



İkbal Ay Keçeli

Çankırı Karatekin University, iay@karatekin.edu.tr, Çankırı-Türkiye

Bahattin Aydın

Kastamonu University, baydinli@kastamonu.edu.tr, Kastamonu-Türkiye

DOI	http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2025.20.2.2A0206	
ORCID ID	0000-0002-1125-7552	0000-0002-6525-4162
Corresponding Author	İkbal Ay Keçeli	

AYÇİÇEĞİ KÜSPESİNİN PİROLİZİNDE BORİK ASİTİN BİYOÜRÜNLERE ETKİSİ

ÖZ

Bu çalışmada, ayçiçeği küspesi gibi endüstriyel tarımsal atıkların değerlendirilmesiyle sürdürülebilir bir yöntem olan piroliz işlemi sırasında borik asit katkısının biyoyürün verimliliği üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda karşılaştırma açısından katkısız biyokütle ve %6.6 oranında borik asit katkısı uygulanmış ayçiçeği küspesi numuneleri 400, 450, 500 ve 550 °C sıcaklıklarda pirolize edilmiştir. Elde edilen katı, sıvı ve gaz ürünler kantitatif olarak değerlendirilmiştir. Bulgular, borik asit katkısının özellikle düşük sıcaklıklarda biyokömür verimini artırdığını, yüksek sıcaklıklarda ise sıvı ve gaz ürünlerin oranını azalttığını göstermiştir. Borik asit katkısının piroliz verimi açısından sınırlayıcı etkiler gösterebildiği gözlenmiştir. Çalışma, borik asit katkısının piroliz sürecini ve sonucunu etkilemesi açısından başka çalışmalara önemli bir temel oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Biyokütle, Piroliz, Borik Asit, Katalizör, Biyoyürün

EFFECT OF BORIC ACID ON BIOPRODUCTS IN PYROLYSIS OF SUNFLOWER MEAL

ABSTRACT

This study investigated the effects of boric acid addition on bioproduct efficiency during the pyrolysis process, which is a sustainable method, by evaluating industrial agricultural wastes such as sunflower meal. In the experimental studies, for comparison, unmixed biomass and sunflower meal samples with 6.6% boric acid addition were pyrolyzed at 400, 450, 500, and 550°C. The solid, liquid, and gaseous products obtained were evaluated quantitatively. The findings showed that boric acid addition increased biochar yield, especially at low temperatures, while it decreased the ratio of liquid and gaseous products at high temperatures. It was observed that boric acid addition may have limiting effects in terms of pyrolysis efficiency. The study provides an important basis for other studies in terms of the effect of boric acid addition on the pyrolysis process and result.

Keywords: Biomass, Pyrolysis, Boric acid, Catalyst, Bioproduct

How to Cite:

Ay Keçeli, İ. ve Aydın, B., (2025). Ayçiçeği küspesinin pirolizinde borik asitin biyoyürünlere etkisi. Technological Applied Sciences, 2025, 20(2):61-68, DOI: 10.12739/NWSA.2025.20.2.2A0206.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda gelişen teknoloji ve artan nüfus ile birlikte enerjiye olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Fosil yakıtların sınırlı olan kaynaklara sahip olması, çevreye olan olumsuz etkileri ve bu olumsuz etkileri aza indirmeye çabaları, ilgiyi yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Buna bağlı olarak sürdürülebilirliği ve çevre dostu olması açısından önemli bir etkiye sahip biyokütle ilk sıralarda akla gelen bir enerji kaynağıdır [1]. Biyokütle, odunsu materyaller, tarımsal atıklar gibi bitkisel kökenli organik maddeler ile hayvansal atıklar, kentsel atıklar gibi çeşitli kaynaklardan elde edilen yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak tanımlanmaktadır [2].

Ayçiçeği, ülkemizde yüksek oranda üretilen ve en fazla ekili alana sahip yağlı tohum bitkisidir. Ayçiçeği dünyada en fazla tarımı Rusya ve Ukrayna da yapılan bir bitkidir. Türkiye ise 6. sırada yer almaktadır [3]. Dünyada üretim miktarı 2023-2024 yılları arasında 55.93 milyon tondur. Türkiye’de ise aynı yıllar arasında 1.55 milyon olmuştur. Türkiye de bitkisel sıvı yağ tüketimimizin %84 civarı ayçiçeğinden karşılanmakta olup tohumundan yağ üretildiğinde atık ürün olarak proteince zengin değerli bir yan ürün olan ayçiçeği posası (küspe) açığa çıkarak elde edilmektedir [4]. Küspe, yağ üretim endüstrisinde atık ürün olarak nitelendirilmekte ve yüksek protein içeriği için bir hammadde özelliği taşımaktadır. Posanın protein oranı %29-32, selüloz oranı %22-26, hemiselüloz oranı %6-12’dir [5 ve 6].

Proteince yüksek bu yan ürün endüstriyel tarımsal atık sınıfında iyi bir biyokütle kaynağı olarak düşünülmektedir. Biyokütlenin dönüştürülmesindeki teknolojilerinden biri, çeşitli sıcaklık ve basınçlarda gerçekleştirilen termo-kimyasal bir dönüşüm süreci olan ve sonunda katı, sıvı ve gaz fazında değerli ürünlere dönüştürülen piroliz yöntemidir. Piroliz, biyokütlenin oksijensiz ortamda yüksek sıcaklıklarda (300-700°C) ısıtılarak termokimyasal olarak ayrıştırılması olarak tanımlanır [7]. Piroliz işlemi sonunda elde edilecek ürünleri, piroliz koşulları kontrol edilerek istenildiği gibi değiştirilebilir veya geliştirilebilir. Bu değişkenler sıcaklık, ısıtma hızı, parçacık boyutu, piroliz atmosferi, pirolizde kalış süresi, reaktör tasarımı ve katkı maddeleri yani esas olarak katalizörlerdir [8 ve 9]. Fakat piroliz yöntemi uygulanırken elde edilen ürünlerin verimliliği ve özellikleri kullanılan katalizörün cinsine, türüne ve özelliklerine de bağlıdır [10]. Bor tabanlı katalizörler biyokütle pirolizinde termal kararlılıkları yüksek yüzey alanları ve asidik özellikleri sayesinde piroliz ürünlerinde yüksek performanslı etkiler göstermektedir [11 ve 12]. Bor tabanlı katalizörlerin desteği, biyo-sıvı da bulunan olumsuz etkisi olan oksijenli bileşikler azaltmak ve sentez gazı (CO ve H₂) verimini artırmak gibi önemli faydalar sağlar [13]. Metal bazlarla karşılaştırıldığında, bor katkılı biyokütlenin pirolizinde katı ürünü destekleyen ve çeşitli uygulamalarda daha fazla potansiyele sahip homojen B-katkılı kömürleşmiş ürünler elde edilebilir [14]. Bor katkılı katalizörlerin biyokütle pirolizinde gaz ürünün verimini artırdığını göstermiştir [12]. Aynı zamanda borun katkısı mükemmel bir katalitik aktivite göstermekte, gözenek boyutunu ve iletkenliği artırdığı ve adsorpsiyon kapasitesini geliştirdiği gözlenmiştir [15].

Bu çalışmada borik asitin katalizör olarak düşünülme sebebi ticari olarak kolay bulunabilirliğe sahip ve en önemlisi çevre dostu olmasıdır [16]. Genel olarak borik asidin, biyokütle piroliz sırasında hem ısı hem de kütle transferini baskılamada rol oynadığı düşünülmektedir [17]. Pirolizin özelliklerini ve verimliliğini iyileştirdiği, aktivasyon enerjisini arttırarak termal bir dengeleyici olduğu, reaksiyon başlangıç sıcaklığını düşürdüğü, biyokömür verimliliğini arttırdığı, karbon içeriğini önemli ölçüde iyileştirdiği, biyokömürün sipesifik yüzey alanını ve gözenek yapısını iyileştirdiği yapılan çalışmalarda

gözlenmiştir [2, 11, 16 ve 18]. Hatta, bazı araştırmacılar tarafından borik asidin dehidratasyon, izomerizasyon ve bu gibi bazı özel reaksiyonlar için bir katalizör görevi üstlenebileceği belirtmişlerdir. Odun lifi ve borik asit arasında kompleksleşme ve esterleşme reaksiyonlarının meydana geldiği bulunmuş ve bunun da kömürleşmeyi teşvik ettiği keşfedilmiştir [16].

Bu çalışmada ise biyokütle olarak kullanılan ayçiçeği küspesinin pirolizinde borik asit katkısının ürün verimliliği üzerindeki etkileri araştırılmış, elde edilen ürünlerin kantitatif özellikleri incelenerek borik asidin katalitik potansiyeli ortaya konulmuştur. Bu kapsamda, borik asit katkısının ayçiçeği küspesi piroliz sürecindeki rolü; biyoürün verimliliği açısından değerlendirilmiştir.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Enerji üretiminde fosil yakıtların çevreye olan olumsuz etkileri ve tükenebilir kaynak olmaları, artan nüfusla birlikte enerjiye olan ihtiyacın giderek büyümesi gibi sebepler araştırmacıları yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönlendirmiştir. Bundan dolayı biyokütle, özellikle endüstriyel tarımsal atıkların değerlendirilmesi açısından büyük potansiyele sahip bir kaynak olması açısından öne çıkmaktadır. Türkiye gibi tarım ülkelerinde bol miktarda bulunan genellikle hayvan yemi gibi alternatif olarak kullanılan ayçiçeği küspesi, yüksek enerji içeriği ve uygun kimyasal bileşimiyle termokimyasal dönüşüm teknolojilerinde kullanılabilecek çok değerli bir biyokütle kaynağıdır. Fakat bunun gibi potansiyeli yüksek kaynakların enerji üretiminde aktif bir şekilde kullanılması için uygun işlem koşullarının ve katkı maddelerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Biyokütlenin değerlendirilmesi anlamında en uygun yöntemlerden biri olan piroliz, biyokütleden sıvı, katı ve gaz ürünler elde etmeyi sağlayan hem çevreci ve hem de verimli bir yöntemdir. Termokimyasal bir dönüştürücü olan pirolizde verimliliği etkileyen en önemli faktörlerden biri kullanılan katkı maddesidir. Borik asit gibi katalitik özelliği iyi olan bir katkının piroliz sırasında dâhil edilmesi, ürünlerin hem miktarını hem de kimyasal özelliklerini değiştirebilir. Literatürde borik asidin özellikle oksijenli bileşiklerin seçici üretimini artırdığı ve katı ürün kalitesini arttırarak daha dayanıklı hale getirdiği yönünde bulgular mevcuttur ancak ayçiçeği küspesi gibi protein ve lignoselüloz içeriği yüksek biyokütlelerde borik asitin ürün verimine etkisi yeterince araştırılmamıştır.

Bu çalışma, hem endüstriyel tarımsal atıkların yönetimi açısından hem de yenilenebilir enerji üretimi açısından önemli bir açığı kapatmayı hedeflemektedir. Ayçiçeği küspesi gibi ekonomik değeri düşük ancak potansiyeli yüksek bir atığın enerjiye dönüştürülmesi yenilenebilir enerji kaynağı açısından ve çevreye dost anlamında karbon salınımının azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, borik asit katkısının ürün verimliliği üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi, pirolizden elde edilen ürünlerin daha verimli ve kontrollü tasarlanmasına katkı sağlayacaktır. Böylece çalışma, hem bilimsel literatüre katkı sağlayacak hem de çevreci bir enerji kaynağı ile üretilen ürünlerin kalitesinin geliştirilmesine yardımcı olacaktır.

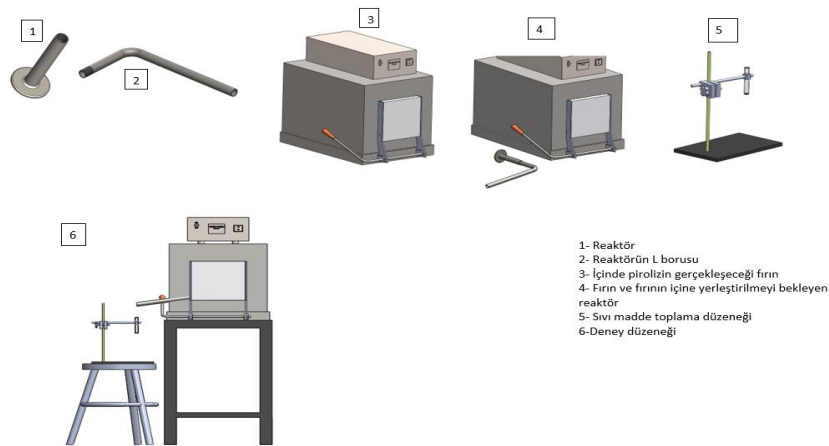
Önemli Noktalar (Highlights):

- Ayçiçeği küspesi; düşük maliyetli, çevre dostu ve sürdürülebilir bir biyokütle kaynağı olmasıyla piroliz işlemi için uygun bir biyokütle kaynağıdır.
- Borik asit, ayçiçeği küspesi pirolizinden elde edilen ürünlerin verimliliğini etkileyerek biochar'ın karbon içeriğini iyileştirmektedir.

- Bu çalışma, borik asidin katalitik etkilerini ayçiçeği küspesi üzerinde inceleyerek atık yönetimi ve yenilenebilir enerji üretiminde çevre dostu çözümler sunmaktadır.

3. MATERİYAL VE METOD (MATERIALS AND METHODS)

Çalışmada ayçiçeği küspesi biyokütle olarak kullanılmış ve borik asit katkısının piroliz ürünlerine etkisi incelenmiştir. Endüstriyel tarımsal atıklar sonucunda ek ürün sayılabilecek nitelikteki atık olan ayçiçeği posası ya da diğer bir deyişle ayçiçeği küspesi Trakya bölgesinde bulunan özel bir yağ üretim tesisinden temin edildi. İlk olarak ayçiçeği küspesi 10gün boyunca oda sıcaklığında kurutulmuş, küspe içerisinde büyük boyutlu posalar olduğu için kurutulduktan sonra seramik havan ile öğütülmüş ve homojen boyutta olması için elenmiştir. Dane boyutları incelenerek ortalama dane boyutu olarak 425µm (35mesh) ölçekli elekte kalan tane seçilerek deneysel çalışma için ayrıldı. İkinci adımda, Eti Maden İşletmeleri Kurumu tarafından sağladığımız borik asit ile biyokütle kaynağı ayçiçeği küspesini homojen karıştırmak için 50ml saf suda belirli oranda (%6.6) kütlece 1gr olarak borik asidin çözündürülmesiyle elde edilen çözelti petri kabına alındı ve üzerine çözelti tam doyuncaya kadar ayçiçeği küspesi eklenerek oda sıcaklığında tamamen kurutulmaya bırakıldı. Daha sonra saf suyun ve biyokütle içindeki uçucuların oda sıcaklığında buharlaşmaları sebebiyle belirli aralıklarda kuruyuncaya kadar sürekli tartıldı. Tartma işlemi nerdeyse aynı sonuç çıkınca yani kütle sabitlenince tartma işlemi sona erdi ve bu sonuç üzerinden biyokütle içerisindeki borik asit miktarının yüzdeliği hesaplandı. Elde edilen homojen karışımdan 2gr'lık paketler olacak şekilde bölünerek piroliz işlemi için hazırlandı. Borik asidin biyokütleyle homojen karışım yüzdelik oranı saf suda çözündürülen borik asit kütlelerinin biyokütlenin çözeltiyle birlikte karıştırılıp kuruduktan sonraki sabitlenmiş kütle değerine oranlanmasıyla tespit edilmiştir. Saf su oda sıcaklığında biyokütle içindeki uçucularla birlikte kütlece azalırken borik asidin kaynama noktası 300°C olduğundan saf su buharlaşırken borik asit katı olarak kalabilir. Oda sıcaklığında kurutulma sebebi ise değerli yağların etüvde kurutulurken uçma ihtimali olduğu düşünülmektedir.



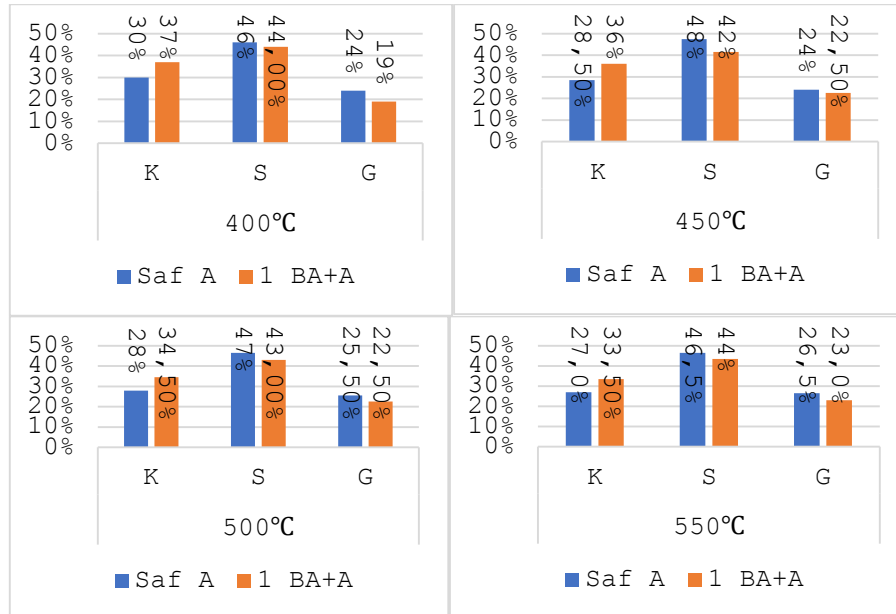
Şekil 1. Piroliz düzeneğinin şematik gösterimi
(Figure 1. Schematic representation of the pyrolysis apparatus)

Piroliz işlemi önceden tasarlanmış Şekil 1'de şematik olarak görülen özel bir reaktör ile gerçekleştirildi. İç çapı 17.0mm, dış çapı 25.0mm ve yüksekliği 127.0mm olan paslanmaz çelik bir silindirik reaktörün önceden ısıtılmış 400°C'deki kül fırınına dikey olarak yerleştirilmesiyle dönüştürme işlemi başlamıştır [8]. Daha sonra farklı sıcaklıklarda yani 450, 500, 550°C'de piroliz işlemi gerçekleştirildi.

Önceden 400°C'de ısıtılmış kül fırınına borik asit ile homojen karıştırılmış biyokütle numunesi 2gr olarak tartılıp yerleştirildi. Şekil 1'de görülen önceden tartılmış 1 numaralı silindirik reaktöre yerleştirildi. Yine önceden tartılmış 2 numaralı L boru ile reaktör birleştirildi ve daha sonra 400°C sıcaklıktaki fırına dikey konumda yerleştirilerek piroliz işlemi başlatıldı. Sıvı ürünün toplanabilmesi için 5 numaralı düzenek kuruldu ve 6 numaralı düzenek şeklinde önceden tartılmış cam tüp L borunun çıkış ucuna konumlandırıldı ve oksijensiz ortamda piroliz işlemi başlamış oldu. Piroliz işlem süresi 30 dakika olarak belirlenmiştir. Çünkü sıvı ürün çıkışı önceden yapılan deneme deneylerinde yaklaşık 30 dakikaya kadar sürmesinden kaynaklanmaktadır. İşlem sonunda sıvı ürünün toplandığı cam tüp tekrar tartılarak başlangıçtaki kütle ile arasındaki fark alınarak sıvı ürünün kütlesi tespit edilmiştir. Katı ürün için silindirik reaktör L boru takılı olarak oda sıcaklığında soğumaya bırakıldı. Gaz ürün toplanmayıp ürün miktarı sıvı ve katı ürün kütlelerinin toplanıp başlangıçtaki ürün kütlesinden çıkartılmasıyla sadece miktarı tespit edilmiştir. Reaktör soğuduktan sonra L borudan ayrılarak reaktör içindeki katı ürün miktarı tartılarak bulunmuştur. L boruda pirolizden önce ve sonra tartılarak içerisinde kalan sıvı kalıntıların kütlesi tespit edilmiştir. Bu işlemler hem sade biyokütle için ve homojen karıştırılmış borik asitli biyokütle için farklı sıcaklıklarda tekrarlanmıştır. Elde edilen ürünlerin kütleleri başlangıçtaki numune miktarlarına ayrı ayrı bölünerek katı, sıvı ve gaz ürünlerin yüzdelik oranları hesaplanmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

Piroliz sıcaklığının ve belli oranda eklenen borik asidin ürün verimine etkisini incelemek amacıyla hazırlanan ayçiçeği küspesi örneklerinin 400, 450, 500 ve 550°C piroliz sıcaklığında ve %6.6 borik asit oranında geleneksel pirolizleri gerçekleştirilmiştir. Her sıcaklık için borik asit eklenmeden ve eklenerek yapılan piroliz işlemlerinden sonra elde edilmiş olan ortalama ürün verimleri Tablo 1'de ve buna bağlı olarak çizilen grafikler ise Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. İki farklı numunenin farklı sıcaklıklardaki piroliz sonucunda katı, sıvı ve gaz ürün verimleri

(Figure 2. Solid, liquid and gaseous product yields of two different samples as a result of pyrolysis at different temperatures)

Tablo 1. Piroliz işlemi sonucundaki ürünlerin farklı sıcaklıklardaki oranları

(Table 1. Ratios of products resulting from the pyrolysis process at different temperatures)

Numune	400°C			450°C			500°C			550°C		
2gr	Katı	Sıvı	Gaz	Katı	Sıvı	Gaz	Katı	Sıvı	Gaz	Katı	Sıvı	Gaz
Saf A	%30	%46	%24	%28.5	%48	%24	%28	%47	%25.5	%27	%46.5	%26.5
1BA+A	%37	%44	%19	%36	%42	%22.5	%34.5	%43	%22.5	%33.5	%44	%23

Grafiklere bakıldığında 425µm boyutlu elek üstünde kalan saf biyokütle numunesinin farklı sıcaklıklardaki pirolizi sonucu elde edilen biyokömürün sıcaklık arttıkça azaldığı görülmektedir. Saf biyokütleden elde edilen katı ürün veriminin en yüksek olduğu sıcaklık 40°C olup diğer sıcaklıklarda yapılan pirolizinden elde edilen biyokömür oranları incelendiğinde sıcaklığın arttıkça oranın düştüğü yönündedir. Borik asit eklenen numunenin piroliz sonuçlarında ise sıcaklığa bakılmaksızın saf biyokütle ile kıyasla katı ürün oranlarının arttığı görülmektedir. Bu durumda Cheng ve Wang tarafından 2017, Lim ve Andresen tarafından 2011 ve Hou ve Zhang tarafından 2021'de [11, 16 ve 19] yaptıkları çalışmalarda da olduğu gibi borik asit katkısının biyokömür verimini arttırdığını göstermektedir. Fakat sıcaklıklar değerlendirildiğinde borik asitli biyokütlenin de sıcaklık arttıkça katı ürün miktarının azaldığı yönündedir bu durum Wyslalska vd. tarafından 2018 de [20] yaptıkları çalışma ile de desteklenmektedir. Sıvı ürün miktarının saf biyokütle pirolizinde 450°C'de en yüksek oranda olduğu daha sonra oranın düştüğü görülmektedir. Borikasit katkılı numunede ise sıvı ürün miktarının düştüğü yönündedir. Borikasit katkılı numuneden elde edilen sıvı ürün miktarı kendi içinde değerlendirildiğinde sıvı ürünün sıcaklık arttıkça arttığı yönündedir. Borik asit katkılı biyoküttelede sıvı ürün miktarı sıcaklık arttıkça katkısız biyokütleye göre azalmaktadır. Cheng ve Wang tarafından 2017'de [11] yaptığı çalışma bu sonucu desteklemektedir. Gaz üründe ise katkısız biyoküttele örneğinden elde edilen biyogaz oranının sıcaklık arttıkça yükseldiği ve 550°C'de en fazla olduğu görülmektedir. Borik asit katkısıyla bütün sıcaklıklarda ürün veriminin düştüğü fakat borik asit katkılı biyoküttelede de sıcaklık arttıkça ürün veriminin arttığı durumu değişmemiştir. Di Blasi vd. tarafından 2007'de [21] yaptığı çalışmanın da sonucu destekler nitelikte olduğu görülmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Bu çalışmada, biyokütle olarak kullanılan ayçiçeği küspesinin borik asit katkılı ve katkısız olarak 400, 450, 500 ve 550°C sıcaklıklarda piroliz edilmesiyle elde edilen katı (biochar), sıvı (bio-oil) ve gaz (bio-gas) ürünlerin verimliliği karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, borik asit katkısının piroliz ürün dağılımına belirgin şekilde etki ettiği gözlenmiştir. Özellikle 400°C'de borik asit katkılı biyokütlelerde biyokömür veriminin daha yüksek olduğu, bu durumda borik asidin karbon sabitleme ve termal dayanıklılığı artırıcı etkisiyle oluştuğu şeklinde açıklanmıştır. Bununla birlikte, borik asit ilavesiyle her iki örnekte de sıvı ürün veriminde azalma olduğu gözlenmiştir. Gaz ürün oranları ise her iki örnekte de sıcaklık arttıkça artış göstermiş fakat borik asit katkısı saf biyokütleye göre düşüş sergilemiştir.

Bu bulgulara göre, borik asit katkısının piroliz sonucunda elde edilen ürünlerin verimliliğini etkilediği görülmektedir. Katı ürün açısından incelendiğinde katı ürünlerde iyileştirme potansiyeline sahip olduğu, ancak sıcaklık arttıkça oranın azaldığı sonucuna varılmıştır. Katı ürün hedefleniyorsa 400-450°C aralığı tercih edilebilirken, seçici sıvı ürün üretimi için 500-550°C aralığı ve bor katkılı piroliz önerilmektedir. Gaz ürünlerin enerji geri kazanımları hedefleniyorsa, borik asit katkısı ile birlikte yüksek sıcaklık koşullarının daha verimli

sonuçlar verebileceği düşünülmektedir. Gelecek çalışmalarda, borik asit oranları ve farklı piroliz sıcaklıkları test edilerek borik asitin katkısının ürün veriminin, ürün içeriğinin ve amaca yönelik ürün kalitesinin daha detaylı analizlerle yapılması önerilmektedir.

NOT (NOTICE)

Bu çalışma, İkbal Ay Keçeli tarafından Prof.Dr. Bahattin Aydınli akademik danışmanlığında yürütülen "Borikasit Katkılı Ayçiçek Atığından Elde Edilen Karbon Bazlı Malzemelerin Karakterizasyonu" başlıklı Doktora Tezinden türetilmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

FİNANSAL AÇIKLAMA (FINANCIAL DISCLOSURE)

Yazarlar bu çalışma için herhangi bir mali destek almadığını beyan etmiştir.

ETİK STANDARTLAR BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Makalenin yazarları bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan eder.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Aydınli, B. and Caglar, A., (2012). The investigation of the effects of two different polymers and three catalysts on pyrolysis of hazelnut shell. Fuel Processing Technology, 93(1):1-7.
- [2] Zhang, K., (2025). A review of biomass energy: Comparison of utilization methods and future prospects. E3S Web of Conferences.
- [3] Semerci, A. and Durmuş, E., (2021). Türkiye 'de Yağlık Ayçiçeği Üretiminin Analizi. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 9(1):56-62.
- [4] Cerit, İ., (2025). Mikrodalga destekli ekstraksiyon ve in vitro sindirimin Ayçiçek posası ekstraktının fenolik içerik ve antioksidan aktivitesine etkisi. Gıda, 50(1):116-130.
- [5] Kocabaş, T., (2021). Trakya Bölgesi'nde üretilen ayçiçeği küspelerinin kimyasal kalitesinin belirlenmesi üzerine bir araştırma.
- [6] Grahovac, N., Lužaić, T., Živančev, D., Stojanović, Z., Đurović, A., Romanić, R., ... and Miklič, V., (2024). Assessing nutritional characteristics and bioactive compound distribution in seeds, oil, and cake from confectionary sunflowers cultivated in Serbia. Foods, 13(12):1882.
- [7] Mohan, D., Pittman, C.U., and Steele, P.H., (2006). Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: A critical review. Energy & Fuels, 20(3):848-889.
- [8] Aydınli, B. and Caglar, A., (2012). The investigation of the effects of two different polymers and three catalysts on pyrolysis of hazelnut shell. Fuel Processing Technology, 93(1):1-7.
- [9] Bridgwater, A.V., (2012). Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. Biomass and Bioenergy, 38:68-94.
- [10] Li, W., Wang, D., Zhu, Y., Chen, J., Lu, Y., Li, S., Zheng, Y., and Zheng, Z., (2020). Efficient ex-situ catalytic upgrading of biomass pyrolysis vapors to produce methylfurans and phenol over bio-based activated carbon. Biomass & Bioenergy.



- [11] Cheng, X. and Wang, B., (2017). Yield, Composition, and Property of Biochar Obtained from the Two-Step Pyrolysis of Rice Husk Impregnated with Boric Acid. *Energies*, 10(11):1814.
- [12] Wang, J., Wang, L., and Li, Y., (2024). Investigating the catalytic influence of boron on Ni-Co/Ca catalysts for improved syngas generation from rice straw pyrolysis. *Molecules*.
- [13] Mohamed, B.A., Ellis, N., Kim, C.S., and Bi, X., (2020). Synergistic effects of catalyst mixtures on biomass catalytic pyrolysis. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*.
- [14] Dong, Z., Yang, H., Liu, Z., Chen, P., Chen, Y., Wang, X., and Chen, H., (2021). Effect of boron-based additives on char agglomeration and boron-doped carbon microspheres structure from lignin pyrolysis. *Fuel*.
- [15] Wang, Y., Liu, M., Zhao, X., Cao, D., Guo, T., and Yang, B., (2018). Insights into heterogeneous catalysis of peroxymonosulfate activation by boron-doped ordered mesoporous carbon. *Carbon*, 135:238-247.
- [16] Hou, X., Li, Z., and Zhang, Z., (2021). Selectively producing acetic acid via boric acid-catalyzed fast pyrolysis of woody biomass. *Catalysts*, 11(4):494.
- [17] Wang, Q., Li, J., and Winandy, J.E., (2004). Chemical mechanism of fire retardance of boric acid on wood. *Wood science and technology*, 38:375-389.
- [18] Hwang, H.T., Greenan, P., Kim, S.J., and Varma, A., (2013). Effect of boric acid on thermal dehydrogenation of ammonia borane: H₂ yield and process characteristics. *AIChE Journal*, 59(9):3359-3364.
- [19] Lim, X.Y. and Andresen, J.M., (2011). Pyro-catalytic deoxygenated bio-oil from palm oil empty fruit bunch and fronds with boric oxide in a fixed-bed reactor. *Fuel Processing Technology*, 92(9):1905-1911.
- [20] Wystalska, K., Malińska, K., Włodarczyk, R., and Chajczyk, O., (2018). Effects of pyrolysis parameters on the yield and properties of biochar from pelletized sunflower husk. *E3S Web of Conferences*, 44:00197.
- [21] Di Blasi, C., Branca, C., and Galgano, A., (2007). Flame retarding of wood by impregnation with boric acid - Pyrolysis products and char oxidation rates. *Polymer Degradation and Stability*, 92(5):893-902.