of AZ63 alloys. Table 3 shows the experimental conditions. The experimental set-up is shown in Figure 1. Rotational speed, friction time, and upsetting time from the friction welding parameters were kept constant during the welding and the welding was performed so that the friction pressure was 20MPa, 30MPa, and 40MPa and upsetting pressure was 40MPa, 60MPa, and 80MPa.

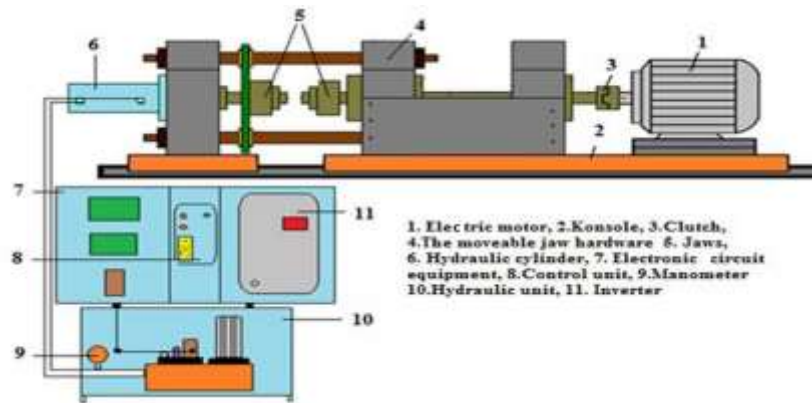


Figure 1. Experimental set-up [19]

Table 1. Chemical compositions of AZ63 magnesium alloys

Materials	Alloy Elements (% wt)						
AZ63	Al	Zn	Cu	Ni	Mn	Si	Mg
	5.65	2.7	0.08	0.01	0.11	0.12	91.31

Table 2. Mechanical properties of AZ63 magnesium alloys

Materials	Tensile Strength (MPa)	Yield Strength 0.2% (MPa)	Elongation (%)	Microhardness (HV)
AZ63	240	128	6-12	65-70

After the welding, the specimens were cut with water-cooled discs in the direction perpendicular to the joint area in order to examine the structural changes occurring in the joint area. The surfaces of the specimens cut in the perpendicular direction were cleaned with 400, 600, 800, 1000, and 1200 mesh abrasive respectively to make metallographic investigations on the specimens. The cleaned surfaces were polished with 3- μ m diamond paste. After the polishing process, the specimens were etched with a solution containing 3-unit HCl acid and 1-unit HNO₃ to make the specimens ready for metallographic investigations. The microstructures of the joints were observed by

using Optical Microscopy (OM), the Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) and X-Ray Diffraction (XRD). Micro-hardness measurements were taken under a load of 500g. Tensile tests were conducted at room temperature with 0.5mm s^{-1} cross-head rate.

Table 3. The process parameters used in the friction welding

Sample No	Welding Parameters					
	Rotating Speed (rpm)	Friction Pressure (MPa)	Forging Pressure (MPa)	Friction Time (s)	Forging Time (s)	Axial Shortening (mm)
S1	1700	20	40	6	4	1.3
S2	1700	30	60	6	4	2.7
S3	1700	40	80	6	4	3.1

4. RESULTS AND DISCUSSION

4.1. Evaluation of Microstructures

The macro-view of specimens S1, S2 and S3 welded under different welding conditions is shown in Figure 2. Visual examination of the welded specimens showed uniform weld joints. Maximum post-welding axial shortening is was measured as 3.1mm on specimen S3.



Figure 2. Overview of friction welded AZ63 magnesium alloys

The flash obtained was symmetric, which indicated plastic deformation on both the rotating and upsetting (reciprocating) side. The integrity of the joints was evaluated for the friction-welded joints. The friction processed joints were sectioned perpendicular to the bond line and observed through an OM microscope. It can be clearly seen that, there were no crack and voids at the weld interface. According to the microstructural observations, the microstructures formed interface zone during or after FW processes, and there were three distinct zones across the specimens as unaffected zone (UZ), deformed zone (DZ) and transformed and recrystallized fully plastic deformed zone (FPDZ). There were no blanks, cracks or porosities in the weld zone (Figure 3). It was observed that the DZ zone contracted with the increase of the friction pressure and the upsetting pressure. This can be attributed to increased ejection of the material which became viscous at the joining interface along with the increased friction pressure. When the FPDZs were examined, it was observed that the elongation of the grain structures occurred due to the increase in friction pressure and upsetting pressure.

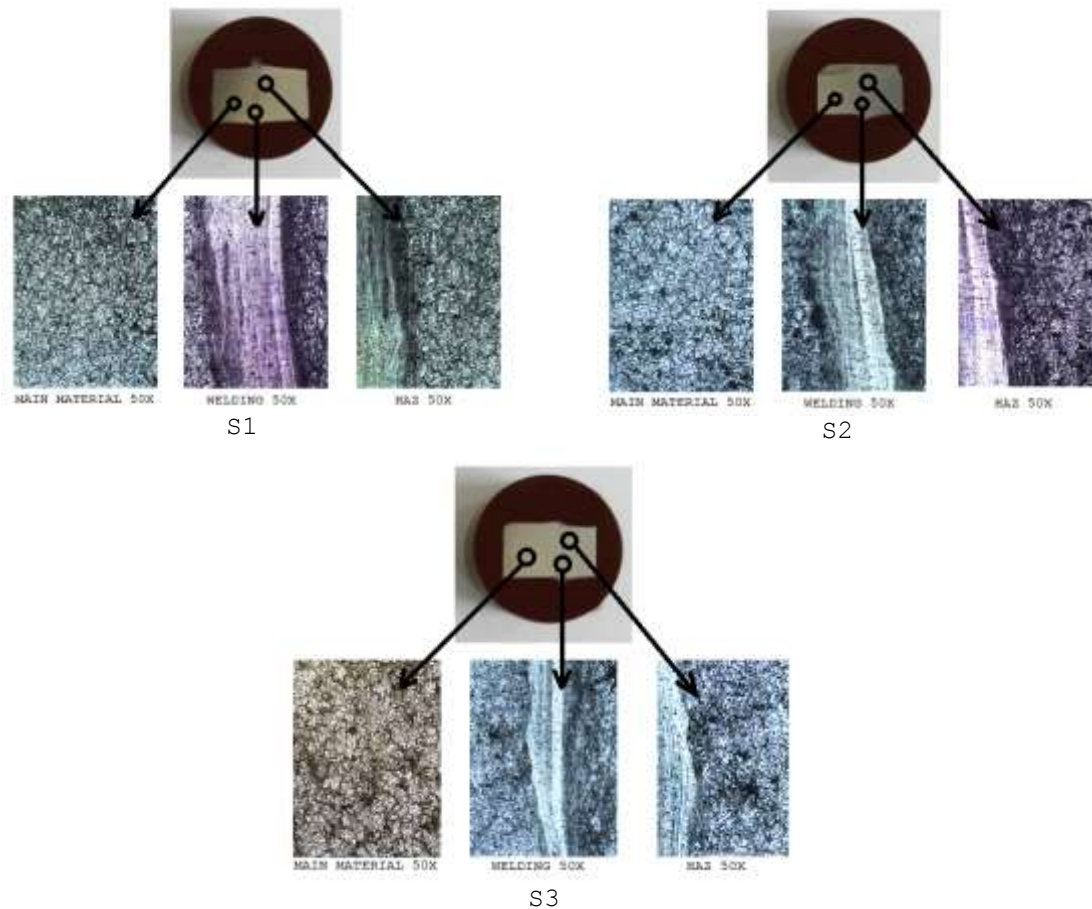


Figure 3. Optical micrograph taken from the welding interface of the specimens S1, S2 and S3 respectively

4.2. Tensile Test Results

Shape and measurements of the tensile specimens are present in Figure 4. The results of tensile tests are present in Figures 5 and 6, respectively. As is also seen in Figure 5, while the fracture in S1 and S2 specimens was seen in the weld zone and in a zone outside of the weld zone and the fracture was observed in a zone outside the weld zone in specimen S3. The magnesium element has a brittle structure due to its structure and thus it shows brittle fracture due to this property. When the fracture surfaces of the welded joints of specimens S1-S2, and S3 whose tensile tests were performed were examined, a ductile-brittle fracture was observed to form. When the graph of the tensile test results in Figure 6 was examined, it was observed that the maximum tensile stress was 150MPa in specimen S1, 165MPa in specimen S2, and 185MPa in specimen S3. As is seen from the tensile test results, an increase was observed in the maximum tensile strength of the welded joints namely strength of the welded joint depending on the increase in the friction pressure and upsetting pressure.

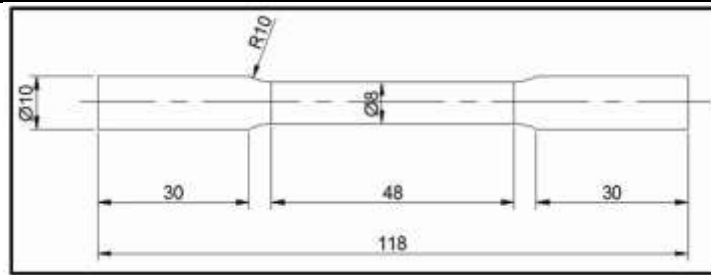


Figure 4. Shape and measurement of the tensile test specimens
([TSE 138] [26])



Figure 5. Optical macro-photo of tensile test results of friction-welded joints

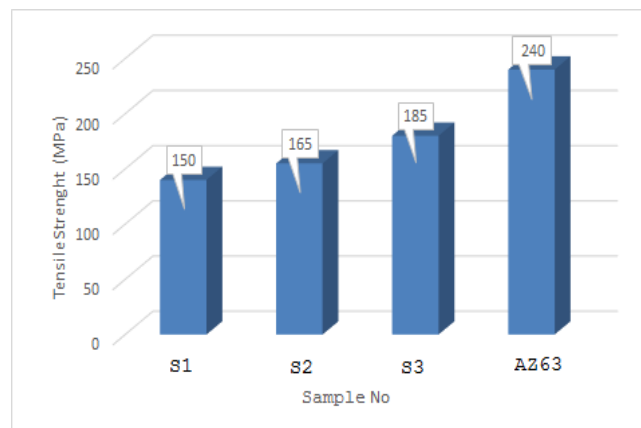
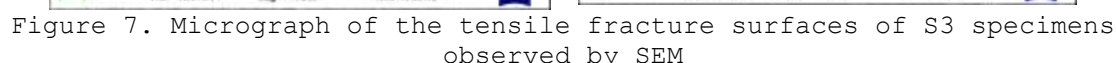


Figure 6. Tensile test results of friction-welded joints

4.3. Fractography

Figure 7 shows the images of the fracture surfaces caused by the tensile test for the friction-welded specimen S3. In the EDS analyses (Table 4) taken from the 20 μ m area of the fracture surface occurring as a result of the tensile test of specimen S3, 7.75% Al, 0.37% Zn, 0.50% Ni, and 0.20% Si were determined. When the fractured surface and SEM images of the material were examined, the ductile-brittle fracture mechanism was observed to occur.



EDS point	Alloying elements (wt%)				
	Al	Zn	Ni	Si	Mg
1	7.75	0.37	0.50	0.20	91.18

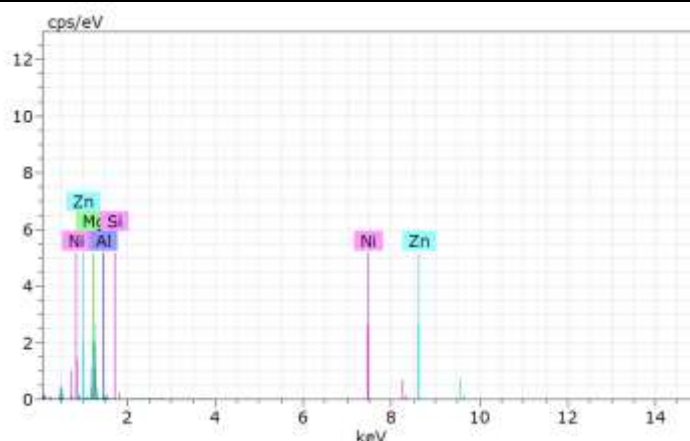


Figure 8 illustrates microhardness measurements in the direction perpendicular to the weld interface of the friction-welded joints for specimens S1-S3. As seen in the graph, it was observed that the hardness values increased in all specimens when it progressed from the base material to the weld zone. The microhardness increase observed when it progressed from base material to the deformation zone may be attributed to the fact that the deformation zone was the latest cooling zone and the material movement and orientation in this zone were low [3]. Besides, the main reason for this was associated with the temperature increase in the interface, which was caused by deformation and friction. When the hardness values were compared among themselves, it was observed that there was an increase in the hardness values parallel to the increase in the friction pressure and the upsetting pressure.

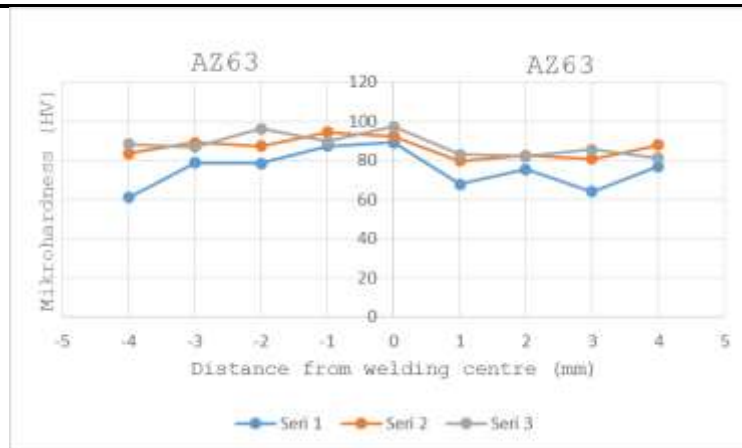


Figure 8. Microhardness distribution across the welding interface of friction-welded specimens

4.5. X-Ray Diffraction

Figure 9 illustrates X-Ray diffraction across the interface of the specimen S1. In the X-Ray analysis, $Mg_{0.97}Zn_{0.03}$ phase was determined (Figure 9).

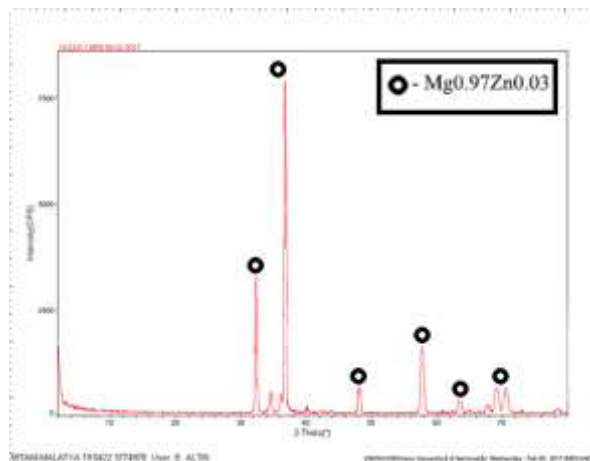


Figure 9. The result of XRD analyses S1 specimen

4.6. EDS Analysis

In the EDS analysis (Table 5 and Figure 10) taken from 3 points at the welding interface at a distance of 100μm from the specimen S3, 5.68% Al, 0.43% Zn, and 0.38% Cu elements were detected, but no intermetallic phase formation was determined.

Table 5. Quantity of concentration taken from EDS analysis across the welding interface of S3 specimen

EDS point	Alloying elements (wt%)			
	Al	Zn	Cu	Mg
1-2-3	5.68	0.43	0.38	93.50

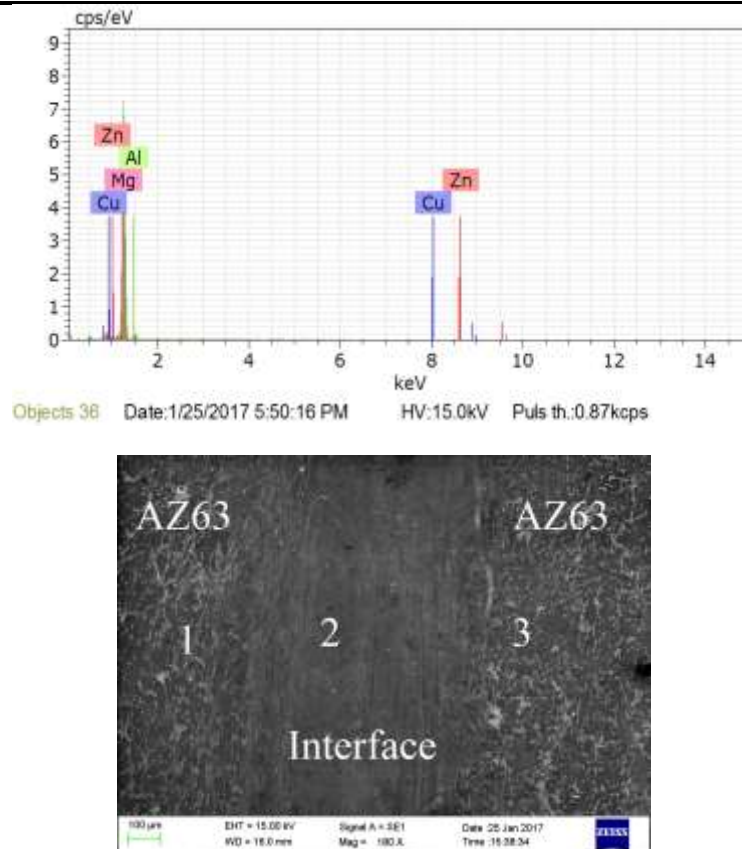


Figure 10. EDS analyses across the welding interface of the friction-welded specimen S3

5. CONCLUSION

AZ63 magnesium alloys were joined by friction technique using different process parameters. Below are conclusions drawn based on the results of microstructure analysis, hardness and tensile tests.

- This study showed that AZ63 magnesium alloy can successfully be joined by using the friction welding technique. Comprehensive micro-structural investigations for friction welded AZ63 magnesium alloys revealed that there were different zones at the welding interface, the wideness of fully plasticized deformed zone (FPDZ) decreased when rotational speed and forging time increased.
- When welded joints were examined, no friction and unconnected regions were encountered at macro and micro levels.
- When examining from microstructure aspect, there was a contraction in the deformed region depending on the increase in friction pressure and upsetting pressure.
- When examining from microstructure aspect, an increase was observed in hardness as it progressed from the base material to the weld zone. Depending on the increase in friction and upsetting pressures, an increase occurred in the hardness of the welded joints. The highest microhardness value was measured as 97.2HV in specimen S3.
- As a result of tensile tests, it was found that while specimens S1 and S2 fractured from the welded joint, specimen S3 did not fracture from the welded joint.
- With the increase of friction pressure and upsetting pressure from the welding parameters, an increase occurred in the



strength of the welded joints. The highest tensile value was measured as 185MPa on specimen S3 welded under 40MPa friction pressure and 80MPa upsetting pressure.

- In X-ray analysis, Mg_{0.97}Zn_{0.03} phase was detected. When Al, Zn, Cu, and Mg elements were detected in the EDS analysis, no intermetallic phase formation was observed.

REFERENCES

1. Kacar, I., Zile, M., and Ozturk, F., (2006). Magnesium Alloys in Aero Industry. 1st National Aerospace Conference, METU, Ankara.
2. Ozturk, F. and Kacar, I., (2012). Investigation of Magnesium Alloys and Their Applications. Nigde University, Journal of Engineering Sciences, Vol:1(1), pp:12-20.
3. Kati, N., Akkas, M., Kirik, I., and Ozan, S. (2012). The Investigation of Weldability by Friction Welding of AM50/AM60 Magnesium Alloys. 2nd International Welding Technology Conference and Exhibition, pp:313-321.
4. Bulut, R., (2009). The Investigation of Weldability of the AZ31 Magnesium Alloys by Friction Stir Welding. Dumlupınar University, Institute of Science and Technology, Master Thesis.
5. Koc, E., (2008). An Investigation of Effect of Alloying Elements on Properties of Magnesium Castings. Karabuk University, Institute of Science and Technology, Master Thesis.
6. Zhang, Z. and Couture, A., (1998). An Investigation of the Properties of Mg-Zn-Al Alloys. Scripta Materialia, Vol:39 no:1 pp:45-53.
7. Buyukgenc, O., (2011). Investigation of Mechanical and Microstructural Properties of AM60 and AZ61 Magnesium Alloys Depending on Cooling Rate. Karabük University, Institute of Science and Technology, Master Thesis.
8. Buldum, B., Sık, A., and Erturk, I., (2012). Investigation of Torsional Fatigue Strength of Magnesium Plates Welded with TIG and Friction Stir Welding (FSW), 2nd International Welding Technology Conference and Exhibition, pp:423-431, 23-25 May.
9. Sık, A., (2010). Examination of Mechanical Properties of Magnesium Plates Joined by Friction Stir Welding. SAU. Journal of Naturel Science, Vol:14(2), pp:134-140.
10. Uslu, P., (2011). Investigation of The Mechanical Properties of The Resistance Spot Welded Joint's of The Magnesium Alloy. Karabuk University, Institute of Science and Technology, Master Thesis.
11. Caligulu, U., Acık, M., Turkmen, M., and Gur, A.K., (2016). Radiography Test of AISI 1010-Copper Alloys Welded by Friction Welding. SYLWAN, vol:160(4), pp:468-479.
12. Kirik, I., Ozdemir, N., and Caligulu, U., (2012). Examination of Microstructure and Mechanical Properties of Friction Welded Joints of Medium Carbon Steel to Austenitic Stainless Steel. 14th International Materials Symposium (IMSP'2012). Pamukkale University, 10-12 October 2012, pp:501-510. Denizli/Turkey.
13. Caligulu, U., Kati, N., Turkmen, M., and Ozan, S., (2015). The Investigation Radiography of AISI 4340 Steel Welded by Friction Welding Method. 2nd International Iron-Steel Symposium (IISS'15), 1-3 April 2015, Karabuk, Turkey.
14. Caligulu, U., Orhan, A., and Gur, A.K., (2007). Effect of Rotational Speed on the Microstructure of Friction Welded AISI 420/AISI 1010 Steels. Firat University. Journal of Science and Engineering Sciences Vol:19(4), pp:583-592.



15. Mercan, S. and Ozdemir, N., (2017). Weldability characteristics of friction-welded AISI 2205 to AISI 1020 steels. *Welding in the World* (2017). pp:1-11. doi:10.1007/s40194-017-0441-1.
16. Chalmers, R.E., (2001). The Friction Welding Advantage. *Manufacturing Engineering*. 126, pp:64-65.
17. Ozdemir, N., (2005). Investigation of the mechanical properties of friction-welded joints between AISI 304L and AISI 4340 steel as a function rotational speed. *Materials letters*. Vol:55, pp:2504-2509
18. Spindler, D.E., (1994). What Industry Needs to Know Friction Welding, *Welding Journal*, pp:37-42.
19. Kirik, I., Ozdemir, N., and Caligulu, U., (2013). Effect of Particle Size and Volume Fraction of the Reinforcement on the Microstructure and Mechanical Properties of Friction Welded MMC to AA 6061 Aluminum Alloy. *Kovove Materials*, 51(4), pp:221-227.
20. Sathiya, P., Aravindan, S., and Noorul, H.A., (2007). Some Experimental Investigations on Friction Welded Stainless Steel Joints. *Materials and Design*, 29, pp:1099-1109.
21. Kirik, I., Ozdemir, N., and Sarsilmaz, F., (2012). Microstructure and Mechanical Behaviour of Friction Welded AISI 2205/AISI 1040 Steel Joints. *MP Material Testing*, Vol:54(10), pp:683-688.
22. Uday, M.B., Ahmad, Fauzi, M.N., Zuhailawati, H., and Ismail, A.B., (2010). Advances in Friction Welding Process: a review. *Science and Technology of Welding and Joining*, 15(7), pp:534-558.
23. Domblesky, J. and Kraft, F.F., (2007). Metallographic Evaluation of Welded Forging Preforms. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol:191, pp:82-86.
24. Celik, S. and Ersozlu, I., (2009). Investigation of the Mechanical Properties and Microstructure of Friction Welded Joints between AISI 4140 and AISI 1050 Steels. *Materials and Design*, Vol:30, pp:970-976.
25. Celik, S., Dinc, D., Yaman, R., and Ay, I., (2010). An Investigation on Weldability of AISI 304 and AISI 1040 Steels on Friction Welding. *Practical Metallography*, 47(4), pp:188-205.
26. Kati, N. and Ozan, S., (2014). Investigation of Joinability by Friction Welding Method of AISI 420 Martensitic Stainless Steel. *NWSA*, 2A0086, pp:22-30.



Uğur Çalığülü

Fırat University, ucaligulu@firat.edu.tr, Elazığ-Turkey

Mustafa Türkmen

Kocaeli University, mustafa.turkmen@kocaeli.edu.tr, Kocaeli-Turkey

Alpay Özer

Gazi University, aozer@gazi.edu.tr Ankara-Turkey

Ali Kaya Gür

Fırat University, alikayagur@gmail.com, Elazığ-Turkey

Mustafa Taşkın

Mersin University, mtaskin@mersin.edu.tr, Mersin-Turkey

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.2A2PB>

FATIGUE BEHAVIOR OF AISI 430-AISI 1010 STEELS WELDED BY LASER BEAM WELDING

ABSTRACT

In this study, fatigue behavior of AISI 430 ferritic stainless steel to AISI 1010 low carbon steel welded by CO₂ laser beam welding were investigated. Laser welding experiments were carried under helium atmosphere at 2000, 2250 and 2500 W welding powers and 100 cm.min⁻¹ welding speeds. The welding zones were examined by optical microscopy, scanning electron microscopy, energy dispersive spectroscopy analysis. Fatigue tests were applied to specimens extracted from welded joints. Fracture surfaces of fatigue samples were examined by scanning electron microscopy. The experimental results indicate that mechanical properties and microstructural features are affected significantly by welding power. The fatigue strength of CO₂ laser welded samples increase due to higher of deep penetration in welding zone with increasing welding power in chosen conditions. The best properties were observed at the specimens welded, at 2500 W welding power.

Keywords: Laser Beam Welding, Fatigue Strength,
AISI 1010, AISI 430

1. INTRODUCTION

Stainless steels can generally be welded with all methods of fusion welding and solid state welding. Out of the fusion welding methods, electric arc welding, submerged arc welding, MIG, TIG, Plasma welding, electron beam welding, resistance welding, and laser beam welding are widely used. In the fusion welding methods for joining the stainless steel, brittle intermetallic compounds phases are produced in the fusion zone, which reduces the strength of the welding joint. However, in the laser beam welding (LBW) joining of stainless steel, because these phases are reduced, it improves the performance of the stainless steel joint [1 and 5]. LBW, using laser beam of high energy density as a heat source, is a highly efficient and precise welding method. It has some excellences, such as high energy density, focalization, deep penetration, high efficiency and strong applicability, and it is widely applied to welding zone requiring the high precision and high quality, including aviation and space flights, automobile, microelectronics, light industry, medical treatment and nuclear industry. As LBW is a fast but unbalanced heat-circulation process, larger temperature degrees appear around the weld, therefore the residual stress and deformation of different extent can also appear



in the post welding structure. All of these phenomena become important factors, influencing the quality of welding structure and the usable capability. Understanding the thermal process of welding is crucial to analyze the mechanical welding structure and microstructure as well as controlling of welding quality [6 and 9].

Fatigue is progressive localized permanent structural change that occurs in a material subjected to repeated or fluctuating strains at stresses having a maximum value less than the tensile strength of the material. It has been estimated that 90% of the failures, which occur in engineering components, can be attributed to fatigue and high portion of the fatigue failures are associated with a weldment with stress concentrations and possible weld defects [10]. Fatigue affecting factors; such material type, the effects of composition and structure, the effects of surface properties, the effect of the notch, the effects of strains, the effect of the corrosion, the effect of the working environment, construction and montage errors, the effect of temperature, the effect of frequency (test speed), dimensional as factors [11 and 13].

It is well known that the majority of failures that occur in the structures are caused by fatigue failure in weldments due to fatigue type of loading experienced by the structures [14]. Very few studies have been carried out to evaluate the fatigue properties of AISI 430 ferritic stainless steel weld [15]. The fatigue process and its mechanism are largely influenced by the presence of material non-homogeneities. It has been found by several researchers that generally fatigue cracks originate either in the heat affected zone or in the weld materials due to fatigue loading and could be the potential source of catastrophic failures in some unfortunate situations [16]. Taskin et al. [17] analysed X-Ray Tests of AISI 430 and 304 Stainless Steels and AISI 1010 Low Carbon Steel Welded by CO₂ Laser Beam Welding. The result of the radiographic tests indicated that by increasing of heat input the widths of the deep penetration increased in all specimens. On the contrary, increasing of welding speeds the widths of the deep penetration decreased were obtained. Vural et al. [18] analysed the effect of welding nugget diameter on the fatigue strength of the resistance spot welded joints of different steel sheets and reported that galvanized steel sheet combination has the highest fatigue limit and crack growth rate of the spot welded galvanized-AISI 304 joining type is slower than that of base metals given in literature. C and m coefficients of Paris-Erdogan equation for spot welded AISI 304-galvanized steel sheet joints were obtained. Yuri et al. [19] analysed the effect of welding structure on high-cycle and low cycle fatigue properties for MIG welded A5083 aluminium alloys and cryogenic temperatures and reported that in the high-cycle fatigue tests the ratios of 10⁶ fatigue strength to tensile strength for A5183 weld metals were slightly lower than A5083, in the low-cycle fatigue tests fatigue lives for A5183 weld metals were slightly shorter than A5083. Jang et al. [20] analysed the effects of microstructure and residual stress on fatigue crack growth of stainless steel narrow gap welds and reported that the fatigue crack growth rate depended on both dendrite alignment and residual stress distribution in the weld, such that the fatigue crack growth rates were greatest at the boundary between the inner weld deposit and the outer weld deposit where the dendrites were well aligned and the high tensile residual stress existed. Taban et al. [21] analysed the laser welding of modified 12% Cr stainless steel: Strength, fatigue, toughness, microstructure and corrosion properties and reported that fatigue behavior of clean 1.4003 ferritic stainless steel weld is



excellent provided weld defects are omitted and all excess of weld metal is removed appropriately or at least the transition from weld to base metal is suitably smoothened. Under these conditions, the fatigue strength of butt welds is comparable with that of the base metal. The major withdrawal of the stainless steel is the tendency to grain coarsening at the high temperature heat affected zone.

The main objective of this investigation was to evaluate changes in position of the incident laser beam, with respect to the joint, on the characteristics of the weld fillet, such as, its grain coarsening, depth of penetration, formation of cracks and pores. Alloying element distribution along the cross-section of the weld and mechanical properties of the weld, determined from microhardness and fatigue tests were also measured and correlated to the welding powers.

2. RESEARCH SIGNIFICANCE

The main objective of this investigation was to evaluate changes in position of the incident laser beam, with respect to the joint, on the characteristics of the weld fillet, such as, its grain coarsening, depth of penetration, formation of cracks and pores. Alloying element distribution along the cross-section of the weld and mechanical properties of the weld, determined from microhardness and fatigue tests were also measured and correlated to the welding powers. This study, fatigue behavior of AISI 430 ferritic stainless steel to AISI 1010 low carbon steel welded by CO₂ laser beam welding were investigated. The experimental results indicate that mechanical properties and microstructural features are affected significantly by welding power.

3. EXPERIMENTAL PROCEDURE

3.1. Materials and Method

AISI 430 steels comprise approximately one half of the SAE-AISI type 400 series stainless steels. They are known with their excellent stress corrosion cracking resistance and good resistance to pitting and crevice corrosion in chlorine environments. Welding is known to reduce toughness, ductility and corrosion resistance because of the grain coarsening and carbide precipitations. The grain size gradually increases from the edge of heat affected zone (HAZ) to the fusion boundary. Welding of 400 series usually requires preheat and post-weld heat treatment to minimize stress that can lead to cracking [22].

At low carbon levels, the steel is non-hardening and the weldability is excellent. The bulk of the steel in this carbon range (less than 0.15 %C) is used for flat-rolled products (sheet and strip), which may contain up to 0.5 %Mn. Most of these steels are now aluminum-killed, continuous-cast product supplied in the cold-rolled and annealed condition. Typical uses for these steels are for automobile body panels, appliances, and light-walled tanks. These materials are the ones, which are cheap and easily shaped, and their hardness capabilities are low. Additionally, because their corrosion resistance is low, it becomes important to weld the parts of these materials, which are exposed to corrosion with stainless steels [23]. The chemical compositions, mechanical properties and physical properties of both steels were given in Table 1 and 2 respectively.

Table 1. Chemical composition, mechanical properties and physical properties of the experimental materials

Composition (wt.%)							
Materials	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr
AISI 1010	Bal.	0.0807	0.3	0.347	0.0108	0.0146	0.0181
AISI 430	Bal.	0.055	0.045	0.420	0.031	0.008	17.0

Table 2. The mechanical properties and physical properties of experimental materials

Mechanical Properties				
Materials	Tensile Strength (MPa)	Yield Strength 0.2% (MPa)	Elongation (%)	Hardness (Rockwell B)
AISI 1010	365	305	20	105
AISI 430	527	316	30	170
Physical properties				
Materials	Thermal Expansion at 20-800°C ($10^{-6}/K$)	Thermal Conductivity at 20°C (W/m.K)	Electrical Resistivity at 20°C (nΩ.m)	Elastic Modulus at 20°C (GPa)
AISI 1010	13	47	150	205
AISI 430	13	24	600	225

Steel plates to be joined were cut at 45x90x4mm dimensions. The laser welding experiments were carried under helium atmosphere with Trumpf Lazercell 1005 laser welding machine at 2000, 2250 and 2500W welding powers, 100cm.min⁻¹ welding speeds. Schematic illustration of LBW was given in Figure 1.

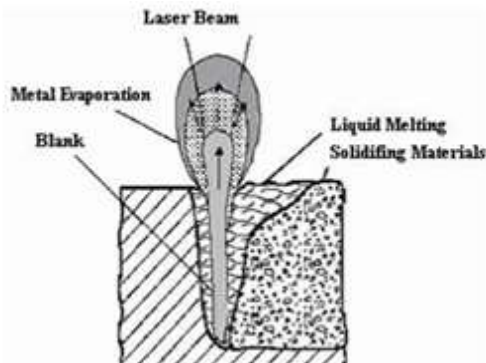


Figure 1. Schematic illustration of LBW [15]

3.2. Microstructure Analysis and Fatigue Test

The welded specimens were cut perpendicularly to the welding zone for post evaluations of weld integrity. After the process, the samples were ground to an 80-1200-grit and they were etched by polishing them with 0.3μm Al₂O₃ diamond paste and aqua region, respectively. For microstructural examination, AISI 430 ferritic stainless steel was etched electrolytically in a solution of 30% HCl+ 10% HNO₃ + 30% H₂O solution, and AISI 1010 low carbon steel was etched in 2ml HNO₃ + 98ml alcohol solution. Then the microstructures of the welding's were studied by means of scanning electron microscopy (SEM) equipped with energy depressive spectrometer (EDS). X-Ray diffraction analysis was performed to identify the structural phases. Fatigue test specimens were prepared according to DIN EN 50142 [24 and 25]. Fractography was also employed in evaluation of the fractured fatigue specimens.

4. RESULTS AND DISCUSSIONS

4.1. Microstructure

SEM images of welded joints were presented in Figure 2a, Figure 2b and Figure 2c respectively. Grain coarsening was observed at HAZ at both sides of weld interface and fine cracks were no traced at AISI 430 ferritic stainless and AISI 1010 low carbon steel side. Naturally, the area of weld (width) and HAZ have increased at increased powers because of high heat input at weld seam. Similar results were achieved at the research studies by Karaaslan et al. [22] and König and Otmanboluk, [26].

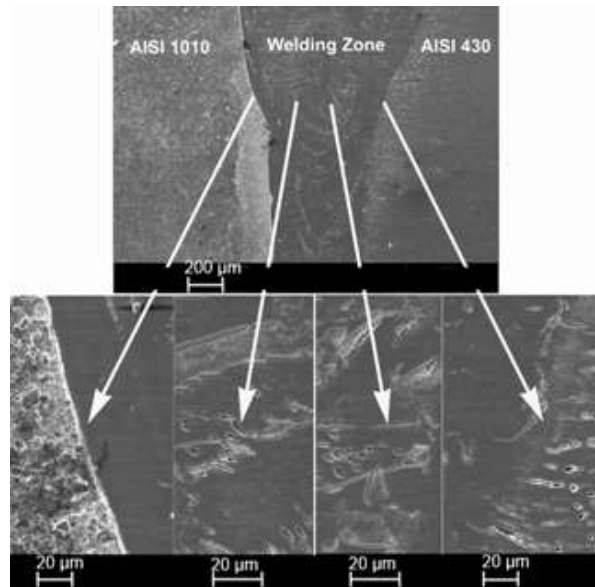


Figure 2a. SEM image of welded sample joined at 2000W welding power

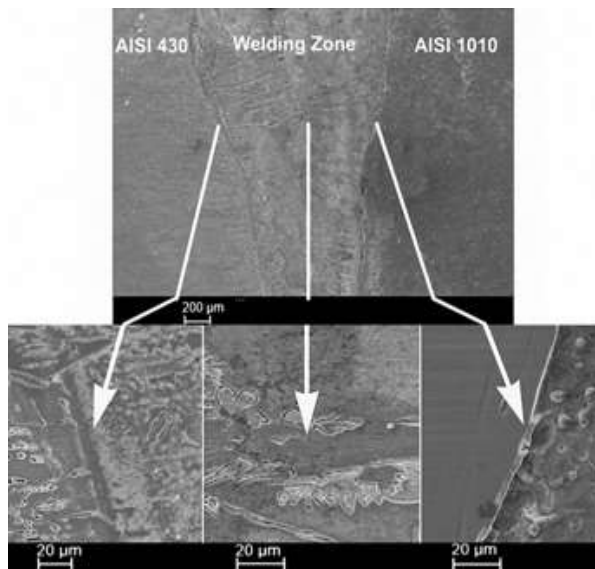


Figure 2b. SEM image of welded sample joined at 2250W welding power

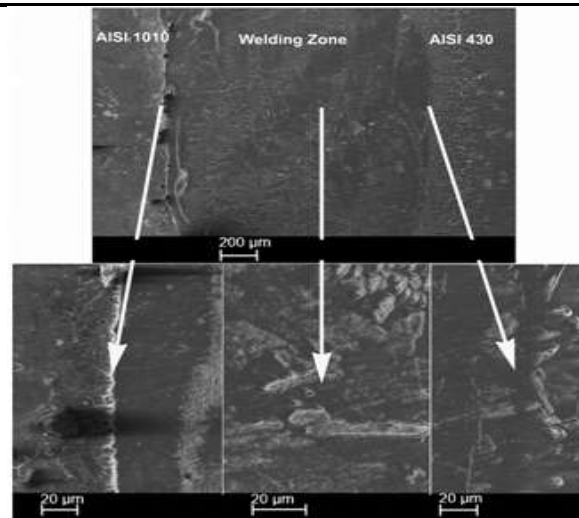


Figure 2c. SEM image of welded sample joined at 2500W welding power

It was determined that in the joint of AISI 430-AISI 1010 samples with laser beam welding at 2500W welding power, at 100cm.min^{-1} welding speed, and under helium shielding gas atmospheres, the penetration was completed and blanks or porosities in the weld were not observed. A homogeneous dispersion with small grains beginning from the zone with coarse grains on both sides appropriate for the original structure of the materials was also observed. In generally, coefficient of thermal expansion of ferritic stainless steel is the same low carbon steel. Therefore, all samples on both sides of the welding seam, there was no a specific grain hypertrophy, deformation and crack formation on the main materials. The SEM photographs indicate that microstructural features are affected significantly by welding power. The best properties were observed at the specimens welded, at 2500 W welding power and at 100 cm.min^{-1} welding speed.

4.2. Fatigue Test

Fatigue fractures; plastic deformation, tensile stress and fatigue cycled stresses also occur by the action. So as to avoid the occurrence of these three factors, fatigue cracks will not occur. Under a given applied stress amplitude cycles, the initiation of cracks in the material deformation and the tensile stress occurring in intermittent treatment is effective in the progression of cracks. Therefore, one of the main factors affecting fatigue mechanism is plastic deformation.

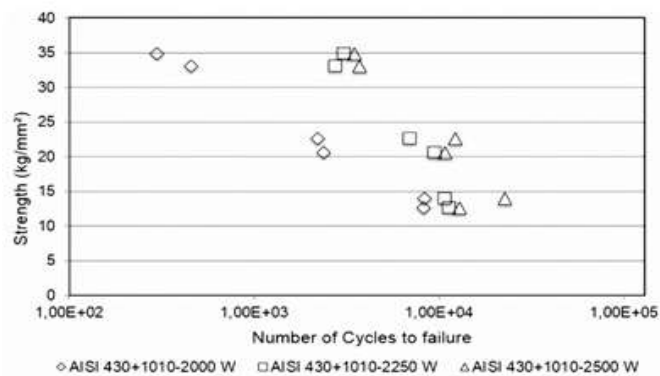


Figure 3. Fatigue test results for welded joints

Figure 3 shows fatigue test results for laser beam welded joints. According to the fatigue test results, AISI430+1010-2500W joint exhibited better fatigue data from other welded joint types. Fatigue test was conducted under yield stresses. This behavior can also be seen in the micrographs of the fractured surfaces (Figure 4). At fatigue strength tests, fractures were observed at AISI 1010 side close to interface. After welding, it is seen that fatigue endurance can be increased with increasing the welding power, mainly in ductile fracture manner because low carbon steel is ductile steel (Figure 4). Under given conditions (2000, 2250 and 2500W welding powers, 100 cm.min⁻¹ welding speed) fatigue strengths were close to parent material, and slightly increased at increased welding powers. This can be explained with the increased heat input. The diffusion of carbon to AISI 430 side causes to the formation of chromium carbide precipitation at the grain boundaries which are known to be deleterious to the fatigue life of material. The carbides at the grain boundaries provide preferential sites for cavity nucleation in ferritic stainless steels under fatigue conditions, thereby reducing the fatigue life [15 and 27].

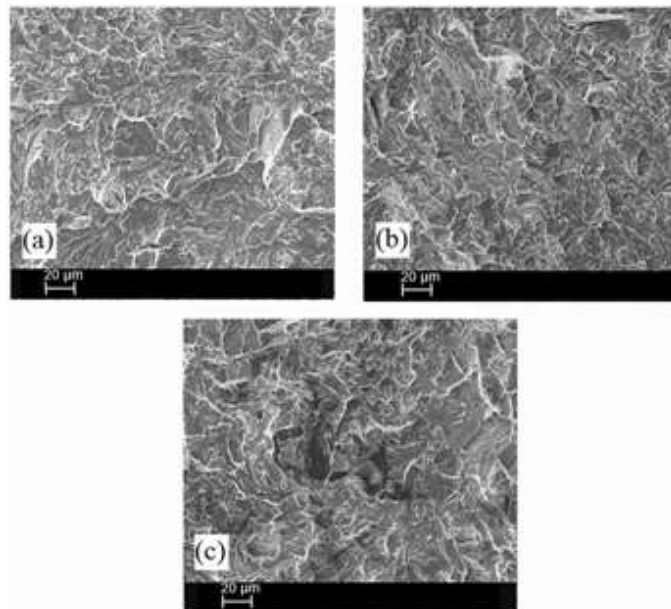


Figure 4. Micrographs of the fatigue fracture surfaces of the specimens observed by SEM: a)2000W, b)2250W, c)2500W

4.3. EDS Analysis

In the EDS analysis, as well as C and Cr elements, no chromium-carbur, delta ferrite phase and sigma phase like intermetallic phases determined in the welding interface were detected. In the 20µm distance, from AISI 430 ferritic stainless steel to AISI 1010 low carbon steel Chromium diffusion, the equal distance occurred from AISI 1010 steel to AISI 430 steel Carbon diffusion (Figure 5). Because, Carbon is an interstitial element and stainless steel side will diffuse more easily.

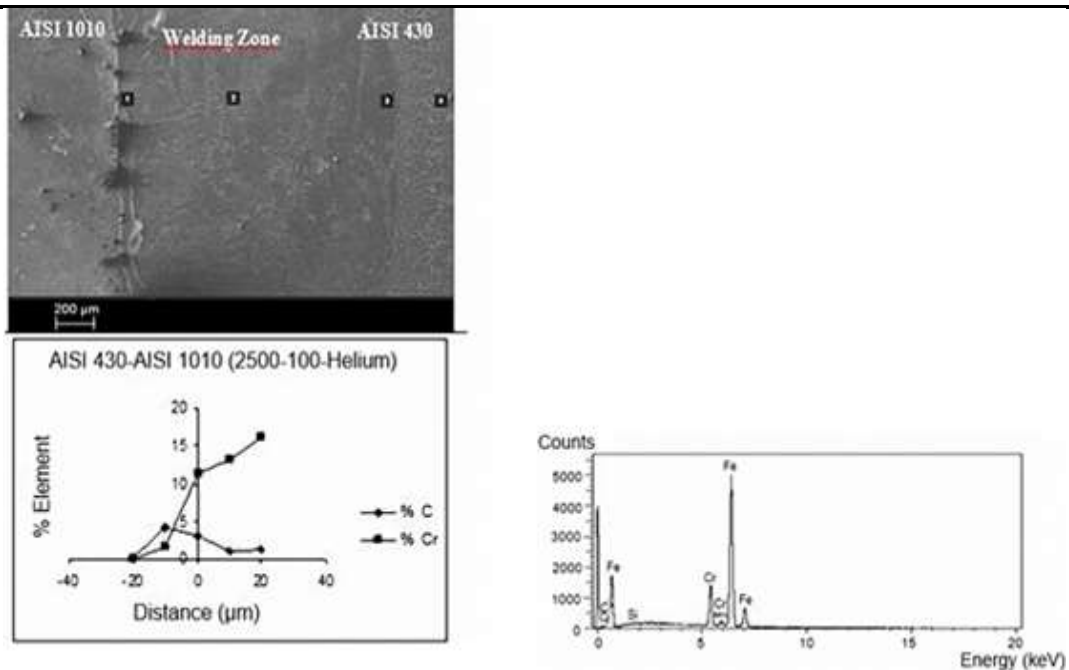


Figure 5. EDS Analysis of AISI 430/1010 (2500-100) sample

5. CONCLUSIONS

The main conclusions for this study are summarized below;

- AISI 430 ferritic stainless can be joined with AISI 1010 low carbon steel by laser welding process using helium atmosphere, 2000, 2250 and 2500W welding powers, 100cm.min⁻¹ constant welding speed.
- At fatigue tests, fractures were observed close to AISI 1010 side. This is because of the fact that AISI 1010 is a ductile low carbon steel. However, fatigue endurance increased due to the increasing the welding power.
- It was determined that in joint of AISI 430-AISI 1010 samples with laser welding at 2000, 2250 and 2500W welding powers, at 100cm.min⁻¹ constant welding speed and under helium atmosphere, the fusion zone was on average ~200-1200µm in width.
- In generally, coefficient of thermal expansion of ferritic stainless steel is the same low carbon steel. Therefore, all samples on both sides of the welding seam, there was no a specific grain hypertrophy, deformation and crack formation on the main materials. The SEM photographs indicate that microstructural features are affected significantly by welding power. The best properties were observed at the specimens welded, at 2500W welding power and at 100cm.min⁻¹ welding speed.
- In the EDS analysis, as well as C and Cr elements, no chromium-carbur, delta ferrite phase and sigma phase like intermetallic phases determined in the welding interface were detected. In the 20µm distance, from AISI 430 ferritic stainless steel to AISI 1010 low carbon steel Chromium diffusion, the equal distance occurred from AISI 1010 steel to AISI 430 steel Carbon diffusion.



ACKNOWLEDGEMENTS

The research was supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (Project No: TUBITAK-108M401) and the Firat University Research Project Committee (Project No: FUBAP: 1566).

REFERENCES

1. Yilbas, B.S., Sami, M., Nickel, J., Coban, A., and Said, S.A.M., (1998). Introduction into the Electron Beam Welding of Austenitic 321-type Stainless Steel. *Journal of Materials Processing Technology* 82, 13-20.
2. Hussain, P. and Isnin, A., (2001). Joining of Austenitic Stainless Steel and Ferritic Stainless Steel to Sialon. *Journal of Materials Processing Technology* 113, 222-227.
3. Ertle, W. and Rockwell, R.J., (2001). *Safety Fundamentals for Today's Industrial Lasers*. The Fabricator.
4. Yilbas, B.S., Shuja, S.Z., Arif, A., and Gondal, M.A., (2003). Laser-shock Processing of Steel. *Journal of Materials Processing Technology* 135, 6-17.
5. Hsieh, C.C., Lin, D.Y., Chen, M.C., and Wu, W., (2008). Precipitation and Strengthening Behavior of Massive-ferrite in Dissimilar Stainless Steels during Massive Phase Transformation. *Materials Sci. and Eng. A* 477, 328-333. doi:10.1016/j.msea.2007.05.037.
6. Yilbas, B.S., (1997). Parametric Study to Improve Laser Hole Drilling Process. *Journal of Materials Processing Technology* 70, 264-273.
7. Benyounis, K.Y., Olabi, A.G., and Hashmi, M.S.J., (2005). Optimizing the laser-welded Butt Joints of Medium Carbon Steel Using RSM. *Journal of Materials Processing Technology* 164-165, 986-989. doi:10.1016/j.jmatprotec.2005.02.067.
8. GuoMing, H., Jian, Z., and JianQang, L., (2007). Dynamic Simulation of the Temperature Field of Stainless Steel Laser Welding. *Materials and Design* 28, 240-245. doi:10.1016/j.matdes.2005.06.006.
9. Bayraktar, E., Kaplan, D., and Yilbas, B.S., (2008). Comparative Study: Mechanical and Metallurgical Aspects of Tailored Welded Blanks (TWBs). *Journal of Materials Processing Technology* 204, 440-450. doi:10.1016/j.jmatprotec.2007.11.088.
10. Cui, Y. and Lundin, C.D., (2005). Effect of Microfissures on Fatigue Properties of Austenitic Stainless Steel Weld Metals. *Materials Letters* 59, 2942-2947. doi:10.1016/j.matlet.2004.07.066.
11. Tsay, L.W., Young, M.C., and Chen, C., (2003). Fatigue Crack Growth Behavior of Laser-processed 304 Stainless Steel in Air and Gaseous Hydrogen. *Corrosion Science* 45, 1985-1997. doi:10.1016/S0010-938X(03)00036-2.
12. Vural, M. and Akkus, A., (2004). On the Resistance Spot Weldability of Galvanized Interstitial Free Steel Sheets with Austenitic Stainless Steel Sheets. *Journal of Materials Processing Technology* 153, 1-6. doi:10.1016/j.jmatprotec.2004.04.063.
13. Sirin, S.Y., Sirin, K., and Kaluc, E., (2008). Effect of the Ion Nitriding Surface Hardening Process on Fatigue Behavior of AISI 4340 Steel. *Materials Characterization* 59, 351-358. doi:10.1016/j.matchar.2007.01.019.
14. El-Batahgy, A.M., (1997). Effect of Laser Welding Parameters on Fusion Zone Shape and Solidification Structure of Austenitic Stainless Steels. *Materials Letters* 32, 155-163.



15. Taskin, M., Caligulu, U., and Kolukisa, S., (2009). The Effect of Welding Speed on the Laser Welding of AISI 430 Ferritic Stainless-AISI 1010 Low-Carbon Steel. *Practical Metallography* 46, 598-607. doi:10.3139/147.110025.
16. Caligulu, U., Taskin, M., Dikbas, H., and Gur, A.K., (2009). The Effect on the Joining of Welding Speed on the Laser Welding with 2250W Welding Power so Steels AISI460-ASISI1010. 1st Int. Conference on Welding Technologies, Ankara/Turkey, pp:674-687
17. Taskin, M., Caligulu, U., and Turkmen, M., (2011). X-Ray Tests of AISI 430 and 304 Stainless Steels and AISI 1010 Low Carbon Steel Welded by CO₂ Laser beam welding. *Materials Testing* 53, 741-747. doi:10.3139/120.110283
18. Vural, M., Akkus, A., and Eryurek, B., (2006). Effect of Welding Nugget Diameter on the Fatigue Strength of the Resistance Spot Welded Joints of Different Steel Sheets. *Journal of Materials Processing Technology* 176, 127-132. doi:10.1016/j.jmatprotec.2006.02.026.
19. Yuri, T., Ogata, T., Saito, M., and Hirayama, Y., (2001). Effect of Welding Structure on High-cycle and Low-cycle Fatigue Properties for MIG Welded A5083 Aluminum Alloys at Cryogenic Temperatures. *Cryogenics* 41, 475-483.
20. Jang, C., Cho, P.Y., Kim, M., Oh, S.J., and Yang, J.S., (2010). Effects of Microstructure and Residual Stress on Fatigue Crack Growth of Stainless Steel Narrow Gap Welds. *Materials and Design* 31, 1862-1870. doi:10.1016/j.matdes.2009.10.062.
21. Taban, E., Deleu, E., Dhooge, A., and Kaluc, E., (2009). Laser Welding of Modified 12% Cr Stainless Steel: Strength, Fatigue, Toughness, Microstructure and Corrosion Properties. *Materials and Design* 30, 1193-1200. doi:10.1016/j.matdes.2008.06.030.
22. Karaaslan, A., Sonmez, N., and Topuz, A., (1998). Investigation the Feasibility of Laser Welding with the Structural Steel. 2nd Int. Welding Technology Conference, Istanbul/Turkey.
23. Yildirim, M.M., Pakdil, M., Dogantan, Z.S., and Cakan, A., (2001). *Engineering Materials I*. Mustafa Kemal Univ. Publication 9, 140-141.
24. Sik, A., (2008). Bending Fatigue Machine. Patent no.TR 2008/04670.
25. Sik, A., (2013). Comparison between Microstructure Characteristics and Joint Performance of AZ31 Magnesium Alloy Welded by TIG and Friction Stir Welding (FSW) Processes. *Kovove Mater.* 51, 197-203.
26. Konig, R. and Otmanboluk, N., (1998). Metal Cutting and Welding Process with CO₂ and Nd-YAG Laser. 2nd Int. Welding Technology Conference, Istanbul, Turkey, June 1998.
27. Caligulu, U., Dikbas, H., and Taskin, M., (2012). Microstructural Characteristic of Dissimilar Welded Components (AISI 430 Ferritic-AISI 304 Austenitic Stainless Steels) by CO₂ Laser Beam Welding (LBW). *Gazi University Journal of Science* 25 (1), 35-52.



Sefa Yılmaz

Hülya Durmuş

Nilay Çömez

Melis Yurddaşkal

Celal Bayar University, Manisa-Turkey

sefayilmaz45@gmail.com ; hulya.durmus@cbu.edu.tr;

nilay.comez@cbu.edu.tr; melis.yurddaskal@cbu.edu.tr

Metin Yurddaşkal

Dokuz Eylül University, metin.yurddaskal@deu.edu.tr, İzmir-Turkey

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.2A9PB>

THE EFFECT OF Cr/C RATIO ON THE WEAR RESISTANCE OF HARDFACING COATINGS

ABSTRACT

In this study, AISI 4140 steel was coated with Elhard 350 and Hardcor 63-0 hardfacing filler wires which have different Cr/C ratios. The effect of Cr/C ratio on microstructure, hardness and wear resistance were determined. Optical microscope was used for microstructural investigations. Macro Vickers hardness measurements were applied under 10kgf load. Ball on disc abrasion tests were executed under 10N load for 1000m. Volume and mass changes were calculated after wear test. The effect of hardness and microstructure on wear resistance was discussed.

Keywords: Wear, Hardfacing, Carbide, AISI 4140, Cr/C Ratio

1. INTRODUCTION

Wear of machine parts is a significant problem which leads to significant economic loss in industrial production. In order to minimize wear, surface characteristics should be improved. Hardfacing is a good and economic solution for abrasion protection because producing the whole machine parts with high-quality materials would be too expensive [1, 2 and 3]. Hardfacing are applied by shielded arc welding, oxyacetylene welding, laser cladding and thermal spray coating, plasma transferred arc (PTA) cladding in order to enhance resistance to abrasion, adhesion, corrosion and oxidation [1, 2, 4, 5 and 6]. Fe-Cr-C based hardfacing alloys with hard primary and eutectic (Fe,Cr)₇C₃ carbides are widely used as wear resistant hardfacing coatings in metallurgical, mineral and cement industries, agriculture tools and machinery industries, etc. [2, 7, 8 and 9].

The wear behavior of hardfacing coatings are mainly dependent on carbide volume fraction and properties of microstructure constituents such as type, shape, distribution of carbides and hardness, toughness strain hardening behavior of matrix phase [10 and 11]. Present study was aimed to investigate the wear characteristics of hardfacing coatings with different Cr/C ratio which are applied to excavator bucket teeth.

2. RESEARCH SIGNIFICANCE

Hardfacing coatings were applied successfully onto AISI 4140 steel. Increasing carbon content and decreasing Cr/C ratio caused the formation of primary carbides and increased the carbide volume fraction which is held responsible to the significant enhancement in hardness. The raise in carbide volume fraction and hardness improved

the wear resistance, prevented the adhesive wear and minimized the abrasive wear.

3. EXPERIMENTAL STUDY

Hardfacing process was applied to AISI 4140 steel without preheating using two different filler wire (Table 1). Gas metal arc welding (GMAW) and shielded metal arc welding (SMAW) methods were used for Hardcor 63-O and Elhard 350 filler wires, respectively. Welding parameters are given in Table 2. Microstructural investigations and calculation of carbide volume fraction were fulfilled by Nikon Eclipse LV 150 optical microscope using Clemex Software. Samples were polished and etched with Kalling's reagent (33ml H₂O, 33ml methyl alcohol, 33ml HCl, 1.5g CuCl₂).

Table 1. Chemical compositions of welding wires and AISI 4140 steel

Sample Code	Filler Wire	Element					
		C	Si	Mn	Cr	Fe	Cr/C ratio
H-63	Hardcor 63-O	5	1.5	1.3	27	Rest	5.4
E-35	Elhard 350	0.17	0.8	1.5	2	Rest	11.76
-	AISI 4140					Rest	-

Table 2. Welding parameters

Sample	H-63	E35
Method	GMAW	SMAW
Current (A)	200-300	100-150
Voltage (V)	28-30	

Macro Vickers hardness measurements were carried out by Emco-Test DuraVision hardness tester under 10kgf loads. Also micro hardness values of different phases of samples were obtained under 50gf loads for 10 s dwell time. CSM instruments ball-on-disc wear-test unit was employed for a tribological analysis of hardfacing coatings against ceramic ball under dry-sliding conditions. All the experiments were carried out at a load of 10N. Test was performed with a sliding speed of 10cm/s along the total sliding distance of 1000m at room temperature. The track diameter was 4mm.

4. RESULTS AND DISCUSSION

4.1. Microstructural Investigations

Sample H-63 which has a carbon content of 5 wt.% consists of hexagonal primary carbides and finely disturbed eutectic carbides while Sample E-35 has nano-scaled carbide dispersions in iron matrix. Figure 1a and 1b shows the significant change in microstructure with regard to Cr/C ratio. It was clearly observed that increasing carbon and decreasing Cr/C ratio led to the formation of primary carbides which provide excellent wear resistance. It was also observed that increasing carbon and chromium contents caused an increase both in the carbide size and the carbide volume fraction as it can be seen in Figure 1c and 1d. Wang et al. (2010) reported that the high carbon content leads to the formation of primary chromium carbide, which consumes chromium in the matrix [12].

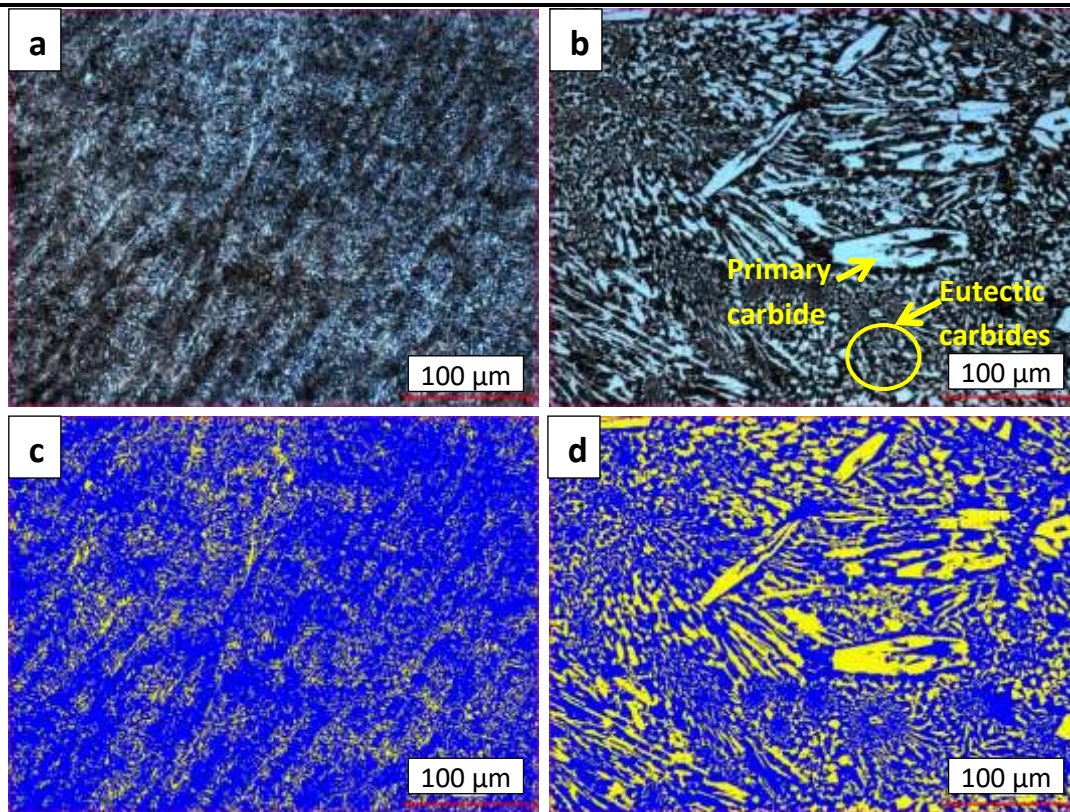


Figure 1. Microstructure of a) E-35, b) H-63, and carbide volume fraction of c) E-35, d) H-63

Average carbide volume fractions are given in Figure 2 with standard deviation bars. Carbide volume fraction of H-63 was found higher than that of E-35 as expected. However, standard deviation of H-63 is 1.44 while this value is 0.44 for E-35. Lower standard deviation of E-35 indicates a microstructure with more homogeneous distribution of eutectic carbides.

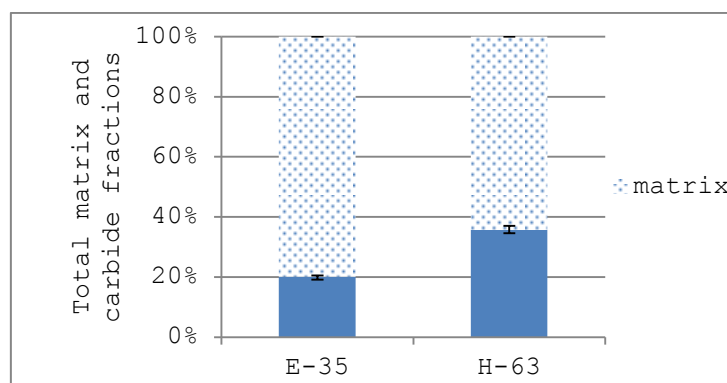


Figure 2. Matrix/carbide fractions

4.2. Hardness

Figure 3 shows the hardness survey of samples. It was clearly seen that carbon and chromium contents directly affects the hardness of coating. For instance, the filler material used in E-35 has less carbon and more chromium content in comparison with AISI 4140 substrate material. A minor increase in chromium amount caused some raise in hardness of E-35 by providing the formation of eutectic

carbides while a major increase both in chromium and carbon doubled the hardness of H-63 coating. It can be also pointed out that higher hardness values were observed in lower Cr/C ratio. Lou et al. (2016) reported that hardness of carbide/matrix composite structure improves as the Cr/C ratio decreases [13]. Increasing carbide volume fraction and formation of hard primary carbides in sample H-63 have increased the hardness of wear resistant coating in contrast to sample E-35. Fan et al. (2006) reported that raising carbon content tends to increase hardness by coarsening primary carbides [14].

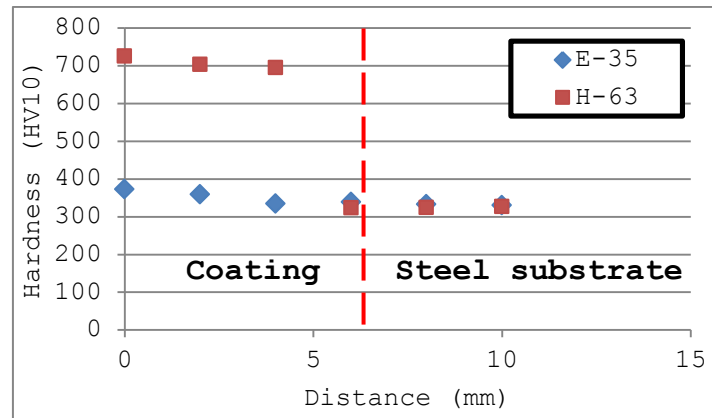


Figure 3. Hardness survey of samples

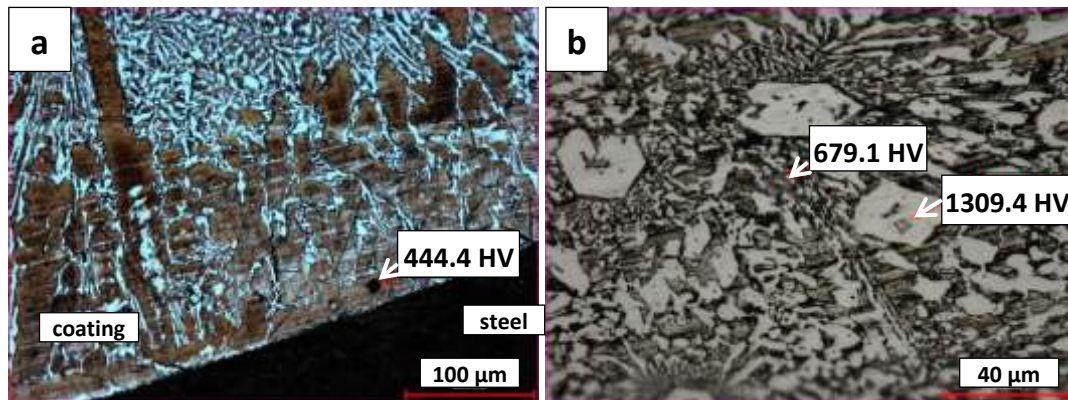


Figure 4. Micro hardness of H-63: a)matrix, b)matrix/carbide eutectic and primary $(Fe,Cr)_7C_3$

It was observed that primary carbides disappeared near the steel substrate due to the dilution of coating with AISI 4140 steel. It is well-known that dilution has a detrimental effect on hardness of hardfacing coating [15]. Figure 4 shows the undesired results of dilution. Hardness of matrix phase is 444.4HV while the hardness values of matrix/carbide eutectic and primary carbide are 679.1HV and 1309.4HV, respectively. Buytoz (2006), stated that hardness of primary M_7C_3 carbides varies between 1050 and 1500HV [16].

4.3. Wear Test

Volumetric wear loss values of hardfacing coatings indicates that the formation of primary carbides and increasing carbide volume fraction provided the resistance against abrasants. The sample H-63 with hard primary carbides exhibited less wear loss than the sample E-35 (Figure 5). Chang et al. (2009) reported that massive hard primary

M7C3 carbides avoid plastic deformation during dry sliding wear process and retard the carbide/matrix eutectic from severe selective wear [17].

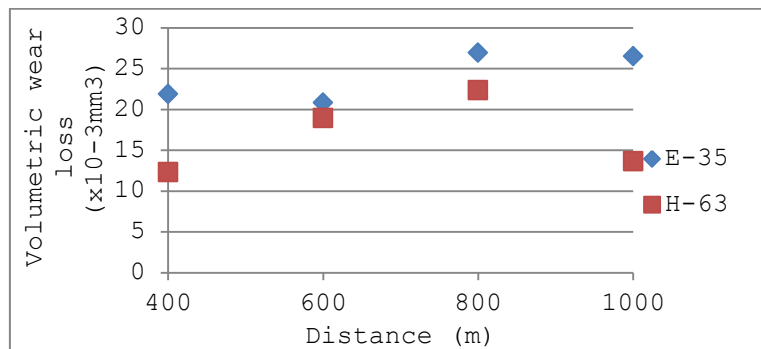


Figure 5. Volumetric wear loss of hardfacing coatings

Material loss of hardfacing coatings tended to increase with sliding distance as it can be seen in Figure 5. However it showed an abrupt decrease when the sliding distance reached 1000 m in the sample H-63. It was thought that matrix/carbide eutectic of H-63 abraded selectively at the beginning and then the remaining massive primary carbides started to attack against the counterpart. The particles detached from the counterpart filled the wear path and decreased the wear loss. The remaining primary carbides was also reduced the contact area and accordingly friction coefficient decreased at 1000m for H-63 (Figure 6b). Wang et al. (2008) asserted that carbides with higher hardness reduce the contact area of the matrix with the counterpart and minimize the smearing effect of the coating on the counter surface, thus reduces the friction coefficient [4]. Friction coefficient values of E-35 exhibited fluctuation during dry sliding wear test (Figure 6a). Wang et al. (2005) attributed this phenomenon to stick and slip mechanism. Adhesion of asperities to counterpart leads to raise of friction coefficient. When the link between the asperities and the counterpart shears off friction tends to be zero [18]. Due to the lack of primary carbides in E-35, stick and slip mechanism repeated oftener.

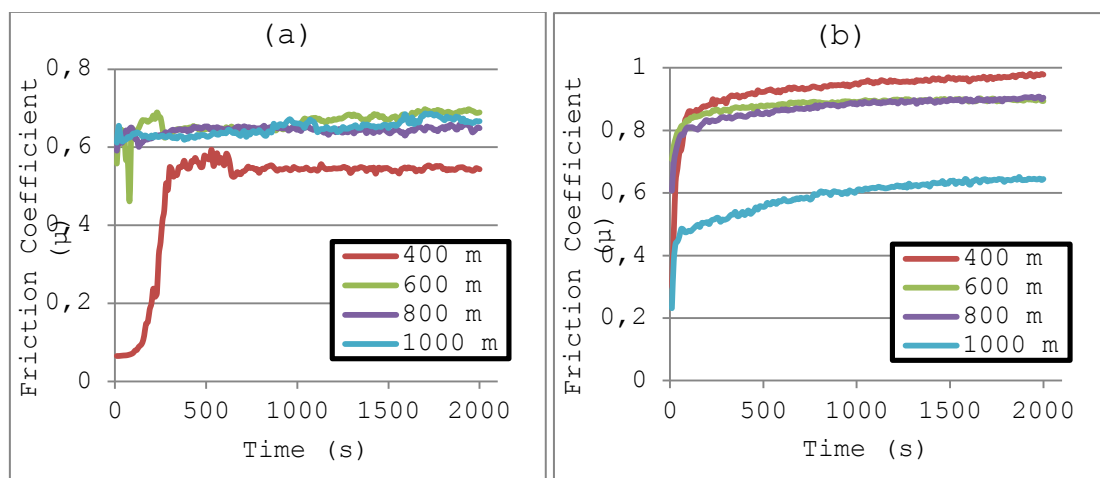


Figure 6. Friction coefficient of coatings: a) E-35, b) H-63

Figure 7 shows the wear track of samples after 1000m sliding distance. It was observed that wear track width of E-35 is wider than

that of H-63 due to its lower hardness depending on the small amount of carbon. Chang et al. (2010) stated that the wear resistance improved with the increasing carbon contents [19].

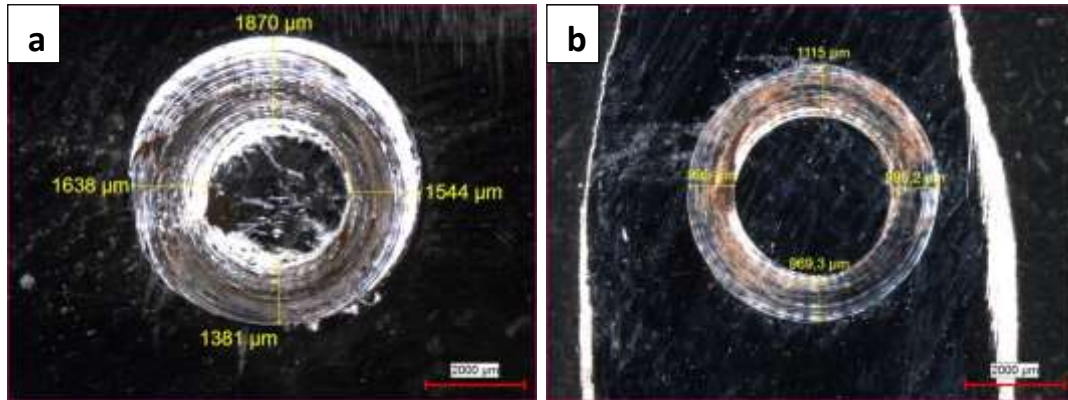


Figure 7. Wear track of samples after 1000 m: a) E-35, b) H-63

Worn surfaces of samples were examined by SEM (Figure 8). Both abrasion and adhesion were observed in E-35. In contrast worn surface of H-63 involves clusters of wear products consist of particles from coating material and counterpart, in addition to shallow scratches. Besides, worn surface of E-35 exhibits wide and deep grooves and adhesion scars. It can be state that formation of primary carbides withstand mainly to adhesion and also reduce the abrasion. Chang et al. (2010) reported that scratches became discontinuous and shallow with increasing carbide volume fraction [19]. Similarly, Sabet et al. (2011) mentioned that increasing the carbon content and decreasing the Cr/C ratio decreases the depth of the scratches [20].

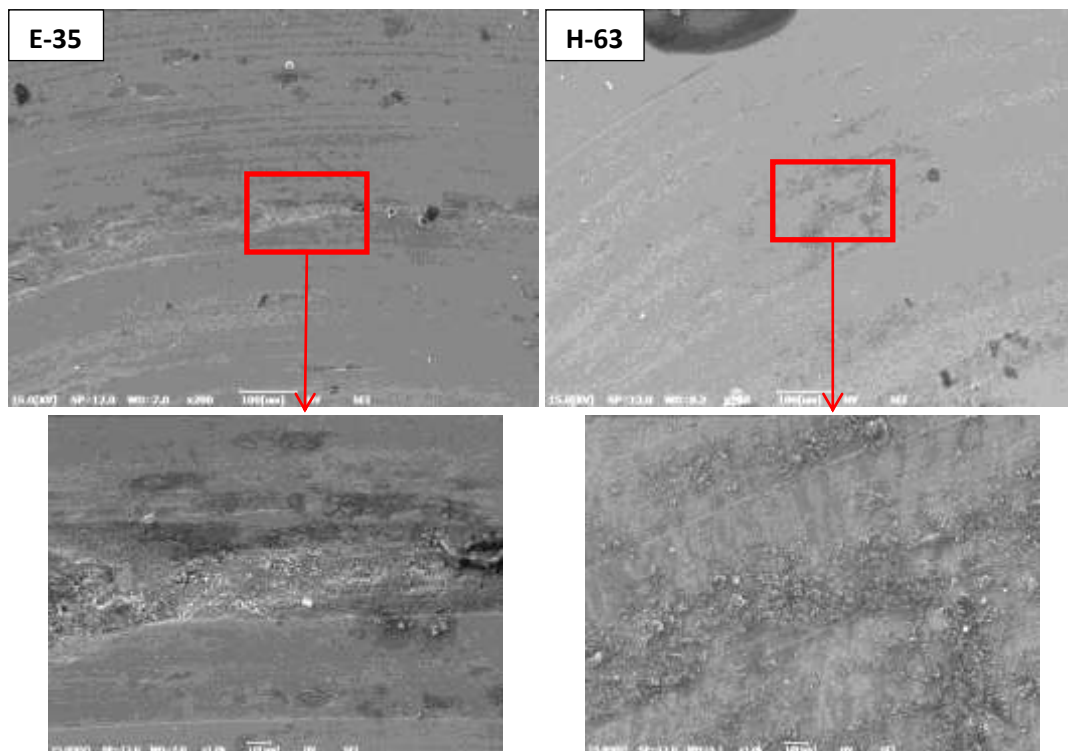


Figure 8. SEM images of worn surfaces

5. CONCLUSION

Hardfacing coatings were applied successfully onto AISI 4140 steel. Present study can be summarized as follows:

- Increasing carbon content and decreasing Cr/C ratio caused the formation of primary carbides and increased the carbide volume fraction which is held responsible to the significant enhancement in hardness.
- The raise in carbide volume fraction and hardness improved the wear resistance, prevented the adhesive wear and minimized the abrasive wear.

ACKNOWLEDGEMENTS

This project was supported by Manisa Celal Bayar University Scientific Research Projects Coordination Unit (MCBU BAP 2016-164).

REFERENCES

1. Ulutan, M., Kiliçay, K., Çelik, O.N., and Er, Ü., (2016). Microstructure and Wear Behavior of Plasma Transferred Arc (PTA)-deposited FeCrC Composite Coatings on AISI 5115 Steel, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol:236, pp:26-34.
2. Gou, J., Wang, Y., Sun, J., and Li, X., (2017). Bending Strength and Wear Behavior of Fe-Cr-C-B Hardfacing Alloys with and without Rare Earth Oxide Nanoparticles, *Surface & Coatings Technology*, Vol:311, pp:113-126.
3. Arsić, D., Lazić, V., Mitrović, S., Džunić, D., Aleksandrović, S., Djordjević, M., and Nedeljković, B., (2016). Tribological Behavior of Four Types of Filler Metals for Hard Facing under Dry Conditions, *Industrial Lubrication and Tribology*, Vol:68, Issue:6, pp:729-736.
4. Wang, X., Han, F., Liu, X., Qu, S., and Zou, Z., (2008). Microstructure and Wear Properties of the Fe-Ti-V-Mo-C Hardfacing Alloy, *Wear*, Vol:265, pp:583-589.
5. Gualco, A., Svoboda, H.G., and Surian, E.S., (2016). Study of Abrasive Wear Resistance of Fe-based Nanostructured Hardfacing, *Wear*, Vol:360-361, pp:14-20
6. Lin, C.M., Chang, C.M., Chen, J.H., and Wu, W., (2010). The Effects of Additive Elements on the Microstructure Characteristics and Mechanical Properties of Cr-Fe-C hard-facing Alloys, *Journal of Alloys and Compounds*, Vol:498, pp:30-36.
7. Singla, Y.K., Arora, N., and Dwivedi, D.K., (2017). Dry Sliding Adhesive Wear Characteristics of Fe-based Hardfacing Alloys with Different CeO₂ Additives-A Statistical Analysis, *Tribology International*, Vol:105, pp:229-240.
8. Liu, H., Song, Z., Cao, Q., Chen, S., and Meng, Q., (2016). Microstructure and Properties of Fe-Cr-C Hardfacing Alloys Reinforced with TiC-NbC, *Journal of Iron and Steel Research, International*, Vol:23, Issue:3, pp:276-280.
9. Wang, J., Liu, T., Zhou, Y., Xing, X., Liu, S., Yang, Y., and Yang, Q., (2017). Effect of Nitrogen Alloying on the Microstructure and Abrasive Impact Wear Resistance of Fe-Cr-C-Ti-Nb Hardfacing Alloy, *Surface and Coatings Technology*, Vol:309, pp:1072-1080.
10. Hou, Q.Y., He, Y.Z., Zhang, Q.A., and Gao, J.S., (2007). Influence of Molybdenum on the Microstructure and Wear Resistance of Nickel-Based Alloy Coating Obtained by Plasma Transferred Arc Process, *Materials Design*, Vol:28, Issue:6, pp:1982-1987.



11. Buchely, M.F., Gutierrez, J.C., León, L.M., and Toro, A., (2005). The Effect of Microstructure on Abrasive Wear of Hardfacing Alloys, *Wear*, Vol:259, pp:52-61.
12. Wang, Q. and Li, X., (2010). Effects of Nb, V, and W on Microstructure and Abrasion Resistance of Fe-Cr-C Hardfacing Alloys, Supplement to the *Welding Journal* (Sponsored by the American Welding Society and the Welding Research Council), pp:133-139.
13. Lou, D., Liu, D., He, C., Bennett, P., Chen, L., Yang, Q., Fearon, E., and Dearden, G., (2016). Effect of Cr/C Ratio on Microstructure and Corrosion Performance of Cr₃C₂-NiCr Composite Fabricated by Laser Processing, *Journal of Materials Engineering and Performance*, Vol:25, Issue:1, pp:312-319.
14. Fan, C., Chen, M.C., Chang, C.M., and Wu, W., (2006). Microstructure Change Caused by (Cr,Fe)₂₃C₆ Carbides in High Chromium Fe-Cr-C Hardfacing Alloys, *Surface & Coatings Technology*, Vol:201, pp:908-912.
15. Hemmati, I., Ocelík, V., and Hosson, J.T.M., (2012). Dilution Effects in Laser Cladding of Ni-Cr-B-Si-C Hardfacing Alloys, *Materials Letters*, Vol:84, pp:69-72.
16. Buytoz, S., (2006). Microstructural Properties of M₇C₃ Eutectic Carbides in a Fe-Cr-C Alloy, *Materials Letters*, Vol:60, Issue:5, pp:605-608.
17. Chang, C.M., Lin, C.M., Hsieh, C.C., Chen, J.H., and Wu, W., (2009). Micro-structural Characteristics of Fe-40 wt%Cr-xC Hardfacing Alloys with [1.0-4.0 wt%] Carbon Content, *Journal of Alloys and Compounds*, Vol:487, Issue:1-2, pp:83-89.
18. Wang, X.H., Zou, Z.D., Qu, S.Y., and Song, S.L., (2005). Microstructure and Wear Properties of Fe-based Hardfacing Coating Reinforced by TiC Particles, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol:168, Issue:1, pp:89-94.
19. Chang, C.M., Chen, Y.C., and Wu, W., (2010). Microstructural and Abrasive Characteristics of High Carbon Fe-Cr-C Hardfacing Alloy, *Tribology International*, Vol:43, Issues:5-6, pp:929-934.
20. Sabet, H., Khierandish, S., Mirdamadi, S., and Goodarzi, M., (2011). The Microstructure and Abrasive Wear Resistance of Fe-Cr-C Hardfacing Alloys with the Composition of Hypoeutectic, Eutectic, and Hypereutectic at Cr/C=6, *Tribology Letters*, Vol:44, pp:237-245.



Seval Hale Güler
Ömer Güler

Mersin University, Mersin-Turkey
shguler@mersin.edu.tr; omerguler82@gmail.com

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.2A10PB>

THE EFFECT OF DOPED GRAPHENE ON ELECTRICAL AND OPTICAL PROPERTIES OF COMMERCIAL ZnO

ABSTRACT

In this study, graphene nano-sheets were doped into zinc oxide (ZnO) and the changes in their properties were investigated. Graphene nano-sheets were synthesized by using liquid phase exfoliation method. The obtained nano-sheets were then doped into ZnO at the rate of 0.1, 0.5, and 1 wt %. The obtained samples were pelleted and then sintered. The changes in the electrical conductivity depending on the amount of graphene nano-sheets doped into ZnO and temperature were investigated. Increases were observed in the electrical conductivities at both higher temperatures and room temperature with increase in the amount of graphene-nano sheets. The room temperature electrical conductivity of the 1% graphene-nano-sheet doped sample showed an increase of 100% compared to pure ZnO. Electrical conductivity of the sample doped with 0.1% graphene nano-sheets increased at 401K the rate of approximately 110% compared to the its electrical conductivity at room temperature. As the dope amount of Graphene nano-sheets increased, the reflection properties of ZnO decreased. While optical bandgap value increased in the samples doped with 0.1 and 0.5% graphene nano-sheets, a decrease of 2% was observed in the sample doped with 1% graphene.

Keyword: ZnO, Graphene Nano-Sheets, Doped,
Optical Properties, Zinc

1. INTRODUCTION

ZnO, which is an oxide semiconductor with a wide band-gap ($E_g=3,4$ eV) is a material that attracts considerable attention due to its great potential for short-wavelength optoelectronic devices. [1 and 3] For example, the use of ZnO and ZnO-based heterostructures in the devices having various application fields like light emitting diodes (LED) or photodiodes can be in question [3 and 7]. Another advantage of ZnO superior than other materials in heterostructures is their high compatibility with the material to be doped. In other words, various organic and/or inorganic materials can be used to produce functional heterostructures with ZnO [8 and 11]. Due to their potentials of being used in sensors, energy storage devices, photocatalysts, electrical-optical devices because of their electrical, mechanical, and optical properties, Graphene and Graphene added materials have drawn attention for more than the last decade [12 and 16]. The unique properties of graphene originate from the sp^2 hybridization involving the 2s, $2p_x$ and $2p_y$ orbitals of carbon, which leaves $2p_z$ orbitals hybridized into π state, producing two Dirac bands in electronic structures. In this study, graphene nano-sheets produced by using the liquid phase exfoliation method were added to the commercially available ZnO matrix at different ratios. The electrical and optical properties of the obtained composite were examined. The main aim of this study is to



produce ZnO-graphene composite easily and cost effectively and to show the changes in properties of the produced composite based on the properties of pure ZnO.

2. RESEARCH SIGNIFICANCE

ZnO-graphene composites are recently started to work and it is a new topic. In this study, graphene nano layers were produced by a cheap and easy method. Contrary to other studies, commercial ZnO powders were used in this study instead of synthesizing. It is important for industry-scale production of ZnO-Graphene composite. In addition, the effect of graphene to properties of ZnO is hot-topic. In this study, this also was investigated comprehensively.

3. EXPERIMENTAL PROCEDURES

The graphenes doped in this study were synthesized by using the liquid phase exfoliation method. For this purpose, graphite powders (Merck) having 99.5% purity were used as the starting material. The graphite powders were firstly mixed for 12 hours in a saturated acid mixture of H_2SO_4 and HNO_3 . The powder obtained at the end of the treatment was separated from the acid mixture and irrigated with distilled water until its pH reached equilibrium. This powder which was dried after the irrigation process was subjected to thermal treatment in a furnace at $950^\circ C$. As a result of these processes, the expanded graphite was obtained. This expanded graphite was added to 100ml of N, N-dimethylformamide (DMF) (Sigma-Aldrich). This mixture was stirred in a ultrasonic homogenizer for 2 hours. At the end of the process, the powder and DMF were separated from each other and the powder was then irrigated and dried. Whether this powder was converted to graphene nano-sheets or not was determined by using a high-resolution transmission electron microscope (HRTEM) (JEOL Jem 2100F). After obtaining the graphene nano-sheets to be used as reinforcing material, the production of the composite was started. Graphite nano-sheets at the rates of 0.1, 0.5, and 1 wt %. were added into ZnO (99.5%, $10\mu m$) supplied commercially by a Metal Oxide Company. After the powders were homogeneously mixed, they are pelletized under 500 MPa of pressure and then sintered at $650^\circ C$ under Ar atmosphere for 1 hour. The obtained composite samples were subjected to internal structure analysis in FESEM (Jeol Jsm-7001F). Electrical conductivity of the composites was measured using two-probe method with the help of Keithley 6517A Electrometer/High-Resistance Meter. Optical measurements of the samples were performed by using a Shimadzu UV-3600 PC UV-VIS spectrophotometer.

4. RESULTS

Even though there are many graphene production methods, the liquid phase exfoliation method was preferred for graphene production in this study. The method is based on the breaking of the bonds between the graphite sheets in a solvent in liquid phase and the release of each graphene sheet. Graphite or expanded graphite can be exfoliated in the solvent in the liquid phase exfoliation method. The amount of the obtained product in the exfoliation process using graphite is very limited since the distance between the graphite sheets is small and solvent atoms cannot penetrate between the sheets completely. Exfoliation of the expanded graphite in the solvent is preferred. In this study, the expanded graphite was also produced at first and the obtained expanded graphite was exfoliated in DMF. More detailed information about the production method can be obtained by examining our previous study on the production of the graphene by

liquid phase exfoliation [17]. Figure 1 shows the HRTEM image of the product obtained at the end of the process.

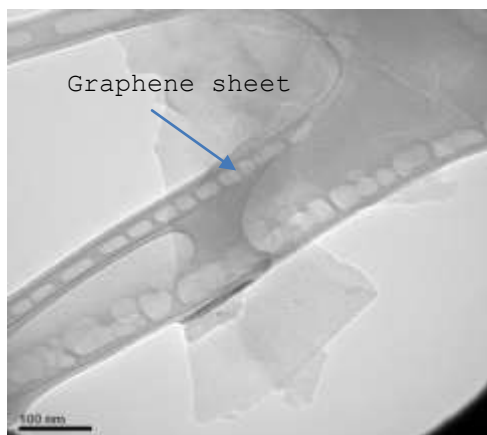


Figure 1. HRTEM image of synthesized graphene-nano-sheets

As is seen from the figure, the sheet was very thin. Its transparency also indicated this. The width of the sheet increased up to a few hundred nm. It can be asserted by looking at the figure that graphene nano-sheet was successfully produced using the liquid phase exfoliation method. Figure 2 shows SEM image of the sample in which 1% graphene was doped. The fuzzy sheet structures seen in the figure were the graphene sheets. The parts having relatively small particle size and being dominant to the whole structure are the images of ZnO particles.

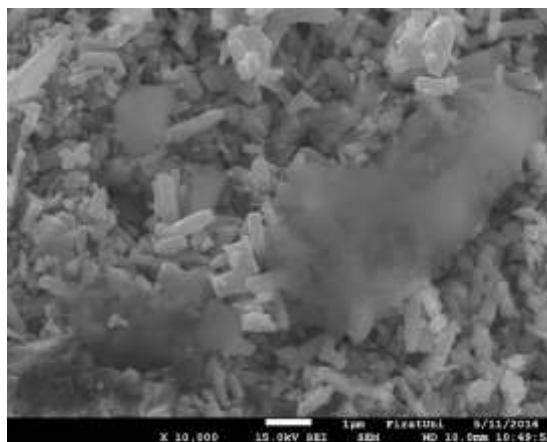


Figure 2. SEM image of 1 % graphene doped sample

Figure 3 shows the electrical conductivities of pure ZnO and graphene-doped ZnO samples depending on the temperature. The results are generally in the expected form. Doping graphene increased the electrical conductivity of ZnO. An increase in the electrical conductivity of ZnO was also observed with an increasing amount of graphite. While the lowest electrical conductivity at room temperature was observed in pure ZnO, the highest conductivity value belonged to the 1% graphene doped sample. While the electrical conductivities of the 0.1% graphene doped samples with pure ZnO at room temperature were the same, conductivity increased significantly with the temperature and the conductivity value reached to the values close to the electrical conductivity value of 0.5% graphene doped sample at about 420 K. The electrical conductivities of both pure ZnO

and graphene doped samples increased depending on temperature. This is an expected result for semi-conductors. However, the sample whose electrical conductivity changed at the most depending on the temperature was 0.1% graphene doped sample. It was even more advantageous to prefer 0.1% graphene doped sample instead of 0.5% graphene doped sample in the case of working at high temperatures in the light of these results.

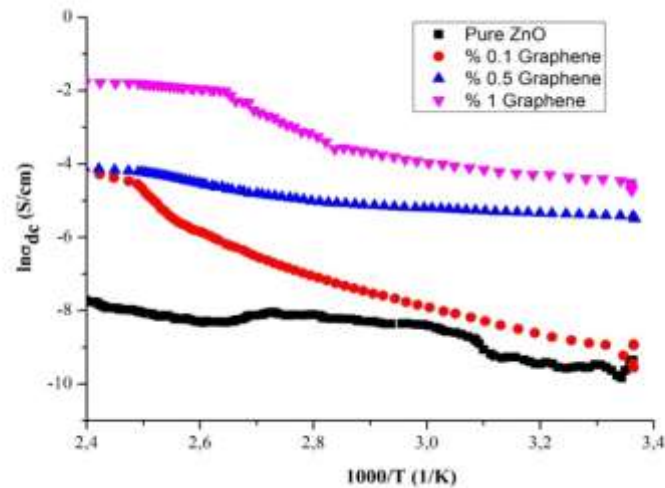


Figure 3. Electrical conductivity of the samples as a function of temperature

Figure 4 shows diffused reflectance values of pure ZnO and graphene doped ZnO samples. Due to the high absorption properties of the graphene, there was a decrease in UV reflection properties of the samples together with the increasing amount of graphene. Similar situations were also encountered in previous studies. Carbon nano structures with high absorption characteristics doped to ZnO led reflection properties to be reduced. A similar situation was also seen in previous studies. As a result of doping of carbon nanotube in ZnO, decreases were found in the reflection values of ZnO [18 and 19].

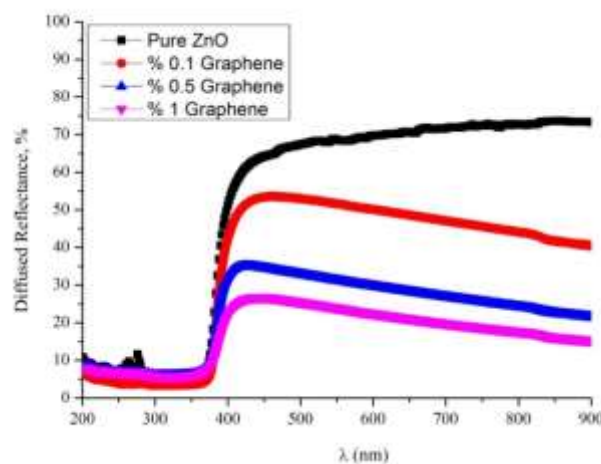


Figure 4. Diffuse reflectance spectra of the samples

The optical bandgap values of pure ZnO, and ZnO-Graphene composites were estimated by plotting $(\alpha h\nu)^2$ as a function of photonenergy ($h\nu$) using the Tauc relation [23 and 26]:

$$\alpha h\nu = A(h\nu - E_g)^{1/2} \quad (1)$$

where α is the absorption coefficient, $h\nu$ is the photon energy, E_g is the optical bandgap energy and A is a constant. The linear intercept at the $h\nu$ -axis gives the value of the bandgap. The bandgap of all the samples was calculated and the value of pure ZnO was 3.21. The bandgap values of 0.1, 0.5, and 1 wt % graphene doped ZnO samples were 3.25, 3.22, and 3.18, respectively. These obtained results are compatible with the previous studies [18 and 19].

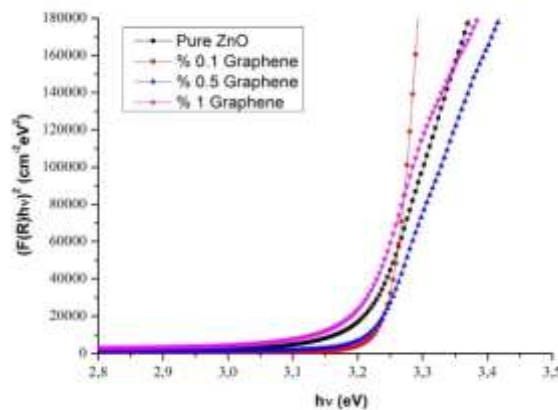


Figure 5. Optical bandgap values of the samples as a function of photonenergy

5. CONCLUSION

The graphene nano-sheets produced by using the liquid phase exfoliation method were doped into ZnO at 3 different rates. The obtained samples were pelletized, sintered, and then characterized metallographically, optically, and electrically. It was observed that the graphene nano-sheets were homogeneously distributed in the structure. An increase was observed in the electrical conductivity of ZnO with the increase of doped graphene nano-sheets. The sample whose electrical conductivity changed at the most depending on the temperature was the 0.1% graphene doped sample. The conductivity value of this sample at 420 K reached values close to the electrical conductivity value of the 0.5% graphene doped sample. As the amount of doped graphene increased, the reflection % of ZnO decreased. Diffraction wavelength increased with the increased % rate of graphene nano-sheet. While optical bandgap values of 0.1 and 0.5% graphene nano-sheet doped samples were higher than pure ZnO, the bandgap value of 1% graphene nano-sheet doped sample decreased to a lower value than the bandgap value of pure ZnO.

REFERENCES

1. Lee, H., An, N., Jeong, S., Kang, S., Kwon, S., Lee, J., Lee, Y., Kim, D.Y., and Lee, S., (2017). Strong Dependence of Photocurrent on Illumination-light Colors for ZnO/graphene Schottky Diode, *Current Applied Physics*, Vol:17, pp:552-556.
2. Pearton, S.J., Norton, D.P., Ip, K., Heo, Y.W., and Steiner, T., (2005). *Prog. Mater. Sci.* Vol:50, pp:293-340.
3. Ozgür, Ü., Alivov, Y.I., Liu, C., Teke, A., Reshchikov, M.A., Dogan, S., Avrutin, V., Cho, S.J., and Morkoç, H., (2005). A



-
- Comprehensive Review of ZnO Materials and Devices. J. Appl. Phys.
4. Willander, M., Nur, O., Zhao, Q.X., Yang, L.L., Lorenz, M., Cao, B.Q., Perez, J.Z., Czekalla, C., Zimmermann, G., Grundmann, M., Bakin, A., Behrends, A., Al-Suleiman, M., El-Shaer, A., Mofor, A.C., Postels, B., Waag, A., Boukos, N., Travlos, A., Kwack, H.S., Guinard, J., and Dang, D.L.S., (2009). Zinc Oxide Nanorod Based Photonic Devices: Recent Progress in Growth, Light Emitting Diodes and Lasers. *Nanotechnology*, Vol:20, pp:332001.
 5. Choi, Y.S., Kang, J.W., Hwang, D.K., and Park, S.J., (2010). Recent Advances in ZnO-Based Light-Emitting Diodes. *IEEE Trans. Electron Devices*, vol:57, pp:26-41.
 6. Shen, H., Shan, C-X., Qiao, Q., Liu, J-S., Li, B-H., and Shen, D.Z., (2013). Stable Surface Plasmon Enhanced ZnO Homo Junction Light-Emitting Devices. *J. Mater. Chem. C*, Vol:1, pp:234-237.
 7. Liang, H., Feng, Q., Xia, X., Li, R., Guo, H., Xu, K., Tao, P., Chen, Y., and Du, G., (2014). Room Temperature Electroluminescence from Arsenic Doped p-type ZnO Nanowires/n-ZnO Thin Film Homo Junction Light-Emitting Diode, *J. Mater. Sci. Mater. Electron*, vol:25(4), pp:1955-1958.
 8. Enhanced Efficiency in ZnO Nanowire/p-Polymer Hybridized Inorganic/Organic Ultraviolet Light-Emitting Diode by Piezo-Phototronic Effect, *Nano Lett.*, Vol:13, pp:607-613.
 9. Mills, E.M., Min, B.K., Kim, S.K., Kim, S.J., Kang, M-A., Song, W., Myung, S., Lim, J., An, K-S., Jung, J., Kim, S., (2015). Direct Determination of Field Emission across the Heterojunctions in a ZnO/Graphene Thin-Film Barrier, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol:7, pp:18300-18305.
 10. Na, J.H., Kitamura, M., and Arakawa, Y., (2008). Organic/inorganic Hybrid Complementary Circuits Based on Pentacene and Amorphous Indium Gallium Zinc Oxide Transistors *Appl. Phys. Lett.*, Vol:93, pp:213505.
 11. Na, J.H., Kitamura, M., Arita, M., and Arakawa, Y., (2009). Dual Luminescence from organic/inorganic Hybrid p-np-n Junction Light-emitting Diodes, *Appl. Phys. Lett.*, Vol:94, pp:213302.
 12. Parameshwari, R., Jothivenkatachalam, K., Craig, E. Banks, and Jeganathan, K., (2017). Acid-free co-operative Self-assembly of Graphene-ZnO Nanocomposites and its Defect Mediated Visible Light Photocatalytic Activities, *Physica B*, Vol:506, pp:32-41
 13. Stoller, M.D., Park, S., Zhu, Y., An, J., and Ruoff, R.S., (2008). Graphene-based Ultracapacitors, *Nano Lett.*, Vol:8, pp:3498-3502.
 14. Leng, K., Zhang, F., Zhang, L., Zhang, T., Wu, Y., Lu, Y., Huang, Y., and Chen, Y., (2013). Graphene Based Li-ion Hybrid Supercapacitors with Ultrahigh Performance, *Nano Res.*, Vol:6, pp:581-592.
 15. Lu, T., Zhang, Y., Li, H., Pan, L., Li, Y., and Sun, Z., (2010). Electrochemical Behaviors of Graphene-ZnO and Graphene-SnO₂ Composite Films for Supercapacitors, *Electrochim. Acta*, Vol:55, pp:4170-4173.
 16. Xiang, Q., Yu, J., and Jaroniec, M., (2012). Graphene-based Semiconductor Photocatalysts, *Chem. Soc. Rev.* Vol:41, pp:782-796.



Hasan Ballıkaya

Aksaray University, hasanballikaya@gmail.com, Aksaray-Turkey

Vedat Savaş

Fırat University, vsavas@firat.edu.tr, Elazığ-Turkey

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.2A13PB>

MATRIS/BASKI PLAKA AÇILI HIDROMEKANİK DERİN ÇEKME YÖNTEMİ

ÖZ

Bu çalışma da, matris/baskı plaka açılı hidromekanik derin çekme yönteminde DIN EN 1030-1999 sac malzeme kullanılarak, matris/baskı plaka açısı ve hazne basıncının, limit çekme oranına ve kap et kalınlığı değişimine etkisini belirlemek için yapılmıştır. Bu çalışmada matris açılı hidromekanik derin çekmenin diğer yöntemlere göre üstünlüklerini daha net bir şekilde ortaya koymak için, 6 farklı (0° , 2.5° , 5° , 10° , 12.5° ve 15°) matris/baskı plaka açısı kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneylerde üç farklı kalıp içi hazne basıncı (6Mpa, 8Mpa, 10Mpa) değişken olarak kullanılmıştır. Sonuç olarak matris/baskı plaka açılı hidromekanik derin çekme yönteminde, geleneksel açılı derin çekme ve hidromekanik derin çekme yöntemlerine göre daha yüksek çekme oranı (β) ve ihmal edilebilecek düzeyde kap kalınlık değişimi gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Matris/Baskı Plaka Açılı Derin Çekme,
Hidromekanik Derin Çekme, DIN EN 1030-1999,
Hidromekanik, Çekme Yöntemi

DIE/PRESSURE PLATE ANGLED HYDROMECHANICAL DEEP DRAWING PROCESS

ABSTRACT

This study was conducted in order to determine the effect of die/pressure plate angle and container pressure on limit drawing rate and change in wall thickness of cup by using DIN EN 1030-1999 sheet material in die/ pressure plate angled hydromechanical deep drawing process. In the present study, experiments were carried out using 6 different die/blank holder angles (0° , 2.5° , 5° , 10° , 12.5° and 15°) to more clearly reveal the superiorities of die angled hydromechanical deep drawing process compared to other methods. Three different intra-mould chamber pressure (6Mpa, 8Mpa, 10Mpa) were used as variable in the experiments. Consequently, higher drawing rate (β) and negligible cup thickness change were observed in die/ pressure plate angled hydromechanical deep drawing method compared to conventional angled deep drawing and hydromechanical deep drawing methods.

Keywords: Die/Pressure Plate Angled Deep Drawing Process,
Hydromechanical Deep Drawing, DIN EN 1030-1999,
Hydromechanics, Pulling Method

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte, birçok kalıplama yönteminde önemli değişiklikler söz konusu olmuştur. Geline son nokta ise matris/baskı plaka açılı derin çekme ve hidromekanik derin çekme yöntemleridir. Hidromekanik derin çekme yöntemi hem geleneksel hem de hidrolik şekillendirme teknolojisini sunan bir uygulamadır. Hidromekanik derin çekme işlemi matris, baskı plakası, zımba ve sıvı

basıncını sağlamak için kullanılan yağ haznesinden oluşur. Bu sürecin ilk başlama aşamasında alt hazneye sıvı doldurulur. Bir sonraki adımda ise sac malzeme matris üzerine yerleştirilir ve ardından baskı kuvveti uygulamak için baskı plakası yerleştirilir. Baskı plakası ile matris arasında kalan sac malzemeye zımba tarafından alt kalıba doğru bir kuvvet uygulanır. Alt haznede bulunan sıvıda, zımba kurs mesafesine göre basınç artışı oluşur. Yükselen basınç değeri alt haznede bulunan basınç kontrol valfi sayesinde daha önceden belirlenen basınç seviyesinde sabit kalır. Burada oluşan sıvı basıncı iş parçası ile kalıp radüsü arasında bir yağ filmi tabakası oluşturur. Oluşan film tabakası iş parçası ile kalıp radüs bölgesindeki sürtünme kuvvetini en aza indirerek eşit bir gerilim dağılımı ile limit çekme oranını artırır [1 ve 2].

Savaş ve Seçkin, baskı plakası ile kalıp arasına 0° , 2.5° , 5° , 10° ve 15° olmak üzere beş farklı açı vermek suretiyle, silindirik kapların çekme oranlarının artırılması, dolayısıyla derin çekmedeki operasyon sayısının azaltılarak kalıp ve enerji maliyetlerinin düşürülmesini hedeflemişlerdir. Matris/baskı plaka açısının 0° olduğu durumda 1.75 olarak tespit edilen limit çekme oranını, 15° açı değerinde ise 2.175'e hatasız olarak yükseltebilmişlerdir [3]. Khandeparkar ve Liewald, farklı geometriye sahip karmaşık şekilli sac malzemelerin hidromekanik derin çekilmesi üzerine çalışmışlardır. Çalışmada, derin çekme sacı olarak bilinen DC04 ve paslanmaz çelik DIN 1.4301 deney malzemesi olarak kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda limit çekme oranı $\beta=3.0$ olarak elde etmişlerdir. Sayısal analiz deneyleri LS-DYNA yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Hazne basıncının, çok önemli bir parametre olduğu gözlenmiştir. Basıncın çok yüksek olması erken kırılmalara neden olurken, düşük olması, yeterli sürtünme oluşmaması sebebi kırılmaya neden olmuştur [4]. Kurz, ısıtılmış hidromekanik derin çekme prosesi üzerinde araştırmalarda bulunmuştur. Çalışmalarda farklı magnezyum alaşımlı malzemelerin farklı sıcaklıklarda limit çekme oranları tespit edilmiştir.

1mm kalınlığında AZ31 malzeme için; ısıtılmış geleneksel derin çekmede yönteminde 225°C 'de $\beta=2.8$ derin çekme oranına ulaşılırken, ısıtılmış hidromekanik derin çekmede yönteminde bu oran 175°C 'de $\beta=3.8$ 'e ulaşılmıştır. Hidromekanik derin çekme yöntemi ile magnezyum alaşımlı malzemelerin limit çekme oranı artırılabilceği tespit edilmiştir [5]. Zhang ve diğerleri, alüminyum ve yumuşak çelik malzemelerin hidromekanik derin çekme yöntemi ile şekillendirilmesini deneysel olarak ve SEY kullanarak incelemişlerdir. Sayısal analiz sonuçları ve deneysel çalışmalar ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve kap et kalınlık değişimleri incelenmiştir. İncelmeler genellikle zımba ucuna yakın bölgelerde meydana gelmiştir. Bölgesel incelemeyi iki bölümde ele almışlardır. Bunlardan birincisi yüksek basınç düşük zımba ucuna yakın, ikincisi ise hazne basıncı yüksek kalıp profilinde meydana gelmiştir [6]. Bu çalışmada, beyaz eşya, savunma sanayi, otomotiv sanayi ve birçok sektörde kullanılan 0.9mm et kalınlığında DIN EN 10130-1999 sac malzemesinin açılı matris/baskı plaka derin çekme yöntemi ile hidromekanik derin çekme yöntemi ile birleştirilmesi sonucunda oluşturulan matris/baskı plaka açılı hidromekanik derin çekme yöntemi kullanılarak derin çekme deneyleri yapılmıştır.

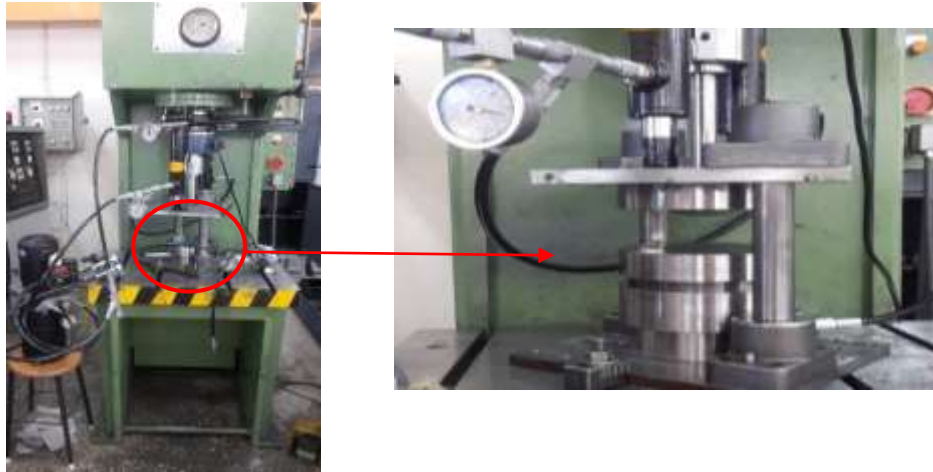
2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Geleneksel açılı matris/baskı plaka derin çekme yönteminde açı değerinin belirli bir oranda artması ve limit çekme oranının artmasına bağlı olarak derin çekmedeki operasyon sayısını azaltarak kalıp ve enerji maliyetlerini düşürdüğü bilinmektedir. Hidromekanik derin çekme

işlemi sac malzemelerin şekil almasında önemli bir ölçüye sahip ileri bir teknoloji ürünüdür. Bu işlem sonrası elde edilen ürünlerde homejen bir kalınlık dağılımı söz konusudur. Yapılan hidromekanik derin çekme işleminde limit çekme oranının arttığı ve kap et kalınlık değişiminin azaldığı belirlenmiştir. Bu çalışmada diğer derin çekme yöntemlerinden farklı olarak matris/baskı plaka açılı hidromekanik derin çekme yöntemi araştırılmıştır. Geleneksel derin çekme yöntemlerine ve hidromekanik derin çekme yöntemlerine göre daha iyi yüzey kalitesi, daha yüksek çekilebilirlik ve ihmal edilebilecek seviyede kap et kalınlığı değişimi gözlenmiştir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Deneysel çalışmalar için matris/baskı plaka açılı hidromekanik derin çekme deney düzeneği tasarlanarak imalatı yapılmıştır. İmalatı gerçekleştirilen deney seti C tipi pres tezgahına bağlanarak deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Kullanılan bu tezgâh mekanik olarak kontrol edilmektedir. Deneysel çalışmaların kullanıldığı pres tezgâhı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Matris/baskı plaka açılı hidromekanik derin çekme deney seti
Figure 1. Matrix/pressure plate angled hydromechanical deep drawing test set

Yapılan deneysel çalışmalar için zımba hareketi C tipi pres tezgahı tarafından sağlanmıştır. Zımba hareket hızı (4mm/sn) sabit alınmıştır. Baskı plaka kuvveti sistemden bağımsız çalışan iki piston yardımıyla sağlanmıştır. Veri okuma işleminde; kuvvet ölçümleri için yük hücresi kullanılmıştır ve yük hücresinden elde edilen verilerin bilgisayar ortamına aktarılması ve kaydedilmesi amacıyla CAS 1500A marka indikatör, RS232 bağlantısı kullanılarak DNC bilgisayar programı yardımıyla veriler 10^{-1} saniye aralığında bilgisayara kaydedilmiştir. Kalıp içi basınç ölçümleri için basınç kontrol valfi kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar için kullanılan deney parametreleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Deney esnasında kullanılan hidromekanik derin çekme parametreleri

(Table 1. Hydromechanical deep drawing parameters used during the test)

Deney Seviyeleri	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4	Seviye 5	Seviye 6
Matris/Baskı Plaka Açısı (°)	0°	2.5°	5°	10°	12.5°	15°
Zimba Radyüsü (mm)	6	8	10	-	-	-
Kalıp Radyüsü (mm)	6	8	10	-	-	-
Kalıp Hazne Basıncı (Mpa)	6	8	10	-	-	-
Baskı Plaka Kuvveti (N)	1964.95	5882.78	9507.64	-	-	-

Yapılan deneysel çalışmalar için kullanılan sac malzemeler 60mm çaptan başlayarak çap ölçülerini 1mm artırarak torna tezgâhında kesilmiştir. Deneylerde her bir deney için maksimum limit çekme oranı elde edilinceye kadar deneyler çap ölçüsü artırılarak tekrar edilmiştir. Tekrarlanan bu deneyler için sac malzemenin kırıldığı bir önceki çap o deneyin maksimum limit çekme oranı olarak belirlenmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan sac malzemenin kimyasal özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. DIN EN 10130-1999 çelik sacının kimyasal analizi
(Table 2. Chemical composition of sheet steel DIN EN 10130-1999)

Element	%	Element	%
C	0.0440	Ni	0.0261
P	0.108	Cu	0.00452
S	0.0085	Nb	0.00241
Cr	0.0116	Ti	0.00027
Mn	0.241	Sn	0.0864
Mo	0.0116	Fe	99.46

Matris/baskı plaka açılı hidromekanik derin çekme deneyleri için deney planı Taguchi deney tasarım yöntemi kullanılarak belirlendi. Parametrelerin sac et kalınlığı değişimi ve limit çekme oranı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Limit çekme oranı sac malzemenin ilkel çapının zimba çapına oranı olarak belirlenmiştir [7]. Limit çekme oranı formülü Denklem 1 de verilmiştir.

$$\beta = \frac{D_{max}}{d_{punch}} \quad (1)$$

Denklem 1 de verilen β limit çekme oranı, D_{max} ilkel malzeme çapını (mm) d_{punch} ise zimba çapını (mm) ifade eder. Sac malzemelerin kalınlık ölçümleri için tel erozyon tezgâhında ikiye bölünerek ölçüm işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kalınlık ölçümleri iş parçası merkezinden başlayarak 5mm aralıklarla ölçülmüştür. Sac malzeme kalınlık ölçümü Şekil 2 te gösterilmiştir.



Şekil 2. İş parçası et kalınlığı ölçümü
(Figure 2. Workpiece meat thickness measurement)

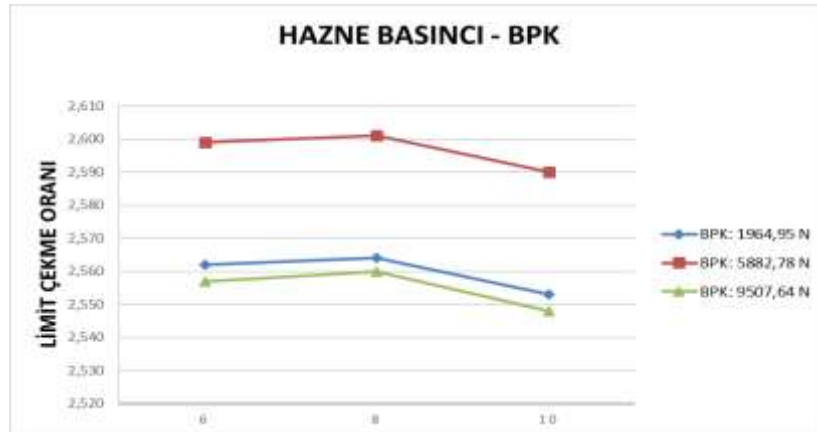
4. DENEY SONUÇLARI (EXPERIMENTAL RESULTS)

Matris/baskı plaka açısı limit çekme oranını artıran açı değerine göre olumlu olarak etkilemiştir. Sac malzeme açılı matris içerisine daha kolay bir şekilde aktığı için 0° den 12.5° dereceye kadar limit çekme oranında bir artış söz konusudur. 12.5° 'den sonraki açı değerinde ise limit çekme oranının azaldığı belirlenmiştir. Matris açısının limit çekme oranına etkisi Şekil 3 de gösterilmektedir.



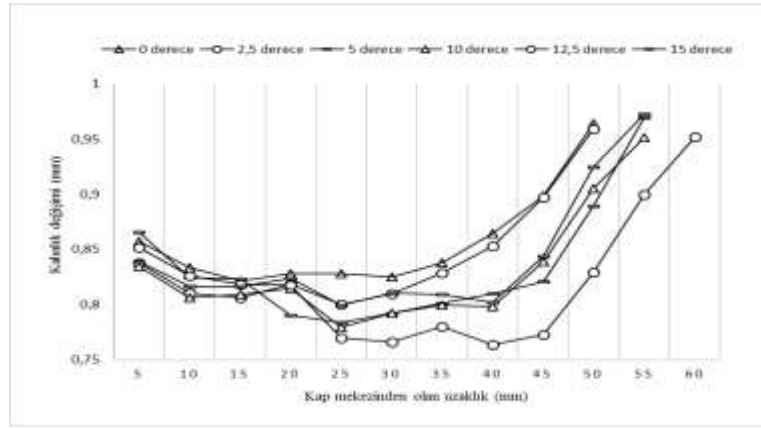
Şekil 3. Matris/Baskı Plaka açılışının limit çekme oranına etkisi
(Figure 3. Effect of opening of matrix/printing plate to limit pull ratio)

Hidromekanik derin çekme işlemin en önemli parametrelerinden birisi olan hazne basıncı derin çekme işlemini doğrudan etkilemektedir. Hazne basıncı parametresinin en büyük seviyesi erken kırılmalara neden olurken en düşük seviye değeri ise kalıp ile iş parçası arasında yeteri derecede yağ filminin oluşmaması ve sürtünme kuvvetinin artmasından dolayı kırılmalar meydana gelmiştir. Hazne basıncının limit çekme oranına etkisi Şekil 4 gösterilmektedir.



Şekil 4. Hazne Basıncının limit çekme oranına etkisi
(Figure 4. Impact of Hopper Pressure on limit draw ratio)

Derin çekme işlemleri sonrasında limit çekme oranının maksimum olması istenirken sac malzeme et kalınlığı değişimlerinin de minimum olması istenir. Derin çekme işleminde sac malzeme çeşitli gerilmelere maruz kalır. Bu gerilmeler neticesinde sac malzemede kalınlık değişimleri söz konusu olur. Matris/baskı plaka açısının değişimine göre sac et kalınlığı değişimi Şekil 5 gösterilmiştir.



Şekil 5. Sac Malzeme kalınlık değişimi
(Figure 5. Sheet material thickness change)

Sac malzeme kalınlık değişimi iş parçasının taban kısmında çok az değişkenlik gösterirken zımba radyüsü ve bu bölgeye yakın kısımlarda incelme ve iş parçası üst kısımlarda ise kalınlaşma söz konusudur. Bu kalınlık değişimi geleneksel derin çekme işlemi ve açılı matris/baskı plaka açılı derin çekme işlemine göre matris/baskı plaka açılı hidromekanik derin çekme işleminde ihmal edilecek bir seviyededir.

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada matris/baskı plaka açılı hidromekanik kalıplama yönteminin limit çekme oranının ve malzeme et kalınlık değişimi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Bu incelemeler göre ;

- Matris/baskı plaka açısının (α) artması ile limit çekme oranı (β) arttığı söylenebilir. $\alpha=0^\circ$ limit çekme oranı $\beta=2.464$ iken $\alpha=12.5^\circ$ 'de limit çekme oranı $\beta=2.6$ yükselmiştir.
- Hazne basıncının ilk seviyesi için basınç miktarının yetersiz olduğu gözlenmiştir. Bu parametrenin üçüncü seviyesi ise daha yüksek baskı plaka kuvveti gerektiğini göstermiştir ki bu da iş parçasında ani yırtılmalara sebep olmuştur. Limit çekme oranının maksimum olduğu seviye bu parametrede ikinci seviye olarak tespit edilmiştir.
- Kap yan yüzeylerde et kalınlığının daha homojen olduğu belirlenmiştir. Kap üst kısımlarında kalınlaşma kap kritik bölgelerinde (zımba radyüsüne yakın bölgeler) ise incelemeler meydana gelmiştir. Ancak bu incelemeler ve kalınlaşma değerleri ihmal edilebilecek boyuttadır. Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde ölçülen tüm deney numuneleri sonucunda et kalınlığının minimum olduğu değer 0.7635mm ve kalınlaşmanın maksimum olduğu değer ise 0.997mm dir. Buda incelmelerin en fazla %15 gibi bir değer kalınlaşmanın ise %10 gibi bir değer olduğu söylenebilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Zhang, S.H. and Danckert, J., (1998). Development of Hydro-Mechanical Deep Drawing, Journal of Materials Processing Technology, 83, 14-25.
2. Zhang, S.H., Nielsen, K.B., Danckert, J., Kang, D.C., and Lang, L.H., (2000). Finite Element Analysis of the Hydromechanical



-
- Deep-Drawing Process of Tapered Rectangular Boxes, Journal of Materials Processing Technology, 102, 1-8.
3. Savaş, V. and Ö. Seçgin, Ö., (2007). A new type of deep drawing die design and experimental results, Materials and Design, 28, 1330-1333.
 4. Khandeparkar, T. and Liewald, M., (2008). Hydromechanical Deep Drawing of Cups with Stepped Geometries, Journal of Material Processing Technology, 202, 246.
 5. Kurz, G., (2004). Heated Hydromechanical Deep Drawing of Magnesium Sheet Metal, The Minerals, Metals & Materials Society, Institute for Metal Forming and Metal Forming Machine Tools, University of Hanover, Welfengarten, Hanover, Germany.
 6. Zhang, S.H., Jensen, M.R., Danckert, J., Nielsen, K.B., Kang, D.C., and Lang, L.H., (2000). Analysis of the Hydromechanical Deep Drawing of Cylindrical Cups, Journal of Material Processing Technology, 103, 367.
 7. Lang, L., Danckert, J., and Nielsen, K.B., (2004). Investigation into Hydrodynamic Deep Drawing Assisted by Radial Pressure Part 1. Experimental Observations of the forming process of aluminum alloy" Journal of Materials Processing Technology 148, 119-131.



Semra Bilgiç

Ankara University, bilgic@science.ankara.edu.tr, Ankara-Turkey

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.2A14PB>

KOROZYON VE MEKANİZMASI

Öz

Korozyon metal ve alaşımların çevreleri ile kimyasal ve elektrokimyasal etkileşimleri sonucu bozunmalarınıdır. Korozyonun bilinen en yaygın örneği demir üzerinde oluşan pasdır. Korozyon bilimsel olduğu kadar ekonomik yönüyle de önemli bir olaydır. Korozyon istenmeyen bir olaydır; kaynaklarımızı ve ürünlerimizi boşa harcar, üretimde önemli kayıplara neden olur. Korozyon elektrokimyasal bir olaydır ve mekanizması metal yüzeyinde oluşan elektrokimyasal koşulların farklı olmasına dayanır. Korozyon, elektrolit olarak adlandırılan ve elektrik akımını geçirebilen bir çözelti aracılığıyla metal yüzeyinin bazı bölgeleri arasında veya elektrolit çözeltisine daldırılmış iki ayrı metal arasında da oluşabilir. Her iki durumda da elektriğin iki bölge veya iki elektrot arasından akmasına neden olan bir potansiyel farkı olmalıdır. Anot yükseltgenmenin olduğu bölge veya elektrot, katot ise indirgenmenin olduğu bölge veya elektrottur. Anottaki yükseltgenme sonucu çözünme olur ve korozyon burada meydana gelir. Anottan çıkan elektronlar ise iletken bir tel aracılığıyla katoda giderek katot metalini indirgerler.

Anahtar Kelimeler: Metal, Korozyon, Korozyonun Önemi, Elektrokimya, Alışımlar

CORROSION AND ITS MECHANISM

ABSTRACT

Corrosion is the deterioration of metals and alloys as a result of their chemical and electrochemical interactions with the environment. The most common example of corrosion is known as rust on iron. Corrosion is an important event in terms of economy as well as science. Corrosion is undesirable phenomenon, wasting our resources and our products, causing significant loss in production. Corrosion is an electrochemical process and its mechanism is based on different electrochemical conditions that occur on the metal surface. Corrosion can take place between in a solution called an electrolyte, which can pass the electric current, at certain regions of the metal surface or between two separate metals submerged in the electrolyte solution. The anode is the region on electrode that oxidation occurs whereas at cathode reduction occurs. The anode oxidizes by losing electrons, which results in ion formation and corrosion. The electrons that exit the anode and transfer to the cathode through a conductive wire, reduce the cathode metal.

Keywords: Metal, Corrosion, Importance of Corrosion, Electrochemistry, Alloys



1. GİRİŞ INTRODUCTION)

Genel anlamda korozyon metal alaşımların çevreleri ile kimyasal ve elektrokimyasal etkileşimleri sonucunda tahribatı olarak tanımlanır [1 ve 7]. Korozyon mekanik olmayan etkilerle metal ve alaşımların parçalanması olarak da tanımlanabilir. Çevremizde korozyonun pek çok örneğini görebiliriz. Demir üzerindeki pas, gümüş üzerindeki kararma, bakır ve pirinç üzerinde oluşan yeşil patina bunlardan bir kaçıdır. Korozyon çeşitli metalleri değişik ölçüde etkiler ve çok değişik biçimlerde kendini gösterir. Korozyon metalin parlak renginin kaybolması veya metal yüzeyinde delikçikler oluşturarak paslanma şeklinde görülebilir. Metal yüzeyinde yerel olarak oluşan çukurlar da korozyonun bir başka etkisidir [2]. Korozyonun asıl nedeni, metallerin metalik halde kararlı olmayışlarıdır. Metaller, korozyon olayları sonucunda kendi doğal hallerine dönüşme eğilimi gösterirler. Örneğin demir yağmur sularının etkisiyle pasa dönüşür, pas analiz edilirse demir oksit olduğu görülür. Doğal demir filizi de analiz edilirse onun da demir oksit olduğu belirlenir. Yani paslanma ile demir yeniden asıl (doğal) haline dönüşmüştür.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

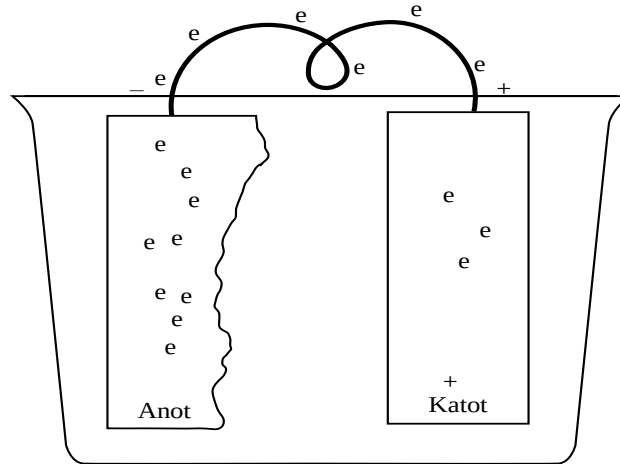
Korozyon elektrokimyanın temel ilkesine dayanan bir olay olup metalin türü ve ortama göre değişen bir mekanizma ile yürür. Metal ve alaşımların korozyonu özellikleri ve etkileştikleri ortamla değişir. Çeşitli metallerin aynı ortamdaki korozyonu farklı olabildiği gibi aynı bir metalin farklı ortamlardaki korozyonu farklıdır. Korozyon bilimsel ve ekonomik bakımdan büyük önem taşır; madde, malzeme ve enerji kaybına, çeşitli kazalara neden olur. Bu nedenle önlenmesi veya azaltılması için daha yoğun çalışmalar yapılmalıdır.

3. KOROZYONUN ÖNEMİ (THE IMPORTANCE OF CORROSION)

Korozyon bilimsel olduğu kadar ekonomik yönden de önemli ve istenmeyen bir olaydır; kaynaklarımızı ve ürünlerimizi boşa harcar, üretimi durdurur ve çeşitli kazalara neden olur [8]. Otomobil sistemleri ve radyatörlerindeki korozyon harcamaları her yıl milyonlarca dolara mal olmakta, otomobiller, gemiler, yer altı boruları ve evlerdeki metalik malzemelerin boyanması önemli ekonomik kayıplara neden olmaktadır [9 ve 10]. Dünyada üretilen demirin yaklaşık 1/4'ünün korozyonla harcandığı tahmin edilmektedir. Bu nedenle korozyonun mekanizmasının anlaşılması ve farklı korozif ortamlar için uygun metal ve alaşımların seçilmesiyle korozyon harcamaları büyük ölçüde azaltılabilir.

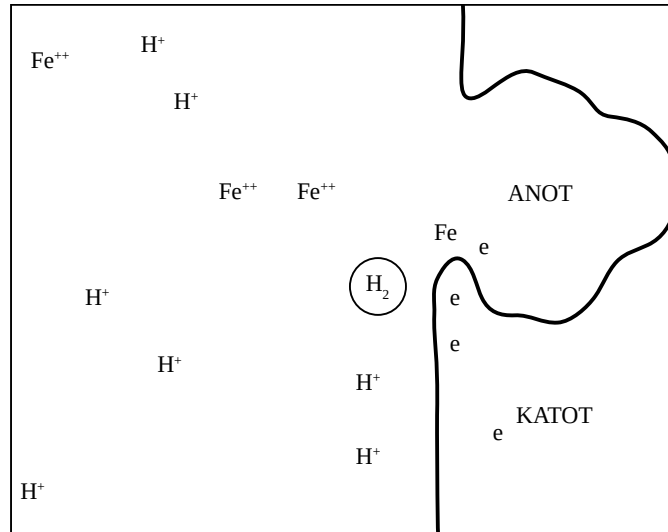
4. KOROZYON VE MEKANİZMASI (CORROSION AND MECHANISM)

Korozyon olayının hangi mekanizmayla başladığı korozyon biliminin temel konularından birisidir. Korozyonun temeli elektrik akımı geçirebilen bir çözelti aracılığı ile metal yüzeyinin bazı bölgeleri veya elektrolite daldırılan iki metal arasından akımın geçmesidir. Korozyon için gerekli elektrolit yağmur suyundan, kuvvetli asit ve baz çözeltilerine doğru herhangi bir nemlilik olabilir. Korozyonun asıl mekanizması elektrokimyasal bir olaydır. Korozyon bir elektrolit ile bunun içinde anot ve katot dediğimiz iki elektrot vardır: Anot elektron kaybederek yükselgenmenin olduğu, katot ise elektron alarak indirgenmenin olduğu elektrottur. Anot çözünerek iyonlar oluşur, metal üzerinde kalan fazla elektronlar anodu çözeltiye karşı eksi yapar (Şekil 1). Bu nedenle korozyon anot ve katotta oluşan olaylarla ilerler.



Şekil 1. Bir korozyon hücresinde metalik bir tel aracılığı ile elektronların anottan katoda akışı
(Figure 1. Antenna cathodal flow of electrons through a metallic wire in a corrosion cell)

Örnek olarak suda korozyona uğrayan demir anot olarak alınır, demir atomları demir +2 haline dönüşür ve çözeltiye geçer. Anottan ayrılan elektronlar ise iletken bir tel yardımıyla katot yüzeyine geçerler ve hidrojen iyonlarından bazılarını nötralleştirirler. Oluşan hidrojen atomları birleşerek hidrojen molekülü oluştururlar. Bu durum Şekil 2’de görülmektedir.



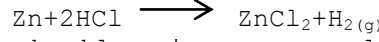
Şekil 2. Demirin sudaki korozyonunda anotta Fe⁺² iyonları ve katotta hidrojen oluşumu
(Figure 2. Formation of Fe + 2 ions in the anode and hydrogen in the cathode at the surface corrosion of iron)

Adi bir demir parçası tuz asidi çözeltisine konulursa çözelti içinde kabarcık halinde hidrojen çıkar ve şiddetli bir korozyon olur. Bu durumda metal yüzeyinde çok küçük ama çok sayıda anot ve katot bölgeleri bulunur, çözünen yerler anot bölgeleridir. Bu küçük hücrelerde çeşitli nedenlerle potansiyel farkı oluşur. Bu nedenler; metal yüzeyinin her yanda aynı olmaması, yüzeyin kusurlu oluşu, metalin kristal örgüsünün farklılığı, bölgesel gerginlik ve çevredeki değişiklik olabilir.

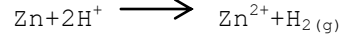
4.1. Farklı Ortamlarda Korozyon Tepkimeleri (Corrosion Responses in Different Environments)

4.1.1. Oksijensiz Asitli Ortamlarda Korozyon (Corrosion in Oxygen Free Acid Environments)

Bazı metaller oksijeni uzaklaştırılmış asidik ortamlarda hızla çözünerek korozyona uğrarlar. Çinkonun hidroklorik asitte çözünmesi buna örnek olarak verilebilir.

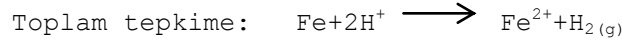
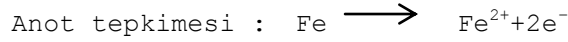


Yukarıdaki tepkimede klor iyonu ve molekülü elektrik yükünden etkilenmediğinden denklem aşağıdaki şekilde yazılır.



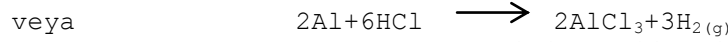
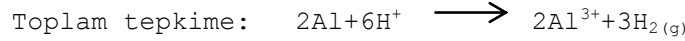
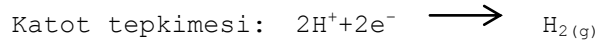
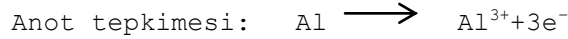
Anodik tepkime çinkonun elektron vererek yükseltgenmesi yani Zn^{2+} iyonlarına dönüşümüdür. Anodik tepkime ile verilen elektronlar katotta hidrojen iyonlarını indirgeyerek hidrojen gazı açığa çıkarırlar.

Bir diğer örnek olarak demirin aynı ortamdaki korozyonunda anotta ve katottaki tepkimeler ile toplam tepkime aşağıda verilmiştir.

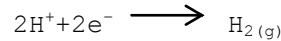


veya toplam tepkime: $\text{Fe} + 2\text{HCl} \longrightarrow \text{FeCl}_2 + \text{H}_{2(g)}$
olarak yazılır.

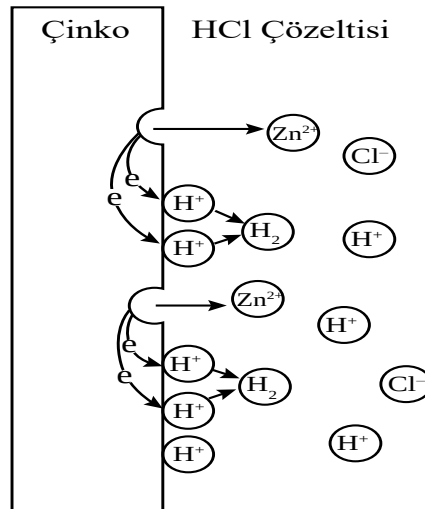
Bir başka örnek olarak alüminyumun korozyonunda anotta alüminyum çözünerek Al^{3+} iyonlarını oluşturur, yani korozyona uğrar. Elektrot tepkimeleri ve toplam tepkime aşağıda gösterilmiştir.



Bu örneklerden de görüldüğü gibi oksijensiz asitli ortamlarda yürüyen katodik tepkime metalin cinsine bağlı değildir, katodik tepkime daima hidrojen gazının çıkmasıdır. Bu hidrojen tepkimesidir ve



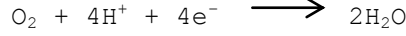
denklemleri ile verilir.



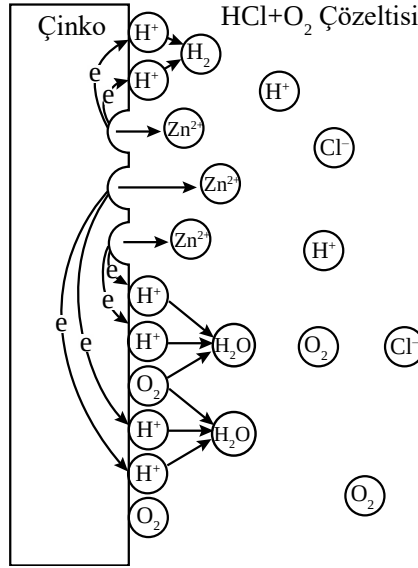
Şekil 3. Metallerin oksijensiz asitli ortamlardaki korozyonu
(Figure 3. Corrosion of metal in oxygen-free environments)

4.1.2. Oksijen İçeren Asitli Ortamlarda Korozyon (Corrosion in Acidic Environments Containing Oxygen)

Bu tür ortamlarda hidrojen iyonlarının yanında oksijen molekülleri de bulunur. Oksijen içeren (havalandırılmış) asitli ortamlardaki korozyon, oksijensiz asitli ortamlardaki korozyondan çok daha etkilidir. Bu koşulda katodik tepkime birden fazla olup korozyon hızını artırır. Ortamda çözünmüş oksijenin bulunmasıyla oksijen su molekülü oluşturmak üzere hidrojenle birleşebilir.



tepkimesi oluşur.



Şekil 4. Metallerin oksijen içeren asitli ortamlardaki korozyonu
(Figure 4. Corrosion of metal in acidic environment containing oxygen)

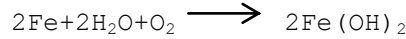
4.1.3. Oksijen İçeren Nötr ve Bazlı Ortamlarda Korozyon (Corrosion in Neutral and Base Environments Containing Oxygen)

Nötr ve bazlı ortamlarda hidrojen iyonları fazla miktarda bulunmadığından korozyon ortamda çözünmüş oksijen moleküllerinin hidroksil iyonlarına indirgenmesi ile gerçekleşir. Bu olaya oksijen tepkimesi denir, bu olay



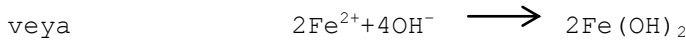
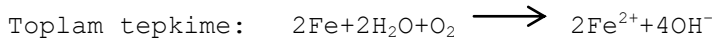
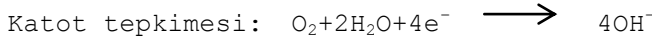
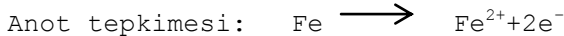
denklemleri ile ifade edilir. Bu tepkime ortamda bulunan çözünmüş oksijen moleküllerinin metal yüzeyine ulaşmasıyla gerçekleşir. Çelik parça ve yapıların deniz suundaki korozyonu, bu tür korozyona örnektir. Deniz suyu nötr bir ortamdır ve hava ile sürekli temas halindedir.

Toplam hücre tepkimesi:

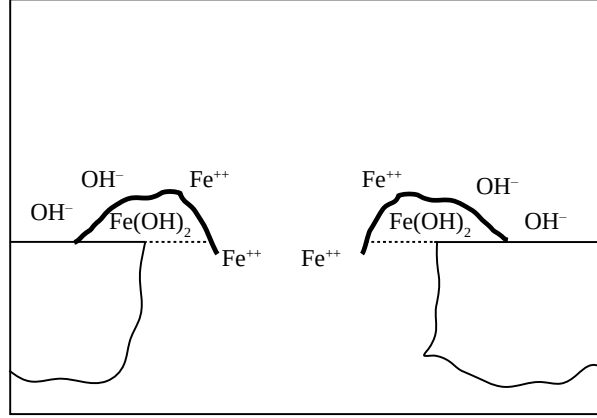


Fe(OH)₂'nin çözünürlüğü çok azdır, sudan ayrılarak katı faz halinde çöker.

Elektrot tepkimeleri ve toplam tepkime şöyledir.

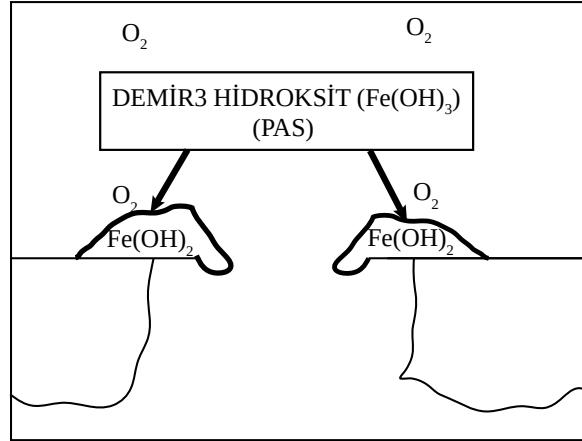


Anotta oluşan Fe^{2+} iyonları ve katotta oluşan hidroksil iyonları elektrolit içine göç ederler. Bu iyonlar yanyana gelince demir II hidroksit, $\text{Fe}(\text{OH})_2$ çökeleği oluşturmak üzere birleşirler.



Şekil 5. Demirin paslanmasında demir-II hidroksitin oluşumu
(Figure 5. Iron-II hydroxytin formation in iron corrosion)

Demir-II hidroksit çözülmüş oksijenle oksitlenerek Demir-III hidroksit oluşturur, bu da pas olarak çökeler (Şekil 6).



Şekil 6. Oksijenli ortamda demir-II hidroksidin demir-III hidrokside dönüşmesi (Pas oluşumu)
(Figure 6. Conversion of iron-II hydroxydin iron-III hydroxides in oxygenated environment)

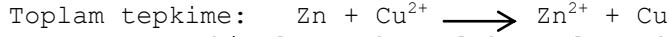
Bütün bu bilgilerden yararlanılarak aşağıdaki çizelge verilebilir [1].

Ortam	Hidrojen Tepkimesi
Oksijensiz asitli ortamlarda ($\text{pH} \leq 4$)	$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_{2(g)}$
	Oksijenin Etkisi
Oksijen içeren asitli ortamlarda ($\text{pH} \leq 4$)	$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$
	Hidrojen Tepkimesi
Oksijensiz nötr ve bazlı ortamlarda ($\text{pH} \geq 4$)	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$
	Oksijenin Etkisi
Oksijen içeren nötr ve bazlı ortamlarda ($\text{pH} \geq 4$)	$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \longrightarrow 4\text{OH}^-$

4.2. Galvanik Korozyon (Galvanic Corrosion)

Anottan ayrılan elektronların işlevlerinden biri de ortamdaki metal iyonlarının indirgenmeleridir. Örneğin laboratuvarlarda bir çinko parçası bakır sülfat çözeltisine daldırılırsa çinko çözünür, çözeltideki bakır iyonlarından da metalik bakır oluşur.

Açığa çıkan bakır çinko yüzeyinde gözenekli bir yapı oluşturur. Bu olayda bakır ile çinko yer değiştirmiştir. Tepkime denklemleri aşağıda verildiği gibidir.



Bu tür tepkimelere karşılık gelen korozyon türü galvanik korozyondur.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Korozyon elektrokimyanın temel ilkesine dayanan bir olay olup metalin türü ve ortama göre değişen bir mekanizma ile yürür. Metal ve alaşımların korozyonu özellikleri ve etkileştikleri ortamla değişir. Çeşitli metallerin aynı ortamdaki korozyonu farklı olabildiği gibi aynı bir metalin farklı ortamlardaki korozyonu farklıdır. Korozyon bilimsel ve ekonomik bakımdan büyük önem taşır; madde, malzeme ve enerji kaybına, çeşitli kazalara neden olur. Bu nedenle önlenmesi veya azaltılması için daha yoğun çalışmalar yapılmalıdır. Örneğin üniversiteler ve araştırma merkezlerinde korozyona neden olan koşullar daha ayrıntılı olarak incelenirse korozyon denetlenebilir. Korozif bir çevrenin tahribatını ortadan kaldırmak hiç değilse en aza indirmek için uygun metaller seçilmeli, bu amaçla da uzmanlarla işbirliği yapılmalıdır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Doruk, M., (2014). Metalik Malzemeler ve Korozyon (1. Baskı). Ankara: Poyraz Ofset.
2. Üneri, S., (1978). Elektrokimya I (2. Baskı). Ankara: Ankara Üniversitesi Yayınları.
3. Üneri, S., (2011). Korozyon ve Önlenmesi (2. Baskı). Ankara: Poyraz Ofset.
4. Bockris, J.O'.M. and Reddy, A.K.N., (1978). Modern Electrochemistry 2 (3. Baskı). New York: Plenum Press.
5. Mc Cafferty, E., (2010). Introduction to Corrosion Science. New York: Springer.
6. Shaw, B.A. and Kelly, R.G., (2006). Effects & Economic Import of Corrosion Materials. pp:24-26.
7. Singh, A.K., (2010). Studies on Some Heterocyclic Compounds as Potential Corrosion Inhibitors: Varanasi: Banaras Hindu University, Doctoral Dissertation.
8. Javaherdashti, R., (2000). How Corrosion Affects Industry and Life. Anti-Corrosion Methods and Materials. Vol:47, pp:30-34.
9. Biezma, M.V. and San Cristóbal, J.R., (2013). Methodology to Study Cost of Corrosion. Corrosion Engineering, Science and Technology. Vol:40, pp:344-352.
10. Jacobson, G., (2016). International Measures of Prevention, Application, and Economics of Corrosion Technologies Study. Nace International Houston, Texas USA.



Melik Çetin
Talha Sunar

Karabük University, Karabük-Turkey
mcetin@karabuk.edu.tr; talhasunar@karabuk.edu.tr

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.2A20PB>

PRODUCTION OF OPEN CELL ALUMINUM FOAM BY VACUUM CASTING METHOD

ABSTRACT

The properties like low density, hardness and impact resistance have been found attractive by the researchers and the studies in this field have been started. There are various methods for production of metal foams were presented and discussed [1]. The casting of metals and alloys around space holder material is very economical way to obtain metallic foams or cellular parts [2]. In this study, vacuum-gas infiltration setup was used to produce aluminum foam. The mentioned method involves addition of space holder materials and a dissolution technique to remove them after solidification of the metal. As space holder materials NaCl particles were selected for two different dimensions to produce two different A360 (AlSi10Mg) aluminum foams. By changing the NaCl particle size, the alteration of the properties such as density and porosity was investigated. Additionally, computed tomography views were obtained to see and interpret the section views of the alloy and composite foam.

Keywords: Aluminum Foam, Vacuum Casting, Space Holder Technique, Density-Strength Relation, A360

1. INTRODUCTION

Metallic foams have desired mechanical and functional properties, and that makes them popular in manufacturing industry [1]. Generally, market has two type of foam product as open cell and closed cell metal foam. Open and closed cell metal foams have different definitions, but basically if the cells connect through open faces so the gas phase is infinite, the foam can be defined as open celled, and if the cell faces are solid and connected to their neighbors it can be defined as closed cells [3]. The occurrence of cell structure is directly dependent to the production method. There are numerous manufacturing methods to produce metal foams were presented and discussed before. The premier difference between the production methods is the physical state of the metal which is processed [1]. The porous structure can be formed from liquid or solid metal. The production method for this study is determined as vacuum casting or infiltration method which can be classified as the foaming from liquid state. The pore size and porosity can be controlled by modifying the process parameters such as space holder particles (shape, size, material etc.), process pressure and method of infiltration. The infiltration process benefit from the melting point difference between main and space holder materials to infiltrate aluminum into the sodium chloride space holder particles, for example in this study aluminum melting temperature is 660°C while melting temperature of Sodium Chloride is 801°C.



2. RESEARCH SIGNIFICANCE

Foam materials are specially used for automotive and construction industries. The main reason to use them in automotive applications is the ability of high energy absorption. For civil applications, the ability to insulate heat, density and strength are important reasons to use them. Aluminum is the favorite raw material for metal foaming due to its well mechanical properties, low density and low melting temperature. In this study the infiltration method was used to produce open cell aluminum foam with different space holder particle size. With applying mechanical tests, the effects of cell morphology to foam strength will be investigated.

3. METHOD

3.1. Materials

A360 (AlSi10Mg) aluminum material with the commercial name of Etial-171 used as main material for projected metal foams. The elemental contents of the Etial-171 (A360) are given in Table 1. Two different type of samples produced by using NaCl particles with different size have been used (Table 2).

Table 1. Spectral analysis results for Etial 171 cast alloy

Elements	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Ti
Spectral Analysis Results (%)	9.86	0.42	0.08	0.41	0.38	0.09	0.1	0.15
Commercial info for Etial 171 (%)	9-10	0.5	0.1	0.4-0.6	0.3-0.45	0.1	0.1	0.15

Table 2. The size of space holder particles

Sample	Material	NaCl size
D1	ETIAL-171	1.8-2.8mm
D2	ETIAL-171	2.8-4mm

3.2. Infiltration Process

Infiltration process can be basically expressed as casting around space holder materials. Cellular structure can be obtained by removing the space holder materials. This process is also known as Replication [4 and 5]. The mould and production system is schematically illustrated in Figure 1. The system mainly consists mould, gas cylinder, pressure gage, vacuum pump, vacuum gage and pipeline valves. The evacuation of vacuum and pressure and the infiltration process inside the mould are managed with the switching of the gages. A rotary type vacuum pump (max 2.10^{-3} mbar absolute pressure) was used to perform -700mmHg vacuum into the mould. The mould has been manufactured from 304 series steel in the dimensions of 225mm in length, 101mm of external diameter and 5mm wall thickness.

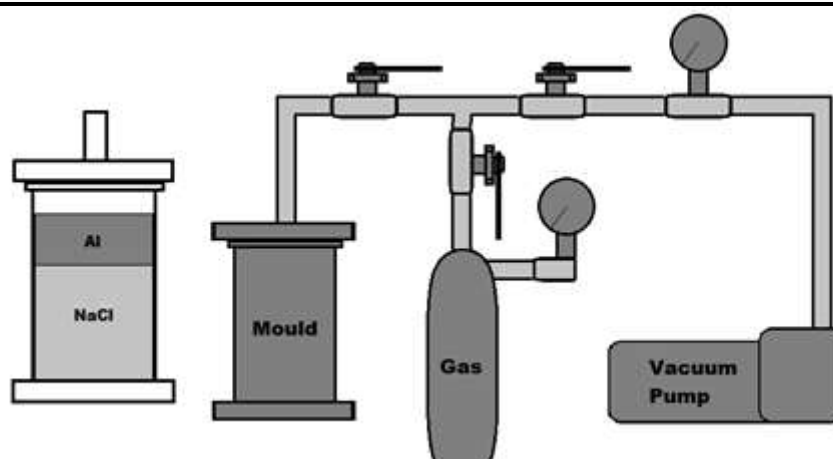


Figure 1. Schematic view of production system and detailed mould

To obtain standard main test material, pre-casting process was carried out and 90x50 aluminum cylinder blocks have been produced. The cylinder samples are shown in Figure 2. First space holder particles were placed to the bottom of the mould, then Al cylinder block was placed top of them. The lay-out inside the mould was shown detailed in the Figure 1. The mould was closed with four drift-bolt and the pipeline for vacuum pump was activated by the switching the valves to apply vacuum. After adjusting the valve system, -750mmHg vacuum applied to the mould and following, the mould placed into the resistance furnace which is set 750C°. Applying vacuum provides to avoid oxidation by removing of the air from the mould. Second benefit of the vacuum is that the space holder particles moves and penetrates to the aluminum melt. Melting duration was determined as 1 and half hour with respect to the previous experiments. The temperature and vacuum pressure were kept constant during melting. After melting duration, vacuum valves were closed and the mould was taken out of the furnace. Argon gas regulator set 2 bar to supply constant 2 bar pressure to the mould. Argon gas valve adjusted as open and gas pressure was performed just for one minute to provide better penetration between sodium chloride particles and liquid aluminum. In the sequel, all valves were closed and the mould was left for cooling and solidification.



Figure 2. Produced metal foam samples

The produced sample was taken from the mould by opening the mould via removing the drift-bolted joints. Several conventional operations such as cutting and turning were carried out to get uniform shape before sodium chloride dissolution process. A brief comment here, after dissolution process conventional forming operations are extremely hard to apply due to the high porosity of the foam. The specimen dimensions are 80mm in length and 50mm in diameter. With the

aim of removing the space holder materials from the main material, dissolution process was performed inside 2 liter water at the temperature of 90C° environments for 1 hour. A magnetic stirrer hot plate was utilized for better dissolution performance. Beside that to improve solubility after half an hour the water was refreshed. The dissolution process of sodium chloride particles via the magnetic stirrer hot plate are shown in Figure 3. The first aluminum block and the resulting foam have been showed in Figure 2.



Figure 3. The dissolution of NaCl particles with magnetic stirrer hot plate

3.3. Mechanical properties of metal foam

The specimens for compression test were prepared in accordance with the ISO 13314 standard [6]. To investigate the effects of the size of NaCl particles to the compression behavior of the foam, compression tests were carried out following test parameters. Test specimen dimensions were 80x50mm as stated above and the crosshead speed was determined as 0.005 s⁻¹ per the information given in the concerned standard. Compression stress-strain graph was obtained, besides the terms such as first maximum compression strength, plateau stresses, plateau end and elastic gradient were obtained to compare the effects of reinforcement ratio to the compression behavior of the foam.

3.4. Computer Tomography Images of Foams

By vacuum casting method, aluminum foam was successfully manufactured. To go behind of the external surfaces of the foam, computer tomography analysis was performed.

4. RESULTS

The 3D geometries and the section views of alloy foam samples are shown in Figure 4. There are also mechanical properties, density and porosity results for the samples (Table 3). The compressive test results for the metal foams with different porosities shown in Figure 5.

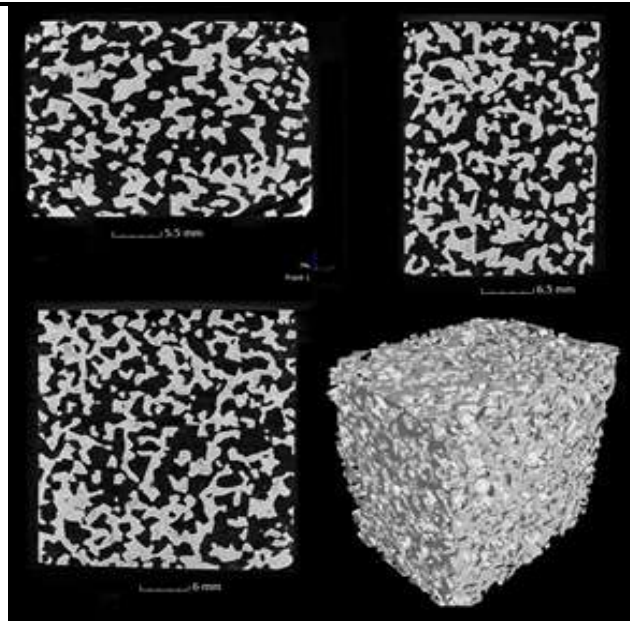


Figure 4. The computer tomography images of aluminum foam

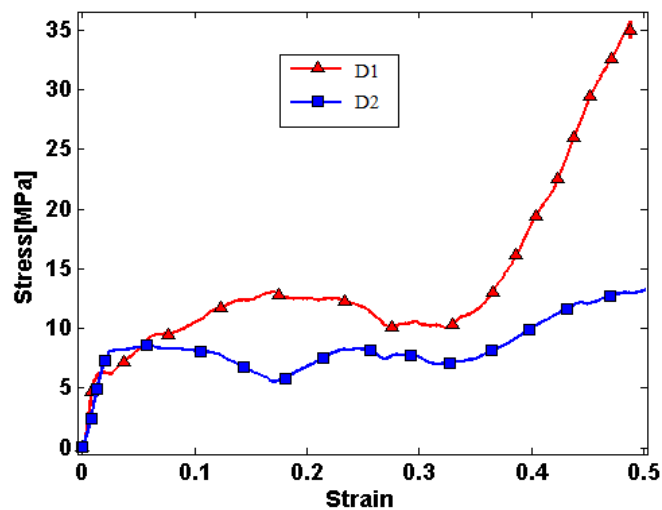


Figure 5. Compressive test result graph for aluminum foams

Table 3. The mean results for aluminium foam

	E (GPa)	Σ_{pl} (MPa)	Relatif Density (ρ^*/ρ_k)	Density ρ^* (gr/cm ³)	Porosity (%)
D1	0.162	10.41	0.352	0.951	64.8
D2	0.446	8.14	0.332	0.896	66.8

5. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

Some conclusions are presented below:

- Vacuum casting method or so called infiltration method was used to produce open cell aluminum foam with different size of space holder particles.
- The samples were produced and the computer tomography results showed that the cells are open and distributed uniformly through the material.
- When the mean porosity data is analyzed, the bigger space holder materials provides more porosity and less compressive strength.



- Mechanical properties showed that the foam with lower porosity has better plateau stress value. On the other hand the higher porous metal foam has greater elastic gradient at initial but lower plateau stress levels.
- For further studies space holder size can be more varied and the type of space holder materials can be changed.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank Karabük University, Coordinatorship of Research Projects (BAP) for their financial support of this study with the KBÜBAP-17-DR-051 numbered project.

REFERENCES

1. Banhart, J., (2001). Manufacture, Characterization and Application of Cellular Metals and Metal Foams. Progress in Materials Science 46, 562-563.
2. Pimiento, S.B., Hernandez- Rojas, M.E., and Palomar-Pardave, M.E., (2015). Processing and Characterization of Open-cell Aluminum Foams Obtained through Infiltration Processes, Procedia Material Science, 9, 54-61.
3. Gibson, L.J. and Ashby, M.F., (1997). Cellular solids, Pergamon Press Ltd., Cambridge.
4. Barari, F., (2014). Metal Foam Regenerators; Heat Transfer and Pressure Drop in Porous Metals, Degree of Doctor of Philosophy, The University of Sheffield.
5. Barari, F., Luna, E.M.E., Goodall, R., and Woolley, R., (2013). Metal Foam Regenerators: Heat Transfer and Storage in Porous Metals, J. Mater. Res., vol:28, no:17, pp:2474-2482.
6. Standard, I., (2011). ISO 13314 Mechanical Testing of Metals, Ductility Testing, Compression test for Porous and Cellular Metals, Reference Number ISO, 13314 1-7.



Mehmet Batı

Recep Tayyip Erdoğan University, Rize-Turkey
mehmet.bati@erdogan.edu.tr

Mehmet Ertas

Erciyes University, mehmetertas@erciyes.edu.tr, Kayseri-Turkey

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.3A1PB>

EFFECT OF TIME DEPENDENT SINUSOIDAL MAGNETIC FIELD ON MIXED SPIN (1, 5/2) ISING FERROMAGNETIC BLUME-CAPEL MODEL: AN EFFECTIVE-FIELD THEORY ANALYSIS

ABSTRACT

Non-equilibrium magnetic properties in a two-dimensional mixed spin-1 and spin-5/2 Ising system under the influence sinusoidal magnetic fields have been analyzed within the framework of effective-field theory based on a decoupling approximation. A dynamic equation of motion has been solved for a square lattice by utilizing a Glauber-type stochastic process. We study the thermal behavior of the dynamic order parameters to characterize the nature (continuous or discontinuous) of the phase transitions and to obtain the dynamic phase transition (DPT) points. Dynamic phase diagrams are presented in the reduced magnetic field amplitude-reduced temperature plane (h - T). The influences of the temperature, single-ion anisotropy and frequency on dynamic phase diagram are investigated in detail. Characteristic behaviors such as the presence of critical points are somewhat found. We also observed that only the dynamic second order phase transition occurs at higher values of frequency.

Keywords: Spin-1-5/2 Blume-Capel Kinetic Ising Model, Dynamic Effective-Field Theory, Dynamic Phase Transitions, Dynamic Phase Diagrams

1. INTRODUCTION

One prime example of mixed spin systems is molecular-based ferrimagnets, which are of current interest and are considered to be possibly useful materials for magneto-optical recording (Mathoniere, 1996). Theoretically and experimentally the mixed spin Ising systems have recently received a great deal of attention chiefly due to the much richer critical behavior they exhibit compared with their single spin counterparts. These systems have been studied extensively using the methods of equilibrium statistical physics such as the mean-field theory (MFT), the cluster variation method (CVM), effective-field theory (EFT) and Monte-Carlo (MC) simulations. On the other hand, less attention has been devoted to the mixed spin-1 and spin 5/2 Ising system. Equilibrium properties of spin (1, 5/2) Ising systems have been studied by MFT (Kple, 2012 Yessoufou, 2011) and EFT (Deviren, 2009). Yigit and Albayrak (Yigit, 2012) investigated the critical properties of mixed spin-1 and spin-5/2 Ising system for equal and unequal crystal fields in terms of the recursion relations on the Bethe lattice. Dynamic mean-field theory (DMFT) (Georges, 1996), dynamic effective-field theory (DEFT) (Honmura, 1979) and dynamic Monte Carlo simulation (Fichthorn, 1991) are the extensively used methods for modeling non-equilibrium characteristic of magnetic materials. There have been only a few investigations about the



dynamical aspects of mixed spin (1, 5/2) Ising system (Keskin, 2009 Özkılıç, 2013 Batı, 2016). In these references, the authors have studied the non-equilibrium properties of the mixed spin (1, 5/2) Ising systems using DMFT.

2. RESEARCH SIGNIFICANCE

To the best of our knowledge, no effort has been paid to the dynamic magnetic phase diagrams of the mixed spin (1, 5/2) Ising system using DEFT with correlation. Therefore, the purpose of this work is to investigate the dynamic magnetic phase diagrams in a two dimensional mixed spin (1, 5/2) Ising system with dynamic effective-field theory. We solve dynamic equations to find the phases in the system. We also investigate the thermal behavior of the order parameters to obtain the dynamic phase transition temperatures and present the dynamic phase diagrams in the reduced magnetic field amplitude-reduced temperature (h - T) plane. The outline of the rest of this paper is as follows: In Sec. II, the model and its formulations, namely, the derivation of the set of dynamic equations, are given by using Glauber-type stochastic dynamics in the presence of a time-dependent oscillating external magnetic field. In Sec. III, the numerical result is given. Finally, we give a summary and conclusions in Sec. IV.

3. MODEL AND FORMULATIONS

The mixed spin-1 and spin-5/2 Ising model is described as a two-sublattice system, with Hamiltonian;

$$H = -J \sum_{\langle ij \rangle} \sigma_i S_j - \Delta (\sum_i \sigma_i^2 + \sum_j S_j^2) - h(t) (\sum_i \sigma_i + \sum_j S_j) \quad (1)$$

where, σ_i and S_j take as $\pm 1, 0$ and $\pm 5/2, \pm 3/2, \pm 1/2$ values, respectively. The summation index $\langle ij \rangle$ denotes a summation over all pairs of the nearest-neighbor spins and $h(t) = h_0 \sin(\omega t)$, h_0 and ω are the amplitude and the angular frequency of the oscillating field, respectively, J is the exchange interaction parameter, Δ is the single-ion anisotropy. In order to describe the dynamic evolution of the system, we follow a Glauber-type stochastic process (Glauber, 1963). The Glauber considered the transition probabilities $w_i(\sigma_i)$ by means of neighboring spins.

$$W_i^A(\sigma_i \rightarrow \sigma_i') = \frac{1}{\tau_{\sum \sigma_i} \exp[-\beta \Delta E^A(\sigma_i \rightarrow \sigma_i')]} \quad (2)$$

where $\beta = 1/k_B T_A$, k_B is the Boltzmann factor, $\sum_{\sigma_i}$ is the sum over the three possible values of $\sigma_i = \pm 1, 0$. From the master equation associated with the stochastic process, it follows that the average σ_i satisfies the following equation:

$$\tau \frac{d}{dt} \langle \sigma_i^A \rangle = -\langle \sigma_i^A \rangle + \left\langle \frac{2 \sinh(\beta x)}{2 \cosh(\beta x) + \exp(-\beta \Delta)} \right\rangle \quad (3)$$

where $x = (J \sum_j S_j^B + h(t))$. And for spin 5/2, there are six possible values of $S_j = \pm \frac{5}{2}, \pm \frac{3}{2}, \pm \frac{1}{2}$. At this point, one can notice that $w_i(S_i \rightarrow S_i')$ does not depend on the value S_i . Then, the master equation becomes

$$\tau \frac{d}{dt} \langle S_j^B \rangle = -\langle S_j^B \rangle + \left\langle \frac{5 \sinh\left[\frac{3\beta y}{2}\right] \exp[2\beta \Delta] + 3 \sinh\left[\frac{3\beta y}{2}\right] \exp[-2\beta \Delta] + \sinh\left[\frac{\beta y}{2}\right] \exp[-4\beta \Delta]}{2 \cosh\left(\frac{5\beta y}{2}\right) \exp[2\beta \Delta] + 2 \cosh\left(\frac{3\beta y}{2}\right) \exp[-2\beta \Delta] + 2 \cosh\left(\frac{\beta y}{2}\right) \exp[-4\beta \Delta]} \right\rangle \quad (4)$$

where $y = J \sum_i \sigma_i^A + h(t)$.

Inserting x and y at Eq. (3) and (4) so equations becomes

$$\tau \frac{d}{dt} \langle \sigma_i^A \rangle = -\langle \sigma_i^A \rangle + \left\langle \frac{2 \sinh[\beta (J \sum_j S_j^B + h(t))]}{2 \cosh[\beta (J \sum_j S_j^B + h(t))] + \exp(-\beta \Delta)} \right\rangle$$

$$\tau \frac{d}{dt} \langle S_j^B \rangle =$$

$$-\langle S_j^B \rangle + \left\langle \frac{5 \sinh \left[\frac{5\beta}{2} (J \sum_i \sigma_i^A + h(t)) \right] \exp(2\beta\Delta) + 3 \sinh \left[\frac{3\beta}{2} (J \sum_i \sigma_i^A + h(t)) \right] \exp(-2\beta\Delta) + \sinh \left[\frac{\beta}{2} (J \sum_i \sigma_i^A + h(t)) \right] \exp(-4\beta\Delta)}{2 \cosh \left[\frac{5\beta}{2} (J \sum_i \sigma_i^A + h(t)) \right] \exp(2\beta\Delta) + 2 \cosh \left[\frac{3\beta}{2} (J \sum_i \sigma_i^A + h(t)) \right] \exp(-2\beta\Delta) + 2 \cosh \left[\frac{\beta}{2} (J \sum_i \sigma_i^A + h(t)) \right] \exp(-4\beta\Delta)} \right\rangle$$

Now, the EFT with correlations was initiated by Honmura and Kaneyoshi (Honmura, 1979). At this stage, we use the EFT with correlations to obtain the set of dynamic effective-field equations. It is convenient to introduce the differential operator technique into the expression $e^{(\alpha \nabla)} f(x) = f(x + \alpha)|_{x=0}$ where $\nabla = \frac{\partial}{\partial x}$ is a differential operator. Here, $f(x)$ is the expression in the brackets given in above equation.

$$\left\langle \frac{2 \sinh[\beta(E_B + h(t))]}{2 \cosh[\beta(E_B + h(t))] + \exp(-\beta\Delta)} \right\rangle = \langle e^{E_B \nabla} \left[\left\langle \frac{2 \sinh[\beta(x + h(t))]}{2 \cosh[\beta(x + h(t))] + \exp(-\beta\Delta)} \right\rangle \right]_{x=0} = \langle e^{E_B \nabla} f_1(x + h(t)) \rangle_{x=0} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} & \left\langle \frac{5 \sinh \left[\frac{5\beta}{2} (E_A + h(t)) \right] \exp(2\beta\Delta) + 3 \sinh \left[\frac{3\beta}{2} (E_A + h(t)) \right] \exp(-2\beta\Delta) + \sinh \left[\frac{\beta}{2} (E_A + h(t)) \right] \exp(-4\beta\Delta)}{2 \cosh \left[\frac{5\beta}{2} (E_A + h(t)) \right] \exp(2\beta\Delta) + 2 \cosh \left[\frac{3\beta}{2} (E_A + h(t)) \right] \exp(-2\beta\Delta) + 2 \cosh \left[\frac{\beta}{2} (E_A + h(t)) \right] \exp(-4\beta\Delta)} \right\rangle = \\ & \langle e^{E_A \nabla} \left[\left\langle \frac{5 \sinh \left[\frac{5\beta}{2} (x + h(t)) \right] \exp(2\beta\Delta) + 3 \sinh \left[\frac{3\beta}{2} (x + h(t)) \right] \exp(-2\beta\Delta) + \sinh \left[\frac{\beta}{2} (x + h(t)) \right] \exp(-4\beta\Delta)}{2 \cosh \left[\frac{5\beta}{2} (x + h(t)) \right] \exp(2\beta\Delta) + 2 \cosh \left[\frac{3\beta}{2} (x + h(t)) \right] \exp(-2\beta\Delta) + 2 \cosh \left[\frac{\beta}{2} (x + h(t)) \right] \exp(-4\beta\Delta)} \right\rangle \right]_{x=0} = \langle e^{E_A \nabla} g_1(x + h(t)) \rangle_{x=0} \quad (6) \end{aligned}$$

where $E_A = J \sum_i \sigma_i^A$, $E_B = J \sum_j S_j^B$. Van der Waerden identity (Tucker, 1994) for $\sigma_i^A = 0, \pm 1$

$$\exp(\alpha \sigma_i^A) = 1 + \sigma_i^A \sinh(\alpha) + (\sigma_i^A)^2 (\cosh(\alpha) - 1) \quad (7)$$

and for $S_j^B = \pm \frac{5}{2}, \pm \frac{3}{2}, \pm \frac{1}{2}$

$$\exp(a S_j^B) = A(a) + B(a) S_j^B + C(a) (S_j^B)^2 + D(a) (S_j^B)^3 + E(a) (S_j^B)^4 + F(a) (S_j^B)^5 \quad (8)$$

Where a and α are arbitrary parameters. Here,

$$\begin{aligned} A(a) &= \frac{1}{128} \left[3 \cosh \left(\frac{5a}{2} \right) - 25 \cosh \left(\frac{3a}{2} \right) + 150 \cosh \left(\frac{a}{2} \right) \right] \\ B(a) &= \frac{1}{960} \left[9 \sinh \left(\frac{5a}{2} \right) - 125 \sinh \left(\frac{3a}{2} \right) + 2250 \sinh \left(\frac{a}{2} \right) \right] \\ C(a) &= \frac{1}{48} \left[-5 \cosh \left(\frac{5a}{2} \right) + 39 \cosh \left(\frac{3a}{2} \right) - 34 \cosh \left(\frac{a}{2} \right) \right] \\ D(a) &= \frac{1}{24} \left[-\sinh \left(\frac{5a}{2} \right) + 13 \sinh \left(\frac{3a}{2} \right) - 34 \sinh \left(\frac{a}{2} \right) \right] \\ E(a) &= \frac{1}{24} \left[\cosh \left(\frac{5a}{2} \right) - 3 \cosh \left(\frac{3a}{2} \right) + 2 \cosh \left(\frac{a}{2} \right) \right] \\ F(a) &= \frac{1}{60} \left[\sinh \left(\frac{5a}{2} \right) - 5 \sinh \left(\frac{3a}{2} \right) + 10 \sinh \left(\frac{a}{2} \right) \right]. \end{aligned}$$

For square lattice coordination number is $z=4$ and A and B sub-lattice magnetizations are

$$\langle \sigma_i^A \rangle = \langle [A(a) + B(a) S_j^B + C(a) (S_j^B)^2 + D(a) (S_j^B)^3 + E(a) (S_j^B)^4 + F(a) (S_j^B)^5] f_1(x + h(t)) \rangle_{x=0} \quad (9)$$

$$\langle S_j^B \rangle = \langle [1 + \sigma_i^A \sinh(a) + (\sigma_i^A)^2 (\cosh(a) - 1)]^4 g_1(x + h(t)) \rangle_{x=0} \quad (10)$$

Here $a = J\nabla$ and

$$f_1(x + h(t)) = \frac{2 \sinh[\beta(x + h(t))]}{2 \cosh[\beta(x + h(t))] + \exp(-\beta\Delta)} \quad (11)$$

$$g_1(x + h(t)) = \frac{5 \sinh \left[\frac{5\beta}{2} (x + h(t)) \right] \exp(2\beta\Delta) + 3 \sinh \left[\frac{3\beta}{2} (x + h(t)) \right] \exp(-2\beta\Delta) + \sinh \left[\frac{\beta}{2} (x + h(t)) \right] \exp(-4\beta\Delta)}{2 \cosh \left[\frac{5\beta}{2} (x + h(t)) \right] \exp(2\beta\Delta) + 2 \cosh \left[\frac{3\beta}{2} (x + h(t)) \right] \exp(-2\beta\Delta) + 2 \cosh \left[\frac{\beta}{2} (x + h(t)) \right] \exp(-4\beta\Delta)} \quad (12)$$

and if we use the decoupling approximations (Kaneyoshi, 1984)

$\langle \sigma_i^A (\sigma_j^A)^2 (\sigma_k^A)^3 \rangle \cong \langle \sigma_i^A \rangle \langle (\sigma_j^A)^2 \rangle \langle (\sigma_k^A)^3 \rangle$, $\langle S_i^B (S_j^B)^2 \dots (S_m^B)^5 \rangle \cong \langle S_i^B \rangle \langle (S_j^B)^2 \rangle \dots \langle (S_m^B)^5 \rangle$. With $i \neq i' \neq \dots \neq i^n$ and $j \neq j' \neq \dots \neq j^n$, $\langle \sigma_i^A \rangle = m_A$ and $\langle S_j^B \rangle = m_B$, the following dynamic effective-field equation of motion for the magnetization is obtained:

$$\frac{dm_A}{dt} = -m_A + a_0 + a_1 m_B + a_2 m_B^2 + a_3 m_B^3 + a_4 m_B^4 + a_5 m_B^5 + a_6 m_B^6 + a_7 m_B^7 + a_8 m_B^8 + a_9 m_B^9 + a_{10} m_B^{10} + a_{11} m_B^{11} + a_{12} m_B^{12} + a_{13} m_B^{13} + a_{14} m_B^{14} + a_{15} m_B^{15} + a_{16} m_B^{16} + a_{17} m_B^{17} + a_{18} m_B^{18} + a_{19} m_B^{19} + a_{20} m_B^{20} \quad (13)$$

$$\frac{dm_B}{dt} = -m_B + b_0 + b_1 m_A + b_2 m_A^2 + b_3 m_A^3 + b_4 m_A^4 + b_5 m_A^5 + b_6 m_A^6 + b_7 m_A^7 + b_8 m_A^8 \quad (14)$$

The coefficients a_i ($i=0, 1, \dots, 20$) and b_i ($i=0, 1, \dots, 8$) are given in the Appendix.

4. FINDINGS AND DISCUSSIONS

In our work, in respect of numerical simplicity, we use dimensionless parameters. We scale Hamiltonian parameter with J and we use $J=1.0$ throughout the work. The calculated phase diagrams in the (T, h) planes effect of single ion anisotropy and frequency are presented in Figures (1) and (2), respectively. In these phase diagrams, the solid and the dashed lines represent the second- and first-order phase transition lines, respectively, and the dynamic tricritical point is denoted by a filled circle.

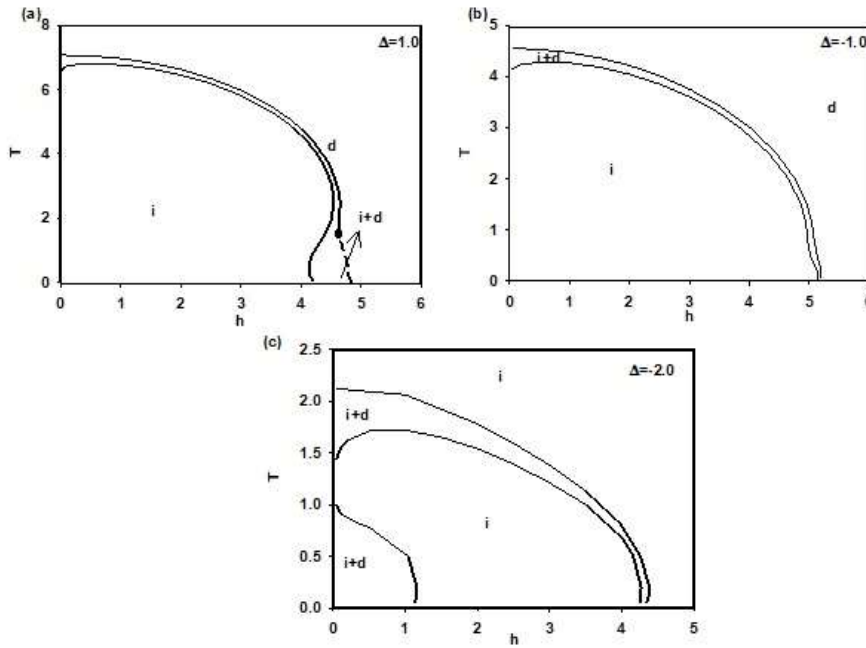


Figure 1. Phase diagrams of the mixed spin-1 and spin-5/2 Ising ferrimagnetic model in the (h, T) plane with different single ion anisotropy values (a) $\Delta=1.0$, (b) $\Delta=-1.0$ and (c) $\Delta=-2.0$

We present the dynamic phase diagrams in the (T, h) plane for various values of Δ phase diagrams seen in Figure 1. Figure 1 shows the phase diagram for $w=2.0\pi$ and for (a) $\Delta=1.0$ (b) $\Delta=-1.0$ (c) $\Delta=-2.0$. In this phase diagram, at high reduced temperatures (T) and external magnetic field (h), the solutions are disordered (d), and at low values of T and h , they are ferrimagnetic (i). The dynamic phase boundary between these regions, i and d is the second-order phase transition line. At low reduced temperatures, there is a range of values of h in which the d and i phases or regions coexist, called the coexistence region or mixed phase, i+d. The system also exhibits dynamic tricritical point for positive values of Δ . Contrarily, tricritical point disappears. Hence, in these figures all the dynamic phase lines are only second-order lines for negative values of Δ .

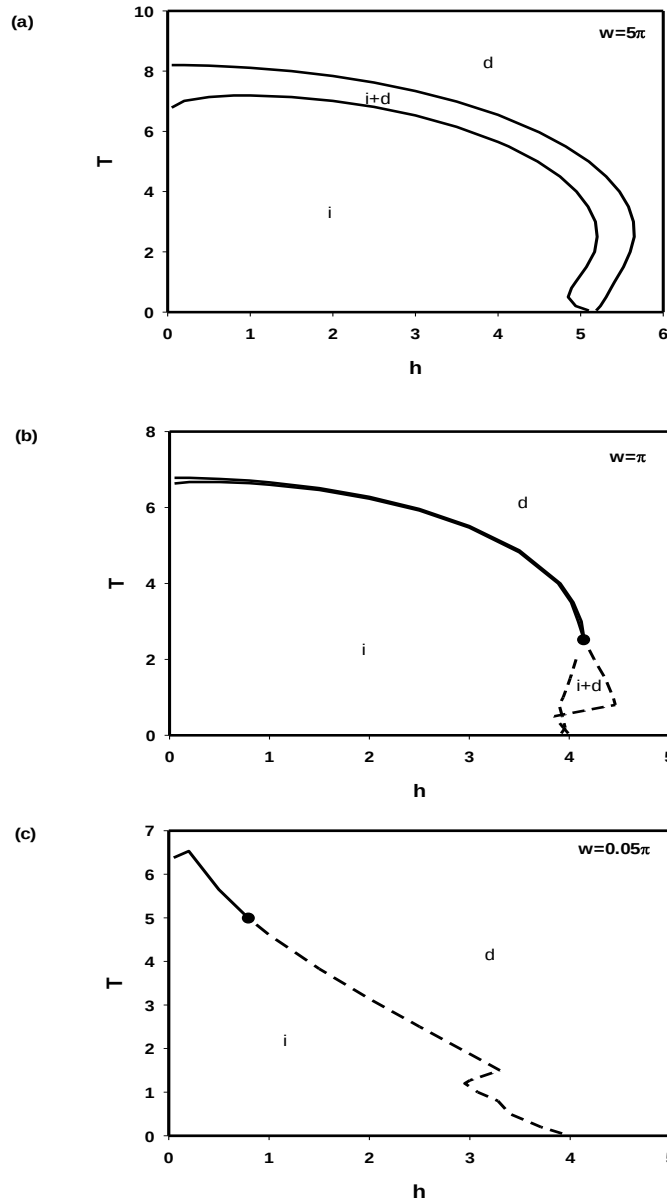


Figure 2. Phase diagrams of the mixed spin-1 and spin-5/2 Ising ferrimagnetic model in the (h, T) plane with different frequency values (a) $w=5\pi$ (b) $w=\pi$ (c) $w=0.05\pi$

We have found that the behavior of the system strongly depends on the values of the interaction parameter. We should also mention that similar phase diagrams were obtained in the kinetics of the spin -1/2 (Ertas, 2014) spin-1 (Gulpinar 2012), spin-3/2 (Ertas, 2013), spin-2 (Ertas, 2012), spin-5/2 (Ertas, 2012) and mixed spin (2.5/2) (Ertas, 2012). We also note that the first-order lines diminish in the phase diagrams and some of the first-order lines do not appear within the DEFT and they exist only when the DMFA is used. (please see in Ref. (Keskin, 2009)). In Ref. (Keskin, 2009)) first-order lines are the artifact of the DMFA. Figure 2 shows the phase diagram for $\Delta=1.0$ in the (T, h) plane with different frequency values (a) $w=5\pi$ (b) $w=\pi$ (c) $w=0.05\pi$. From Figure 2 we can see that the dynamic phase boundary as the frequency increases, the phase boundary region expands. Dynamic



phase lines are only second-order lines for higher values of w . Also, for low frequency values coexistence region disappears.

5. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

In this study, we analyzed, within the dynamic effective-field theory, the stationary states of the kinetic mixed spin-1 and spin-5/2 Ising ferromagnetic Blume-Capel model in the presence of a time-varying (sinusoidal) magnetic field. We study the thermal behavior of the dynamic order parameters to characterize the nature of the phase transitions and to obtain the dynamic phase transition points. Dynamic phase diagrams are presented in the reduced magnetic field amplitude-reduced temperature plane for different values of single ion anisotropy and frequency. We see only second-order phase lines for higher values of frequency or negative single ion anisotropy values. We found that the behavior of the system strongly depends on the values of the interaction parameter. The phase diagrams exhibited the ferrimagnetic, disorder fundamental phases and ferrimagnetic+disorder mixed phases. The results given by DEFT indicate that correlation should be included for calculation of the dynamic critical properties of the kinetic Ising model.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by Research Fund of the Recep Tayyip Erdogan University. Project Number: FBA-2016-642.

REFERENCES

- Batı, M. and Ertaş, M., (2016). Dynamic Magnetic Hysteresis Properties in a Two-Dimensional Mixed Ising System Designed with Integer and Half-Integer Spins *J Supercond Nov. Magn.* 29, 2835-2841.
- Deviren, B., Batı, M., and Keskin, M., (2009). The Effective-Field Study of a Mixed Spin-1 and spin-5/2 Ising Ferrimagnetic System, *Physica Scripta*, 79, 065006-065017.
- Ertaş, M., Kantar, E., Kocakaplan, Y., and Keskin, M., (2016). Dynamic Magnetic Properties in the Kinetic Ising Ferromagnet on Triangular Lattice within the Effective-Field Theory and Using Glauber-Type Stochastic Dynamics, *Physica A*, 444, 732-743.
- Ertaş, M., Kocakaplan, Y., and Keskin M., (2013). Effective-Field Theory for Dynamic Phase Diagrams of the Kinetic Spin-3/2 Blume-Capel Model under a Time Oscillating Longitudinal Field, *J. Magn. Magn. Mater.* 348, 113-119.
- Ertas, M., Deviren, B., and Keskin M., (2012). Dynamic Phase Transitions and Dynamic Phase Diagrams of the Spin-2 Blume-Capel Model under an Oscillating Magnetic Field within the Effective-Field Theory, *J. Magn. Magn. Mater.* 324, 704-710.
- Ertas, M., Keskin, M., and Deviren, B., (2012). Dynamic Phase Transitions and Dynamic Phase Diagrams In The Kinetic Spin-5/2 Blume-Capel Model In An Oscillating External Magnetic Field: Effective-Field Theory And The Glauber-Type Stochastic Dynamics Approach, *J. Magn. Magn. Mater.* 324, 1503-1511.
- Ertas, M., Deviren, B., and Keskin M., (2012). Nonequilibrium Magnetic Properties in A Two-Dimensional Kinetic Mixed Ising System Within The Effective-Field Theory and Glauber-type stochastic dynamics approach, *Phys. Rev. E*, 86, 051110.
- Fichtorn, K.A. and Weinberg, W.H., (1991). Theoretical Foundations of Dynamical Monte Carlo Simulations. *J Chem Phys.* 95, 1090-1096.



-
- Georges, A., Kotliar, G., Krauth, W., et al., (1996). Dynamical Mean-field Theory of Strongly Correlated Fermion Systems and the Limit of Infinite Dimensions. *Rev Mod Phys.* 68, 13.
 - Glauber, R.J., (1963). Time-Dependent Statistics of the Ising Model, *Journal of Mathematical Physics*, 4, 294.
 - Gulpinar, G., Vatansever, E., and Agartioglu, M., (2012). Effective-field Theory with the Differential Operator Technique for a Kinetic Blume-Capel model with Random Diluted Single-ion Anisotropy, *Physica A*, 391, 3574-3584.
 - Honmura, R. and Kaneyoshi, T., (1979). Contribution to the New Type of Effective-field Theory of The Ising Model. *J. Phys. Condens Matter.* 12, 3979.
 - Kaneyoshi, T., Honmura, R., Tamura, I., and Sarmiento, E.F., (1984). Amorphization of a Crystalline Diluted Ising Ferromagnet, *Phys. Rev. B*, 29, 5121.
 - Keskin, M., Canko, O., and Batı, M., (2009). Dynamic Phase Diagrams of a Mixed Spin-1 and Spin-5/2 Ising System in an Oscillating Magnetic Field, *Journal of the Korean Physical Society*, 55, 1344-1356.
 - Kple, J., Yessoufou, R.A., and Hontinfinde, F., (2012). The Mixed Spin-1 and Spin-5/2 BEG Model in a Staggered Magnetic Field, *The African Review of Physics*, 7, 0037.
 - Mathoniere, C., Nuttall, C.N., Carlin, S.G., and Day, P., (1996). Ferrimagnetic Mixed-valency and Mixed-metal Tris (oxalato) Iron (III) Compounds: Synthesis, Structure, and Magnetism, *Inorg. Chem.*, 351, 201.
 - Özkılıç, A. and Temizer, Ü., (2013). Dynamic Phase Transitions and Compensation Temperatures in the Mixed Spin-1 and Spin-5/2 Ising System on Alternate Layers of a Hexagonal Lattice, *J. Magn. Magn. Mater.* 330, 55-65.
 - Tucker, J.W., (1994). Generalized Van der Waerden identities, *J.phys. A: Math. Gen.* 27, 659-662.
 - Yessoufou, R.A., Bekhechi, S., and Hontinfinde, F., (2011). Numerical Study of the Mixed spin-1 and spin-5/2 BEG Model on the Bethe lattice, *Eur. Phys. J.* 81, 137-146.
 - Yigit, A. and Albayrak, E., (2012). Critical Properties of Mixed spin-1 and spin-5/2 with Equal and Unequal Crystal Fields, *Chinese Physics B*, 21, 020511-020519.
 - Ertas, M., Kantar, E., and Keskin, M., (2014). Dynamic Behaviors of spin-1/2 Bilayer System within Glauber-type Stochastic Dynamics Based on the Effective-field Theory, *J. Magn. Magn. Mater.* 358-359, 56-64.



APPENDIX:

$$a_0 = \frac{668397309}{1073741824} f(h) + \frac{144693675}{536870912} [f(h+1) + f(h-1)] - \frac{171457575}{2147483648} [f(h+2) + f(h-2)] \\ - \frac{3717275}{268435456} [f(h+3) + f(h-3)] + \frac{9404925}{536870912} [f(h+4) + f(h-4)] \\ - \frac{1484511}{268435456} [f(h+5) + f(h-5)] + \frac{4572925}{4294967296} [f(h+6) + f(h-6)] \\ - \frac{268435456}{144075} [f(h+7) + f(h-7)] + \frac{24975}{2147483648} [f(h+8) + f(h-8)] \\ - \frac{1073741824}{675} [f(h+9) + f(h-9)] + \frac{81}{4294967296} [f(h+10) + f(h-10)]$$

$$a_1 = \frac{311479755}{134217728} [f(h+1) - f(h-1)] + \frac{47915265}{268435456} [f(h+2) - f(h-2)] - \frac{77566595}{201326592} [f(h+3) - f(h-3)] \\ + \frac{5161245}{33554432} [f(h+4) - f(h-4)] - \frac{10859511}{335544320} [f(h+5) - f(h-5)] \\ + \frac{7383085}{1610612736} [f(h+6) - f(h-6)] - \frac{116685}{268435456} [f(h+7) - f(h-7)] \\ + \frac{1935}{67108864} [f(h+8) - f(h-8)] - \frac{315}{268435456} [f(h+9) - f(h-9)] \\ + \frac{81}{2684354560} [f(h+10) - f(h-10)]$$

$$a_2 = -\frac{88455913427}{10066329600} f(h) + \frac{12960171}{8388608} [f(h+1) + f(h-1)] + \frac{3347329069}{805306368} [f(h+2) + f(h-2)] \\ - \frac{812041}{524288} [f(h+3) + f(h-3)] + \frac{49279589}{201326592} [f(h+4) + f(h-4)] \\ + \frac{14665}{6291456} [f(h+5) + f(h-5)] - \frac{12157439}{1610612736} [f(h+6) + f(h-6)] \\ + \frac{77077}{50331648} [f(h+7) + f(h-7)] - \frac{43971}{268435456} [f(h+8) + f(h-8)] \\ + \frac{171}{16777216} [f(h+9) + f(h-9)] - \frac{4257}{13421772800} [f(h+10) + f(h-10)]$$

$$a_3 = \frac{8413789781}{503316480} [-f(h+1) + f(h-1)] + \frac{27955842221}{3019898880} [f(h+2) - f(h-2)] \\ + \frac{571620967}{2264924160} [f(h+3) - f(h-3)] - \frac{361017007}{377487360} [f(h+4) - f(h-4)] \\ + \frac{5886056599}{18874368000} [f(h+5) - f(h-5)] - \frac{990342487}{18119393280} [f(h+6) - f(h-6)] \\ + \frac{18415577}{3019898880} [f(h+7) - f(h-7)] - \frac{37613}{83886080} [f(h+8) - f(h-8)] \\ + \frac{6807}{335544320} [f(h+9) - f(h-9)] - \frac{8919}{16777216000} [f(h+10) - f(h-10)]$$

$$\dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \\ a_{20} = \frac{46189}{51840000} f(h) - \frac{4199}{5184000} [f(h+1) + f(h-1)] + \frac{4199}{6912000} [f(h+2) + f(h-2)] \\ - \frac{323}{864000} [f(h+3) + f(h-3)] + \frac{323}{1728000} [f(h+4) + f(h-4)] \\ - \frac{323}{4320000} [f(h+5) + f(h-5)] + \frac{323}{13824000} [f(h+6) + f(h-6)] \\ - \frac{19}{3456000} [f(h+7) + f(h-7)] + \frac{19}{20736000} [f(h+8) + f(h-8)] \\ - \frac{1}{10368000} [f(h+9) + f(h-9)] + \frac{1}{207360000} [f(h+10) + f(h-10)]$$

and

$$b_0 = f(h)$$

$$b_1 = 2f(h+1) - 2f(h-1)$$

$$b_2 = -7f(h) + 2f(h+1) + 2f(h-1) + \frac{3}{2}f(h+2) - \frac{3}{2}f(h-2)$$

.

.

$$b_8 = \frac{35}{8}f(h) - \frac{7}{2}f(h+1) - \frac{7}{2}f(h-1) + \frac{7}{4}f(h+2) + \frac{7}{4}f(h-2) - \frac{1}{2}f(h+3) - \frac{1}{2}f(h-3) + \frac{1}{16}f(h+4) +$$

$$\frac{1}{16}f(h-4).$$



Tuncay Karakurt

Ahi Evran University, tuncaykarakurt@gmail.com, Kırşehir-Turkey

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.3A23PB>

4-((2,4-DİKLOROBENZİL)OKSİ)BENZONİTRİL BİLEŞİĞİNİN SENTEZİ, DENEYSEL VE TEORİK OLARAK YAPISININ AYDINLATILMASI VE MOLEKÜLER DOKİNG ÇALIŞMASI

ÖZ

Bu çalışmada 4-((2,4-diklorobenzil)oksi)benzonitril tek kristali X-Işını analizi, ^1H ve ^{13}C NMR spektral teknikleri kullanılarak karakterize edilerek yapısı aydınlatılmıştır. Deneysel verilere destek olmak amacıyla teoriksel olarak da ^1H NMR ve ^{13}C NMR kimyasal kayma değerleri ve frontier moleküler orbital değerleri (FMO), 6-31G(d,p) temel setli Becke-3- Lee-Yang-Parr (B3LYP) metodu kullanarak incelendi. Ayrıca bu molekülün, 2RKV protein yapısına inhibitör aday olabilmesi yönünde moleküler doking çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen teorik ve deneysel sonuçlar birbirleriyle ve literatür değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Diklorobenzil, NMR, B3LYP, Doking, FMO

SYNTHESIS OF 4-((2,4-DICHLOROBENZYL) OXY) BENZONITRILE COMPOUND, ELUCIDATION OF ITS EXPERIMENTAL AND THEORETICAL STRUCTURE AND MOLECULAR DOCKING STUDY

ABSTRACT

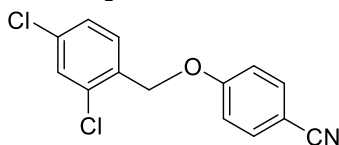
In this study, the structure of 4-((2,4-dichlorobenzyl)oxy) benzonitrile single crystal was characterized by using X-Ray analysis, ^1H and ^{13}C NMR spectral techniques. In order to support the experimental data, the theoretical ^1H NMR and ^{13}C NMR chemical shift values and frontier molecular orbital values (FMO) of the molecule were analyzed by using Becke-3- Lee-Yang-Parr(B3LYP) method with 6-31G(d) basis set. In addition, this molecule has been subjected to molecular docking studies in order to be an inhibitor candidate for 2RKV protein structure. The theoretical and experimental results obtained are compared with each other and with literature values.

Keywords: Dichlorobenzyl, NMR, B3LYP, Docking, FMO

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda çeşitli biyolojik aktivitelere sahip bileşiklerin sayısında önemli artışlar olmasına rağmen, bu bileşiklere karşı ilaç direncinin ortaya çıkması ve çeşitli yan etkilerinden dolayı kullanımları oldukça sınırlı kalmıştır. Bu yüzden kimyacılar, ilaç kimyasında kullanılacak biyolojik aktiviteye sahip bileşiklerin geliştirilmesi için büyük çaba harcamaktadır. İncelenen bileşik, yapısında hem elektron çekici (-Cl) hem de elektron verici bir grup (-C≡N) olmasından dolayı, kimyasal reaksiyonlara karşı oldukça reaktiftir[1]. Moleküler arası C-H...O, C-H...N, C-H...X(x-halojenler) ve C-H...π zayıf etkileşimlerinin özellikle kimya, biyoloji ve malzeme biliminde önemli yeri vardır. Benzonitril içeren bileşikler birçok biyo-moleküler sistemde önemli bir unsur oluşturan bir siyano grubuna sahip aromatik bir molekül için prototip bir sistemdir [2-4]. Yukarıda bahsedilen biyolojik etkiler ışığında yeni Benzonitril ve diklorobenzil türevi tek kristal bir molekül sentezlenmiştir (Şema I).

Bu sentezlenen tek kristalin yapısı, X-Işınları yapı analizi ile ve ^1H ve ^{13}C NMR spektral teknikleri kullanılarak aydınlatılmıştır. Deneysel çalışmalara destek olmak amacıyla teoriksel olarak NMR spektrumları ve frontier moleküler orbitalleri (FMO) incelenmiştir. Aynı zamanda hesaplanan enerji değerlerinden moleküle ait sertlik parametreleri de hesaplanmıştır. Tüm teorik hesaplamalar için, kuantum kimyasal hesaplama olan 6-31G(d,p) baz setli DFT(B3LYP) teorisini kullanan gaussian09 programı ve gaussian çıktıları grafiksel olarak incelemek için de gausview 5 programı kullanılmıştır. Son olarak, bu sentezlenen tek kristalin, 2RKV reseptör hedef yapısı için inhibitör adayı olabilmesi amacıyla doking çalışmaları Autodock Vina programı kullanılarak yapılmıştır. Doking veri girişi dosyalarını oluşturmak için AutoDock Tools, Reseptör-ligand etkileşimleri göstermek için de Discover Studio Visualizer 4.0 yazılımları kullanılmıştır.



(Şema I) (Sheme I)

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışmanın amacı, potansiyel biyolojik aktiviteye sahip Benzonitril içeren tek kristalin ($\text{C}_{14}\text{H}_9\text{Cl}_2\text{NO}$) sentezi, deneysel ve teoriksel yöntemlerle karakterize edilmesidir. Sentezlenen bileşiğin yapısı; X-Işını difraksiyon, ^{13}C NMR ve ^1H NMR spektroskopik analiz teknikleri kullanılarak karakterize edilmiştir. Yapısı aydınlatılan molekülün, moleküler doking yöntemi ile de simülasyon çalışması teoriksel olarak da yapılmıştır.

3. DENEYSEL-TEORİK ÇALIŞMA VE YÖNTEM

(EXPERIMENTAL-THEORETICAL WORK AND METHOD)

3.1. X-Işını Çalışmaları (X-Ray Studies)

Kristalin X-ışını kırınım verileri, Bruker AXS APEX CCD[5] difraktometresi ile $\text{MoK}\alpha$ ışını kullanılarak toplanmıştır. Kristalin yapı çözümü SHELXT-2014 [6] programıyla direkt yöntemler kullanılarak elde edildi. Çözüm aşamasında hidrojen dışındaki atomların konumlarını tayin etmek için tam matris en küçük kareler yöntemini kullanan SHELXL-2014[7] programı ile arıtım işlemi yapıldı. Arıtımın ilk safhasında atom konumlarının daha duyarlı hale gelmesi ve eksik atomların belirlenmesi için izotropik arıtım yapılmıştır. Arıtım sonucunda hidrojen atomları eklenmeden anizotropik arıtım yapılmış ve sonrasında hidrojen atomlarının konumları bindirme yöntemine göre geometrik olarak belirlenmiştir. Hidrojen atomları geometrik olarak yerleştirilirken aromatik C-H bağ uzunlukları 0.93 Å ve metilen C-H₂ bağ uzunlukları 0.97 Å olarak sabitlenmiştir. Yapı çözümü ve arıtım işlemi bittikten sonra moleküler çizimler için MERCURY [8] programı, hesaplamalar için ise Olex2 [9] programları kullanılmıştır.

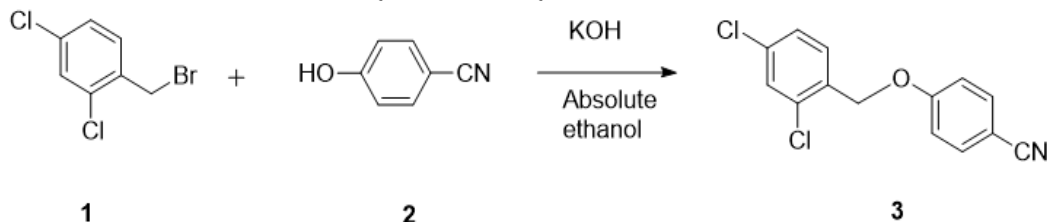
3.2. Teorik Çalışmalar (Theoretical Studies)

Teorik çalışmalarda, Gaussian 09 paket programı kullanılarak deneysel çalışmalar desteklenmiştir. X-Işını yapı analizi ile elde edilen molekül, Gaussian 09 paket programına aktararak teorik doğrulamalar gerçekleştirilmiştir. Optimize işlemleri yapılan molekülün, moleküler doking çalışmaları da yapılmıştır.

3.3. Kristalinin Sentezi (Synthesis of Crystalline)

4-((2,4-diklorobenzil)oksi)benzonitril (DOB) bileşiğinin sentezi daha önce literatürde [10] yapılmış olup, bu bileşiğin tek kristal sentezi de aşağıdaki yöntem ile bu çalışmada yapılmıştır.

Yuvarlak tabanlı bir şişede, 4-hidroksibenzonitril (2) (0.08 mol) ve KOH (0.08 mol) mutlak etanol içinde çözündürüldü. Çözelti, oda sıcaklığında yaklaşık 30 dakika karıştırıldı. 1-(bromometil)-2,4-diklorobenzen (0.08 mol) (1) saf etanol (25 mL) içerisinde çözündürüldü ve bu çözeltiye, bir damlatma hunisinin yardımı ile oda sıcaklığında damla damla ilave edildi. Karışım 4-6 saat karıştırıldı. Reaksiyonun ilerlemesi, uygun zaman aralıklarında TLC ile izlenmiştir. Reaksiyonun tamamlanmasından sonra karışım süzüldü ve katı madde elde edildi. Sırasıyla saf su, etanol ve dietil eter ile yıkandı. Kristal, etanolden tekrar kristalleştirildi (Şekil 1).



Şekil 1. C₁₄H₉Cl₂NO tek kristalinin sentez prosedürü
Figure 1. Synthesis procedure of C₁₄H₉Cl₂NO single crystal

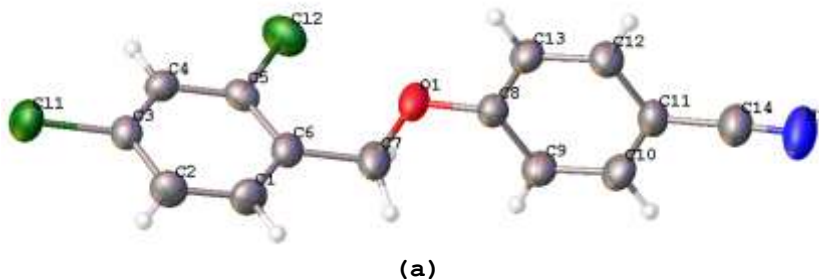
Beyaz kristal, verim: 18.69 g (84%), mp 103-105 °C (EtOH). IR (ATR, cm⁻¹): 3045 (Ar-CH), 2968 (Aliph. CH), 2236 (C≡N). ¹H NMR (400 MHz, DMSO-d₆) δ (ppm): 5.22 (s, 2H, -OCH₂), Phenyl-H [7.19 (d, J=8.0 Hz, 2H), 7.78 (d, J=8.0 Hz, 2H)], CN-Phenyl-H [7.47 (d, J=8.0 Hz, 1H), 7.61 (d, J=8.0 Hz, 1H), 7.68 (s, 1H)]. ¹³C NMR (100 MHz, DMSO-d₆, δ ppm): 67.21 (-OCH₂), Phenyl-C [128.08 (CH), 129.48 (CH), 132.09 (C), 134.29 (CH), 134.34 (C), 134.74 (C)], CN-Phenyl-C [103.92 (C), 116.28 (CH), 133.14 (CH), 161.88 (C)], 119.46 (C≡N).

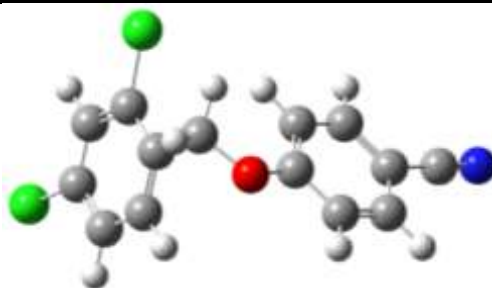
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Kristalinin X-Işını Yapı Analizi

(X-Ray Structure Analysis of Crystalline)

C₁₄H₉Cl₂NO molekülüne ait kristal parametreleri, veri toplama ve arıtım sürecindeki ayrıntılar Tablo 1'de, molekülün deneysel %40 olasılıklı elipsoitlerle çizilmiş şekli Şekil 1-a, gaussian programı ile PES analizi sonucu ortaya çıkan konformasyonlardan elde edilen minimum enerjiye karşılık gelen molekül de Şekil 2-b'de gösterilmiştir.





(b)

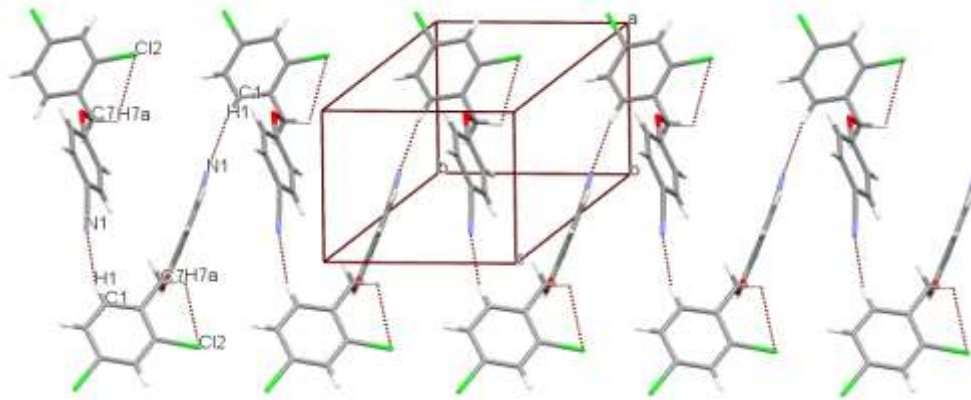
Şekil 2. $C_{14}H_9Cl_2NO$ tek kristalinin (a) X-Işını ve (b) hesaplanan şekli
(Figure 2. (a) X-Ray shape (b) Calculated shape of $C_{14}H_9Cl_2NO$ single crystal)

Tablo 1. $C_{14}H_9Cl_2NO$ tek kristaline ait veri toplama ve arıtım değerleri
Table 1. Data collection and refinement values of $C_{14}H_9Cl_2NO$ single crystal)

Kimyasal Formül	$C_{14}H_9Cl_2NO$
Molekül Ağırlığı	278.12
Sıcaklık/K	293(2)
Kristal sistem	monoklinik
Uzay grubu	$P2_1/n$
a/Å	6.1565(4)
b/Å	7.4256(5)
c/Å	28.135(2)
$\alpha/^\circ$	90
$\beta/^\circ$	90.128(8)
$\gamma/^\circ$	90
V/Å ³ (Birim Hücresinin hacmi)	1286.21(15)
Z (Birim Hücredeki Molekül Sayısı)	4
D/g/cm ³ (Hesaplanan Yoğunluk)	1.436
μ /mm ⁻¹ (çizgisel soğurma katsayısı)	0.490
F(000)	568.0
Kristal boyutu/mm ³	0.13 × 0.1 × 0.08
Radyasyon	MoK α (λ = 0.71073)
θ aralığı/ $^\circ$	6.204 to 49.998
İndeks Aralığı	$-7 \leq h \leq 7, -8 \leq k \leq 8, -33 \leq l \leq 33$
Toplanan Yansıma	29722
Bağımsız yansıma	2202 [R_{int} = 0.0291, R_{sigma} = 0.0138]
Parametre sayısı	2202/0/164
Goodness-of-fit on F^2 (Yerleşim Doğrulama Faktörü)	1.084
Sonuç R indeksi [$I \geq 2\sigma(I)$]	R_1 = 0.0351, wR_2 = 0.0725
Sonuç R indeksi [Tüm data]	R_1 = 0.0544, wR_2 = 0.0983
$\Delta\sigma_{max}, \Delta\sigma_{min}$ (e/ Å ³)	0.27/-0.37
CCDC Numarası	1562199

Bileşik, birbirine neredeyse dik olan benzonitril ve diklorobenzen halkalarına sahiptir. Molekülün C≡N bağ uzunluğu, buna karşılık gelen tekli bağ uzunluklarından daha kısa olduğu görülmektedir. Kristalde moleküller arası C-H...N ve molekül içi C-H...Cl hidrojen bağları gözlenmiştir. Moleküller birbirine bu etkileşimler ile bağlanmıştır. Çözüm işlemi sonunda bulunan yapıya ait kristalin birim hücre içerisindeki paketlenme çizimi Şekil 3'de, hidrojen bağlarına ait bilgiler ise Tablo 2'de verilmiştir. Bileşiğe ait teorik hesaplamalar 6-31G(d,p) baz seti [11-13] DFT(B3LYP) [14-17] teorisi gaussian09 programı [18] ve Gaussian çıktıları grafiksel olarak incelemek için gausview 5 programı [19] kullanılarak yapılmıştır.

Deneysel ve teorik çalışmalardan elde edilen bağ uzunlukları, bağ açıları ve dihedral açıları karşılaştırmalı olarak Tablo 3’de gösterilmiştir.



Şekil 3. $C_{14}H_9Cl_2NO$ tek kristalin C-H...N ve C-H...C hidrojen bağları ile paketlenmiş gösterimi

(Figure 3. Packed representation with C-H...N and C-H...C hydrogen bonds of $C_{14}H_9Cl_2NO$ single crystal)

Tablo 2. $C_{14}H_9Cl_2NO$ tek kristalinin Hidrojen Bağı Geometrisi (Å, °)
Table 2. Hydrogen bond geometry of $C_{14}H_9Cl_2NO$ single crystal (Å, °)

-H...A	D-H	H...A	D...A	D-H...A
C1- H1...N1 ⁱ	0.930 (3)	2.603 (3)	3.477 (3)	156.8 (2)
C7- H7A...Cl2	0.970 (3)	2.769 (2)	3.121 (2)	102.12 (17)

Simetri kodu: $i:1/2-x, 1/2+y, 3/2-z$

Tablo 3. $C_{14}H_9Cl_2NO$ tek kristaline ait deneysel ve teoriksel parametreler
(Table 3. Experimental and theoretical parameters of $C_{14}H_9Cl_2NO$ single crystal)

Bağ Uzunlukları (Å)	Deneysel	DFT (B3LYP/6-31G(d,p))
C11-C3	1.74 (19)	1.75
C12-C5	1.74 (19)	1.76
O1-C8	1.36 (2)	1.37
O1-C7	1.43 (2)	1.42
C4-C5	1.38 (3)	1.39
C4-C3	1.38 (3)	1.39
C5-C6	1.39 (3)	1.40
C6-C1	1.39 (3)	1.40
C6-C7	1.50 (3)	1.52
C8-C9	1.39 (3)	1.40
C8-C13	1.38 (3)	1.40
C9-C10	1.38 (3)	1.39
C13-C12	1.38 (3)	1.39
N1-C14	1.14 (3)	1.16
Bağ Açıları (°)		
C7-O1-C8	117.51 (14)	119.55
C3-C4-C5	118.07 (17)	118.49
C4-C5-C12	116.96 (14)	117.83
C6-C5-C12	120.55 (15)	119.91

C6-C5-C4	122.49 (17)	122.26
C1-C6-C5	117.08 (17)	117.37
C7-C6-C5	123.71 (19)	121.35
C7-C6-C1	119.21 (18)	121.24
C4-C3-C11	118.90 (14)	119.10
C2-C3-C11	119.51 (16)	119.82
C9-C8-O1	124.85 (17)	124.80
C13-C8-O1	115.24 (16)	115.15
C13-C8-C9	119.91 (17)	120.04
C13-C12-C11	119.98 (18)	120.23
C6-C7-O1	107.44 (15)	113.34
N1-C14-C11	177.5 (3)	179.91
Dihedral açılar (°)		
C12-C5-C6-C7	1.9 (3)	1.10
O1-C8-C9-C10	-179.0 (2)	-179.93
C4-C3-C2-C1	1.6 (3)	0.23
C5-C4-C3-C11	178.79 (15)	-179.81
C8-O1-C7-C6	166.5 (2)	85.07
C14-C11-C10-C9	177.3 (2)	179.13

4.2. NMR Çalışmaları (NMR Studies)

Molekülün NMR kimyasal kayma değerlerini hesaplamak için GIAO (Gauge-Independent Atomic Orbital) [20 ve 21] yöntemi kullanılmış ve referans olarak TMS (tetrametilsilan) alınmıştır. TMS için dimetil sülfoksit (DMSO) çözücüsü seçilerek hesaplanan ^1H NMR ve ^{13}C NMR kimyasal kayma değerleri DFT/B3LYP/6-31G(d,p) için ise sırasıyla 32.10 ve 189.40 ppm'dir. Deneysel ve hesaplanan NMR schifft değerleri Tablo 4'de gösterilmiştir.

Bu bileşin ^1H NMR spektrumunda, metilen protonları ($-\text{OCH}_2$) oksijen atomunun elektronegatifliğinden dolayı biraz daha aşağı alanda (low field) 5.21 ppm'de bir singlet olarak gözlenmiş olup, bu değer 5.59-5.65 ppm aralığında teorik olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde diklorobenzil halkasına ait üç adet proton sinyali 7.19 ve 7.78 ppm aralığında ölçülürken, benzonitril halkasındaki proton sinyalleri ise 7.47 ve 7.68 ppm aralığında ölçülmüştür. Bu iki halka için sinyal değerleri sırasıyla, 7.61-7.78 ve 6.95-8.13 ppm aralıklarında hesaplanmıştır.

Bileşin ^{13}C NMR spektrumunda ise, metilen grubu ($-\text{OCH}_2$) karbon pik sinyali, sp^3 melezlenmiş karbonlardan beklendiği gibi ve oksijen atomunun elektronegatifliğinden dolayı 67.21 ppm'de kaydedildi. Teoriksel olarak ise bu pik sinyali 59.29 ppm olarak hesaplanmıştır. Diğer yandan iki halkada bulunan karbon pikleri 103.92-161.88 ppm aralığında ölçülürken, bu pikler 93.33-148.75 ppm aralığında hesaplanmıştır. Son olarak $\text{C}\equiv\text{N}$ grubuna ait pik değeri 119.46 ppm ölçülmüş 105.21 ppm değerinde de teorik olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4. $C_{14}H_9Cl_2NO$ tek kristalinin deneysel ve teoriksel ^{13}C ve 1H kimyasal kayma değerleri
(Table 4. Experimental and theoretical ^{13}C and 1H chemical shifts values of $C_{14}H_9Cl_2NO$ single crystal)

Atom	Deneysel (ppm)	DFT (ppm)
C1	128.08	115.01
C2	129.48	115.48
C3	134.74	129.77
C4	132.09	117.48
C5	134.34	127.91
C6	134.29	122.93
C7	67.21	59.29
C8	161.88	148.75
C9	116.28	106.44
C10	133.14	122.80
C11	103.92	93.33
C12	133.14	123.64
C13	116.28	100.6
C14	119.46	105.21
H(CH) (diklorobenzil)	7.19-7.78	7.61-7.78
H(CH) (benzonitril) halka)	7.47-7.68	6.95-8.13
H(CH2)	5.21	5.59-5.65

4.3. Frontier Moleküler Orbital Analizi (Frontier Molecular Orbital Analysis)

Molekölün kararlı yapısı ve yapısal parametreleri elde edildikten sonra, HOMO ve LUMO enerji değerleri incelenmiş ve bu enerjilerden sertlik parametresi elde edilmiştir.

Bir moleküldeki en önemli orbitaller HOMO ve LUMO olarak adlandırılan sınır moleküler orbitallerdir. Bu iki orbital arasındaki enerji farkı ise molekülün kimyasal kararlılığının bir ölçüsüdür ve elektron iletkenliğinin bir ölçümü olmasından dolayı moleküler elektriksel taşıma özelliklerinin belirlenmesinde kritik bir parametredir. Dolayısıyla bu enerji farkı, moleküllerin kimyasal ve spektroskopik özelliklerinden büyük ölçüde sorumludur [22]. Hesaplamalar gaz fazında gerçekleştirilmiş olup, molekül için HOMO ve LUMO enerji değerleri sırasıyla, -6.67 ve -1.24 eV olarak hesaplandı. Bu enerji seviyeleri arasındaki fark ise ($\Delta E_{HOMO-LUMO}$) 5.43 eV olarak hesaplandı.

Şekil 4'de gösterildiği gibi, HOMO orbitalleri, benzonitril halkası üzerinde yerleştirirken, LUMO orbitalleri, diklorobenzil halkası üzerinde yerleştirmiştir. Moleküler sertlik parametresi, Parr ve Pearson [23 ve 24] tarafından önerilen sonlu fark formülünden elde edildi ve sertlik parametresi η 'nın işlemsel tanımı kullanılarak hesaplanmıştır:

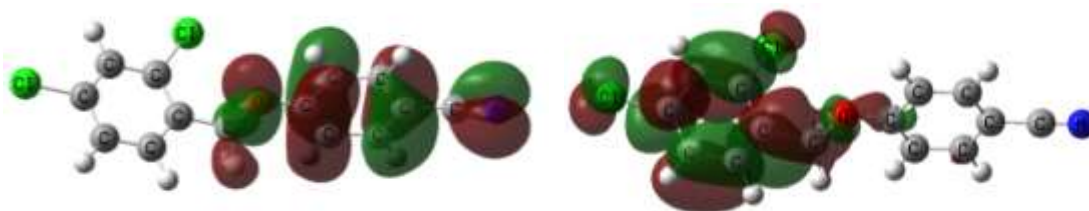
$$\eta = 1/2 (IE-EA)$$

Burada IE, ilk iyonlaşma enerjisini ve EA elektron ilgisini gösterir. Sertlik değeri, en yüksek dolu molekül orbital enerjileri (E_{HOMO}) ve en düşük boş molekül orbital enerjileri (E_{LUMO}) aracılığı ile aşağıdaki yaklaşımı sağlayabilir:

$$\eta \approx 1/2 (E_{LUMO} - E_{HOMO})$$

Literatürdeki bazı çalışmalarda, sertlik parametresi η 'nın yük transferi üzerindeki etkisi incelenmiş olup bu çalışmalarda küçük η değeri, daha güçlü yük transferi etkileşimine karşılık geldiği belirtilmektedir [25, 26 ve 27]. Molekülün sertlik değeri 2.71 olarak hesaplanmıştır. Molekülünün hesaplanan sertlik değeri, literatürdeki

2.04 [28], 2.05 [29], değerlerine yakın çıkması yük transferinin bu molekülde güçlü olacağını göstermektedir.



HOMO (-6.67 eV)

LUMO (-1.24 eV)

Şekil 4. Başlık bileşiğinin frontier orbitalleri ve enerjileri
(Figure 4. Frontier orbitals and energies of the title compound)

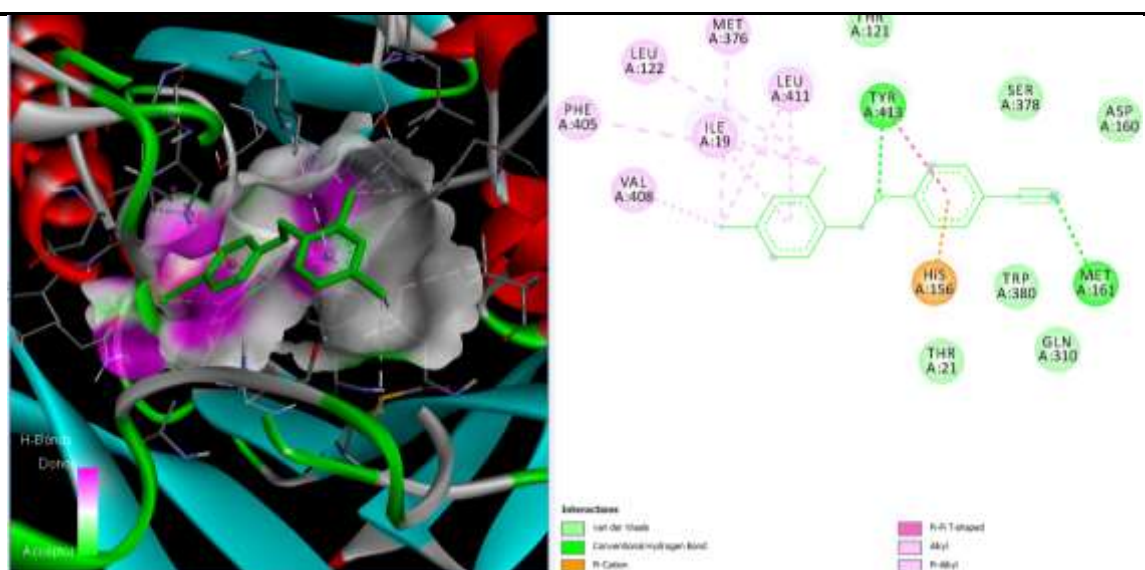
4.4. Moleküler Doking Çalışması (Molecular Doking Study)

Doking çalışmaları için koenzim A ve T-2 mikotoksin doğal ligand (ZBA) içeren *Fusarium graminearum* TRI101 kompleksinin kristal yapısı (pdb code: 2RKV), Protein Data Bank (<http://www.rcsb.org/pdb>) üzerinden sağlanmıştır. Doking işlemi öncesi 2RKV yapısından su molekülleri kaldırılarak hidrojen atomları ve Gasteiger yükleri ilave edilmiştir. Bu işlemlerden sonra kullanılan ZBA, DOB, molekülden Cl atomları silinmiş DOB2 ve CN grubu silinmiş DOB3 ligandları hedef molekül bağlanma bölgelerine doking yapılmıştır (Şekil 5). Doking çalışmaları Autodock Vina [30], Doking veri girişi dosyalarını oluşturmak için AutoDock Tools, Reseptör-ligand etkileşimleri ise Discover Studio Visualizer 4.5 [31] yazılımı ile gösterilmiştir. Moleküler doking sonucu tahmini bağlanma enerjisi (doking skoru) ve RMSD değerleri elde edilmiş sayısal sonuçlar ve tüm ligantların HOMO enerjileri de karşılaştırmalı olarak Tablo 4'de gösterilmiştir.

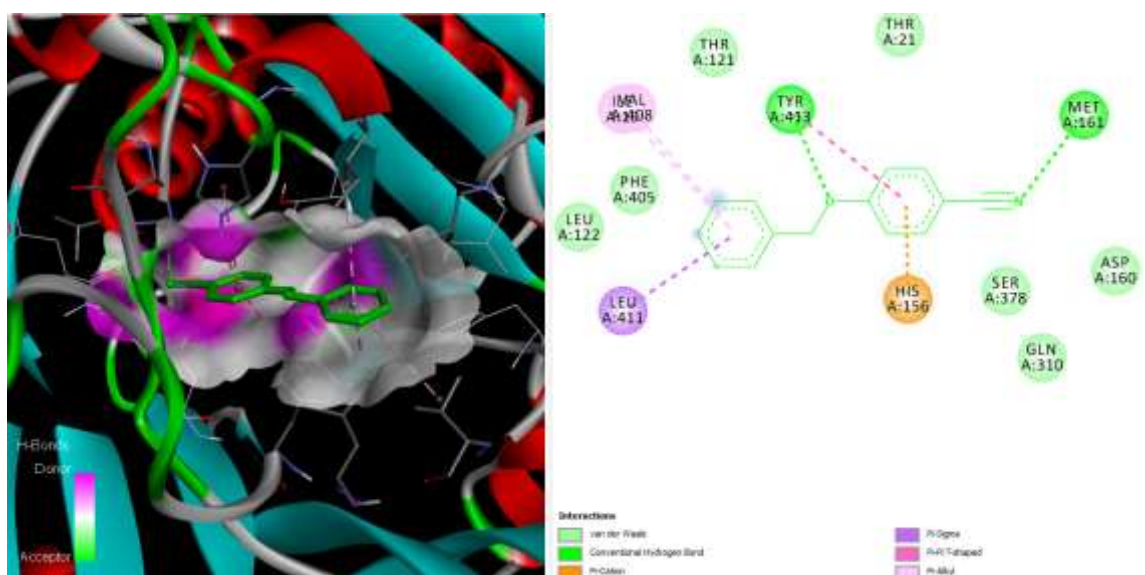
Tablo 4. ZBA, DOB, DOB2 ve DOB3 moleküllerinin farklı konformasyonlarına ait affinity, RMSD ve HOMO-LUMO değerleri
(Table 4. Affinity, RMSD and HOMO-LUMO values of different confirmations of ZBA, DOB, DOB2 and DOB3 molecules)

ZBA				DOB			
Mod	Afiniti (kcal/mol)	RMSD	HOMO	Mod	Afiniti (kcal/mol)	RMSD	HOMO
1	-8.4	0.000	-6.79eV	1	-7.0	0.000	-6.67eV
2	-8.3	1.936		2	-7.0	1.280	
DOB2				DOB3			
1	-6.9	0.000	-6.40eV	1	-6.4	0.000	-5.97eV
2	-6.2	1.038		2	-6.2	1.882	

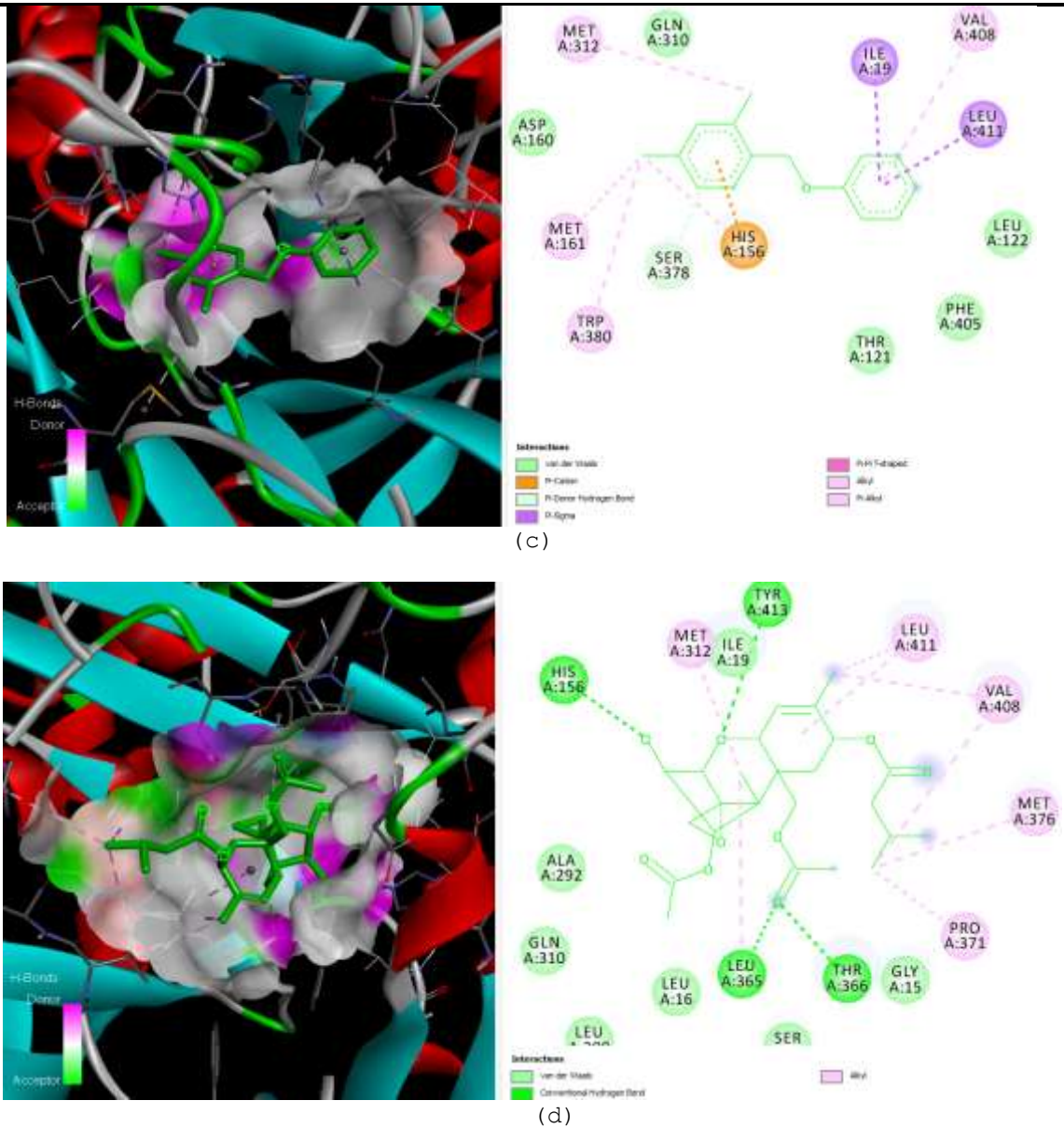
Elde edilen doking sonuçları RMSD değeri 2 Å'den küçük olduğunda ligant için seçilen protein yapısının doğru olarak belirlendiği söylenebilir [32]. RMSD değeri, ligand yapısının belirlenmiş olan konformasyonundan ortalama karekök sapmasıdır. Bir başka deyişle ligandın etkileşime girdiği, aktif bölgeden sapması anlamına gelmektedir ve Doking sonuçları için kullanılan en önemli kriterdir. RMSD değerlerinden sonra bakılan kriter ise bağlanma enerjisidir. Öncelik sırasının böyle olmasının nedeni yapı aktif bölge dışında başka bir yer ile de düşük bağlanma enerjisi verebilir. Bu yüzden önce aktif bölgeye olan yakınlığına, sonra da aktif bölgede yaptığı bağlanmanın enerjisine bakılır.



(a)



(b)



Şekil 5. (a) DOB (b) DOB2 (c) DOB3 ve (d) ZBA ligantlarının doking sonucu reseptör ile aralarındaki etkileşimlerinin 2D ve 3D gösterimi
Figure 5. Representation 2D and 3D of docking results between ligands and receptor (a) DOB (b) DOB2 (c) DOB3 and (d) ZBA

Ligandlar, reseptörlerin substrat bağlanma bölgesine zayıf kovalent olmayan etkileşimler ile daha belirgin olarak da hidrojen bağı, alkil ve π -alkil etkileşimleriyle bağlandığı görülmüştür. Şekil 5'de görüldüğü gibi MET161 ile DOB ligantının N atomu arasında 2.54 Å, ve TYR413 ile DOB ligantının O atomu arasında 1.80 Å, MET161 ile DOB2 ligantının N atomu arasında 2.50 Å ve TYR413 ile DOB2 ligantının O atomu arasında 1.84 Å ve ZBA ligantın O atomları ile TYR413, THR366, HIS156 ve LEU365 arasında sırasıyla 2.37, 2.70, 2.22 ve 2.76 Å uzunluğunda hidrojen bağları meydana gelmiştir. DOB3 ligantı ile reseptör arasında klasik hidrojen bağı meydana gelmemiştir. Yine Şekil 5'de diğer etkileşimler de gösterilmiştir. DOB ligantı görüldüğü gibi hesaplanan bağlanma afinitelerine göre en iyi sonucu vermiştir. DOB ligantının, 2RKV hedef yapısı için inhibitör adayı olabilecek molekül

olarak belirlenebileceği söylenebilir. Tablo 4'de, düşük HOMO enerjisi olan ligantların doking skorları daha yüksek çıktığı görülmektedir. Literatürde de bu durum düşük homo enerjisine karşılık gelen ligantların biyolojik aktivitelerinin yüksek olduğu bildirilmiştir[33].Elde edilen sonuçlar, bu bileşiğin biyolojik aktiviteye sahip, yeni potansiyel inhibitör bileşik adayı olacağını göstermiştir

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, sentezlenen 4-((2,4-diklorobenzil)oksi)benzonitril tek kristalinin yapısı, X- ışınları kırınımı ve NMR spektroskopik yöntemleri ile aydınlatılmıştır. Ayrıca molekülün, teorik yöntemler kullanılarak moleküler yapısı ve NMR spektrumları belirlenmiş ve deneysel olarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırması yapılmıştır. Bileşiğin kararlı yapısının ve yapısal parametrelerinin hesaplanmasından sonra, HOMO, LUMO enerjileri ve bu enerjilerden sertlik parametresi elde edilmiştir. Bu çalışmada, molekülünün sertlik değerinin literatür değerlerine yakın çıkması, molekül içinde güçlü yük transferi olduğunu göstermektedir. Son olarak molekül için mümkün bağlanma modelleri ve konformasyonlarını elde etmek için doking simülasyon işlemi uygulanmış ve 4-((2,4-diklorobenzil)oksi)benzonitril bileşiğinin, 2RKV protein yapısı için inhibitör adayı olabileceği sonucu çıkarılmıştır. Bulunan bu potansiyel inhibitör bileşik bizlere gelecekte yapılacak yeni çalışmalarda ve bir sonraki aşama olan aktivite testlerine geçilerek uygunluklarının araştırılması ve yan etkisi düşük, yüksek seçiciliğe sahip bir ilaç tasarımı için umut olabilecektir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, Ahi Evran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince Desteklenmiştir. Proje Numarası: MMF.E2.17.017.

KAYNAKLAR

1. Mishra, C.B., Kumari, S., Tiwari, M., (2010). Eur. J. Med. Chem., 45, 5006-5011.
2. Desiraju, G.R., Steiner, T., (2001). The weak hydrogen bond: in structural chemistry and biology, International Union of Crystal.
3. Saenger, W. and Jeffrey, G., (1991). Hydrogen bonding in biological structures, Springer-Verlag, Berlin.
4. Jeffrey, G.A. and Jeffrey, G.A., (1997). An introduction to hydrogen bonding, Oxford university press New York, 1997.
5. Bruker, A. APEX2, V2008. 6, SADABS V2008/1, SAINT V7. 60A, SHELXTL V6. 14. Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA, 2008.
6. Sheldrick, G.M., (2015). SHELXT-Integrated space-group and crystal-structure determination. Acta Crystallographica Section A: Foundations and Advances, 71, 3-8.
7. Sheldrick, G.M., (2015). Crystal structure refinement with SHELXL. Acta Crystallographica Section C: Structural Chemistry, 71, 3-8.
8. Macrae, C.F., Bruno, I.J., Chisholm, J.A., Edgington, P.R., McCabe, P., Pidcock, E., et al., (2008). Mercury CSD 2.0-new features for the visualization and investigation of crystal structures. Journal of Applied Crystallography, 41, 466-70.
9. Dolomanov, O.V., Bourhis, L.J., Gildea, R.J., Howard, J.A., and Puschmann, H., (2009). OLEX2: a complete structure solution, refinement and analysis program. Journal of Applied Crystallography, 42, 339-41.



10. Wang, B.L, Li Y.H, Wang, J.G, Ma, Y., and Li, Z.M., (2008). Molecular design, synthesis and biological activities of amidines as new ketol-acid reductoisomerase inhibitors. *Chinese Chemical Letters* 19, 651-54
11. Hay, P.J. and Wadt, W.R., (1985). Ab initio effective core potentials for molecular calculations. Potentials for the transition metal atoms Sc to Hg. *The Journal of chemical physics*, 82, 270-83.
12. Wadt, W.R. and Hay, P.J., (1985). Ab initio effective core potentials for molecular calculations. Potentials for main group elements Na to Bi. *The Journal of Chemical Physics*, 82, 284-98.
13. Hay, P.J. and Wadt, W.R., (1985). Ab initio effective core potentials for molecular calculations. Potentials for K to Au including the outermost core orbitals. *The Journal of Chemical Physics*, 82, 299-310.
14. Ditchfield, R., Hehre, W.J., and Pople, J.A., (1971). Self consistent molecular orbital methods. IX. An extended Gaussian type basis for molecular orbital studies of organic molecules. *The Journal of Chemical Physics*, 54, 724-8.
15. Becke, A.D., (1988). Density-functional exchange-energy approximation with correct asymptotic behavior. *Physical review A*, 38, 3098.
16. Becke, A.D., (1993). A new mixing of Hartree-Fock and local density-functional theories. *The Journal of chemical physics*, 98, 1372-7.
17. Becke, A.D., (1992). Density-functional thermochemistry. I. The effect of the exchange-only gradient correction. *The Journal of chemical physics*, 96, 2155-60.
18. Gaussian09, R.A., (2009). 1, MJ Frisch, GW Trucks, HB Schlegel, GE Scuseria, MA Robb, JR Cheeseman, G. Scalmani, V. Barone, B. Mennucci, GA Petersson et al., Gaussian. Inc., Wallingford CT.
19. Dennington, R., Keith, T., and Millam, J., (2009). GaussView, version 5. Semichem Inc., Shawnee Mission, KS.
20. Ditchfield, R., (1972). Molecular orbital theory of magnetic shielding and magnetic susceptibility. *The Journal of Chemical Physics*, 56, 5688-91.
21. Wolinski, K., Hinton, J.F., and Pulay, P., (1990). Efficient implementation of the gauge-independent atomic orbital method for NMR chemical shift calculations. *J. Am. Chem. Soc.*, 112, 8251-60.
22. Atkins, P.W. and Atkins, P.W., (1992). *The elements of physical chemistry*, Oxford University Press Oxford United Kingdom.
23. Parr, R.G. and Pearson, R.G., (1983). Absolute hardness: companion parameter to absolute electronegativity. *J. Am. Chem. Soc.*, 105, 7512-6.
24. Chandra, A.K. and Uchimar, T., (2001). Hardness profile: a critical study. *The Journal of Physical Chemistry A*, 105, 3578-82.
25. Mandal, K., Kar, T., Nandi, P., and Bhattacharyya, S., (2003). Theoretical study of the nonlinear polarizabilities in H₂N and NO₂ substituted chromophores containing two hetero aromatic rings. *Chem. Phys. Lett.*, 376, 116-24.
26. Nandi, P., Mandal, K., and Kar, T., (2003). Effect of structural changes in sesquifulvalene on the intramolecular charge transfer and nonlinear polarizations—a theoretical study. *Chem. Phys. Lett.*, 381, 230-8.
27. Nandi, P.K., Mandal, K., and Kar, T., (2006). Theoretical study of static second-order nonlinear optical properties of push-pull



-
- heteroquinonoid dimers. Journal of Molecular Structure: THEOCHEM, 760, 235-44.
28. Tanak, H., (2011). Crystal structure, spectroscopy, and quantum chemical studies of (E)-2-[(2-Chlorophenyl) iminomethyl]-4-trifluoromethoxyphenol. The Journal of Physical Chemistry A, 115, 13865-76.
29. Tanak, H., (2012). Density functional computational studies on 2-[(2, 4-Dimethylphenyl) iminomethyl]-3, 5-dimethoxyphenol. Int. J. Quantum Chem., 112, 2392-402.
30. Trott, O. and Olson, A.J., (2010). AutoDock Vina: improving the speed and accuracy of docking with a new scoring function, efficient optimization, and multithreading. J. Comput. Chem., 31, 455-61.
31. Biovia, D.S., (2015). Discovery studio modeling environment. San Diego: Dassault Systemes.
32. Kramer, B., Rarey, M., and Lengauer, T., (1999). Evaluation of the FLEXX incremental construction algorithm for protein-ligand docking. Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics, 37, 228-41.
33. Er, M., Ergüven, B., Tahtacı, H., Onaran, A., Karakurt, T., and Ece, A., (2017). Synthesis, characterization, preliminary SAR and molecular docking study of some novel substituted imidazo [2, 1-b][1, 3, 4] thiadiazole derivatives as antifungal agents. Med. Chem. Res., 26(3)615-630.



Natalia Kurt

Momun Arzibayev

Kyrgyz National Agrarian University, nataliakurt@yahoo.com,
Bishkek-Kyrgyzstan

Zafer Gönülalan

Erciyes University, zgonulalan@erciyes.edu.tr, Kayseri-Turkey

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.3B3PB>

PRODUCTION OF TRADITIONAL YOGHURT USING STARTER CULTURE OBTAINED FROM KOUMISS

ABSTRACT

The objective of this study is to use *Lactobacillus paraplantarum* and *Leuconostoc mesenteroides subs. cremoris* to obtain koumiss and practice them in preparation of yoghurt. Twenty five samples of koumiss bought from different places of Kyrgyzstan were used to obtain *Lactobacillus paraplantarum* and *Leuconostoc mesenteroides subs. cremoris*. Standard microbiological methods were conducted for isolation of starter culture microorganisms. Identification process was performed with characterizing by MALDI-TOF MS. The obtained starter culture microorganisms were used in preparation of yoghurt according to the traditional method of yoghurt production. Produced yoghurt samples and control group were exposed to sensorial analysis. Sensorial and physical properties of yoghurt prepared by using the isolated strains from koumiss were not found to be significantly different from commercial yogurt in statistical analyses. In conclusion, it was seen that starter culture obtained from koumiss can be used in production of yoghurt and also received results can be used as a base for investigations on using culture microorganisms obtained from koumiss in production of different types of dairy products.

Keywords: Koumiss, *Leuconostoc mesenteroides subs. cremoris*,
Lactobacillus paraplantarum, *Lactobacillus ssp.*,
Yoghurt

1. INTRODUCTION

Traditional yoghurt is produced by using a culture of *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus* bacteria to meet the standard of identity for yogurt. In addition, other microorganisms belonged to *Lactobacilli* and *Bifidobacteria* genus, are also sometimes added during or after culturing yoghurt [7, 15 and 18]. Koumiss is fermented milk traditionally made from mare's milk and is important to the people of the Central Asian steppes, including Mongolia, Kazakhstan, Kyrgyzstan and in some Russian and Chinese regions [5 and 22]. Koumiss is a dairy product similar to kefir, but is produced from a liquid starter culture (usually by backslopping), in contrast to the solid kefir grains. Because mare's milk contains more sugars than the cow's or goat's milk fermented into kefir, koumiss has a higher, though still mild, alcohol content [9, 19 and 22]. Even in the areas of the world where koumiss is popular today, mare's milk remains a limited commodity. Because of the health-protective effects of starter cultures, food produced by probiotic microorganisms is estimated as a



functional product. To provide a supply of the high-quality and safe health-protective products, the range of products containing probiotic cultures should be increased. Probiotics may produce bacteriocins, which are defined as ribosomally synthesized antimicrobial peptides, produced as a defense response and generally active against closely related bacteria [17].

Most probiotics belong to *Lactobacillus* and *Bifidobacteria* genera and, the former is the most abundant member of the group of lactic acid bacteria (LAB). Many lactobacilli are used as starter cultures for manufacturing cheeses, yoghurt, sourdough breads, silage, table olives, sauerkraut, fermented fish and sausages. Lactobacilli play a role as natural biopreservatives in non-fermented vegetables [2 and 6]. The lactobacilli include more than 25 unique species, and the first level of differentiation is based on end-product composition; some are homofermentative, whereas others are heterofermentative. The former are classified as organisms that produce >85% lactic acid as their end-product from glucose. The latter include organisms that produce approximately 50% lactic acid as an end-product, with considerable amounts of carbon dioxide, acetate, and ethanol [1]. *Lactobacillus paraplantarum* is a facultative heterofermentative rod shaped Gram-positive bacterium that grows from 15°C to 37°C, with NaCl concentrations up to 8% and it is closely related to *L. plantarum* and *L. pentosus*. [4 and 20]. *L. paraplantarum* isolated from raw or spontaneously fermented cider, cabbages, capers [8]. The *Leuconostocaceae* family belongs to the order of *Lactobacillales* that are commonly called LAB like the *Lactobacillaceae* family. Their main trait is the production, exclusively or not, of lactic acid from carbohydrate fermentation. In the past, they formed the *Leuconostoc* genus, which was roughly defined as heterofermentative cocci. To date, this family comprises four genera: *Fructobacillus*, *Leuconostoc*, *Oenococcus*, and *Weissella* [14]. *Leuconostoc* strains are often present in dairy starter cultures and also in the dairy environment and thus could be considered as non-starter lactic acid bacteria (NSLAB) in the same way as mesophilic lactobacilli. Their role in the formation of aroma and texture of certain dairy products is essential [3]. Strains of the taxa *Leuconostoc mesenteroides ssp. dextranicum* and *Leu. mesenteroides ssp. cremoris* are frequently used, together with *Lactococcus* spp., as mesophilic starter cultures in dairy fermentations. The ability of *Leu. mesenteroides ssp. cremoris* to produce diacetyl and acetoin from citrate has led to its widespread use as a characteristic aroma producer in cultured dairy products, such as cultured buttermilk, creamery butter, cultured sour cream, and some cheeses [11, 12 and 21]. *Leuconostocaceae* species have a relatively poor acidifying power and mainly are chosen for their capacity to produce typical aromas and flavors and to inhibit some undesirable contaminants. The balance between diacetyl, which is the most aromatic compound, and other products depends on the pH of the medium, temperature, and redox potential, and partially on the strain itself. The sensory quality of fermented milk also includes viscosity resulting from the synthesis of polysaccharides [14]. The aims of this study were, first, to investigate the effects of *L. paraplantarum* and *Leu. mesenteroides subs. cremoris* microorganisms isolated from koumiss in Kyrgyzstan, second, to prepare yoghurt using isolated microorganisms, and third, to compare the sensorial and physical characteristics of the prepared yoghurt with those of commercial yoghurt. This paper reports, for the first time, the successful isolation of *L. paraplantarum* and *Leu. mesenteroides subs. cremoris* from koumiss in Kyrgyzstan, and also shows that the characteristics of



the yoghurt prepared by using isolated LAB were better than those of commercial yogurt. Based on the results, we can speculate that koumiss can be used as a source of LAB for preparation yoghurt and other dairy products.

2. RESEARCH SIGNIFICANCE

The results in this study clearly show that yoghurt bacteria exist in koumiss and also koumiss can be used as a source of starter culture for production other dairy products. Further microbiological studies as well as genetic studies using the complete genome sequences of strains isolated from koumiss produced in Kyrgyzstan will shed light on these questions in the near future.

3. MATERIALS AND METHODS

3.1. Koumiss Samples

In the period from June 2015 to March 2016, koumiss samples were collected at Bishkek and Narin regions in Kyrgyzstan. In each of the two regions, samples were taken from several places. Koumiss materials were carefully handled to avoid contamination, and each sample was immediately put in refrigerator and brought to laboratory.

3.2. Isolation of Culture Microorganisms

Keeping aseptic laboratory techniques one ml of each sample of koumiss was taken and added to 9 ml Ringer solution, so 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7} dilutions was made. One ml of each aliquot was put in Petri dishes and culture media was poured into shallow, covered dishes to harden. Duplicate experiments were done; MRS and M17 broth were used. The plates were incubated anaerobically using the Anaerogen system (Oxoid) at 30°C for 72h to obtain Lactic acid bacteria (LAB) colonies. The LAB (1%v/v) were cultivated in sterile 10 mL aliquots of de Man Rogosa and Sharpe (MRS) broth and incubated for 24 h at 37°C. The cultures were centrifuged at 5000 g for 15 min to separate bacteria. Biomass washed twice with sterile distilled water. The bacteria were then inoculated into skim milk (12%w/v) and incubated at 37°C for 24 has a pre-culture to obtain approximately 10^8 colony forming units (CFU)/mL [16].

3.3. Characterization and Identification of the Isolated Bacteria

The microorganisms were identified by using a system formed by comparison with a reference spectrum obtained from colonies formed on M17 and MRS agar. Matrix Assisted Laser Desorption Ionization-Time of Flight Mass Spectrometry (MALDI-TOF MS) (VITEK® MS) (bioMerieux, France) was utilized to identify the protein profiles of cell structures of the microorganisms.

3.4. Preparation of Yoghurt

For yoghurt production, pasteurized milk of 3.2% fat was purchased from the local market and stored at 6°C until use. Before inoculation milk was heated at 90°C for 10 min in a boiling water bath with continuous stirring to increase the viscosity of the final product. After that milk was immediately cooled to 45°C using tap water [19]. Heat treated milk was then inoculated with 1% starter cultures (approximately 10^8 colony forming units (CFU)/mL.) and incubated at 43°C for about 6 hours until a curd formed and pH value of 4.5 was reached. pH values were measured using a glass electrode connected to Fisher Scientific AB 15 plus digital pH meter. After that yoghurt samples were put in refrigerator at 6°C for 12 hours to improve its consistence and sensorial characteristics.



3.5. Sensory Analyses

A panel of 23 untrained assessors evaluated the sensory attributes of the yoghurt samples for flavor, appearance and overall acceptance based on the method developed by International Dairy Federation [13]. The test was accomplished based on 5-point hedonic scale by panelists and scaled as 1=dislike extremely, 2=dislike moderately, 3=neither like nor dislike, 4=like moderately and 5=like extremely. The samples, each of which was given a three digit code, were served in plastic containers under normal light. The panelists received the samples randomly. They were asked to rinse their mouth with water between each sample testing.

3.6. Statistical Analyses

All data were subjected to one-way analysis of variance (ANOVA) using SPSS 20 software (SPSS Inc., Chicago, IL, USA, 2002). Significance of results controlled using by Duncan test [10].

4. RESULTS

Based on the results presented in this paper, it can be assumed that starter strains for yoghurt have been primarily derived from koumiss, and koumiss produced in Kyrgyzstan is potential source for *Lactobacillus ssp.* strains. The characteristics of the selected strains isolated from koumiss were compared in relation to yoghurt production with those of the current commercial starter strains. Organoleptic results obtained from 23 panelists were estimated by using Duncan test.

Table 1. Organoleptic analysis results of groups

Yoghurt Samples	Mean $\pm$ SEM	P
<i>L. paraplantarum</i>	25.63 $\pm$ 3.68	0.635
<i>L. paraplantarum</i> and <i>Leu. mesenteroides subs. cremoris</i>	26.26 $\pm$ 3.36	0.713
Purchased Yoghurt	24.39 $\pm$ 6.14	0.222

As a result of analysis it is seen that yoghurt prepared with *L. paraplantarum* got 26.63 average mark, yoghurt prepared with *L. paraplantarum* and *Leu. mesenteroides subs. cremoris* got 26.26 average mark and purchased yoghurt got 24.39 average mark. There were no significant differences between groups ($P>0.05$) (Table 1).

5. DISCUSSIONS

It was concluded that the selected LAB strains are similar to the industrial strains in respect to their ability to produce yoghurt. And from the preliminary sensory examinations, the quality of the yoghurt prepared by pure starter and starter combinations, which contained either one or two koumiss-originated strains, was shown to be within the high range compared with those of commercial yoghurt. These results suggest that, at a minimum, yoghurt with an acceptable quality could be prepared using starter combinations of *L. paraplantarum* and *Leu. mesenteroides subs. cremoris* strains isolated from koumiss produced in Kyrgyzstan. The results in this study clearly show that yoghurt bacteria exist in koumiss and also koumiss can be used as a source of starter culture for production other dairy products. Further microbiological studies as well as genetic studies using the complete genome sequences of strains isolated from koumiss produced in Kyrgyzstan will shed light on these questions in the near future. This is the first report on the isolation of *L. paraplantarum* and *Leu. mesenteroides subs. cremoris* strains from koumiss produced in



Kyrgyzstan, as well as on the characterization of the yoghurt prepared using the isolated strains from koumiss. Findings of this study imply, first, a koumiss produced in Kyrgyzstan is a source of *L. paraplantarum* and *Leu. mesenteroides subs. cremoris*, second, the microbiological and fermentation characteristics of the isolated strains from koumiss are distinguishable from those of the industrial strains currently used for yogurt production. Therefore, it is assumed that starter culture isolated from koumiss can be successfully used in commercial yoghurt production. Such yoghurt can be an alternative product during period of absence of mare's milk. Also this paper reports can be a base for the further studies about using of starter culture obtained from koumiss in production of other dairy products.

NOTE

This paper was summarized from the masters' level thesis of the same title.

REFERENCES

1. Batt, C.A., (2014). Introduction *Lactobacillus*. Batt CA. eds. In: Encyclopedia of Food Microbiology. Second Edition. ISBN: 978-0-12-384730-0, Elsevier, CA San Diego, p:409.
2. Cebeci, A. and Gurakan, C., (2003). Properties of Potential Probiotic *Lactobacillus plantarum* strains. Food Microbio, 20(5):511-518.
3. Cogan, T.M., (2002). Improving Cheddar Cheese Flavour by Microbiological Way. Twenty Sixth International Dairy Congress. September, 24-27, Paris-France.
4. Curk, M.C., Hubert, J.C., and Bringel, F., (1996). *Lactobacillus paraplantarum* sp. nov., a new species related to *Lactobacillus plantarum*. Int J Syst Bacteriol, 46(2):595-8.
5. Danova, S., Petrov, K., Pavlov, P., and Petrova, P., (2005). Isolation and Characterization of *Lactobacillus* Strains Involved in Koumiss Fermentation. Int J Dairy Technol, 58:100-5.
6. De Angelis, M. and Gobbetti, M., (2004). Environmental Stress Responses In *Lactobacillus*: A review. Proteomics, 4(1):106-22.
7. De Oliveira, M.N., (2014). Fermented Milks and Yogurt. Batt CA. eds. In: Encyclopedia of Food Microbiology. Second Edition. ISBN: 978-0-12-384730-0, Elsevier, CA San Diego, p:918.
8. Di Cagno, C., Olive da Mensa ed Altri Prodotti Vegetali Farris, A., Gobbetti, M., Neviani, E., and Vincenzini, M., eds., (2012). In: Microbiologia dei prodotti alimentari, Milan, Italy:CEA-Casa Editrice Ambrosiana, pp:365-82.
9. Di Cagno, R.A., Tamborrino, G.G., Leone, C., De Angelis, M., Faccia, M., Amirante, P., and Gobbetti, M., (2004). Uses of Mares' Milk in Manufacture of Fermented Milks. Int Dairy J, 14(9):767-75.
10. Duzgunes, O., Kesici, T., and Gürbüz, F., (1993). İstatistik Metodlari. İkinci Baskı. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayinlari: 1291, Ders Kitabı: 369, Ankara, ss:218. (in Turkish).
11. Garvie, E.I., (1983). *Leuconostoc mesenteroides subsp. cremoris* (Knudsen and Sorensen) comb. nov. and *Leuconostoc mesenteroides subsp. dextranicum* (Beijerinck) comb. nov. Int J Syst Bacteriol, 33(1):118-9
12. Johansen, E. and Kibenich, A., (1992). Characterization of *Leuconostoc* isolates from Commercial Mixed Strain Mesophilic Starter Cultures. J Dairy Sci, 75(5):1186-91
13. Karagul, Y.Y. and Drake, M.A., (2006). Sensory Analysis of Yogurt. Chandan RC, White CH, Kilara A, Hui YH. eds. In:



-
- Manufacturing Yogurt and Fermented Milks. Oxford, UK: Blackwell Publishing, pp:265-70.
14. Lonvaud, F.A., (2014). *Leuconostocaceae* Family. Batt CA. eds. In: Encyclopedia of Food Microbiology. Second Edition. ISBN: 978-0-12-384730-0, Elsevier, CA San Diego, pp:455-63.
 15. Michaylova, M., Minkova, S., Kimura, K., Sasaki, T., and Isawa, K., (2007). Isolation and Characterization of *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus* from Plants in Bulgaria FEMS Microbiol Lett, 269(1):160-9.
 16. Moslehishad, M., Mirdamadi, S., and Ehsani, M.R., (2013). Ezzatpanah H, Moosavi-Movahedi AA. The proteolytic activity of selected lactic acid bacteria in fermenting cow's and camel's milk and the result and sensory characteristics of the products. Int J Dairy Technol, 66(2):279-85.
 17. Oscariz, J.C. and Pisabarro, A.G., (2001). Classification and Mode of Action of Membrane-Active Bacteriocins Produced by Gram-Positive Bacteria. Int Microbiol, 4(1):13-9.
 18. Shiby, V.K. and Mishra, H.N., (2013). Fermented Milks and Milk Products as Functional Foods: A Review. Crit Rev Food Sci Nutr, 53(5):482-96.
 19. Tamime, A.Y., Muir, D.D., and Wszolek, M., (1999). Kefir, Koumiss and Kishk. Dairy Ind Int, 64(5):32-33.
 20. Tulini, F.L., Winkelströter, L.K., and De Martinis, E.C.P., (2013). Identification and Evaluation of the Probiotic Potential of *Lactobacillus Paraplantarum* FT259, a Bacteriocinogenic Strain Isolated from Brazilian Semi-Hard Artisanal Cheese. Anaerobe Vol:22, pp:57-63
 21. Vedamuthu, E.R., (1994). The Dairy *Leuconostoc*: Use in Dairy Products. J Dairy Sci, 77(9):2725-37.
 22. Zhang, W. and Zhang, H., (2012). Fermentation and Koumiss. (Hui, Y.H., Evranuz, E.Ö., eds In): Handbook of Animal-Based Fermented Food and Beverage Technology, Second Edition. ISBN 9781439850220 CRC Press London NY, pp:165-171.



Selçuk Tazegül, Alper Tazegül

Kafkas University, Kars-Turkey

selcuktazegul@gmail.com; alper.tazegul2004@gmail.com

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.3C11PB>

**VADELİ İŞLEM VE OPSİYON BORSASININ/PIYASASININ GELİŞİMİ/DÖNÜŞÜMÜ
ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME**

ÖZ

Ülkemizde Vadeli İşlem ve Opsiyon Borsası (VOB) 2005 yılında ilk özel borsa olarak faaliyete geçmiştir. 2013 yılına kadar faaliyetine devam eden borsa 2013 yılında Borsa İstanbul (BİST) çatısı altında yer alan Vadeli İşlem ve Opsiyon Piyasası (VİOP) ile birleşmiştir. Bu çalışma 2013 yılından itibaren BİST çatısı altında faaliyetlerini sürdüren VİOP'ta, futures ve opsiyon sözleşmelerindeki gelişimleri/değişimleri incelemek amacıyla yapılmıştır. Çalışmada, Vadeli İşlem ve Opsiyon Piyasasının işlem hacimleri incelenmiş, bu işlem hacimlerindeki değişimlerde VOB'un Vadeli İşlem ve Opsiyon Piyasası olarak dönüşümünün ve ülke büyüme rakamlarının etkisi araştırılmıştır. 2012 yılında Futures Sözleşmeleri ve Opsiyon Sözleşmelerin VOB çatısı altında toplam işlem hacmi 403.9 milyar TL iken İstanbul'da Borsa İstanbul çatısı altında faaliyetini yürütmesi ve ülkemizin büyüme potansiyeli ile birlikte 2013 yılında toplam 416.6 milyar TL olduğu görülmüştür. Bunun devamında 2016 yılı verilerine baktığımızda işlem hacminin 580.6 milyar TL'ye ulaştığı görülmektedir. Bu itibar ile elde edilen bu verilerin Gayri Safi Yurtiçi Hasıla büyüme rakamları ile karşılaştırılması yapılmış olup, aynı zamanda bu değişimlerde Borsa İstanbul'un etkileri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Borsa İstanbul, Vadeli İşlem ve Opsiyon Piyasası, Futures Sözleşmeleri, Opsiyon Sözleşmeleri

**EVALUATION ON DEVELOPMENT/TRANSFORMATION OF TURKISH FUTURES AND
OPTIONS EXCHANGE/MARKET**

ABSTRACT

Futures and Options Exchange (VOB) has been launched as the first private stock exchange in 2005 in our country. The stock exchange which has continued to operate until 2013 has merged with Futures and Options Market (VİOP) operating under the roof of Borsa İstanbul (BIST). This study was conducted with an eye to examine the developments/changes in futures and options contracts in VİOP, which currently continues the operations thereof under the roof of BIST as from 2013. Transaction volumes of the Futures and Options Market were examined and the impact of conversion of Futures and Options Exchange (VOB) into Futures and Options Market (VİOP) on changes of these transaction volumes as well as country growth figures were investigated in the study. It is observed that the while total transaction volume under Futures Contracts and Option Contracts under the roof of Futures and Options Exchange (VOB) was 403.9 billion TL in 2012 it achieved the total amount of 416.6 billion TL in 2013 after it began to operate at the Borsa İstanbul within İstanbul province and in line with the growth potential of our country. Subsequently if we examine the year 2016, it is observed that transaction volume has reached 580.6 billion TL. Comparison of these data obtained on this date was made with the Gross Domestic Product (GDP) figures and the impacts of Borsa İstanbul were examined at the same time.

Keywords: Borsa İstanbul, Futures and Options Market, Futures Contracts, Option Contracts

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Vadeli işlem piyasalarında (Türev Piyasalar) işlem gören vadeli işlem araçları; Forward, Swap, Futures ve Opsiyon sözleşmelerini kapsamaktadır. Ancak sadece vadeli işlem sözleşmeleri (futures) ve opsiyon sözleşmeleri organize borsalarda işlem görmektedir. Yatırımcılar açısından riskleri önceden görebilmek ve buna göre yatırımları şekillendirmek açısından vadeli işlemler önemli bir avantaj sağlamaktadır. Ülkemizde vadeli işlem ve opsiyon sözleşmelerinin organize bir borsada işlem görmesine yönelik çalışmaların yaklaşık 30 yıllık bir geçmişi olup, şu anki en son haliyle Vadeli İşlem ve Opsiyon Piyasası 2013 yılından itibaren Borsa İstanbul çatısı altında faaliyetlerini sürdürmektedir. 2011 yılından itibaren GSYH büyüme oranları incelendiğinde, küresel ekonominin ve ülke içerisindeki dinamiklerin de etkisiyle dalgalanmalar yaşandığı görülmektedir. 2011 yılında %8.5 oranında bir büyüme görülürken 2012 yılında bu oran %2.2 olarak gerçekteleşmiş ve 2016 yılı itibarıyla de bakıldığında, önceki yıla oranla %2.9 oranında bir büyüme oranı görülmektedir. Bu veriler ile birlikte VIOP işlem hacimleri incelenirken 2012 yılında %8.2'lik bir düşüşün olduğu görülmektedir. Ancak bu tarihten itibaren kazanılan bir ivme ile 2016 yılı sonu itibarıyla, 2011 yılına oranla %24.3'lük bir artışla 580.6 milyar seviyelerine ulaştığı görülmektedir.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Yatırım, arbitraj ve risklerden korunma gibi amaçlarla işlem yapılan vadeli işlem ve opsiyon borsaları/piyasaları özellikle son yıllarda önemli işlem hacimlerine ulaşmıştır. Türkiye'de de borsada alternatif bir piyasa olarak yatırımcılara birçok seçenek sunan VIOP sürekli bir büyüme sürecine girmiştir. Küresel ekonomik kriz dönemlerinde bile -düşük de olsa- büyüme sürecini koruyan piyasa, artan ürün çeşitliliğiyle büyüme trendini devam ettirecek bir görünüme sahiptir. Özellikle Borsa İstanbul çatısı altında faaliyetlerini sürdürmeye başladığı 2013 yılından itibaren daha güven duyulan bir yapıya sahip olmuştur.

3. VADELİ İŞLEM VE OPSİYON PIYASASININ ÜLKEMİZDEKİ GELİŞİMİ (DEVELOPMENT OF THE FUTURES AND OPTIONS MARKET IN TURKEY)

Vadeli işlem ve opsiyon sözleşmelerinin faaliyet göstereceği bir borsanın oluşturulması çalışmaları 1980'li yılların sonlarına dayanmaktadır. Bunun devamında 1990'lı yıllarda ve 2000'lerin başında yapılan çeşitli çalışmalar sonrasında da Vadeli İşlem ve Opsiyon Borsası 4 Şubat 2005 tarihinde İzmir'de faaliyete geçmiştir (Karan, 2007:6). 2013 yılına kadar Vadeli İşlem ve Opsiyon Borsası olarak faaliyetine devam eden borsa, İMKB'nin Borsa İstanbul olarak dönüştürülmesinin ardından oluşturulan Vadeli İşlem ve Opsiyon Piyasası ile 5 Ağustos 2013 tarihinde birleştirilmiş ve faaliyetlerine Borsa İstanbul çatısı altında devam etmiştir. (http://www.borsaistanbul.com/data/kilavuzlar/VIOP_pay_vadeli_islem_ve_opsiyon_sozlesmeleri.pdf, Kaynak Erişim: 15.06.2017).

3.1. Vadeli İşlem ve Opsiyon Piyasası (Futures and Option Market)

Piyasaları spot ve vadeli piyasalar olarak ikiye ayırmak mümkündür. Spot piyasalarda işleme konu mal veya kıymet işlem yapıldığı an el değiştirirken vadeli piyasalarda belirli bir vade söz konusudur ve ileriki bir tarihte bu değişim yapılmak üzere anlaşma yapılmaktadır. Serbest piyasa ekonomilerde meydana gelen sürekli

dalgalanmalar göz önüne alındığında, vadeli işlem ve opsiyon piyasalarının bu dalgalanmalar karşısında daha avantajlı olduğundan bahsedilebilir. Organize bir borsa olarak veya organize bir borsa içerisinde faaliyet gösteren vadeli işlem ve opsiyon piyasaları yatırımcılara fırsatları daha erken fark edebilmelerine imkan sağlamasıyla, borsa mekanizmasının daha verimli çalışmasına imkan sağlamaktadır (Zügül ve Gezer, 2007:9). Vadeli işlem ve opsiyon piyasası borsa tarafından güvence altına alınmıştır. Bu nedenle tarafların birbirlerini tanımaları veya birbirlerine güvenmelerine gerek duyulmamaktadır (Büyükdag, 2015:5). Bu piyasaların iki temel unsuru bulunmaktadır. Bunlardan ilki organize borsa ikincisi ise takas merkezi. Vadeli işlem sözleşmeleri ve opsiyon sözleşmeler bir organize borsa çatısı altında işlem görmektedirler. Öte yandan takas merkezi ise borsada işlem gören sözleşmelerin takasını gerçekleştirmekte bu sözleşmeleri garanti altına almaktadır (Bilgin, 2011: 12).

Bu piyasalarda işlem yapan katılımcılar üç gruba ayrılmaktadır;

- **Riskten Korunmak İsteyenler:** Gelecekteki faz, kur ve fiyat dalgalanmalarından kaynaklanabilecek kayıplara karşı korunmak isteyenler (Özdemir, 2012:17).
- **Spekülatörler:** Piyasadaki fiyat hareketlerini doğru tahmin ederek, bu tahminler ile kar elde etmeyi amaçlayan kişilerdir (Cesur, 2016:301)
- **Arbitrajcular:** Arbitraj işlemi, aynı nitelikteki bir malı ucuz olan piyasada alıp, aradaki fiyat farklarından faydalanarak fiyatı yüksek olan piyasada satma işlemidir (Bilgin, 2011:9)

3.2. Vadeli İşlem Sözleşmeleri (Futures Contracts)

Vadeli işlem sözleşmeler, belirli bir miktar ve kalitedeki malın, ileriki bir tarihte, taraflara uzlaşılan fiyattan satın alma veya satma yükümlülüğü oluşturan sözleşmelerdir. Burada sözleşmelerin standartları ve kaliteleri borsa tarafından belirlenmektedir (Büyükdag, 2015:4). Bu sözleşmeler fiyatı olan her varlık veya gösterge üzerine düzenlenebilmekle birlikte, genel olarak finansal ve ekonomik gösterge, kıymetli maden, döviz gibi varlıklar üzerine düzenlenmektedir (Bilgin, 2011:4). Vadeli işlem sözleşmelerinde yer alması gereken dört temel unsur bulunmaktadır. Bunlar; nitelik, fiyat, miktar ve vade. Bu unsurlar borsada işlem gören sözleşmelerde standardize edilmiştir.

(Kaynak:http://www.borsaistanbul.com/data/kilavuzlar/VIOP_Tanitim_Kita pcigi_Vadeli_Islem_Sozlesmeleri.pdf, Erişim: 20.06.2017)

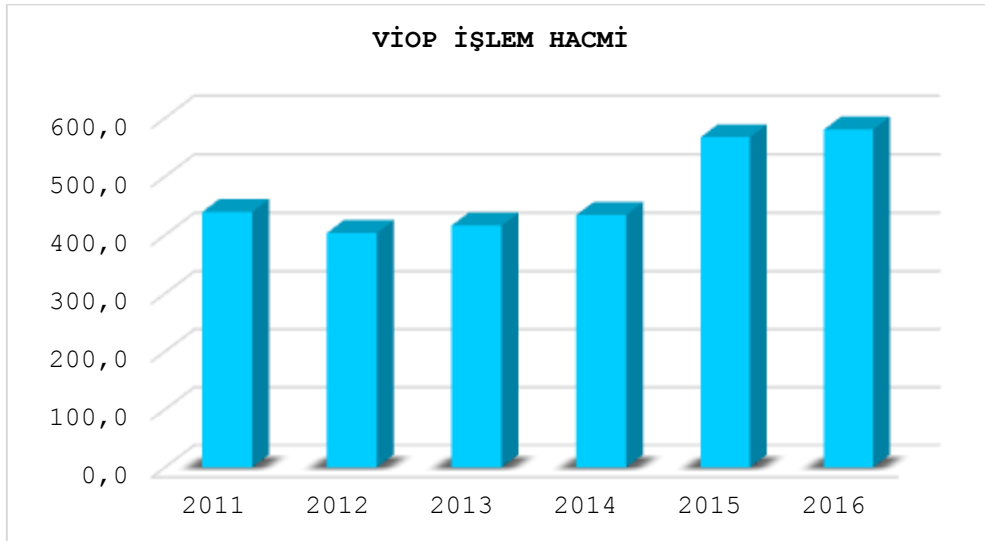
3.3. Opsiyon Sözleşmeleri (Option Contracts)

Bu sözleşmelerde de vadeli işlem sözleşmelerinde olduğu gibi gelecekte gerçekleşecek bir işlem söz konusudur. Ancak vadeli işlem sözleşmelerinde farklı olarak, taraflardan birine sağlanan bir opsiyon söz konusudur. Alıcıya veya satıcıya tanınan bu opsiyon, sözleşmeye konu varlığı taraflara, belirlenen ileriki bir vadede veya bu vadeden önce satma veya satın alma hakkı tanımaktadır. Alım veya satım opsiyonu olarak iki şekilde düzenlenen bu sözleşmelerde alıcı olan taraf sözleşmeye konu varlığı alıp almama konusunda serbesttir ancak bu serbestlik satıcı açısından geçerli değildir. Diğer bir ifade ile alıcı olan taraf malı almak istediğinde satıcı bu malı satmaya mecburdur ancak satıcı olan taraf bu malı satmak istediğinde alıcı almak zorunda değildir. Burada satıcının aleyhine haksız bir uygulama gibi görünmesine karşın, alıcının malı almayı reddetmesi durumunda,

sözleşme yapıldığı sırada alıcı tarafından ödenen kontrat primini kaybetmiş olur (Cesur, 2016:304)

3.4. Vadeli İşlem ve Opsiyon Piyasası İşlem Hacmi ile GSMH Büyüme Rakamlarının Karşılaştırılması (Futures and Options Market with Trading Volume Comparing GSMH Growth Figures)

2016 yıl sonu itibariyle VİOP işlem hacmi 2015 yılına oranla yaklaşık %2 artışla 580.6 milyar TL olarak gerçekleşmiş bulunmaktadır. Bilindiği üzere 2013 yılın Vadeli İşlem ve Opsiyon Borsası, Borsa İstanbul çatısı altında yer alan VİOP ile birleşmiş olup, bu yıl önceki yıla oranla yaklaşık %3 artış ile 416.6 milyar TL olarak gerçekleşmiştir.



(Kaynak:<http://www.borsaistanbul.com/veriler/verileralt/vadeli-islem-ve-opsiyon-piyasasi>, Erişim: 20.06.2017)

Grafikte görüleceği üzere en büyük büyüme oranı 2015 yılında %30.6 olarak gerçekleşmiş bulunmaktadır. Aynı yılın GSYH büyüme oranı %4.0 olarak gerçekleşmiştir. Bu büyümenin ülke büyüme oranlarının etkisinin yanında, BİST çatısı altında faaliyetini sürdüren VİOP'un kurumsal dinamiklerinin oturmasının etkisi ve İstanbul'da yer alan BİST'in imkanlarının etkisinden söz edilebilir.

4. SONUÇ (RESULT)

Yatırım, arbitraj ve risklerden korunma gibi amaçlarla işlem yapılan vadeli işlem ve opsiyon borsaları/piyasaları özellikle son yıllarda önemli işlem hacimlerine ulaşmıştır. Türkiye'de de borsada alternatif bir piyasa olarak yatırımcılara birçok seçenek sunan VİOP sürekli bir büyüme sürecine girmiştir. Küresel ekonomik kriz dönemlerinde bile -düşük de olsa- büyüme sürecini koruyan piyasa, artan ürün çeşitliliğiyle büyüme trendini devam ettirecek bir görünüme sahiptir. Özellikle Borsa İstanbul çatısı altında faaliyetlerini sürdürmeye başladığı 2013 yılından itibaren daha güven duyulan bir yapıya sahip olmuştur. Bu süreçte yabancı yatırımcı sayısının arttığı yıllarda çok büyük bir büyüme ivmesi yakalamıştır. Yatırımcılar açısından gelecekteki risklerden (döviz kuru dalgalanmaları v.b.) korunma sağlayan piyasa ülkenin ekonomik büyümesine pozitif katkı sağlayacak bir potansiyele sahiptir.



KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Bilgin, U.G., (2011). Vadeli İşlem Piyasalarında Arbitraj Ve Vadeli İşlem Ve Opsiyon Borsası (Vob) İçin Bir Araştırma. Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Büyükdağ, B., (2015). İMKB 100 Endeks Vadeli İşlem Sözleşmesi'nin Etkinliğinin Test Edilmesi. Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Antalya.
- Cesur, A., (2016). Vadeli İşlem Piyasaları, Piyasaların Kısa Tarihi ve İşleyişlerinin İncelenmesi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Van.
- http://www.borsaistanbul.com/data/kilavuzlar/VIOP_pay_vadeli_islem_ve_opsiyon_sozlesmeleri.pdf, Kaynak Erişim: 15.06.2017.
- http://www.borsaistanbul.com/data/kilavuzlar/VIOP_Tanitim_Kitapcigi_Vadeli_Islem_Sozlesmeleri.pdf Kaynak Erişim: 20.06.2017.
- <http://www.borsaistanbul.com/veriler/verileralt/vadeli-islem-ve-opsiyon-piyasasi>, Kaynak Erişim: 20.06.2017).
- Karan, C., (2007). Türkiye'de Döviz Dayalı Vadeli İşlem Sözleşmeleri Takası ve Uygulaması, Marmara Üniversitesi Bankacılık ve Sigortacılık Enstitüsü Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul,
- Özdemir, A., (2012). Vadeli İşlemler Borsası Ve Türkiye'de Vadeli İşlem Döviz Kontratları. İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Zügül, M. ve Akbulayev, N., (2007). Menkul Kıymetler Borsası İle Vadeli İşlem ve Opsiyon Borsasının Karşılaştırılması. Uluslararası Hakemli Sosyal Bilimler E-Dergisi, İstanbul.



Fatih Kılılı
Büşra Nur Ekinci

Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Kahramanmaraş-Turkey
fatihkilli.oglu@gmail.com

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.4A1PB>

**EVALUATION OF SEED AND OIL YIELD WITH SOME YIELD COMPONENTS OF SOYBEAN
VARIETIES IN KAHRAMANMARAS (TURKEY) CONDITIONS**

ABSTRACT

Soybeans are a global commodity used as feed for livestock, as a source of protein and oil for people, and in the industrial manufacturing of thousands of products. This research was conducted to determine the seed and oil yield with some yield components of soybean (*Glycine max* L. Merr.) varieties in Kahramanmaraş (Turkey) conditions using a randomized complete block design with four replications in 2016. In the study, Umut, Arısoy, Türksöy, Cinsoy, Çetinbey, Ataem-7, Nova, Atakişi, May 53/12, May 54/14 and Sa-88 soybean varieties were used as the plant material. These eleven soybean varieties were evaluated for plant height, number of branches per plant, first pod height, number of pods per plant, 1000-seed weight, crude oil and protein percent and seed yield. The results showed that plant height, number of branches per plant, first pod height, number of pods per plant, 1000-seed weight, crude oil and protein percent and seed yield for eleven soybean cultivars ranged between 71.27-86.50cm, 1.22-2.80, 9.17-14.76cm, 41.50-51.77, 123.88-180.35g, 18.00-21.86%, 35.24-39.12% and 1718.8-3279.8kg^{ha}⁻¹, respectively. The highest seed yield (3279.8kg^{ha}⁻¹), oil (21.86%) and protein (39.12%) content were obtained from the varieties Arısoy, May 53/12 and Sa-88, respectively.

Keywords: Soybean, Seed Yield, Crude Oil and Protein Percent, Broad Bean, Kahramanmaraş

1. INTRODUCTION

Soybean (*Glycine max*. (L.) Merr.) is the most important legume crop and is one of the most important industrial plants in Turkey. Soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] seed contains 21% oil, 40% protein, 34% carbohydrates and 5% ash on a dry matter basis (Güllüoğlu et al., 2016). Various studies have been conducted to evaluate the agronomic performances of commercially available soybean cultivars in different areas of Turkey and other countries (Arioğlu et al., 2015; Şenyiğit et al., 2015; Mert ve İlker, 2016; Lyimo et al., 2017). A study was conducted in Cukurova (Turkey) conditions in order to determine potential soybean cultivars by Arioglu et al. (2015). They reported that the highest seed yield per hectare (4982-5377 kg) were obtained from Atakisi and Arısoy varieties. The experiment was laid out with eleven advanced soybean lines and four different cultivars by Şenyiğit et al. (2015). It was determined that the differences among all the soybean cultivars were statistically significant for plant height, number of pods per plant, 1000 seed weight, oil and protein content and seed yield. These studies suggested that the cultivars showed wide differences in their agronomic characteristics and seed yield.



2. RESEARCH SIGNIFICANCE

Oilseed crops growing have always been an important subject in Turkey agriculture. Turkey, in 2014 the realized crude vegetable oil production around 1.5 million tones, but the total crude oil supply in the market has been around 3 million tons. The highest crude oil supply in Turkey is seen in sunflower and palm oil. Approximately 75% of the total supply of crude oil are provided from abroad (crude oil imports directly and domestic crude oil production from imported oilseeds) (Killi and Tekeli, 2016). In order to increase our production of vegetable oil, it should be utilize from our different ecological areas. In this context, to establish field experiment with different varieties in different regions has a vital importance. Soybean (*Glycine max.* (L.) Merr.) is an important oilseed crops that can be used for many different purposes. The objective of this study was to evaluate the new soybean genotypes for their agronomic performance. The study specifically aimed at determining the differences between genotypes in terms of their yield and yield components.

3. EXPERIMENTAL METHOD-PROCESS

Eleven soybean cultivars (Umut, Arısoy, Türksoy, Cinsoy, Çetinbey, Ataem-7, Nova, Atakişi, May 53/12, May 54/14 and Sa-88) were used plant material. These eleven soybean varieties were sown at 15 May in 2016 at the Agricultural Research Institute of Kahramanmaraş province, Turkey. Kahramanmaraş province is located in the East-Mediterranean region of Turkey between 37° 36' north parallel and 46° 56' east meridians. The studies were established on alluvial clay loam with the following mean properties; pH=7.5, organic matter=1.7%, N=0.05%, CaCO₃=19.8%, available P=51.5kg ha⁻¹, and available K=73kg ha⁻¹. Based on soil test conducted in test year, nitrogen and phosphorus at the rate of 60kgN and P₂O₅ ha⁻¹ were applied, respectively. Cultural practices, control of insects and weeds and furrow irrigation were given as needed during the growth season according to the local recommendations. All other receded production practices were followed. The trials were conducted using a randomized complete block design with four replications. Each plot consisted of four rows 5m in length with 50cm between rows and 5cm plant spacing. Individual plots were spaced 2.0m apart. The soybean seeds were sown by drill. Ten randomly tagged plants from each plot were evaluated number of branches per plant, first pod height, number of pods per plant, 1000-seed weight, crude oil and protein percent. Seed yield were obtained from an area 1.0m wide and 4m long of the center two rows of each plot. Seed samples were collected from each plots and ground with an electric coffee mill. A small portion of ground seeds (5g) was transferred to a disposable filter column and seed oil content was determined by the Soxhlet apparatus. In the experiment, soybean cultivars were harvested 5th August by hands. All data were analyzed using the SAS statistical software. Significant differences among mean values were compared by protected least significant difference (Protected LSD, P<0.05).

4. RESULTS AND DISCUSSION

As a result of variance analyses, highly significant cultivar effects were noted on plant height, number of branches per plant, first pod height, number of pods per plant, 1000-seed weight, seed oil content and seed yield except protein content (Table 1).



Table 1. The result of analyses of variance, showing cultivar effects on investigated characteristics

Source	Df	PH	NBP	FPH	NPP	TSW	OC	PC	SY
Cultivar	10	6.67**	14.71**	9.89**	5.12**	6.80**	2.79*	0.56	15.01**
PH: Plant Height BNP: Number of Branches Per Plant FPH: First Pod Height PNP: Number of Pods Per Plant TSW: 1000-seed Weight					OC: Oil Content PC: Protein Content SY: Seed Yield *, P<0.05 **, P<0.01				

According to varieties (Table 2), significant differences in plant height values were found ($p<0.01$). The comparison of the plant height values of eleven soybean varieties shows that Cinsoy and Turksoy present the higher plant height values while May 54-14 presents the lower value. Soybean plant height values of the eleven varieties ranged from 71.26cm (May 54-14) to 86.50cm (Cinsoy). The observed values plant height was close to those reported by (Şenyiğit et al., 2015). The cultivar Atakisi had the highest number of branches per plant while the two cultivars (Turksoy and Ataem-7) had similar and the lowest. The number of branches per plant is an important characteristic affecting to number of pods per plant directly. In the present study, number of branches per plant of 1.22-2.80 was similar to those obtained previously Arıoğlu et al. (2015). Cinsoy and Atakisi cultivars had the highest first pod height while the cultivar Umut had the lowest. Soybean first pod height values of the eleven varieties ranged from 9.17cm to 14.71cm. The first pod height is an important characteristic for machine harvesting in soybean cultivation. The three cultivars Umut, Arisoy and Sa-88 had similar number of pods per plant (51.76, 51.00 and 51.53, respectively). Previous literature reported number of pods per plant of 51-80 (Şenyiğit et al., 2015), 43-56 (Arıoğlu et al., 2015), 36-48 (Mert ve İlker, 2016), 25-58 (Lyimo et al., 2017) and 15-21 (Khaim et al., 2013). Number of pods per plant of soybean varieties ranged from 41.50 to 51.76 was similar previous literature mentioned above (Arıoğlu et al., 2015; Mert ve İlker, 2016; Lyimo et al., 2017).

Table 2. Mean values of plant height, number of branches per plant, first pod height, number of pods per plant

Cultivars	Plant Height (cm)	Number of Branches Per Plant	First Pod Height (cm)	Number of Pods Per Plant
Umut	79.56 bcd	2.32 b	9.17 e	51.76 a
Arisoy	82.87 abc	1.80 cd	11.59 cd	51.00 a
Turksoy	85.93 ab	1.22 e	13.71 ab	45.26 bc
Cinsoy	86.50 a	1.55 de	14.76 a	46.07 abc
Cetinbey	78.80 cd	1.83 cd	13.19 abc	41.70 c
Ataem-7	83.90 abc	1.30 e	13.36 ab	41.50 c
Nova	84.40 abc	1.70 d	12.08 bcd	43.86 bc
Atakisi	79.67 bcd	2.80 a	14.71 a	43.23 c
May 53-12	74.30 de	1.86 cd	13.46 ab	49.30 ab
Sa-88	73.66 de	2.10 bc	12.04 bcd	51.53 a
May 54-14	71.26 e	1.70 d	10.70 de	42.23 c
Mean values in the same column without a common letter are significantly different ($P<0.05$) according to the Duncan multiple range test.				



Table 3. Mean values of 1000-seed weight, oil and protein content, seed yield

Cultivars	1000-seed weight, (g)	Oil content (%)	Protein content (%)	Seed yield (kg ha ⁻¹)
Umut	150.00 b	18.00 d	37.36 a	171.88 f
Arisoy	130.45 bcd	21.30 ab	37.38 a	327.98 a
Türksoy	130.27 bcd	20.72 abc	35.24 a	243.21 de
Cinsoy	147.00 bc	19.69 abcd	38.11 a	245.71 de
Çetinbey	180.35 a	18.94 bcd	37.58 a	289.70 bc
Ataem-7	140.11 bcd	18.56 cd	38.06 a	257.26 cde
Nova	127.42 cd	18.62 cd	38.61 a	266.95 cde
Atakişi	127.42 cd	19.69 abcd	37.36 a	278.92 cd
May 53-12	126.89 cd	21.86 a	36.12 a	285.65 bc
Sa-88	123.88 d	19.83 abcd	39.12 a	234.04 e
May 54-14	150.37 b	20.46 abc	36.16 a	315.00 ab

Mean values in the same column without a common letter are significantly different (P<0.05) according to the Duncan multiple range test.

In Table 3, among the cultivars, significant differences in thousand seed weight were observed ($p<0.01$). Cultivar Cetinbey had the highest thousand seed weight while the cultivar Sa-88 had the lowest. In studies related with soybean, different results of thousand seed weight values have been reported by the researchers. Şenyiğit et al. (2015), Mert ve İlker (2016), Lyimo et al. (2017), Khaim et al. (2013) and Arıoğlu et al. (2015) reported thousand seed weight of 175-224g, 106-144g, 112-144g, 102-126g, 160-190g, respectively. The cultivar May 53-12 had the highest oil content, while Umut cultivar had the lowest. Soybean oil content values of the eleven varieties ranged from 18.00 to 21.86%. High oil content is an important characteristic and it can be affected by factors such as cultivar, growing conditions and plant nutrition. Popovic et al., 2012 reported that yield grain, protein and oil content in soybean seed are determinate by genetic and environmental factors. Significant differences were not observed among the cultivars for protein content (Table 3). In the present study, protein content ranged from 35.27-39.12%. There is a strong negative correlation between oil and protein content (Popovic et al., 2013). The differences for seed yield of soybean cultivars were statistically significant (Table 3). Seed yield of Arisoy cultivar were significantly higher than those of the other ten cultivars. Umut cultivar was shown to have the lowest value of seed yield. In the present study, seed yield of 171.88-327.98kg ha^{-1} were similar to those obtained previously in Turkey (Tayyar and Gül, 2007; Kınacı and Öztürk, 2015) but lower than those reported by some other authors. Previous literature reported seed yield of 2820-5370kg ha^{-1} (Şenyiğit et al. 2015; Mert ve İlker, 2016; Arıoğlu et al. 2015). The high variations in yield values can be due to environmental conditions or to the genetic potential for seed and oil yield of the tested cultivars. Significant differences were found between cultivars for seed yield and seed oil content, as already reported by Khaim et al. (2013) and Lyimo et al. (2017). High yielding cultivars Arisoy was shown to have the high number of pod per plant, plant height, oil and protein content. Tayyar ve Gül (2007) reported that seed yield of soybean plant was directly affected by plant height and pod number per plant. Arıoğlu et al. (2015) and Lyimo et al. (2017) reported that three important selection criterias affected on seed yield were number of pod per plant, number of seed per pod and seed weight.



5. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

In the present study, which was conducted under the conditions of Kahramanmaraş (Turkey) province to determine the performance of 11 soybean cultivars, demonstrated that all investigated characteristics except protein content were significantly affected by cultivar. Among the tested cultivars, seed yield of 171.88-327.98kg^{ha}⁻¹ and oil content of 18.00 to 21.86% and protein content of 35.27-39.12% were changed and the highest seed yield, oil and protein content were obtained from cultivar Arisoy, but Umut gave the lowest. The results obtained in the study suggest that genotype, environmental factors and cultivation techniques had influence on the variation among cultivars for seed yield and yield components. In conclusion, in this study, which was conducted to demonstrate the performance of 11 soybean cultivars, the cultivar Arisoy were shown to have the highest seed and oil content.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors would like to thanks to the Kahramanmaraş Sütçü İmam University (KSU), and also thanks to the coordination unit for scientific research projects for the financial supports.

REFERENCES

- Arıoğlu, H., Bakal, H., Güllüoğlu, L., Kurt, C., Sinan, S., and Onat, B., (2015). Ana Ürün Koşullarında Yetiştirilen Bazı Soya Çeşitlerinin Önemli Agronomik Ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. 11. Tarla Bitkileri Kongresi, 7-10 Eylül 2015, Çanakkale, 358-362 (in Turkish).
- Khaim, S., Chowdhury, M.A.H., and Saha, B.K., (2013). Organic and Inorganic Fertilization on the Yield and Quality of Soybean. J. Bangladesh Agri. Univ. 11(1): 23-28.
- Kınacı, M. and Öztürk, Ö., (2015). Çanakkale Koşullarında Soya Çeşitlerinin Verim ve Bazı Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. 11. Tarla Bitkileri Kongresi, 7-10 Eylül 2015, Çanakkale, 363-366 (in Turkish).
- Killi, F. and Tekeli, F., (2016). Seed Yield and some Yield Components of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Genotypes in Kahramanmaraş (Turkey) Conditions. Journal of Scientific and Engineering Research, 3(4):346-349.
- Lyimo, L.D., Tamba, M.R., and Madege, R.R., (2017). Effects of Genotype on Yield and Yield Component of Soybean (*Glycine max* (L) Merr.). African Journal of Agricultural Research, 12(22): 1930-1939.
- Mert, M. and İlker, E., (2016). Ana Ürün Koşullarında Bazı Soya (*Glycine max* (L.) Merrill) Hat ve Çeşitlerinin Aksaray Bölgesine Adaptasyonu Üzerine Çalışmalar. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 25(2):176-181 (in Turkish).
- Popovic, V., Vidic, M., Jockovic, D., Ikanovic, J., Jaksic, S., and Cvijanovic, G., (2012). Variability and Correlations between Yield Components of Soybean [*Glycine Max* (L.) Merr.]. Genetics Belgrade Serbia, 44(1):33-45.
- Popovic, V., Miladinovic, J., Tatic, M., Djekic, V., Dozet, G., Đukić, V., and Grahovac, N., (2013). Stability of Soybean Yield and Quality Components. Afr. J. Agric. Res. 8:5651-5658.
- Şenyiğit, E., Sincik, M., Bayram, G., Demir, E., Dinç, A., and Göksoy, A.T., (2015). İleri Generasyon Soya Hatlarının Bursa Ekolojik Koşullarında Bazı Verim ve Kalite Özelliklerinin



Belirlenmesi. 11. Tarla Bitkileri Kongresi, 7-10 Eylül 2015, Çanakkale, 367-370 (in Turkish).

- Tayyar, Ş. and Gül, M.K., (2007). Bazı Soya Fasuyesi (*Glycine max*(L.) Merr.) Genotiplerinin Ana Ürün Olarak Biga Şartlarındaki Performansları Üzerine Bir Araştırma. Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi (J. Agric. Sci.), 17(2):55-59 (in Turkish).
- Güllüoğlu, L., Bakal, H., and Arıoğlu, H., (2016). The Effects of Twin-row Planting Pattern and Plant Population on Seed Yield Components of Soybean at Late Double-Cropped Planting in Çukurova Region. Turk J. Field Crops, 21(1), 59-65.



Gülay Zülkadir, Leyla İdikut, Mustafa Çölkesen

Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Kahramanmaraş-Turkey

gulayzulkadir@ksu.edu.tr; lcesurer@ksu.edu.tr; colkesen@ksu.edu.tr

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.4A3PB>

**FARKLI EKİM ZAMANLARININ KİNOA (*Chenopodium quinoa*) BİTKİSİNİN
KALİTE ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

ÖZ

Kinoa (*Chenopodium quinoa* W.) bitkisinin tohumları, besin kalitesi ve yüksek lif içeriğiyle açısından sağlıklı bir gıda ürünü olarak kullanılmaktadır. Ayrıca yetiştiriciliğinin kolay olması ve stres faktörlerine karşı toleranslı olması bakımından çiftçiler için alternatif bir bitki olarak yer almaya başlamıştır. Kinoa bitkisinin agronomik ve kalite özellikleri üzerine ekim zamanının etkilerinin belirlenmesi amacıyla, Q-52 kinoa çeşidine 2016 yılı Kahramanmaraş koşullarında iki farklı ekim zamanı uygulanmıştır. Deneme, tesadüf parselleri deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Denemede generatif döneme geçiş süresi (gün), dane dolum süresi (gün), bitki ağırlığı (g/bitki), salkım ağırlığı (g), salkımda tane ağırlığı (g), 100 tane ağırlığı (g), tanede nişasta oranı (%), protein oranı (%) ve yağ oranı (%) gibi özellikler incelenmiştir. Ekim zamanları arasındaki farklılıkların incelenen özelliklerden dane dolum süresi (-6.36), generatif döneme geçiş süresi (-4.24), salkımda tane ağırlığı (-3.64) ve nişasta oranı (-3.17) özellikleri yönünden istatistikî olarak negatif ve önemli olduğu kaydedilmiştir. Diğer özelliklerin ekim zamanı yönünden gözlemlenen farklılıklar ise istatistikî açıdan önemsiz bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kinoa, Ekim Zamanı, Kalite Özellikleri, Besin Kalitesi, Kahramanmaraş

**THE INVESTIGATION OF EFFECTS ON QUALITY CHARACTERISTICS OF THE QUINO
(*Chenopodium quinoa*) PLANT OF DIFFERENT SOWING TIMES**

ABSTRACT

The seeds of the kinoa (*Chenopodium quinoa* W.) plant is used as a healthy food product, in terms of food quality and high fiber content. Also, it has begun to take place as an alternative plant for farmers because it is easy to grow and tolerates stress factors. In order to determine the effects of sowing time on the agronomic and quality characteristics of the kinoa plant, two different sowing times were applied to Q-52 kinoa variety in the conditions of Kahramanmaraş in 2016. The experiment was carried out in three replications according to the design of randomized parcels. The properties were examined as generation turnaround time (days), grain filling time (days), plant weight (g/plant), bunch weight (g), grain weight in bunch (g), the weight of 100 grain (g), starch ratio in the grain (%), protein ratio in the grain (%) and fat ratio in the grain (%) at the trial. The differences between the sowing times were statistically negative and significant in terms of the characteristics of the grain filling time (-6.36), generation turnaround time (-4.24), grain weight in bunch (-3.64) and starch ratio in the grain (-3.17). Differences observed other features in terms of sowing time are statistically insignificant.

Keywords: Kinoa, Sowing Time, Quality Features, Food Quality, Kahramanmaraş



1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), Kazayağıgiller (Amaranthaceae/Chenopodiaceae) familyasına ait, tek yıllık ve çift çenekli bir bitki olup [1], dünya çapında yaklaşık olarak 250 türü olduğu bilinmektedir [2]. Kinoa bitkisinin kültür formlarıyla yabani akrabalarının (*Chenopodium carnosolum*, *C. petiolare*, *C. pallidicaule*, *C. hircinum*, *C. quinoa* subsp. *melanospermum* ve *C. ambrosoides incisum*) birlikte kullanımlarda yüksek çeşitlilik ve değişkenlik göstermektedir [3 ve 4]. Bitkinin çeşidine göre iklim, toprak yapısı ve bakım işlemleri oldukça önem arz etmektedir. Bitkinin yetiştirileceği ekoloji bitkide büyüme ve gelişmeyi doğrudan etkileyerek elde edilecek ürünün miktarı ve kalitesinin belirlenmesini sağlamaktadır. Diğer bir ifadeyle, genotipler farklı çevre koşulları altında farklılıklar göstermekle birlikte toplam büyüme periyodunda da farklılıklar gözlenmektedir. Örneğin; toplam yetiştirme süresi, Avrupa koşullarında 126-157 gün [5]; Peru'da 131-200 gün [6] ve Güney Amerika'da 110-190 gün [7] olarak değişmiştir. Kinoa yetiştiriciliğinde de verimi yüksek, kaliteli ürün elde edebilmek için vejetasyon süresine göre çeşit seçimi ile teknik ve fizyolojik olgunluğa sağlıklı bir şekilde ulaşabileceği en uygun ekim zamanının belirlenmesi oldukça önemlidir [8]. Genellikle düşük sıcaklık, yüksek oransal nem ve kısa süreli güneşlenme bitkiler üzerine olumsuz etkisi olmakla birlikte bu durum kinoa'da biraz farklıdır. Kinoa genellikle kış sonu toprak sıcaklığı 8 °C olduğunda ve ekimden sonra don yaşanmayacak bir tarihte (yağmurlu mevsim başlangıcı) ekilen [8], genellikle fakültatif kısa gün bitkisidir [9]. Optimum yetiştirme sıcaklığı genellikle 8-35°C olarak bilinmekle birlikte çiçeklenme döneminde sıcaklığın 28°C ve üzerinde olması tane verimini önemli ölçüde etkilemektedir [10]. Özellikle de tomurcuklanma ve çiçeklenme dönemlerinde 12 saatten fazla süren fotoperiyotta önemli ölçüde etkilenmektedir [11].

Kinoa yetiştiriciliğinde verim ve kalitenin maksimum düzeye çıkarmak için de gelişim periyodunda bitkinin istekleriyle çevre koşullarının uygunluğunu sağlamak en uygun ekim zamanının belirlenmesiyle sağlanabilecektir. Luo [12] çalışmasında kinoa bitkisinin ekim zamanının, çiçeklenme döneminin aşırı sıcak döneme gelmeyecek şekilde ayarlanması gerektiğini aksi taktirde verimin büyük ölçüde düşeceğini bildirmiştir. Etchevers ve Avila, [10] çalışmalarında, kinoa'nın Şili koşullarında en uygun ekim zamanını belirlemek amacıyla Eylül, Ekim ve Kasım aylarında ekim yapmış, o bölgede kış mevsiminin son dönemine denk gelen Eylül ayının yağmur mevsimi olması ve uygun fotoperiyodizm nedeniyle Ekim ayına nazaran daha yüksek tane verimi elde etmişler, Kasım ayında ki ekimde de çiçeklenme dönemine denk gelmesinden dolayı tane veriminin çok düştüğünü belirlemişlerdir. Jacobsen ve Stolen [13] çalışmalarında Danimarka ekolojik koşullarında en uygun ekim tarihinin Nisan ayı; Aguilar ve Jacobsen [14], Peru Altiplano da en uygun ekim zamanının Ekim-Kasım aylarında; Kaya [15], Çukurova ekolojik koşullarında en uygun kinoa ekim zamanını Nisan ayı; Geren ve ark. [8] Türkiye'nin Ege bölgesinde en uygun kinoa ekim tarihini Nisan ayının ilk yarısı; Hirich ve ark. [16] Fas ekolojik koşullarında en yüksek verimi Kasım ayında; Szilagyi ve Jornsgard [17] Romanya ekolojik koşullarında ekim tarihini Mayıs ayı; Tsegay ve ark. [18] çalışmalarında Etiyopya'nın Tigray bölgesinde en uygun ekim zamanının 16-20 Temmuz arasında olduğunu bildirmişlerdir. Dawit ve Andnew [19] ise çalışmalarında Etiyopya ekolojik koşullarında erken ekim yapıldığı zaman bitkilerin pas hastalığından etkilenme oranını %18-33 düştüğünü bildirmişlerdir. Juraimi ve ark. [20] çalışmalarında Etiyopya'nın Tigray bölgesinin



ekolojik koşullarında kinoanın bu bölgeye en uygun ekim zamanını belirlemek için Temmuzun ikinci haftasından itibaren 7 ve 15 gün aralıklarla ekim yapmışlar ve erken ekimde %60-68 verim artışı olduğunu, geç ekimlerde %34-35 oranında biyokütle üretiminde azalma olduğunu ortaya koymuşlardır. Aynı zamanda erken ekimde bitki boyunda ve salkım uzunluğunda gözle görülür bir artış sağladıklarını, erken ekimde yabancı ot istilasının da daha az olduğunu bildirmişlerdir. Pulvento ve ark. [21] çalışmalarında İtalya'nın güneyindeki bir bölgede en iyi ekim zamanının yağışların bol olduğu Nisan ayı olduğu sonucuna varmışlardır. Gonzalez ve ark. [22] Arjantin'in kuzey batısında ve And dağlarının olduğu bölgede kinoa ekimini Eylül ayında yapmışlardır. Munir [23], Pakistan koşullarında en yüksek tane verimini Aralık ayındaki ekimden elde ettiğini bildirmiştir. Shams [24] Giza-Mısır ekolojik koşullarında en yüksek tane verimini (125kg/da) 15 Kasım 40x15cm ekiminden elde ettiğini bildirmiştir. Bannayan ve ark. [25] çalışmalarında İran'da 5 farklı ekolojik bölgede (Mashhad, Sabzevar, Birjand, Bojnourd ve Torbat-heydariye), 5 farklı ekim zamanında (23 Eylül, 7 Ekim, 22 Ekim, 6 Kasım ve 23 Kasım) kinoa bitkisinin verim ve verim unsurlarına olan etkisini incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre Sabzevar bölgesi hariç diğer tüm bölgelerde, en yüksek verim 23 Kasım'da yapılan ekimlerden elde ettiklerini bildirmişlerdir.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Kinoa bitkisinin tarımı ülkemizde yeni yapılmaya başlanmıştır. Bir bitkinin uygunluğunun tespiti bölgesel denemelerle belirlenir. Bu nedenle çalışmamızda ülkemizde bazı bölgelerde henüz yetiştiriciliği yapılan 'Q-52' kinoa çeşidinin Kahramanmaraş koşullarında farklı ekim zamanları uygulanarak, bitkisel ve kalite özelliklerinin, uygun ekim zamanının belirlenmesi bölgede kinoa tarımının aktif şekilde yapılmasına olanak sağlayacağı düşünülmektedir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

3.1. Materyal (Materiel)

Deneme 2016 yılında Kahramanmaraş Doğu Akdeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma İstasyonu'nda bulunan deneme alanında yürütülmüştür. Çalışmada bitkisel materyal olarak, Akdeniz iklim koşullarına iyi adapte olmuş "Q-52" isimli kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) çeşidi kullanılmıştır.

3.2. Metot (Method)

Toprak ekimden önce pullukla derin sürümü yapıldıktan sonra diskaro çekilerek ekime hazır hale getirilmiştir. Araştırma, tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Deneme 15 gün aralıkla 2 farklı ekim zamanı (25 Mart ve 8 Nisan tarihlerinde) uygulaması yapılmıştır. Ekimde sıra arası mesafe 70cm olacak şekilde (her parselde 4 sıra) el markörüyle açılan çizilere, dekara 1.2kg tohumluk hesabıyla [26], 1cm derinliğe elle ekilmiştir. Deneme toplam 2x3=6 parselden meydana gelmiş olup, parsel boyutları 5m x 2.8m = 14m² olarak belirlenmiştir. Mekanik karışmayı önlemek amacıyla parsel aralarına 1m, blok aralarına da 2m'lik yollar bırakılmıştır. Topraktaki besin maddesi miktarı da göz önüne alınarak; ekimden önce temel gübre olarak 5kg/da N, 6kg/da P₂O₅ ve 6kg/da K₂O verilmiştir. Ekimden sonra yaklaşık 35 gün sonra ikinci gübreleme olarak 3 kg/da N uygulanmıştır. İklim şartlarına bağlı olarak kinoa bitkisinin su ihtiyacına göre sulama yapılmıştır. Yabancı ot mücadelesi tarladaki yabancı ot durumuna göre elle yapılmıştır.

Bitkilerin yaprakları sararıp dökülmeye başladığı ve çiçek salkımlarının kuruduğu aşamada tane hasadına başlanmıştır. Tane hasadında, parsellerin başından ve sonundan birer sıra ile ortadaki iki sıranın da başlarından 50cm kenar tesiri bırakıldıktan sonra 5.6m²'lik net alandaki bitkiler hasat edilmiş ve bitkiler gölge bir ortamda kurutulmuştur. Kuruyan bitkiler tohum elle tanelenmiştir. Deneme yerinin (0-30cm derinlikteki) toprak yapısının, kumlu killi tınlı tekstürlü bünyeye sahip, pH durumu hafif alkalın özellikte (7.60), toprağın elektrik iletkenliği bakımından tuzsuz (1.65dSm⁻¹), fazla kireçli (%15.83), organik madde miktarının çok az (%0.73), fosforun yeterli miktarda (13.17mgkg⁻¹) olduğu belirlenmiştir. Araştırma yerine ait aylık ortalama hava sıcaklığı ve aylık toplam yağış değerleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Araştırmanın yapıldığı Kahramanmaraş ilindeki deneme sezonuna ait iklim değerleri

(Table 1. Climatic values of the trial season in Kahramanmaraş province where the survey was made)

Aylar	Yıllar	Maksimum Sıcaklık (°C)	Minimum Sıcaklık (°C)	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama Nispi Nem (%)	Toplam Yağış (mm)
Mart	2016	30.8	8.6	19.6	41.2	17.6
	Uzun Yıllar	21.2	9.9	15.5	57.7	72.7
Nisan	2016	35.5	9.7	20.6	47.9	16.5
	Uzun Yıllar	26.7	14.1	20.3	54.4	40.0
Mayıs	2016	41.3	14.0	27.0	40.3	17.9
	Uzun Yıllar	31.9	18.8	25.2	49.0	6.8
Haziran	2016	42.0	19.8	30.1	36.5	-
	Uzun Yıllar	35.6	22.1	28.4	50.5	1.0
Temmuz	2016	42.8	21.4	30.4	41.0	-
	Uzun Yıllar	36.0	22.2	28.5	51.9	0.9
Ağustos	2016	38.7	11.3	24.9	39.2	23.7
	Uzun Yıllar	32.4	18.4	25.2	49.2	8.9
Eylül	2016	32.5	9.2	20.9	40.1	10.7
	Uzun Yıllar	26.0	12.9	19.0	53.8	45.4

Tablo 1'de görüldüğü üzere 2016 yılına ait sıcaklık değerleri uzun yıllar ortalamasına ait değerlere kıyasla daha yüksek, ortalama nispi nem ve toplam yağış miktarları bakımından 2016 yılı verilerinin uzun yıllara ait verilerden daha düşük olduğu olmuştur. Ancak Mayıs ve Ağustos aylarına ait toplam yağış miktarının 2016 yılında, uzun yıllar ortalamasına göre daha yüksek olmuştur.

3.3. Çalışmada İncelenecek Özellikler (In the Study to be Examined Features)

- **Generatif Döneme Geçiş Süresi (Gün):** Ekimden itibaren parseldeki bitkilerin %50'sinin generatif organ oluşturduğu devre gün sayısı olarak belirlenmiştir.
- **Dane Dolum Süresi:** Bitkilerin çiçeklenmesinden itibaren dane dolumunun tamamlanıncaya kadar geçen süre gün olarak belirlenmiştir.
- **Bitki Ağırlığı (g):** Her parselden 10 bitki alınarak tartılmış ve elde edilen değerlerin ortalaması hesaplanmıştır.
- **Salkım Ağırlığı (g):** Her parselden 10 bitkinin salkımları alınıp tartılarak ortalama salkım ağırlığı hesaplanmıştır.



- **Salkımdaki Tane Ağırlığı (g):** Her parselden 10 bitkinin salkımları alınıp tanelendikten sonra tartılarak ortalama salkımda tane ağırlığı hesaplanmıştır.
 - **Yüz Tane Ağırlığı (g):** Yüz tohum içeren dört grubun ortalama ağırlığı belirlenecek ve sonuç on ile çarpılmıştır.
 - **Tanede Nişasta Oranı:** Her bir ekimden elde edilen taneler öğütülerek nişasta içeriği Ewers metodu ile belirlenmiştir.
 - **Tanede Protein Oranı (%):** Her bir parselden elde edilen tanelerde gerekli kurutma ve öğütme işlemleri yapıldıktan sonra Kjeldahl metodu ile %N miktarı tespit edilip bulunan değer 6.25 ile çarpılarak protein oranı belirlenmiştir.
 - **Tanede Yağ Oranı (%):** Her parselden elde edilen tohumlardan bir miktarı laboratuvar değirmeni ile ince olarak öğütülecek, elde edilen öğütülmüş materyalden 4 adet 5gr' lık numune alınarak 'Soxhelet' cihazında susuz eter ekstraksiyon yöntemi ile kuru madde üzerinden yüzde (%) olarak hesaplanmıştır.
- Araştırma sonunda elde edilen veriler t-test yöntemine göre SAS istatistik programı kullanılarak analiz edilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

Kahramanmaraş ili tipik Akdeniz ikliminin yaşandığı, yazların sıcak ve kurak, kışların ise ılık ve yağışlı seyrettiği bir bölgedir. Bu nedenle de ılık ve bol yağışlı yetiştiriciliği yapılan kinoa bitkisinin bu bölgeye çok iyi uyum sağladığı gözlenmiştir. Ancak kinoa bitkisinin ekim zamanının belirlenmesine yönelik bu çalışmada, kalite özelliklerinde farklılıklar gözlenmiştir. Kinoa bitkisinin birinci ve ikinci ekim zamanlarının bazı kalite özellikleri üzerine etkilerinin karşılaştırılması için t testi tablosu Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2 incelendiğinde kinoanın birinci ve ikinci ekim zamanlarının generatif dönem başlangıcı sürelerini karşılaştırılması için yapılan t testi sonrasında, ekim zamanlarının generatif dönem başlangıcı süreleri üzerine etkilerinin birbirinden farklı olduğu ve bu farklılığın negatif önemli olduğu bulunmuştur ($t_{0.05;4}=-4.24$). Buna göre ikinci ekim zamanında generatif dönem başlangıcının ($\bar{X}=19.67$) birinci ekim zamanının generatif döneme geçiş süresinden ($\bar{X}=17.67$) daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

İki farklı ekim zamanının uygulandığı kinoa bitkisinde birinci ve ikinci ekim zamanının dane dolum sürelerinin karşılaştırılması için yapılan t testi sonucuna göre ekim zamanlarının dane dolum sürelerinin birbirinden farklı olduğu ve bu farklılığın negatif olarak önemli olduğu belirlenmiştir ($t_{0.01;4}=-6.36$). Buna göre ikinci ekim zamanında dane dolum süresinin ($\bar{X}=25.67$) birinci ekim zamanının dane dolum süresine ($\bar{X}=22.67$) göre daha yüksek olduğu bulunmuştur.

Tüm bitki ağırlığı özelliği bakımından ekim zamanları arasındaki farklılık pozitif olmasına karşın önemsiz bulunmuştur ($t_{0.05;4}=1.19$).

Kinoanın birinci ve ikinci ekim zamanlarının salkımdaki tane ağırlıklarının karşılaştırılması için yapılan t testi sonrasında, ekim zamanlarının salkımdaki tane ağırlığı üzerine etkilerinin birbirinden farklı olduğu ve bu farklılığın negatif önemli olduğu bulunmuştur ($t_{0.05;4}=-3.64$). Buna göre ikinci ekim zamanında salkımdaki tane ağırlığı ($\bar{X}=45.81$) birinci ekim zamanının salkımdaki tane ağırlığının ($\bar{X}=20.82$) daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Tablo 2. Kinoa bitkisinin birinci ve ikinci ekim zamanlarının bazı kalite özellikleri üzerine etkilerinin karşılaştırılması için t testi tablosu

(Table 2. The t-test plot to compare the effects of the first and second seeding times of the kinoa plant on certain quality characteristics)

Özellikler	Ekim Zamanı	N	Ortalama	Standart Sapma	t	df	p
Generatif Dönem Başlangıcı (gün)	1	3	17.67	0.58	-4.24*	4	0.0132
	2		19.67	0.58			
Dane Dolum Süresi (gün)	1	3	22.67	0.58	-6.36**	4	0.0031
	2		25.67	0.58			
Tüm Bitki Ağırlığı (g)	1	3	611.00	100.46	1.19	4	0.2986
	2		526.23	70.97			
Salkımdaki Tane Ağırlığı (g)	1	3	20.82	7.09	-3.64*	4	0.0219
	2		45.81	9.53			
Salkım Ağırlığı (g)	1	3	43.86	14.91	-1.23	4	0.2850
	2		62.57	21.62			
100 Tane Ağırlığı (g)	1	3	2.47	0.11	3.99*	4	0.0402
	2		2.19	0.04			
Tanede Nişasta Oranı (%)	1	3	60.98	1.55	-3.17*	4	0.0338
	2		67.03	2.91			
Tanede Protein Oranı (%)	1	3	12.79	1.43	0.79	4	0.4734
	2		12.11	0.43			
Tanede Yağ Oranı (%)	1	3	5.95	0.20	-0.51	4	0.6395
	2		6.05	0.30			

*:p<0.05; **:p<0.01

İki farklı ekim zamanının uygulandığı kinoa bitkisinde birinci ve ikinci ekim zamanından elde edilen salkım ağırlığı değerlerinin karşılaştırılması için yapılan t testi sonucuna göre ekim zamanlarının salkım ağırlığı üzerine etkisinin negatif olmasına karşın birbirinden farklı olmadığı belirlenmiştir ($t_{0.05;4}=-1.23$). Diğer taraftan ekim zamanlarının 100 tane ağırlığı özelliğine olan etkilerinin değerlendirilmesi için yapılan t testi analizi sonucunda farklı ekim zamanlarından elde edilen 100 tane ağırlığı değerleri birbirinden farklı bulunmuş ve pozitif yönde önemli olduğu belirlenmiştir ($t_{0.05;4}=3.99$). Buna göre birinci ekim zamanında 100 tane ağırlığı değerinin ($\bar{X}=2.47$) ikinci ekim zamanının 100 tane ağırlığı değerinden ($\bar{X}=2.19$) daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Önceki yapılmış olan çalışmalarda kinoa tohumunun 100 tane ağırlığını Koziol [27] 0.19-0.43g, Lindeboom [28] 0.36-0.41g, Geerts ve ark. [29] 0.42-0.55g, Kaya [15] 0.21-0.26g, Olgun ve ark. [30] 0.28g, Reichert ve ark. [31] 0.20-0.51g, Bhargava ve ark. [32] 0.23g ve Geren ve ark. [8 ve 33] 0.32-0.34g olarak bildirilmiştir. Elde ettiğimiz sonuçlar daha önceden yapılmış olan birçok çalışmayla uyumluluk göstermekle birlikte gözlemlenen farklılıkların kullanılan çeşide, yetiştirilen ortam şartlarına ve yetiştirilme yönteminden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tanede nişasta oranı değerleri incelendiğinde, t testi analiz sonuçlarına göre; farklı ekim zamanlarından elde edilen tanede nişasta oranı değerleri istatistiksel olarak birbirinden farklı bulunmuş olup, bu farklılık negatif yönde ve önemli düzeyde olduğu belirlenmiştir ($t_{0.05;4}=-3.17$). Buna göre ikinci ekim zamanında tanede nişasta oranının ($\bar{X}=67.03$) birinci ekim zamanının tanede nişasta oranından ($\bar{X}=60.98$) daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Koziol [34] yaptığı çalışmada kinoa bitkisinde tanede nişasta miktarının %52-60 arasında değiştiğini bildirmiştir. Bu sonuç bizim araştırmamızda ilk ekim zamanından elde ettiğimiz sonuçla uyumlu bulunurken, ikinci ekim zamanından elde



ettiğimiz sonuçtan düşük olmuştur. Bu durumun ekim zamanının iklim ve ekolojik koşullara bağlı olarak seçilmesinden, kullanılan çeşitten ve yetiştirme şekline bağlı olduğu düşünülmektedir.

İki farklı ekim zamanının uygulandığı kinoa bitkisinde birinci ve ikinci ekim zamanından elde edilen tanede protein oranı değerlerinin karşılaştırılması için yapılan t testi sonucuna göre ekim zamanlarının tanede protein oranı üzerine etkisinin pozitif olmasına karşın birbirinden farklı olmadığı belirlenmiştir ($t_{0.05;4}=0.79$). Ekim zamanına göre ortalama protein oranının %12.11-12.79 arasında değişmiştir. Daha önce yapılmış olan çalışmalardan; Olgun ve ark. [30] tanede ham protein oranını %12.48, Kır ve Temel [35] %12.62, Bhargava ve ark. [32] %12.55-21.02, Shams [24] %16.0-23.0, Ogungbenle [36] %13.5 ve Stikic ve ark. [37] %15.16-17.41 olarak belirlendiği bildirilmiştir. Tanede yağ oranı değerleri incelendiğinde, t testi analiz sonuçlarına göre; farklı ekim zamanlarından elde edilen tanede yağ oranı değerleri istatistiksel olarak birbirinden farklı bulunmuş olup, bu farklılık negatif yönde ve önemli düzeyde olduğu belirlenmiştir ($t_{0.05;4}=-0.51$). Buna göre ikinci ekim zamanında tanede yağ oranı ($\bar{X}=6.05$) birinci ekim zamanının tanede yağ oranına ($\bar{X}=5.95$) göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Yaptığımız bu çalışmada kinoa bitkisinin Akdeniz ikliminin yaşandığı Kahramanmaraş koşullarına iyi bir adapte olduğu gözlenmiştir. En uygun ekim zamanını belirlenmesine yönelik yapılan çalışmamızda Nisanın ilk haftası yapmış olduğumuz ekimin generatif döneme geçiş süresini, dane dolum süresini, salkımdaki tane ağırlığını, salkım ağırlığını, tanede nişasta oranını ve tanede yağ oranına ait değerlerin yüksek çıkmasına neden olmuştur. Bu durumun ilk ekim zamanında hava sıcaklığının ikinci ekim zamanındakine nazaran daha düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmüş, toprak sıcaklığının çok düşük olmaması kaydıyla yağış miktarının en çok olduğu dönemde ekim yapılmasının kinoa bitkisinde kalite özelliklerinin üzerine olumlu etkileri olduğu düşünülmüştür.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Zurita-Silva, A., Fuentes, F., Zamora, P., Jacobsen, S.E., and Schwember, A., (2014). Breeding Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Potential and Perspectives. *MolBreeding* 34:13-30.
2. Filhoa, A.M.M., Pirozia, M.R., Borgesb, J.T.S., Sant'Anac, H.M.P., Chavesa, J.B.P., and Coimbra, J.S.R., (2015). Quinoa: Nutritional, Functional and Anti-nutritional Aspects'. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. ISSN:1040-8398 (Print), pp:1549-7852.
Fuentes, F., Espinoza, P.A., VonBaer, I., Jellen, E.N., and Maughan, P.J., (2009a). Determinacion de Relaciones Genética Sentre *Chenopodium quinoa* Willd. del sur de Chile y parientessilvestres del género *Chenopodium*. *Anales del XVII Congreso Nacional de Biología del Perú*, 45. Tacna, Perú.
3. Fuentes, F., Martínez, EA., Hinrichsen, P.V., Jellen, E.N., and Maughan, P.J., (2009b). Assessment of Genetic Diversity patterns in Chilean quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) germplasm using Multiplex Fluorescent Microsatellite Markers'. *Conservation Genetics* 10:369-377.
4. Jacobsen, S.E., (1998). Developmental Stability of Quinoa Under European Conditions. *Ind. CropsProd.* 7:169-174.



5. Flores, A.F.G., (1977). Estudiopreliminar de la Fenología de la Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Puno, Peru, Universidad Nacional Técnica del Altiplano.
6. Jacobsen, S.E. and AndStölen, O., (1993). Quinoa-Morphology and Phenology and Prospects for Its Production as a New Crop in Europe. Eur. J. Agron., 2:19-29.
7. Geren, H., Kavut, Y.T., Demiroğlu Topçu, G., Ekren, S., and İstipliler, D., (2014). Akdeniz İklimi Koşullarında Yetiştirilen Kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)'da Farklı Ekim Zamanlarının Tane Verimi ve Bazı Verim Unsurlarına Etkileri. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 51(3):297-305.
8. Füller, H.J., (1949). Photoperiodic Responses of *Chenopodium quinoa* and *Amaranthus caudatus*. American Journal of Botany, 36:175-180.
9. Etchevers, B.J. and Avila, T.P., (1979). Factores Queafectan el Crecimiento de Quinoa (*Chenopodium quinoa*) en el Centro-Sur de Chile. 10th Latin American Meeting Agricultural Science.
10. Christiansen, J.L., Jacobsen, S.E., and Jorgensen, S.T., (2010). Photoperiodic Effect on Flowering and Seed Development in Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil&Plant, 60(6):539-544.
11. Luo, Q., (2011). Temperature Thres Holds and Crop Production: a review. Climatic Change, 109:583-598.
12. Jacobsen, S.E. and Stolen, O., (1996). Temperature and Light Requirements for the Germination of Quinoa (*Chenopodium quinoa*). Workshop held in Copenhagen, Denmark'. European Commission, p:87-102.
13. Aguilar, P.C. and Jacobsen, S.E., (2003). Cultivation of Quinoa on the Peruvian Altiplano. Food Rev. Int. 19:31-41.
14. Kaya, Ç.İ., (2010). Akdeniz Bölgesinde Damla Sistemiyle Tatlı ve Tuzlu Su Kullanılarak Uygulanan Farklı Sulama Stratejilerinin Quinoa Bitkisinin Verimiyle Toprakta Tuz Birikimine Etkileri ve Saltmed Modelinin Test Edilmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı (Yüksek Lisans Tezi), 122s.
15. Hirich, A., Choukr-Allah, R., and Jacobsen, S.E., (2014). Quinoa in Morocco-Effect of Sowing Dates on Development and Yield. Journal of Agronomy and Crop Science, ISSN:0931-2250.
16. Szilagyi, L. and Joørnsgard, B., (2014). Preliminary Agronomic Evaluation of (*Chenopodium quinoa* Willd.) Under Climatic Conditions of Romania. Scientific Papers. Series A. Agronomy, Vol:LVII, pp:339-343.
17. Tsegay, A., Vanuytrecht, E., Abrha, B., Deckers, J., Gebrehiwot, K., and Raes, D., (2015). Sowing and Irrigation Strategies for Improving Rainfed tef (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter) Production in the Water Scarce Tigray Region', Ethiopia. Agricultural Water Management, 150, pp:81-91.
18. Dawit, W. and Andnew, Y., (2005). The Study of Fungicides Application and Sowing Date, Resistance, and Maturity of *Eragrostis Tef* for The Management of Teff Rust (*Uromycese ragrostidis*)'. Can. J. Plant Pathol. 27:521-527.
19. Juraimi, A.S., Mohammad Najib, M.Y., Begum, M., Anuar, A.R., Azmi, M., and Puteh, A., (2009). Critical Period of Weed Competition in Direct Seeded Rice Under Saturated and Flood Condition'. Pertanika J. Trop Agri. Sci. 32(2):305-316.
20. Pulvento, C., Riccardi, M., Lavini A., D'andria, R., Iafelice, G., and Marconi, E., (2010). Field Trial Evaluation of Two



-
- Chenopodium quinoa*'s Genotypes Grown in Rainfed Conditions in a Mediterranean Environment of South Italy'. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197:407-411.
21. González, J.A., Bruno, M., Valoy, M., and Prado, F.E., (2011). Genotypic Variation of Gas Exchange Parameters and Leaf Stable Carbon and Nitrogen Isotopes in Ten Quinoa Cultivars Grown under Drought. *Journal of Agronomy and Crop Science*. Vol:197, Issue:2, pp:81-93.
 22. Munir, H., (2011). Introduction and Assessment of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as a Potential Climate Proof Grain Crop. Faislabad, Pakistan, University of Agriculture. (PhD Thesis).
 23. Shams, A., (2011). Combat Degradation in Rain Fed Areas by Introducing New Drought Tolerant Crops in Egypt. *International Journal of Water Resources and Arid Environments* 1(5):318-325.
 24. Bannayan, M., EyshiRezaei, E., and Hoogenboom, G., (2013). Determining Optimum Planting Dates for Rainfed Wheat Using the Precipitation Uncertainty Model and Adjusted Crop Evapotranspiration. *Agricultural Water Management*, Volume 126, Pages 56-63.
 25. Miranda, M., Vega-Gálvez, A., Martínez, E.A., López, J., Marín, R., Aranda, M., and Fuentes, F., (2013). Influence of Contrasting Environments on Seed Composition of Two Quinoa Genotypes: Nutritional and Functional Properties, *Chilean Journal of Agricultural Research* 73(2):108-116.
 26. Koziol, M.J., (1993). Quinoa: a Potential New Oil Crop. In: *New Crops*. J.Janick and J.E. Simon (Eds.), Wiley, New York:328-336.
 27. Lindeboom, N., (2005). Studies on the Characterization, Biosynthesis and Isolation of Starch and Protein from Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), University of Saskatchewan, Department of Applied Microbiology and Food Science, Ph.D. thesis, 152p.
 28. Geerts, S., Raes, D., Garcia, M., Vacher, J., Mamani, R., Mendoza, J., Huanca, R., Morales, B., Miranda, R., Cusicanqui, J., and Taboada, C., (2008). Introducing Deficit Irrigation to Stabilize Yields of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *European Journal of Agronomy*, 28:427-436.
 29. Olgun, M., Karaduman, Y., Tunca, Z. Ş., Akın, A., Yorgancılar, Ö., Başçiftçi, Z. B., Ayter, N.G., and Takıl, E., (2008). Comparison of Some Quality Characteristics in Kinia (*Chenopodium quinoa*), Buck wheat (*Fagopyrum esculentum*), Siyez Wheat (*Triticum monococcum*) and Bread Wheat (*Triticum aestivum*) by Principle Component Analysis. *Biological Diversity and Conservation*, 8/3:153-158.
 30. Reichert, R.D., Tatarynovichm, J.T., and Tyler, R.T., (1986). Abrasivedehulling of Quinoa (*Chenopodium quinoa*): Effect on Saponin Content as Determined by an Adapted Hemolytic Assay. *Cereal Chemistry* 63(6):471-475.
 31. Bhargava, A., Shukla, S., and Ohri, D., (2007). Genetic Variability and Interrelationship among Various Morphological and Quality Traits in Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Field Crops Research* 101:104-116.
 32. Geren, H., Kavut, Y.T., and Altınbaş, M., (2015). Bornova Ekolojik Koşullarında Farklı Sıra Arası Uzaklıkların Kinia (*Chenopodium quinoa* Willd.)'da Tane Verimi ve Bazı Verim Özellikleri Üzerine Etkisi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 52(1):69-78.



-
33. Koziol, M.J., (1992). Chemical Composition and Nutritional Evaluation of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). J. Food Comp. Anal. 5:35-68.
 34. Kır, A.E. and Temel, S., (2017). Sulu Koşullarda Farklı Kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Genotiplerinin Tohum Verimi ile Bazı Tarımsal Özelliklerinin Belirlenmesi. Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der. 7(1):353-361.
 35. Ogungbenle, H.N., (2003). Nutritional Evaluation and Functional Properties of Quinoa (*Chenopodium quinoa*) flour. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 54:2, 153-158.
 36. Stikic, R., Glamoclija, D., Demin, M., Vucelic-Radovic, B., Jovanovic, Z., Milojkovic-Opsenica, D., Jacobsen, S.E., and Milovanovic, M., (2012). Agronomical and Nutritional Evaluation of Quinoa Seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) as an Ingredient in Bread Formulations'. Journal of Cereal Science, 55:132-138.



Leyla Uslu
Gökhan Tamer Kayaalp
Oya Işık
Melis Çelik Güney

Çukurova University, Adana-Turkey
hizarcil@cu.edu.tr; tkayaalp@mail.cu.edu.tr; oyaisik@cu.edu.tr;
melis_celik@hotmail.com

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.5A8IJ>

***Porphyridium Cruentum* KÜLTÜRLERİNDE KURU MADDE TAHMİNİ**

Öz

Porphyridium cruentum'un kuru ağırlığının yaklaşık %28-39'unu protein, %40-57'sini karbonhidrat ve %9-14'ünü yağ oluşturmaktadır. *P. cruentum*, Rhodophyceae sınıfına ait, denizel, tek hücreli kırmızı alglerdendir. Bu çalışmada kültüre alınmış *P. cruentum*'un kuru madde miktarının, hem kontrol grubu olarak hem de azotun eksiltildiği besi ortamında, çoklu regresyon analizi yöntemi kullanılarak tahmin edilmesi amaçlanmıştır. *Porphyridium cruentum* türü, kontrol grubu ve %50 oranında N'un eksiltildiği F/2 besi ortamında kültüre alınmıştır. Optik yoğunluk ve klorofil a günlük olarak ölçülmüştür. Kontrol grubu ve %50 oranında azotun eksiltildiği grupta optik yoğunluk ve klorofil a kullanılarak matematiksel model oluşturulmuştur. Kontrol grubunun R^2 değeri %97.8 ile istatistiki olarak önemli bulunmuştur. %50 azot eksikliği uygulanan grupta ise R^2 değeri %95.4 ile istatistiki olarak önemli bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: *Porphyridium cruentum*, Kuru Madde,
Optik Yoğunluk, Klorofil A, Regresyon

THE ESTIMATION OF DRY MATTER IN *Porphyridium Cruentum* CULTURES

ABSTRACT

Porphyridium cruentum contains approximately 28-39% protein, 40-57% carbohydrate and 9-14% fat in dry weight. *P. cruentum* is marine, single celled red algae in Rhodophyceae class. In this study, it was aimed to estimate dry matter of *Porphyridium cruentum* in the conditions of control group and nitrogen deficiency in photobioreactors, by using multiple regression analysis method. *P. cruentum* was cultured in F/2 medium of which N was reduced by 50% and control group. Optical density and chlorophyll a were measured daily. The mathematical model was formed for control group and for 50% nitrogen deficiency using optical density, chlorophyll a. The R^2 value of control group was found 97.8% and statistically significant. The R^2 was found 95.4% and statistically significant in 50% nitrogen deficiency.

Keywords: *Porphyridium cruentum*, Dry Matter, Optical Density,
Chlorophyll A, Regression



1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda mikroalgal biyoteknolojiye giderek artan ilgi, mikroalglerin hücre içinde yüksek miktarda biriktirmiş olduğu metabolitlerden kaynaklanmaktadır. Algler hücre içinde protein, vitamin, yağ asitleri, karbonhidratlar, mineral ve pigmentler, hidrokarbonlar, polisakkaritler, antibiyotikler gibi değerli metabolitleri biriktirmekte, dolayısıyla insanlar tarafından başlıca besin desteği olarak kullanılmaktadır [2]. Algler, güneş enerjisini en etkin kullanan canlı sistemleri olduğu için alg üretim teknolojilerine ilgi giderek artmaktadır. Bu nedenle, farklı mikroalg türlerinin besin bileşenleri incelenmekte ve yeni türlerin arayışı artmaktadır. Doğal ortamda yaşayan veya laboratuvar koşullarında kültürlerde yapılan denizel ve tatlı su alglerinin ekonomideki önemi büyüktür. Bu önemin sebebi, besin kaynağı olarak değerlendirilmelerinin yanı sıra, atık su arıtımı ve güneş enerjisinin biyomasa dönüştürülmesidir. Ayrıca algal biyomasdan bazı kimyasal maddelerin (metan gazı, antibiyotik, karaginin, agar) üretiminde kullanılmaktadır [5 ve 9]. Akuakültür çalışmalarında ve tek hücre proteini (SCP) elde etme amacına yönelik tüm kültür çalışmalarında temel amaç, fotosentez işleminin organik maddeye dönüşümündeki verimliliğini maksimuma ulaştırmak ve organik maddeyi yani biyoması optimum şekilde üretmektir. Mikroalg kültürlerinde biyomasın biyokimyasal kompozisyonu, çevresel faktörler, besin ortamı, sıcaklık, tuzluluk, pH, ışık gibi büyüme koşullarına bağlıdır [8 ve 9]. Alg üretiminde kuru madde miktarı önemlidir. Kuru madde miktarını etkileyen değişkenler ile kuru madde miktarı tahmini yapılabilmektedir. Bunun için regresyon analizi kullanılmaktadır. Regresyon analizi ile en iyi regresyon modeli tahmin edilmektedir [4]. Salama ve ark., *Chlamydomonas mexicana* ve *Scenedesmus obliquus* tatlı su alg türlerinde, tuzluluğun kuru madde, yağ ve yağ asitleri kompozisyonuna etkisini araştırmışlardır. Regresyon analizi yöntemiyle optik yoğunluk değerlerini kullanarak, kuru madde miktarını tahmin etmişlerdir [7]. Ak ve ark., *Phaeodactylum tricornutum* mikroalg türü için kontrol grubu ve %50 oranında N'un eksiltildiği kültür oluşturmuşlardır. Bu ortamlarda optik yoğunluk, sıcaklık ve ışık şiddeti ve klorofil a kullanarak kuru madde miktarını tahmin etmişlerdir [1]. Çamdeviren ve ark., çoklu regresyon analizini kullanarak su kalitesini belirleyen 5 değişken ile klorofil a'yı tahmin etmişlerdir [3].

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Alg üretiminde, kuru madde miktarı sadece laboratuvar koşullarında belirlenmektedir. Bu çalışma, mikroalg türü olan *Porphyridium cruentum* kültüründe optik yoğunluk ve klorofil a parametrelerini kullanarak çoklu regresyon modeli yöntemi ile bu türde kuru madde miktarını tahmin eden en iyi regresyon modelini ortaya koymaktadır. Bu model ile laboratuvar koşullarının sağlanamadığı durumlarda kuru madde tahmini yapılabilecektir.

3. DENEYSEL VE ANALİTİK ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL AND ANALYTIC STUDY)

Bu çalışmada, iyi bir polisakkarit üreticisi olarak bilinen denizel mikroalg *Porphyridium cruentum* türü materyal olarak kullanılmıştır. *Porphyridium cruentum* türü, kontrol grubu ve %50 oranında N'un eksiltildiği F/2 besi ortamında 8L'lik cam kavanozlarda 7 L'lik kültür hacminde %20 aşılama yapılarak 3 tekrarlı olacak şekilde kültüre alınmıştır. Denemenin yürütüldüğü laboratuvar ortamında sıcaklık, iklimlendirme

cihazı kullanılarak $22\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de tutulmuştur. Deneme süresince kültürlere $80\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ışık şiddeti kullanılmıştır [9]. Kontrol grubu ve %50 oranında N'un eksiltildiği grupta optik yoğunluk ve klorofil a'yı içeren matematiksel model oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan çoklu doğrusal regresyon modeli (1) numaralı eşitlikte tanımlandığı şekildedir.

$$Y=\beta_0+\beta_1X_1+\beta_2X_2+\dots+\beta_kX_k+\varepsilon \quad (1)$$

Bu eşitlikte,

K: Bağımsız değişken sayısını,

Y: Bağımlı değişkeni,

β_j : $j=0,1,\dots,k$ parametreleri için regresyon katsayılarını,

X_j : Bağımsız değişkenleri göstermektedir [6].

Tüm istatistiksel analizlerde MINITAB 16.0V. paket programı kullanılmıştır. En iyi model tahmin edilmeye çalışılırken karşılaştırma kriteri olarak, hata kareler ortalaması ve belirtme katsayısı kullanılmıştır.

4. BULGULAR (FINDINGS)

Çalışmada kontrol grubundaki kuru madde miktarını etkileyen değişkenler arası korelasyon katsayıları hesaplanmıştır.

Tablo 1. Kontrol grubundaki değişkenler arası korelasyon katsayıları
(Table 1. Correlation coefficients between the variables in the control group)

	Kuru Madde	Optik Yoğunluk	Klorofil a
Optik Yoğunluk	0.989**		
Klorofil a	0.957**	0.973**	

** : $P<0.01$

Tablo 1'de kuru madde miktarı ile optik yoğunluk ve klorofil a arasındaki ilişkilerin istatistiki olarak önemli olduğu görülmektedir ($P<0.01$). Kuru madde miktarı ile optik yoğunluk ve klorofil a arasında pozitif, güçlü bir ilişkinin varlığı söz konusudur.

Kontrol grubunda kuru madde miktarını tahmin etmek için bulunan model aşağıdaki gibidir.

Kuru madde= $0.494+1.53$ optik yoğunluk- 0.000246 klorofil a.

Kontrol grubunun R^2 değeri %97.8 olup istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($P<0.01$). Regresyon denkleminin hata kareler ortalaması ise, 0.00082 olarak hesaplanmıştır.

%50 N eksiltilmesi durumunda kuru madde miktarını etkileyen değişkenler arası korelasyonlar Tablo 2'deki gibidir.

Tablo 2. %50 N eksiltme durumunda değişkenler arası korelasyon katsayıları
(Table 2. Correlation coefficients between variables in 50% nitrogen deficiency)

	Kuru Madde	Optik Yoğunluk	Klorofil a
Optik Yoğunluk	0.977**		
Klorofil a	0.973**	0.995**	

** : $P<0.01$

Tablo 2'de kuru madde miktarı ile optik yoğunluk ve klorofil a arasında pozitif ilişki olup, istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($P<0.01$). Kuru madde miktarı ile optik yoğunluk ve klorofil a arasında pozitif, güçlü bir ilişkinin varlığı söz konusudur.



%50 N eksiltilmesi durumunda kuru madde miktarını tahmin etmek için bulunan model aşağıdaki gibidir.

Kuru madde=0.551+1.17optik yoğunluk+0.000333 klorofil a.

Bu eşitliğin R^2 değeri %95.4 olup istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($P<0.01$). Regresyon analizine ait hata kareler ortalaması ise 0.00128 olarak hesaplanmıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Alg üretiminde, kuru madde miktarının belirlenmesi çok önemlidir. Kuru madde miktarının belirlenmesi ise laboratuvar çalışmaları ile mümkündür. Kuru madde analizi zaman alıcı ve maliyet gerektiren bir analizdir. Her üreticinin laboratuvar imkanları bulunmamaktadır. Bu çalışma sonucuna göre, önerilen eşitliklerden yararlanarak kuru madde analizi yapmadan regresyon eşitliğindeki katsayılarından yararlanarak kuru madde miktarını araştırmacı tahmin edebilecektir. *Porphyridium cruentum* kültürlerinde spektrofotometre ile kolaylıkla ölçülebilecek optik yoğunluk ve klorofil a değeri kullanılarak kuru madde miktarı tahmin edilebilecektir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu Çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından (Proje ID:9289) desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Ak, B., Kayaalp, G.T., Işık, O. ve Çelik Güney, M., (2017). *Phaeodactylum tricornutum* Kültürlerinde Biyomas Tahmini. Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, Cilt:5, Sayı:2, ss:182-184.
2. Becker, E.W., (1994). Microalgae Biotechnology and Microbiology. Cambridge: Cambridge University Press.
3. Çamdeviren, H., Demir, N., Kanık, A., and Keskin, S., (2005). Use Of Principal Component Scores in Multiple Linear Regression Models for Prediction Of *Chlorophyll-A* in Reservoirs. Ecological Modelling., Sayı:181, ss:581-589.
4. Draper, N.R. and Smith, H., (1998). Applied Regression Analysis. John Wiley and Sons.
5. Goldman, J.C., (1979). Outdoor Algal Mass Cultures. I. Applications. Water Research,13:1-19.
6. Montgomery, D.C., Peck, E.A., and Vining, G.G., (2013). Introduction to Linear Regression Analysis. Fifth Edition.
7. Salama, E., Kim, H., Abou-shanab, R., Ji, M., Oh, Y., Kim, S., and Jeon, B., (2013). Biomass, Lipid Content, and FATTY ACID COMPOSITION of Freshwater *Chlamydomonas mexicana* and *Scenedesmus obliquus* grown under Salt Stress. Bioprocess and Biosystems Engineering, 36(6), 827-33. doi:http://dx.doi.org/10.1007/s00449-013-0919-1.
8. Sukenik, A., (1991). Ecophysiological Considerations in the Optimization of Eicosapentaenoic Acid Production by *Nannochloropsis* sp. (Eustigmatophyceae). Bioresource Technology., Cilt:35, Sayı:3, ss:263-269.
9. Uslu, L., (2011). Besleyici Element Kompozisyonundaki Değişikliklerin Mikroalgelerde Yağ İçeriğine Etkisi. Doktora Tezi. Adana: Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.



Selim Mısır, Cemil Altuntaş

Su Ürünleri Merkez Araştırma Enstitüsü, Adana-Turkey
devrimselim.misir@tarim.gov.tr; cemil.altuntas@tarim.gov.tr

Caner Enver Özyurt

Çukurova University, cozyurt@cu.edu.tr, Adana-Turkey

Murat Dağtekin, Yaşar Genç, N.Selda Başçınar, Nazlı Kasapoğlu, Murat Erbay, Gülsüm Balçık Mısır, Erdinç Aydın

Su Ürünleri Merkez Araştırma Enstitüsü, Adana-Turkey
mdagtekin@tarim.gov.tr; yasar.genc@tarim.gov.tr;
nimetselda.bascinar@tarim.gov.tr; nazli.kasapoglu@tarim.gov.tr;
murat.erbay@tarim.gov.tr; gulsum.balcikmisir@tarim.gov.tr;
erdinc.aydin@tarim.gov.tr

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.5A9PB>

AV VERİMİ VE BOY SEÇİCİLİĞİ AÇISINDAN SADE MONOFİLAMENT UZATMA AĞLARI İLE SADE MULTİFİLAMENT AĞLAR ARASINDA FARK VAR MI?

ÖZ

Bu çalışma kapsamında, monofilament ve multifilament ağların seçicilik parametreleri ve av verimleri arasındaki fark kıyaslanmıştır. Saha çalışmaları kapsamında, aynı teknik özelliklere sahip monofilament ve multifilament ağlar kullanılarak 28.12.2016 ile 13.04.2017 tarihleri arasında, Akçaabat bölgesinde, 40-78m derinler arasında toplam 8 operasyon gerçekleştirilmiştir. Sekiz örneklemede monofilament ağlarla toplam 2061 birey, multifilament ağlara toplam 2050 birey yakalanmıştır. Her iki ağ türünde de dişi birey oranının erkek birey oranından yüksek olduğu belirlenmiştir (Erkek:Dişi oranı monofilament: 1:1.6, multifilament 1:1.4). Elde edilen seçicilik parametreleri, 28, 30, 32, 34, 36 ve 38mm ağ göz genişlikleri için monofilament ağların optimum yakalanma boylarını 14.37, 15.39, 16.42, 17.45 ve 18.47cm olduğunu göstermiştir. Multifilament ağlar için ise optimum yakalanma boyları yine aynı sırayla 13.51, 14.48, 15.44, 16.41 ve 17.38cm olarak belirlenmiştir. Av verimi bakımından ise monofilament ve multifilament ağlar arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark olmadığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mezgit, *Merlangius merlangus euxinus* Karadeniz, Uzatma Ağı Seçiciliği, Av Verimi, Multifilament

IS THERE A DIFFERENCE BETWEEN MONOFILAMENT GILLNETS AND MULTIFILAMENT GILLNETS IN TERMS OF CATCH EFFICIENCY AND LENGTH SELECTIVITY?

ABSTRACT

In this study, the difference between selectivity parameters and catch rates of monofilament and multifilament nets are compared. Within the scope of field works, 8 operations were carried out between 12.28.2016 and 04.13.2017, in Akçaabat region, between 40-78m depth, using monofilament and multifilament nets with the same technical characteristics. A total of 2061 individuals were captured in monofilament nets and 2050 individuals in multifilament nets in eight samplings. In both types of the nets, female ratio was found to be higher than male ratio (male: female ratio monofilament: 1:1.6, multifilament 1:1.4). The selectivity parameters obtained show that the optimum catch lengths for monofilament nets for 28, 30, 32, 34, 36 and 38mm mesh sizes are 14.37, 15.39, 16.42, 17.45 and 18.47cm, respectively. For multifilament nets, the optimum capture length was also determined as 13.51, 14.48, 15.44, 16.41 and 17.38cm in the same order. There was no statistically significant difference between monofilament and multifilament nets in terms of catch rate.

Keywords: Whiting, *Merlangius merlangus euxinus* Black Sea, Gillnet Selectivity, Catch Rate, Multifilament

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Balıkçılıkta seçim süreci (av süreci) "stokun sömürülebilir kısmının yakalanma olasılığını değiştiren her türlü işlem" olarak tanımlanabilir (Parrish 1963). Bu genel tanımlama, av sürecinin değişik aşamaları boyunca hem türler arası hem de tür içi seçimin göz önüne alınmasına olanak sağlamaktadır. Bu durum genel olarak, seçimin sürecinin türler arası (tür seçiciliği) ve tür içi seçim (boy seçiciliği) olmak üzere iki ayrı süreçten oluştuğunu göstermektedir. Genel olarak av süreci (dolayısıyla seçim süreci) üç farklı aşamada değerlendirilebilir: a) bir ya da farklı türlere ait bireylerin av aracı ile aynı zamanda aynı alanda bulunma olasılığı, b) av aracı ile aynı zamanda aynı alanda bulunan bir ya da farklı türlerin bireylerinin, av aracı ile karşılaşma olasılığı, c) av aracı ile karşılaşan bir ya da farklı türlere ait bireylerin av aracı tarafından alıkonma olasılığı. Av sürecinin (dolayısıyla seçim sürecinin) ilk iki aşaması balıkların dağılışı ve davranış özelliklerine bağlı iken, üçüncü aşamada ana rolü av aracının teknik özellikleri (materyal, ağ göz genişliği, donam faktörü, vs.) oynamaktadır. Bu seçim sürecinin sayısal olarak ölçülmesi ise av aracı seçiciliği olarak tanımlanmaktadır (Wileman 1996).

Günümüzde aşırı sömürülmeyen bir stoktan bahsetmek güçtür. Bundan dolayı da, stokların dengelerinin korunabilmesi için büyüme ve üremeyi koruyacak, balıkçılık nedeniyle oluşan ölümleri ise azaltacak çalışmalara ve uygulamalara ağırlık verilmektedir. Bu uygulamalar genellikle yasak ve sınırlamalar şeklindedir. Bu yasak ve sınırlamalar; minimum ağ göz genişliği, minimum av boyu, balıkçı filosunun gücünün azaltılması, kota uygulaması tekne inşasının kontrolü balıkçılık aktivitelerinin kontrolü, zaman yasakları ve alan yasakları olarak sıralanabilir (Beverton and Holt 2012). Seçicilik çalışmalarına, yukarıda sıralanan yasak ve sınırlamalardan minimum ağ göz genişliğinin belirlenmesi için ihtiyaç duyulmaktadır.

Seçicilik çalışmalarından elde edilen parametreler yardımıyla av aracının yasak boy gruplarını avlayıp avlamadığı veya av aracının yasak boy gruplarını avlamaması için kullanılması gereken ağ göz genişliği hesaplanabilir (Santos et al. 1998). Dolayısıyla ilk eşeysel olgunluk boyundan küçük bireylerin avlanmasına engel olunarak üreme ve büyüme korunurken, balıkçılık nedeniyle olan ölümlerde azaltılmış olmaktadır. Bundan dolayı da seçicilik çalışmaları, balıkçılık yönetimi açısından oldukça önem taşımaktadır. Mezgit, (*Merlangius merlangus euxinus*), Türkiye'nin balıkçılık üretiminde önemli bir yere sahiptir. TÜİK'in 2015 verilerine göre, avlanan miktar 13158.3t'dur ve avcılığın yaklaşık %90'nı Karadeniz'den yapılmaktadır. Bu bölgede, 1500'den fazla teknenin yılın belli dönemlerinde ya da tüm sezon boyunca mezgit avcılığı yaptığı ve bu teknelerde kullanılan ağ sayısının yaklaşık 23000 posta olduğu belirlenmiştir (Altuntaş, Yayınlanmamış veri). Bu veriler türün bölge balıkçılığı açısından ne kadar önemli olduğunu net bir şekilde göstermektedir. Gerçekleştirilen bu çalışma kapsamında, mezgit avcılığında kullanılan monofilament ve multifilament uzatma ağların seçicilik parametreleri belirlenmiştir. Ayrıca monofilament ve multifilament ağların verimlilikleri kıyaslanmıştır.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışmayla, balıkçılıkta kullanılan iki farklı materyalden yapılan av aracının, ekonomik bir stok üzerine olan etkilerini anlamak için önemli bilgiler ortaya konmuştur. Bu bilgiler, hem avcılık faaliyetlerinin daha ekonomik olarak yapılması hem de doğal stokların sürdürülebilir kullanımı ile ilgili önemli faydalar sağlayacaktır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL METHOD-PROCESS)

Saha çalışmaları, 28.12.2016 ile 13.04.2017 tarihleri arasında Akçaabat bölgesinde, 40-78m derinlikler arasında gerçekleştirilmiştir. Operasyon günleri, derinlikleri ve koordinatları Tablo 1'de verilmiştir. Örneklerin temini için, farklı ağ göz genişliklerine sahip (28, 30, 32, 34 ve 36mm) 5 posta monofilament ve 5 posta multifilament sade uzatma ağı kullanılmıştır. Monofilament ağların ip kalınlığı 0.14mm, multifilament ağların ağların ip kalınlığı ise 80d/2 numaradır. Tüm ağların yüksekliği 50 göz, uzunlukları ise 120m'dir.

Tablo 1. Örneklemenin gerçekleştirildiği koordinatlar ve derinlikler ile operasyon süreleri

(Table 1. Coordinates and depths with which the sample is performed and operation times)

Operasyon	Tarih	Koordinatlar		AvSüresi (Saat)		Derinlik (m)
		Monofilament	Multifilament	Mon.	Mult.	
1	28.12.16	41.03775 K - 39.57418 D	41.04168 K - 39.56731 D	5.25	5	45-47
		41.03518 K - 39.57960 D	41.03838 K - 39.57198 D			
2	11.01.17	41.05524 K - 39.55586 D	41.04605 K - 39.56573 D	5.25	5	40-52
		41.05141 K - 39.56098 D	41.04605 K - 39.56104 D			
3	16.01.17	41.04787 K - 39.58174 D	41.04512 K - 39.58684 D	18.5	18	72-78
		41.05031 K - 39.57655 D	41.04770 K - 39.58222 D			
4	08.02.17	41.03425 K - 39.58362 D	41.04558 K - 39.57848 D	17.2	17,3	64-70
		41.04569 K - 39.57880 D	41.04935 K - 39.57224 D			
5	22.02.17	41.02242 K - 39.58230 D	41.04512 K - 39.57667 D	17	16,8	65-68
		41.03958 K - 39.58718 D	41.04287 K - 39.58192 D			
6	07.03.17	41.04666 K - 39.58072 D	41.04417 K - 39.58629 D	15.25	15	68-77
		41.04927 K - 39.57568 D	41.04719 K - 39.58148 D			
7	27.03.17	41.04654 K - 39.57734 D	41.04375 K - 39.59216 D	15.5	16	67-70
		41.04347 K - 39.58135 D	41.04069 K - 39.58591 D			
8	13.04.17	41.04425 K - 39.57910 D	41.04073 K - 39.58396 D	16	16	65-66
		41.04604 K - 39.57383 D	41.04321 K - 39.57988 D			

Gerçekleştirilen 8 operasyonun 6'sında ağlar gün batımında atılmış, gün doğumundan sonra toplanmıştır. Bu operasyonlarda ağların suda kaldığı süre 15-18 saat arasında değişmiştir. İki operasyonda ise, ağlar sabaha karşı atılmış ve gün doğumunda toplanmıştır. Bu iki operasyonda ağların suda kaldığı süresi yaklaşık 5 saat olmuştur. Elde edilen örnekler, taze olarak Trabzon Merkez Araştırma Enstitüsü balıkçılık laboratuvarlarına getirilmiş ve bireylerin total boy (cm), total ağırlık (gr) ölçümleri yapılmıştır. Daha sonra disekte edilen bireylerde makroskobik olarak eşey tayini yapılmıştır. Monofilament ve multifilament ağların seçicilik parametrelerinin belirlenmesinde SELECT (Select Each Lengthclass' Catch Total) yöntemi kullanılmıştır (Millar 1992, Millar and Fryer 1999, Millar and Holst 1997). Bu

yöntemde "j" ağ göz genişliğine sahip uzatma ağına yakalanan "l" boyundaki balık sayısının n_{lj} , poisson dağılışı gösterdiği kabul edilir ve bu aşağıdaki eşitlikle ifade edilir;

$$n_{lj} \sim \text{Pois}(p_j \lambda_l r_j(l)),$$

Bu eşitlikte; p_j : balıkların "j" ağ göz genişliğindeki ağ ile karşılaşma (temasa geçme) olasılığını, λ_l : av aracıyla temas eden "l" boyundaki balıkların bolluğunu, $r_j(l)$ ise j ağ göz genişliği için seçicilik eğrisini ifade etmektedir. Yöntemde n_{lj} 'nin maksimum olabilirlik (log-likelihood) fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$\sum_i \sum_j \{n_{ij} \log[p_j \lambda_i r_j(l)] - p_j \lambda_i r_j(l)\}$$

SELECT yöntemine dayanan 5 farklı modelin seçicilik parametreleri "GillNet" yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır. Daha sonra model varyansları kıyaslanarak varyansı en düşük olan en iyi model olarak belirlenmiştir. Parametreleri hesaplanan modeller aşağıda verilmiştir;

Normal Location :	$\exp\left(-\frac{(L-k_1 m_j)^2}{2\sigma^2}\right)$
Normal Scale :	$\exp\left(-\frac{(L-k_1 m_j)^2}{2k_2^2 m_j^2}\right)$
Log-Normal :	$\sum_i \sum_j \{n_{ij} \log[p_j \lambda_i r_j(l)] - p_j \lambda_i r_j(l)\}$
Gamma :	$\left(\frac{L}{(\alpha-1)k_1 m_j}\right)^{\alpha-1} \exp\left(\alpha-1-\frac{L}{k_1 m_j}\right)$
Bi-modal :	$\exp\left(-\frac{(L-k_1 m_j)^2}{2k_2^2 m_j^2}\right) + c \cdot \exp\left(-\frac{(L-k_3 m_j)^2}{2k_4^2 m_j^2}\right)$

Çalışma kapsamında kullanılan monofilament ve multifilament materyalden yapılmış ağlar arasında av verimi açısından fark olmadığı belirlemek için non-parametrik bir test istatistiği olan "Wilcoxon İşaretli Sıralar Testi" kullanılmıştır. Kıyaslama, her bir operasyondaki tüm ağlar için ve her bir operasyonda ki her ağ göz genişliği için yapılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

Çalışma süresince monofilament ağlarla toplam 2061 birey yakalanmıştır. Bu bireylerin minimum, maksimum ve ortalama boyları sırasıyla 9cm, 24.70cm ve 14.26 ± 0.04 cm olarak belirlenmiştir. Minimum, maksimum ve ortalama ağırlıkları ise sırayla 5.09gr, 126.42gr ve 24.39 ± 0.28 gr olarak tespit edilmiştir. Elde edilen bireylerin 1196 tanesinin dişi, 725 tanesinin ise erkek olduğu belirlenmiştir. 140 bireyin ise eşey tayini yapılamamıştır. Dişi ve erkek bireyler için belirlenen minimum, maksimum ve ortalama boylar Tablo 2'de verilmiştir. Aynı tabloda her operasyonda (toplam 8 operasyon) her ağ göz genişliğine (28, 30, 32, 34, 36mm) yakalanan dişi ve erkek bireylerin sayısı, minimum, maksimum ve ortalama boyları gösterilmiştir. Sekiz örneklemede multifilament ağlara toplam 2050 birey yakalanmıştır. Bu bireylerin minimum, maksimum ve ortalama boyları sırasıyla 8.7cm, 25.5cm ve 13.38 ± 0.04 cm olarak belirlenmiştir. Aynı bireylerin minimum, maksimum ve ortalama ağırlıkları ise sırayla 5.15gr, 116.48gr ve 19.80 ± 0.02 gr olarak tespit edilmiştir.

Tablo 2. Monofilament ağlarda operasyonlara ve ağ göz genişliğine göre yakalanan dişi ve erkek bireylerin sayısı, minimum, maksimum ve ortalama boyları

(Table 2. The number of female and male individuals caught in monofilament nets according to operations and mesh size, minimum, maximum and average length)

Oper.	A.G.G	Dişi						Erkek					
		N	Min.	Mak.	Ort.	SH.	Range	N	Min.	Max.	Ort.	SH.	Range
1	28	74	11.00	20.30	13.54	0.19	9.30	23	11.40	16.20	13.15	0.21	4.80
	30	91	11.60	19.80	14.90	0.16	8.20	19	10.90	16.40	13.83	0.32	5.50
	32	37	11.90	22.90	16.37	0.30	11.00	6	9.10	18.30	13.73	1.38	9.20
	34	37	10.50	18.90	15.86	0.30	8.40	8	9.70	17.20	14.18	0.87	7.50
	36	26	11.40	19.40	16.77	0.37	8.00	3	10.50	13.50	12.20	0.89	3.00
	Total	265	10.50	22.90	15.04	0.12	12.40	59	9.10	18.30	13.52	0.23	9.20
2	28	9	11.00	19.00	13.69	0.77	8.00	12	10.80	17.40	13.30	0.46	6.60
	30	29	12.30	22.50	14.81	0.40	10.20	16	10.40	17.30	14.21	0.46	6.90
	32	25	13.50	21.20	16.45	0.35	7.70	5	15.00	18.50	16.58	0.66	3.50
	34	23	12.70	18.10	15.94	0.27	5.40	8	13.90	16.80	15.36	0.35	2.90
	36	49	12.50	20.90	17.04	0.25	8.40	6	9.50	17.50	13.93	1.11	8.00
	Total	135	11.00	22.50	16.04	0.18	11.50	47	9.50	18.50	14.39	0.29	9.00
3	28	27	10.50	21.20	13.79	0.48	10.70	49	11.20	19.80	13.77	0.22	8.60
	30	27	11.00	23.50	15.51	0.55	12.50	32	11.10	17.40	14.04	0.26	6.30
	32	41	9.50	21.00	15.50	0.44	11.50	9	11.40	17.80	15.01	0.71	6.40
	34	21	9.30	22.20	15.30	0.64	12.90	13	11.80	16.80	15.05	0.35	5.00
	36	23	9.20	21.10	15.90	0.67	11.90	5	11.00	17.20	14.70	1.10	6.20
	Total	139	9.20	23.50	15.21	0.25	14.30	108	11.00	19.80	14.15	0.16	8.80
4	28	77	10.80	21.80	13.09	0.18	11.00	101	10.40	16.00	12.99	0.11	5.60
	30	44	11.10	22.40	14.23	0.34	11.30	59	11.20	20.00	13.69	0.20	8.80
	32	19	12.00	22.80	15.56	0.59	10.80	32	10.70	17.00	14.27	0.28	6.30
	34	49	11.00	20.10	14.99	0.28	9.10	34	10.50	16.90	14.22	0.25	6.40
	36	21	11.70	20.80	16.04	0.56	9.10	6	12.40	16.70	14.77	0.62	4.30
	Total	210	10.80	22.80	14.29	0.16	12.00	232	10.40	20.00	13.57	0.09	9.60
5	28	45	11.30	16.10	13.03	0.16	4.80	31	11.30	16.60	12.95	0.18	5.30
	30	44	12.00	16.00	13.94	0.15	4.00	28	11.50	20.10	14.02	0.35	8.60
	32	11	13.00	20.10	15.96	0.65	7.10	6	11.70	17.40	15.23	0.90	5.70
	34	25	10.70	17.30	14.46	0.32	6.60	8	11.10	15.30	13.03	0.48	4.20
	36	3	16.20	20.10	17.97	1.14	3.90	5	11.50	16.70	13.86	0.92	5.20
	Total	128	10.70	20.10	13.99	0.14	9.40	78	11.10	20.10	13.58	0.19	9.00
6	28	31	12.40	20.50	13.67	0.27	8.10	28	11.60	15.00	13.28	0.16	3.40
	30	11	9.50	21.00	14.12	1.09	11.50	8	12.80	14.50	13.55	0.21	1.70
	32	9	9.00	17.00	13.02	0.90	8.00	3	11.30	16.30	13.20	1.56	5.00
	34	9	11.00	16.20	14.33	0.62	5.20	6	11.30	14.00	12.83	0.38	2.70
	36	10	11.10	20.90	15.82	1.04	9.80	2	11.20	15.00	13.10	1.90	3.80
	Total	70	9.00	21.00	14.05	0.30	12.00	47	11.20	16.30	13.26	0.15	5.10
7	28	69	11.40	19.20	13.70	0.14	7.80	64	10.80	14.70	13.21	0.10	3.90
	30	34	11.80	17.00	14.15	0.24	5.20	11	12.20	15.30	13.49	0.27	3.10
	32	4	15.00	19.40	17.10	0.92	4.40	5	9.30	15.20	12.50	1.02	5.90
	34	16	11.90	22.30	14.94	0.57	10.40	4	10.70	14.70	12.90	0.85	4.00
	36	3	10.70	15.20	12.60	1.35	4.50	3	12.40	16.60	13.87	1.37	4.20
	Total	126	10.70	22.30	14.06	0.14	11.60	87	9.30	16.60	13.21	0.11	7.30
8	28	70	12.00	15.00	13.38	0.08	3.00	54	11.30	16.80	12.94	0.12	5.50
	30	18	11.80	16.70	13.82	0.25	4.90	4	12.80	14.00	13.38	0.31	1.20
	32	6	12.70	17.60	14.78	0.70	4.90	3	13.60	15.10	14.23	0.45	1.50
	34	15	12.20	18.50	14.68	0.44	6.30	6	13.10	16.20	14.45	0.54	3.10
	36	14	11.30	24.70	15.36	0.99	13.40						
	Total	123	11.30	24.70	13.90	0.15	13.40	67	11.30	16.80	13.16	0.12	5.50
Total	28	402	10.50	21.80	13.43	0.07	11.30	362	10.40	19.80	13.17	0.06	9.40
	30	298	9.50	23.50	14.53	0.11	14.00	177	10.40	20.10	13.84	0.11	9.70
	32	152	9.00	22.90	15.78	0.20	13.90	69	9.10	18.50	14.40	0.25	9.40
	34	195	9.30	22.30	15.17	0.14	13.00	87	9.70	17.20	14.19	0.17	7.50
	36	149	9.20	24.70	16.37	0.21	15.50	30	9.50	17.50	13.98	0.39	8.00
	Total	1196	9.00	24.70	14.65	0.06	15.70	725	9.10	20.10	13.61	0.06	11.00

Avlanan toplam 2050 bireyin 1109 tanesinin dişi, 788 tanesinin ise erkek olduğu saptanmıştır. 153 bireyin ise eşey tayinin yapılamamıştır. Tablo 3'te dişi ve erkek bireyler için belirlenen minimum, maksimum ve ortalama boylar gösterilmiştir. Aynı tabloda her operasyonda, her ağ göz genişliğine (28, 30, 32, 34, 36mm) yakalanan dişi ve erkek bireylerin sayısı, minimum, maksimum ve ortalama boyu da gösterilmiştir. Monofilament ağlardan elde edilen örneklerde, dişi oranının (%62.26) erkek oranından (%37.74) yüksek olduğu belirlenmiştir. Yapılan 8 örnekleminin sadece birinde (4. Örnekleme Tablo 2) erkek oranı dişi oranından daha yüksek olarak belirlenmiştir. Buna ek olarak, ağ göz genişliği arttıkça yakalanan bireyler içerisindeki dişi oranının yükseldiği gözlenmiştir. Örneğin 2. Operasyonda 28'lik ağa yakalanan bireylerin %42.86'sı dişi iken, 36'lık ağda bu oran %89.09'dur. Benzer şekilde, 3. operasyonda 28'lik ağa yakalanan bireylerin %35.53'ü dişi iken, aynı operasyonda 36'lık ağa yakalanan bireylerin %82.14'nün dişi olduğu belirlenmiştir (Tablo 2). Özellikle 13cm'den büyük boy gruplarında dişilerin frekanslarının erkeklerle göre belirgin şekilde yüksek olduğu görülmüştür.

Multifilament ağlarda da dişi erkek oranı ile ilgili olarak monofilament ağlara benzer değişimler gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, tüm bireyler içerisi dişi oranının %58.46, erkek birey oranının ise %41.54 olduğunu göstermiştir. Ayrıca yapılan tüm örneklemlerde dişi oranı erkek oranından yüksek bulunmuştur. Ağ göz genişliğine göre de dişi erkek oranında belirgin farklar gözlenmiştir. Örneğin birinci operasyonda, 28'lik ağda dişi oranı %55.56 iken erkek oranı %44.44'tür. Ancak aynı operasyonda 36'lık ağlarda dişi oranı %88.24 erkek oranı %11.76'dır. Benzer şekilde, 2. operasyonda 28'lik ağda dişi oranı %58.14, erkek oranı 41.86 iken 36'lık ağda dişi oranı %93.33 erkek oranı %6.67'dir (Tablo 3). Yani genel olarak ağ göz genişliği arttıkça yakalanan bireyler arasındaki dişi erkek oranı dişiler lehine artmaktadır. Şekil 1'de monofilament ve multifilament ağlar için dişi ve erkek bireylerin boy frekans değişimi verilmiştir.

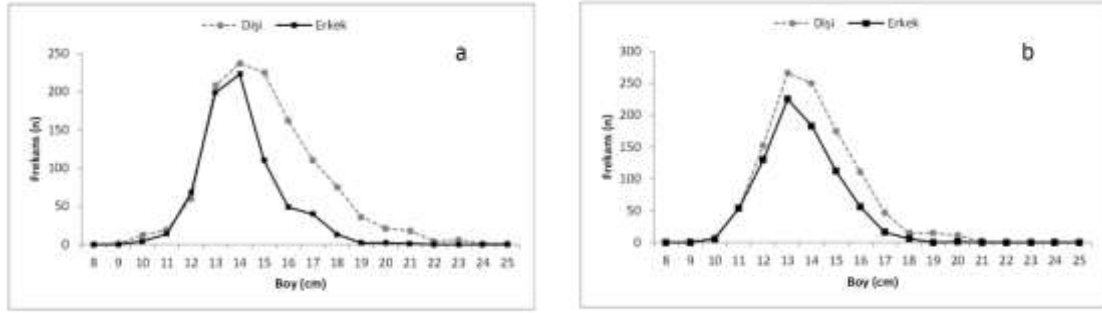
Monofilament ve multifilament ağların farklı ağ göz genişliklerine yakalanan birey sayıları ve bu bireylerin minimum, maksimum ve ortalama boyları ile ağırlıkları Tablo 2 ve 3'de verilmiştir. Bu tablodan, monofilament ağlara yakalanan bireylerin yaklaşık %40'nın 28'lik, yaklaşık %25'inin ise 30mm'lik ağ tarafından yakalandığını görülmektedir. Yani bu iki ağ göz genişliğine yakalanan birey sayısı, toplam bireylerin %65'ini oluşturmaktadır. En az birey ise %9.42'lik oranla 36mm'lik ağa yakalanmıştır. Multifilament ağlarla avlanan bireylerin yaklaşık %45'i 28mm'lik, yaklaşık %20'si 30mm'lik ağda gözlenmiştir. Yani bu iki ağ göz genişliğine yakalanan birey sayısı, toplam bireylerin yaklaşık %65'ini oluşturmaktadır. En az birey ise (%8.48) 34mm'lik ağa yakalanmıştır.

Tablo 3. Multifilament ağlarda operasyonlara ve ağ göz genişliğine göre yakalanan dişi ve erkek bireylerin sayısı, minimum, maksimum ve ortalama boyları

(Table 3. The number of female and male individuals caught according to operation and mesh width in multifilament networks, minimum, maximum and average length)

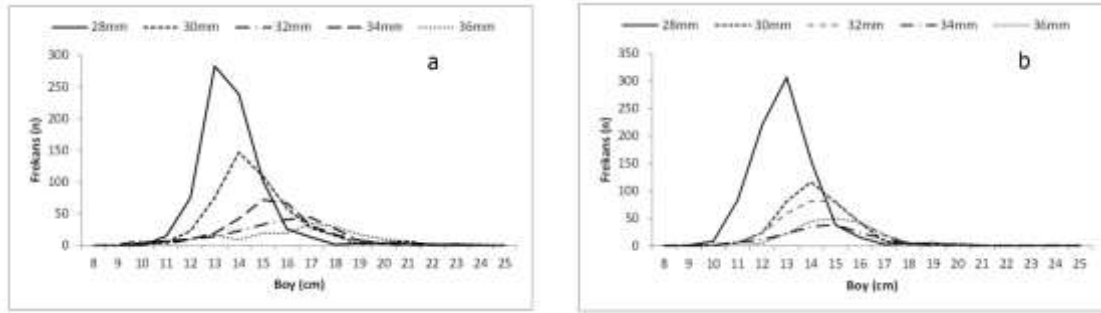
Oper.	A.G..G.	Dişi						Erkek					
		N	Min.	Mak.	Ort.	SH.	Range	N	Min.	Max.	Ort.	SH.	Range
1	28	35	9.80	18.80	13.51	0.31	9.00	28	10.50	14.00	12.64	0.21	3.50
	30	40	11.70	18.70	14.11	0.24	7.00	14	12.00	15.00	13.56	0.23	3.00
	32	37	12.00	17.00	14.15	0.20	5.00	7	13.00	16.40	14.59	0.42	3.40
	34	17	9.10	17.00	14.48	0.41	7.90	7	12.30	15.20	14.09	0.33	2.90
	36	30	10.70	16.80	14.40	0.25	6.10	4	12.30	17.20	15.20	1.07	4.90
	Total	159	9.10	18.80	14.08	0.12	9.70	60	10.50	17.20	13.42	0.18	6.70
2	28	50	11.10	16.30	12.88	0.15	5.20	37	10.00	14.90	12.67	0.19	4.90
	30	27	11.50	16.00	14.01	0.19	4.50	15	13.10	17.30	14.24	0.28	4.20
	32	14	12.40	19.40	14.16	0.44	7.00	2	14.20	14.30	14.25	0.05	0.10
	34	1	14.80	14.80	14.80		0.00	2	12.50	14.00	13.25	0.75	1.50
	36	14	12.50	16.50	14.94	0.32	4.00	1	13.50	13.50	13.50		0.00
	Total	106	11.10	19.40	13.63	0.13	8.30	57	10.00	17.30	13.17	0.17	7.30
3	28	20	10.50	19.70	14.45	0.66	9.20	18	10.80	15.70	12.79	0.33	4.90
	30	18	11.00	19.60	14.87	0.60	8.60	33	11.10	17.30	14.72	0.22	6.20
	32	38	10.90	18.70	14.77	0.31	7.80	40	10.20	17.80	14.61	0.23	7.60
	34	14	13.30	19.20	15.78	0.41	5.90	7	13.50	15.50	14.43	0.30	2.00
	36	27	10.20	25.50	16.07	0.56	15.30	16	11.50	17.00	15.29	0.34	5.50
	Total	117	10.20	25.50	15.15	0.23	15.30	114	10.20	17.80	14.44	0.14	7.60
4	28	149	8.70	18.00	11.93	0.10	9.30	150	9.50	18.00	11.89	0.09	8.50
	30	46	9.80	16.60	13.00	0.17	6.80	45	10.50	15.50	13.00	0.15	5.00
	32	30	9.90	18.00	13.59	0.35	8.10	32	11.10	16.30	13.04	0.20	5.20
	34	23	10.50	16.70	13.58	0.27	6.20	23	10.20	16.80	13.10	0.36	6.60
	36	22	12.80	19.30	14.66	0.31	6.50	19	10.90	16.40	13.77	0.27	5.50
	Total	270	8.70	19.30	12.66	0.10	10.60	269	9.50	18.00	12.45	0.08	8.50
5	28	88	10.70	17.70	12.39	0.11	7.00	44	10.90	15.20	12.51	0.13	4.30
	30	13	11.80	17.40	14.07	0.42	5.60	17	10.80	14.20	12.61	0.22	3.40
	32	25	9.90	18.70	13.53	0.45	8.80	13	11.60	16.00	13.70	0.42	4.40
	34	5	14.00	17.20	15.56	0.67	3.20	2	12.40	14.20	13.30	0.90	1.80
	36	12	10.50	16.00	12.83	0.49	5.50	5	10.20	17.40	14.02	1.18	7.20
	Total	143	9.90	18.70	12.89	0.13	8.80	81	10.20	17.40	12.83	0.14	7.20
6	28	29	11.00	15.00	12.71	0.16	4.00	23	10.30	14.10	12.60	0.20	3.80
	30	8	11.50	20.60	14.20	0.99	9.10	2	13.00	13.90	13.45	0.45	0.90
	32	10	11.10	20.60	15.57	0.90	9.50	4	13.10	13.90	13.55	0.17	0.80
	34	7	10.90	18.50	15.00	1.04	7.60	6	11.00	15.00	13.30	0.67	4.00
	36	13	14.10	16.60	15.42	0.22	2.50	12	11.10	15.90	13.82	0.39	4.80
	Total	67	10.90	20.60	14.08	0.26	9.70	47	10.30	15.90	13.12	0.18	5.60
7	28	54	10.80	15.30	13.02	0.12	4.50	46	11.70	14.40	12.94	0.10	2.70
	30	38	12.00	15.80	14.21	0.15	3.80	24	11.40	16.00	13.63	0.23	4.60
	32	38	12.00	16.90	14.11	0.20	4.90	21	11.80	19.50	13.99	0.35	7.70
	34	12	11.90	23.80	15.73	0.89	11.90	4	12.10	14.10	13.08	0.41	2.00
	36	16	11.80	19.40	14.08	0.49	7.60	4	13.40	15.40	14.13	0.44	2.00
	Total	158	10.80	23.80	13.88	0.12	13.00	99	11.40	19.50	13.38	0.11	8.10
8	28	42	11.60	15.70	12.84	0.15	4.10	27	11.30	16.30	12.71	0.19	5.00
	30	15	12.40	15.60	13.97	0.27	3.20	11	12.70	15.80	13.85	0.29	3.10
	32	8	13.40	16.80	14.79	0.37	3.40	10	11.80	14.40	13.24	0.33	2.60
	34	18	10.30	16.70	13.84	0.41	6.40	11	10.90	15.20	13.27	0.38	4.30
	36	6	12.10	16.30	14.20	0.55	4.20	2	13.10	15.50	14.30	1.20	2.40
	Total	89	10.30	16.80	13.50	0.14	6.50	61	10.90	16.30	13.16	0.15	5.40
Total	28	467	8.70	19.70	12.60	0.07	11.00	373	9.50	18.00	12.37	0.06	8.50
	30	205	9.80	20.60	13.92	0.11	10.80	161	10.50	17.30	13.63	0.10	6.80
	32	200	9.90	20.60	14.19	0.13	10.70	129	10.20	19.50	13.88	0.13	9.30
	34	97	9.10	23.80	14.59	0.21	14.70	62	10.20	16.80	13.42	0.18	6.60
	36	140	10.20	25.50	14.73	0.17	15.30	63	10.20	17.40	14.31	0.19	7.20
	Total	1109	8.70	25.50	13.58	0.06	16.80	788	9.50	19.50	13.11	0.05	10.00

Şekil 2’de monofilament ve multifilament ağlar için farklı ağ göz genişliklerinin boy frekans dağılımı verilmiştir.



Şekil 1. Monofilament (a) ve multifilament (b) ağlarda dişi ve erkek bireylerin boy frekans dağılımı

(Figure 1. Frequency distribution of female and male individuals in monofilament (a) and multifilament (b) networks)



Şekil 2. Monofilament (a) ve multifilament (b) ağlarda ağ göz genişliklerine göre boy frekans dağılımı

(Figure 2. Size frequency distribution according to mesh widths in monofilament (a) and multifilament (b) networks)

Monofilament ve multifilament ağlar için farklı seçicilik modellerinin parametreleri Tablo 4’de verilmiştir. Seçicilik parametreleri tüm bireyler, dişi bireyler ve erkek bireyler için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Tüm bireyler değerlendirildiğinde monofilament ve multifilament ağlar için en düşük varyans ve serbestlik derecesi “Bi-modal” modelde gözlenmiştir. Monofilament ağlarda gerek dişi gerekse erkek bireyler için en uygun model normal scale, buna karşın multifilament ağlarda dişi ve erkek bireyler için en uygun model bi-modal model olarak belirlenmiştir. Bu modellere göre; tüm bireyler, dişi bireyler ve erkek bireyler için monofilament ve multifilament ağların optimum yakalama boyları Tablo 5’de gösterilmiştir. Bu tabloya göre, tüm bireylerde, her ağ göz genişliği için, monofilament ağların optimum yakalama boyunun multifilament ağlardan daha büyük olduğu görülmektedir. Aynı durum dişi ve erkek bireyler içinde gözlenmiştir (Tablo 5). Dolayısıyla, aynı ağ göz genişliğine sahip monofilament ağların multifilament ağlara göre daha büyük boylu bireyleri yakaladığı söylenebilir.

Tablo 4. Monofilament ve multifilament ağlar için belirlenen seçicilik parametreleri
(Table 4. Selectivity parameters for monofilament and multifilament nets)

Eşey	Materyal	Modeller	Parametreler	Model Varyansı	Serbestlik Derecesi
Toplam	Monofilament	Normal Scale	(k1, k2)=(0.54526, 0.06938)	465.99	66
		Normal Location	(k, s)=(0.54021, 2.43664)	504.41	66
		Gamma	(k, a)=(0.01082, 51.11305)	498.69	66
		Log Normal	(m, s)=2.74269, 0.15046)	482.4	66
		Bi-modal*	(a1, b1, a2, b2, w)= (0.51240, 0.04305, 0.85935, 0.22796, 0.29934)	245.98	63
	Multifilament	Normal Scale	(k1, k2)=(0.51051, 0.06103)	356.62	54
		Normal Location	(k, s)=(0.50664, 2.14216)	400.50	54
		Gamma	(k, a)=(0.00874, 59.13685)	338.49	54
		Log Normal	(m, s)=(2.67303, 0.13816)	338.90	54
		Bi-modal*	(a1, b1, a2, b2, w)= (0.48265, 0.04253, 0.66998, 0.12873, 0.46720)	251.95	51
Dişi	Monofilament	Normal Scale*	(k1, k2)=(0.53950, 0.07303)	360.17	62
		Normal Location	(k, s)=(0.53101, 2.49916)	381.01	62
		Gamma	(k, a)=(0.01141, 47.74650)	360.98	62
		Log Normal	(m, s)=(2.72387, 0.15364)	370.79	62
		Bi-modal	(a1, b1, a2, b2, w)= (0.51240, 0.04305, 0.85935, 0.22796, 0.29934)	-	-
	Multifilament	Normal Scale	(k1, k2)=(0.51951, 0.06668)	283.48	50
		Normal Location	(k, s)=(0.51415, 2.32992)	307.22	50
		Gamma	(k, a)=(0.01002, 52.42658)	273.71	50
		Log Normal	(m, s)=(2.68927, 0.14632)	274.4	50
		Bi-modal*	(a1, b1, a2, b2, w) = (0.48168, 0.03779, 0.61345, 0.12046, 0.52435)	204.89	47
Erkek	Monofilament	Normal Scale*	(k1, k2)=(0.56555, 0.06958)	145.93	42
		Normal Location	(k, s)=0.58930, 2.84484	171.56	42
		Gamma	(k, a)=(0.01301, 45.81110)	155.64	42
		Log Normal	(m, s)=2.85395, 0.17070)	161.53	42
		Bi-modal	(a1, b1, a2, b2, w)= (0.51240, 0.04305, 0.85935, 0.22796, 0.29934)	-	-
	Multifilament	Normal Scale	(k1, k2)=(0.50382, 0.05377)	128.99	34
		Normal Location	(k, s)=(0.50456, 1.93576)	160.33	34
		Gamma	(k, a)=(0.00715, 71.61975)	133.76	34
		Log Normal	(m, s)= (2.66873, 0.12667)	137.93	34
		Bi-modal*	(a1, b1, a2, b2, w)= (0.48984, 0.04485, 0.76579, 0.14509, 0.59583)	115.25	31

Tablo 5. Monofilament ve multifilament ağların farklı ağ göz genişliklerinin tüm bireyler, dişi bireyler ve erkek bireyler için optimum yakalanma boyları

(Table 5. Monofilament and multifilament nets of different network widths for all individuals, female individuals, and male individuals are caught in the proper tether)

Eşey	Materyal	Ağ Göz Genişliği(mm)	Optimum Boy (cm)	Yaygınlık
Toplam	Monofilament	28	14.37	1.22
		30	15.39	1.30
		32	16.42	1.39
		34	17.45	1.48
		36	18.47	1.57
	Multifilament	28	13.51	1.19
		30	14.48	1.28
		32	15.44	1.36
		34	16.41	1.45
		36	17.38	1.53
Dişi	Monofilament	28	15.11	2.04
		30	16.19	2.19
		32	17.26	2.34
		34	18.34	2.48
		36	19.42	2.63
	Multifilament	28	13.49	1.06
		30	14.45	1.13
		32	15.41	1.21
		34	16.38	1.28
		36	17.34	1.36
Erkek	Monofilament	28	15.84	1.95
		30	16.97	2.09
		32	18.10	2.23
		34	19.23	2.37
		36	20.36	2.50
	Multifilament	28	13.72	1.26
		30	14.70	1.35
		32	15.67	1.44
		34	16.65	1.52
		36	17.63	1.61

Yapılan sekiz operasyonun 5'inde (1, 2, 3, 6 ve 8. operasyonlar) monofilament ağlara, 3'ünde ise (4, 5 ve 7. operasyonlar) multifilament ağlara daha fazla birey yakalanmıştır. Ancak, hem toplamda hem de her bir operasyonda monofilament ve multifilament ağlara yakalanan birey sayılarının birbirine oldukça yakın olduğu gözlenmiştir. Buna ek olarak, monofilament ve multifilament ağlara yakalanan birey sayıları arasında ki farkın istatistiksel açıdan önemli olmadığı belirlenmiştir ($Z:-0.280$, $p:0.779$). Balık stoklarında eşey oranı, stokun yapısındaki değişiklikler ve üreme potansiyeli ile ilgili tahminlerde bulunmak için önemli bilgiler veren bir parametredir. Bu oran bireylerin yaşam döngüsü içinde ardışık olarak meydana gelen olaylara bağlı olarak değişim gösterebilir (Trindade-Santos and Freire 2015). Örneğin bazı av araçlarının özellikle uzatma ağlarının, stoka katılımdan sonra bir eşeyi diğerinden daha fazla etkileyebildiği bilinmektedir (Iversen 2012). Karadeniz'de mezgit ile ilgili olarak yapılan birçok çalışmada dişilerin erkeklerden daha fazla olduğu ve stoktaki dişi bireylerin ortalama boy ve ağırlığının erkeklerinkinden yüksek olduğu belirtilmiştir. Örneğin İşmen (2002) stoktaki erkek dişi oranının 1:1.2 olduğunu, Samsun (2010) bu oranın 1:1.15 olduğunu, Sağlam and Sağlam (2012) ise stokta dişi oranın erkek oranından yüksek olduğunu ve dişi bireylerin ortalama boy ve ağırlığının erkek bireylerden yüksek olduğunu

belirtmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar da dişi bireylerin oranının erkek bireylerden daha yüksek olduğunu (Erkek:Dişi oranı monofilament ve multifilament ağlar için sırasıyla 1:1.6 ve 1:1.4) ve dişi bireylerin ortalama boyunun erkek bireylerden yüksek olduğunu göstermiştir (Tablo 2 ve 3).

Şekil 1 incelendiğinde, gerek monofilament gerekse multifilament uzatma ağlarına, özellikle 13cm' boy grubundan sonra daha çok dişi bireyin yakalandığı görülmektedir. Buna ek olarak, aynı ağ göz genişliğine yakalanan, dişi bireylerin erkek bireylere göre daha geniş bir boy aralığına sahip olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2 ve 3). Karadeniz'de Mezgit üzerine yapılan çalışmalarda bu türün ilk eşeysel olgunluk boyu dişiler ve erkekler için sırasıyla İşmen (2002) tarafından 14.7 ve 12.5cm, Bilgin, Bal and Tasci (2012) tarafından 14.6 ve 13.9cm olarak bulunmuştur. Özellikle üreme boyundan sonra, yakalanan dişi bireylerin boy dağılımının alt limitinin, erkek bireylerinkinden küçük olması, muhtemelen vücut çevresi ile ilişkilidir. Eşeysel olgunluğa ulaşan dişilerin vücut çevresi erkeklerinkinden daha fazla olacağından sade uzatma ağlarına daha küçük boylarda yakalanmaya başlayacaklardır. Gerek monofilament gerekse multifilament ağlarda dişi ve erkekler için boy dağılımının alt ve üst limiti incelendiğinde (Tablo 3 ve 4 total), sadece 28mm monofilament ağda erkeklerin alt limit boyunun dişilerden küçük olduğu, diğer tüm ağlarda dişilerinin boy dağılımının alt limitinin erkeklerden küçük olduğu görülmektedir.

En küçük ağ göz genişliğinde dişi ve erkeklerde boy dağılımı alt limitinin çok yakın olması muhtemelen dişilerin henüz ilk eşeysel olgunluk boyuna ulaşmamış olmasından kaynaklanmaktadır. Nitekim, 28mm'lik monofilament ağlara yakalanan dişi bireylerin ortalama boylarına bakıldığında (13.43 ± 0.07 cm) dişiler için verilen ilk eşeysel olgunluk boyundan (14.7 ve 14.6cm) küçük olduğu görülmektedir. Boy dağılımının üst limitinin, dişilerde erkeklerden daha büyük olması ise, muhtemelen ortamda dişilerin bulunurluğunun ve ortalama boylarının erkeklerden daha büyük olmasından kaynaklanmaktadır. Elde edilen seçicilik parametreleri de bu saptamaları destekleler niteliktedir. Seçicilik modellerinde dişiler için belirlenen optimum yakalanma boylarının erkekler için belirlenenlerden daha küçüktür (Tablo 5). Bu durum, muhtemelen üreme boyuna ulaşmış olan dişi bireylerin (yani vücut çevreleri artmış dişilerin) aynı ağ göz genişliğine erkeklerden daha küçük boylarda yakalanmaya başlamasından kaynaklanmaktadır.

Tüm bireyler değerlendirildiğinde hem monofilament hem de multifilament ağlarda en iyi modelin bi-modal olduğu belirlenmiştir. Bu durum, muhtemelen dişi ve erkek bireylerin boy dağılımının farklı olmasından kaynaklanmaktadır (Şekil 1). Küçük boy gruplarında dişi ve erkek bireyler yoğun olarak birlikte yakalanırken, daha büyük boy gruplarında, boyları erkeklerden büyük olan dişiler daha yoğun yakalandığından ikinci bir mod oluşmuş olabilir. Bu durumda, dişi ve erkek bireylerin seçicilikleri ayrı ayrı değerlendirildiğinde tek modlu modellerin (normal scale, normal location ve gamma gibi) en uygun model olarak çıkması beklenir. Söz konusu monofilament ağlar olduğunda hem dişi hem erkek bireyler için en uygun model normal scale olarak belirlenmiştir. Bu durum yukarıdaki açıklamayı desteklemektedir. Ancak multifilament ağlar söz konusu olduğunda, hem dişi hem erkek bireyler için en uygun model yine bi-modal olarak belirlenmiştir. Bu durum ise, yukarıdaki açıklama ile çelişmektedir. Bilindiği gibi uzatma ağları söz konusu olduğunda, üç tip yakalanma olmaktadır. Bunlar; balıkların göz civarından sıkışma (snagged), solungaç civarından sıkışma (gilled), dorsal yüzgeç civarından sıkışma (wedged) ve dolanarak (entangled) yakalanmadır (Sparre and Venema 2001). Yakalanmaların dolanarak olduğu ve boy dağılımının daha geniş

olduğu durumlarda bi-modal modelin uygun olduğu bilinmektedir (Holt 1963, Hovgård 1996). Multifilament ağlarda hem dişi ve hem de erkek bireyler için bi-modal modelin uygun çıkması multifilament ağlara takılmayla (entangled) yakalanmaların daha yoğun olduğu fikrini vermektedir. Multifilament ağların (monofilament ağların kullanımı yasaktır) optimum yakalanama boyları ve minimum av boyu (13cm) dikkate alındığında kullanılması gereken minimum ağ göz genişliği 28mm'nin (optimum yakalama boyu 13.51cm) olduğu anlaşılmaktadır. Ancak bu durumda yakalanan dişi bireylerin yaklaşık %90'nı ilk eşeysel olgunluk boyundan küçük olacaktır. Ancak 32mm'lik ağ kullanıldığında bu oran %50'nin altına düşecektir. Bu nedenle, mezgit için uygulanması gereken minimum av boyunun 15cm avcılıkta kullanılan uzatma ağlarının minimum ağ göz genişliğinin ise 32mm olması stokun sürdürebilirliği açısından faydalı olacaktır.

Monofilament uzatma ağlarının av verimliliğinin kıyaslanması ile ilgili ilk çalışmalar 1950'lerin sonlarında başlamıştır (Collins 1979, Molin 1959, Steinberg 1964). Genellikle iç sularda yapılan bu çalışmalarda, mevsime ve bölgeye göre farklı oranlarda olsa da monofilament materyalin multifilament materyale göre oldukça verimli olduğu belirtilmiştir. Bu verim farkı, ise monofilament materyalin görünürlüğünün diğer materyallere göre daha az olması ile açıklanmıştır. Ancak az sayıda olsa da multifilament ağların monofilament ağlara göre daha verimli olduğunun saptandığı çalışmalarda vardır (Njoku 1991). Bu çalışmada elde ettiğimiz sonuç ise, av verimi bakımından iki materyal arasında bir farklılık olmadığını göstermektedir. Elde ettiğimiz bulgular ile av veriminde neden fark olmadığını açıklamak oldukça zordur. Daha önceki çalışmalarda belirtildiği gibi monofilament ağların en önemli özelliği görünürlüğünün az olmasıdır. Bu sonuçlar, mezgit avcılığında kullanılan monofilament ağların görünürlük bakımından bir avantaj sağlamadığı şeklinde yorumlanabilir. Ayrıca denizel alandaki balıkçılıkta halen yoğun olarak multifilament uzatma ağlarının tercih edildiği görülmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Sonuç olarak, mezgit avcılığında monofilament ve multifilament ağların av verimi arasında bir fark olmadığı ancak monofilament ağların optimum yakalama boyunun multifilament ağlara göre biraz daha yüksek olduğu söylenebilir. Buna ek olarak, türün ilk eşeysel olgunluk boyu dikkate alındığında kullanılması gereken minimum ağ göz genişliğinin 32mm olduğu söylenebilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Beverton, R.J. and Holt, S.J., (2012). On the Dynamics of Exploited Fish Populations. Springer Science & Business Media.
2. Bilgin, S., Bal, H., and Tasci, B., (2012). Length Based Growth Estimates and Reproduction Biology of Whiting, Merlangius merlangus euxinus (Nordman, 1840) in the Southeast Black Sea. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 12, 871-881.
3. Collins, J., (1979). Relative Efficiency of Multifilament and Monofilament Nylon Gill Net Towards Lake Whitefish (Coregonus clupeaformis) in Lake Huron. Journal of the Fisheries Board of Canada, 36, 1180-1185.
4. Holt, S., (1963). A method for Determining Gear Selectivity and Its Application. ICNAF Special Publication, 5, 106-115.
5. Hovgård, H., (1996). A Two-step Approach to Estimating Selectivity and Fishing Power of Research Gill Nets Used in Greenland Waters. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 53, 1007-1013.

6. İşmen, A., (2002). A Preliminary Study on the Population Dynamics Parameters of Whiting (*Merlangius merlangus euxinus*) in Turkish Black Sea Coastal Waters. Turkish Journal of Zoology, 26, 157-166.
7. Iversen, E.S., (2012). Living Marine Resources: Their Utilization and Management. Springer Science & Business Media.
8. Millar, R.B., (1992). Estimating the Size-Selectivity of Fishing Gear by Conditioning on the Total Catch. Journal of the American Statistical Association, 87, 962-968.
9. Millar, R.B. and Fryer, R.J., (1999). Estimating the size-Selection Curves of Towed Gears, Traps, Nets and Hooks. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 9, 89-116.
10. Millar, R.B. and Holst, R., (1997). Estimation of Gillnet and Hook Selectivity Using Log-Linear Models. Ices Journal of Marine Science, 54, 471-477.
11. Molin, S., (1959). Tests with Nylon Fishing Tackle in Swedish inland fisheries. Modern fishing gear of the world. Fishing News (Books) Ltd, London, 156-158.
12. Njoku, D.C., (1991). Comparative efficiency and techno-economics of multifilament and monofilament gillnets on the Oguta Lake, Nigeria. Fisheries Research, 12, 23-30.
13. Parrish, B., (1963). Some Remarks on Selection Processes in Fishing Operations. International Commission for the Northwest Atlantic Fisheries Special Publication, 5, 166-170.
14. Saglam, N.E. and Saglam, C., (2012). Population Parameters of Whiting (*Merlangius merlangus euxinus* L., 1758) in the South-Eastern Black Sea. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 12, 831-839.
15. Samsun, S., (2010). 2001-2003 Av Sezonunda Orta Karadeniz'deki Mezgit Balığının (*Merlangius merlangus* Linnaeus, 1758) Bazı Populasyon Parametrelerinin Belirlenmesi. Firat University Journal of Science, 22.
16. Santos, M.N., Monteiro, C.C., Erzini, K., and Lasserre, G., (1998). Maturation and Gill-net Selectivity of Two Small Sea Breems (genus *Diplodus*) from the Algarve Coast (south Portugal). Fisheries Research, 36, 185-194.
17. Sparre, P. and Venema, S.C., (2001). Introduction to Tropical Fish Stock Assessment. Pt. 1: Manual.-Pt. 2: Exercises. FAO Fisheries Technical Paper (FAO).
18. Steinberg, R., (1964). Monofilament Gillnets in Freshwater Experiment and Practice. Modern Fishing Gear of the World II, 111-114.
19. Trindade-Santos, I. and Freire, K.D.M.F., (2015). Analysis of Reproductive Patterns of Fishes from Three Large Marine Ecosystems. Frontiers in Marine Science, 2, 38.
20. Wileman, D.A., (1996). Manual of Methods of Measuring the Selectivity of Towed Fishing Gears. ICES cooperative research report, 215, 38-99.