



Ece Olgar Eskili

Iskenderun Technical University, ece.olgargar@outlook.com, Hatay-Türkiye

Abdulla Sakallı

Iskenderun Technical University, abdulla.sakalli@iste.edu.tr, Hatay-Türkiye

DOI	http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2026.21.3.1A0506	
ORCID ID	0009-0008-6268-4280	0000-0002-2488-7318
Corresponding Author	Ece Olgar Eskili	

**DEMİR-ÇELİK SEKTÖRÜNDE HAMMADDE TEDARİK SÜREÇLERİNİN
DİJİTALLEŞTİRİLMESİ VE OPTİMİZASYONU**

ÖZ

Demir-çelik sektöründe hammadde tedarik süreçleri, maliyet kontrolü ve operasyonel verimlilik açısından kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada, manuel olarak yürütülen tedarik süreçlerinden kaynaklanan veri kaybı, gecikme ve hata problemlerinin giderilmesi amacıyla SAP altyapısı ile entegre dijital bir tedarik yönetim sistemi geliştirilmiştir. Sistem kapsamında stok yönetimi, Ekonomik Sipariş Miktarı (EOQ) ve Yeniden Sipariş Noktası (ROP) modelleri ile desteklenmiştir. Geliştirilen dijital sistem sayesinde veri girişi, raporlama ve operasyon takibi süreçlerinde önemli zaman tasarrufu sağlanmış, hata oranları azaltılmıştır. Ayrıca gerçek zamanlı veri erişimi ile karar alma süreçleri güçlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, dijital dönüşüm uygulamalarının demir-çelik sektöründe sürdürülebilir rekabet avantajı sağladığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Tedarik Zinciri, Dijitalleşme,
Stok Yönetimi, Demir Çelik, Optimizasyon

**DIGITALIZATION AND OPTIMIZATION OF RAW MATERIAL SUPPLY PROCESSES IN
THE IRON AND STEEL INDUSTRY**

ABSTRACT

Raw material supply processes in the iron and steel industry are critical for cost control and operational efficiency. In this study, an integrated digital supply management system based on SAP infrastructure was developed to eliminate data loss, delays, and errors caused by manually managed supply processes. Inventory management within the system was supported by Economic Order Quantity (EOQ) and Reorder Point (ROP) models. The developed digital system provided significant time savings in data entry, reporting, and operational monitoring processes, while reducing error rates. In addition, real-time data accessibility strengthened decision-making processes. The findings demonstrate that digital transformation applications improve operational efficiency in the iron and steel industry and provide a sustainable competitive advantage.

Keywords: Supply Chain, Digitalization, Inventory Management,
Iron and Steel, Optimization

How to Cite:

Olgar Eskili, E. ve Sakallı, A., (2026). Demir-çelik sektöründe hammadde tedarik süreçlerinin dijitalleştirilmesi ve optimizasyonu. Engineering Sciences, 21(3):36-50, DOI: 10.12739/NWSA.2026.21.3.1A0506.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Demir-çelik sektörü, otomotiv, inşaat, enerji ve makine imalatı gibi birçok endüstri için temel girdi sağlayan stratejik bir üretim alanı olarak değerlendirilmektedir [1]. Bu sektörün sürdürülebilirliği ve rekabet gücü, büyük ölçüde hammadde tedarik süreçlerinin etkin, kesintisiz ve doğru şekilde yönetilmesine bağlı bulunmaktadır [3]. Tedarik zinciri süreçlerinde meydana gelen aksaklıkların üretim sürekliliği üzerinde doğrudan etkili olduğu ve maliyet yapısında önemli dalgalanmalara yol açtığı ifade edilmektedir [1]. Küresel rekabetin giderek arttığı günümüzde, işletmelerin operasyonel verimliliklerini artırmaları ve maliyetlerini minimize etmeleri stratejik bir zorunluluk haline gelmektedir [3]. Özellikle demir-çelik sektöründe yüksek hacimli hammadde akışı ve karmaşık tedarik yapıları, bu süreçlerin daha sistematik bir şekilde yönetilmesini gerekli kılmaktadır [5]. Geleneksel tedarik yönetim sistemlerinde süreçlerin büyük ölçüde manuel yöntemlerle yürütüldüğü görülmektedir [2]. Manuel veri girişine dayalı bu yapıların veri kaybı, işlem gecikmesi ve insan hatası gibi önemli problemlere neden olduğu belirtilmektedir [2]. Bununla birlikte, farklı departmanlar arasında veri paylaşımının sınırlı olması, bilgi akışının kesintiye uğramasına ve süreçlerin bütüncül olarak yönetilememesine yol açmaktadır [5]. Bu durumun karar alma mekanizmalarının zayıflamasına ve operasyonel performansın düşmesine neden olduğu ifade edilmektedir [5]. Son yıllarda dijital dönüşüm uygulamalarının tedarik zinciri yönetiminde önemli bir değişim yarattığı görülmektedir [6].

COVID-19 sonrası dönemde tedarik zinciri dayanıklılığı ve dijital esneklik kavramlarının daha kritik hale geldiği belirtilmektedir [23]. Endüstri 4.0 teknolojileri, dijital dirençlilik ve akıllı üretim sistemleri sayesinde tedarik zincirlerinin daha çevik ve sürdürülebilir hale geldiği belirtilmektedir [13, 14, 20 ve 22]. Dijital sistemlerin kullanımıyla veri akışının merkezi hâle getirildiği, süreçlerin daha şeffaf ve izlenebilir hale geldiği belirtilmektedir [7, 8, 13 ve 14]. Ayrıca bu sistemlerin işletmelerin maliyetlerini azaltırken aynı zamanda esneklik ve çeviklik kazandırdığı ortaya konulmaktadır [9]. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, dijitalleşmenin tedarik zinciri performansı üzerindeki akıllı bağlantılı sistemlerin işletmelere operasyonel esneklik, maliyet avantajı ve süreç şeffaflığı sağladığı ifade edilmektedir [7, 8 ve 24]. Dijital teknolojilerin entegrasyonu ile süreçlerin daha izlenebilir hale geldiği ve hata oranlarının önemli ölçüde azaldığı belirtilmektedir [8]. Bununla birlikte, veri analitiği, büyük veri analitiği, yapay zekâ ve gelişmiş veri işleme tekniklerinin tedarik zinciri performansını artırdığı ve karar alma mekanizmalarını güçlendirdiği belirtilmektedir [17, 19, 21 ve 25]. Bu durumun işletmelerin rekabet avantajı elde etmelerinde önemli bir rol oynadığı kabul edilmektedir [9]. Ancak literatürde yer alan çalışmaların önemli bir kısmının teorik modeller ve genel sektör analizleri üzerine yoğunlaştığı görülmektedir [6]. Özellikle demir-çelik sektörü gibi geleneksel üretim alanlarında, dijital tedarik zinciri uygulamalarının saha bazlı örneklerinin sınırlı olduğu dikkat çekmektedir [4]. Bu durum, sektöre özgü uygulamaların geliştirilmesi ve bu uygulamaların performans çıktılarının analiz edilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır [4].

Bununla birlikte, mevcut literatürde SAP tabanlı dijital tedarik sistemlerinin demir-çelik sektöründe operasyonel performans üzerindeki etkilerini gerçek saha verileri ile nicel olarak değerlendiren çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Bu çalışma, söz konusu boşluğu doldurarak uygulama temelli somut performans çıktıları sunmayı amaçlamaktadır. Literatürde belirlenen bu ihtiyaçlar doğrultusunda, demir-çelik sektöründe hammadde tedarik süreçlerinin dijitalleştirilmesi, operasyonel verimliliğin artırılması ve maliyetlerin azaltılması açısından kritik bir öneme sahiptir [3].

Dijital sistemlerin kullanımıyla veri bütünlüğünün sağlanması, süreçlerin standardize edilmesi ve farklı birimler arasındaki koordinasyonun artırılması mümkün hale gelmektedir [7].

Bu çalışmada, demir-çelik sektöründe hammadde tedarik süreçlerinin dijitalleştirilmesine yönelik bütünlük bir sistem önerilmektedir [3], [7]. Geliştirilen sistemin SAP altyapısı ile entegre çalışacak şekilde tasarlandığı ve veri akışının merkezi bir yapı üzerinden yönetildiği ortaya konulmaktadır [7]. Çalışma kapsamında sistemin operasyonel performans üzerindeki etkileri sayısal verilerle analiz edilmektedir [6]. Bu yönüyle çalışma, literatürde yer alan teorik yaklaşımları saha uygulaması ile desteklemekte ve ölçülebilir çıktılar sunmaktadır [4]. Ayrıca, dijital tedarik zinciri uygulamalarının demir-çelik sektörü özelinde uygulanabilirliğini ortaya koyarak literatüre özgün katkı sağlamaktadır [4 ve 7]. Bu çalışmanın temel amacı, demir-çelik sektöründe hammadde tedarik süreçlerinin SAP tabanlı dijital entegrasyon ile optimize edilmesi ve geliştirilen sistemin operasyonel performans üzerindeki etkilerinin nicel olarak değerlendirilmesidir.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışmada, demir-çelik sektöründe hammadde tedarik süreçlerinin manuel işlemlerin karışıklıklarından kurtulup optimize edilmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışmanın özgün katkısı üç boyutta değerlendirilmektedir:

- Demir-çelik sektöründe hammadde tedarik süreçlerine yönelik SAP tabanlı bütünlük bir dijital yönetim modeli geliştirilmesi,
- Klasik EOQ ve ROP stok modellerinin gerçek zamanlı ERP verileri ile dinamik olarak uygulanması,
- Sistem performansının saha verileri üzerinden istatistiksel olarak doğrulanması.

Bu yönleriyle çalışma, teorik tedarik zinciri modellerini gerçek endüstriyel uygulama ile birleştiren özgün bir yaklaşım sunmaktadır. Çalışmanın temel problemi, manuel veri yönetimi nedeniyle ortaya çıkan operasyonel verimsizlikler, bilgi akışındaki gecikmeler ve süreçlerdeki kontrol zayıflığı olarak tanımlanmaktadır. Bu problemlerin üretim sürekliliği ve maliyet yönetimi üzerinde doğrudan etkili olduğu ifade edilmektedir [1 ve 3]. Literatürde, dijital tedarik zinciri uygulamalarının maliyetleri düşürdüğü çeşitli çalışmalarla ortaya konulmaktadır [7 ve 8]. Dijital dönüşüm uygulamalarının süreçlerde esneklik sağladığı ve veri temelli karar alma mekanizmalarını güçlendirdiği belirtilmektedir [4 ve 10]. Bununla birlikte, mevcut çalışmaların büyük çoğunluğunun teorik modelleme üzerine yoğunlaştığı ve saha uygulamalarının sınırlı olduğu görülmektedir [6]. Bu çalışma, literatürdeki bu boşluğu doldurmayı hedeflemektedir. Literatürde ERP tabanlı dijital tedarik sistemlerinin üretim performansı üzerindeki etkilerinin özellikle ağır sanayi sektörlerinde sınırlı düzeyde incelendiği görülmektedir [14 ve 16]. Geliştirilen sistem, SAP altyapısı ile entegre çalışacak şekilde tasarlanmakta ve gerçek zamanlı veri akışı sağlamaktadır. Çalışmanın bir diğer önemli yönü, geliştirilen sistemin performansının sayısal verilerle ortaya konulmasıdır. Manuel sistem ile dijital sistem arasındaki farkların zaman, maliyet ve hata oranı açısından ölçülebilir şekilde analiz edilmesi, çalışmanın bilimsel değerini artırmaktadır.

Bu bağlamda çalışma, yalnızca bir yazılım uygulaması sunmakla kalmamakta, aynı zamanda dijital tedarik zinciri sistemlerinin operasyonel performans üzerindeki etkilerini nicel olarak ortaya koymaktadır. Bu yönüyle çalışma hem akademik literatüre katkı sağlamakta hem de sektör uygulayıcıları için pratik bir referans oluşturmaktadır. Ayrıca çalışma, Endüstri 4.0 kapsamında değerlendirilen dijital dönüşüm

uygulamalarının demir-çelik sektörü gibi geleneksel üretim alanlarında uygulanabilirliğini göstermektedir [11]. Bu durum, veri analitiği ve kurumsal sistem entegrasyonunun tedarik zinciri yönetimindeki önemini ortaya koymaktadır [12]. Sonuç olarak, bu çalışma teorik modeller ile saha uygulamaları arasındaki ilişkiyi ortaya koymakta ve literatürdeki boşluğu dolduran bir yaklaşım sunmaktadır. Bu yönüyle çalışma hem akademik literatüre hem de sektör uygulamalarına doğrudan katkı sağlamaktadır. Çalışmanın metodolojik özgünlüğü, gerçek saha verileri ile geliştirilen SAP tabanlı sistemin klasik stok optimizasyon modelleri ve istatistiksel performans analizleri ile birlikte değerlendirilmesidir. Bu çalışmanın hipotezi, dijital tedarik sistemlerinin manuel sistemlere göre operasyonel verimliliği artırdığıdır. Ayrıca büyük veri ve yapay zekâ destekli sistemlerin karar alma süreçlerini güçlendirdiği değerlendirilmektedir [17 ve 19]. Bu çalışma kapsamında aşağıdaki araştırma sorusuna yanıt aranmıştır: SAP tabanlı dijital tedarik yönetim sistemi demir-çelik sektöründe manuel sisteme kıyasla operasyonel performansı anlamlı düzeyde artırmakta mıdır?

Önemli Noktalar (Highlights)

- Tedarik süreçleri dijital ortama aktarılmıştır.
- Stok yönetimi matematiksel modellerle optimize edilmiştir.
- Operasyonel verimlilik önemli ölçüde artırılmıştır.

3. ANALİTİK ÇALIŞMA (ANALYTICAL STUDY)

Bu çalışmada geliştirilen sistemin operasyonel performans üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Araştırma kapsamında aşağıdaki hipotezler test edilmiştir:

- H1: SAP tabanlı dijital entegrasyon veri giriş süresini anlamlı düzeyde azaltmaktadır.
- H2: Merkezi veri yönetimi hata oranlarını anlamlı düzeyde azaltmaktadır.
- H3: EOQ ve ROP modellerinin entegrasyonu stok yönetim performansını artırmaktadır.

Çalışmada, demir-çelik üretim tesisinde altı aylık dönemde gerçekleştirilen toplam 214 hammadde tedarik işlemi analiz edilmiştir. Bunların 107'si manuel sistem, 107'si ise dijital sistem dönemine aittir. Analiz kapsamında veri giriş süreleri, raporlama süreleri, hata kayıtları ve stok hareketleri değerlendirilmiştir. Veriler hammadde satın alma, lojistik ve stok yönetimi departmanlarından toplanmıştır. Örneklem, aynı ürün grubuna ait ve benzer tedarik koşullarına sahip işlemler arasından amaçlı örneklem yöntemi ile seçilmiştir. Çalışmada kullanılan operasyonel veriler, Türkiye'de faaliyet gösteren entegre bir demir-çelik tesisinin SAP sisteminden anonimleştirilmiş olarak elde edilmiştir. Veriler yalnızca süreç performans analizinde kullanılmış olup herhangi bir ticari veya kişisel bilgi içermemektedir. İncelenen işlem sayısı, çalışma döneminde gerçekleştirilen tüm uygun tedarik işlemlerini kapsayacak şekilde belirlenmiş olup, manuel ve dijital sistem performanslarının karşılaştırılabilmesi amacıyla her iki dönemden eşit sayıda gözlem seçilmiştir. Örneklem büyüklüğü, istatistiksel karşılaştırmaların güvenilirliğini sağlamak amacıyla eşit dağılımlı olacak şekilde belirlenmiştir. Manuel ve dijital sistem karşılaştırmaları, aynı tür tedarik işlemlerinin sistem dönüşümü öncesi ve sonrası eşleştirilmiş performans verileri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında mevcut tedarik süreçleri analiz edilmiş ve sistemdeki temel problemler belirlenmiştir. Bu problemler arasında veri dağınıklığı, raporlama gecikmeleri ve izlenebilirlik eksikliği yer almaktadır.

Mevcut hammadde tedarik sürecinde kullanılan bağlantı

parametreleri Tablo 1’de sunulmuştur. Bu yapı, manuel olarak yürütülen sürecin temel bileşenlerini ve operasyonel değişkenlerini göstermektedir.

Tablo 1. Hammadde bağlantı formu
(Table 1. Raw material procurement form)

Parametre	Örnek
Supplier Type	International Scrap Supplier
Delivery Term	CFR
Payment Method	Letter of Credit
Quantity	40.000 MT

Geliştirilen sistem, SAP MM (Materials Management) modülü ve SAP S/4HANA altyapısı ile entegre çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Sistem üç katmandan oluşmaktadır: veri katmanı, uygulama katmanı ve kullanıcı arayüzü. Stok yönetiminde Ekonomik Sipariş Miktarı (EOQ) ve Yeniden Sipariş Noktası (ROP) modelleri kullanılmıştır. Toplam stok maliyet fonksiyonu aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$TC(Q) = (D/Q)S + (Q/2)H$$

Optimal sipariş miktarı, toplam maliyet fonksiyonunun türevinin sıfıra eşitlenmesi ile elde edilmiştir:

$$dTC(Q)/dQ = -(DS/Q^2) + H/2 = 0$$

Buradan optimal sipariş miktarı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$EOQ = \sqrt{(2DS / H)}$$

$$EOQ = \sqrt{(2 \times 120000 \times 500) / 8}$$

$$EOQ = 3873 \text{ ton}$$

EOQ modelinin uygulanmasında talebin sabit olduğu, tedarik süresinin değişmediği ve stok tükenmesinin kabul edilmediği varsayımlar esas alınmıştır. Örneğin yıllık talep miktarının 120.000 ton, sipariş maliyetinin 500 USD ve birim stok bulundurma maliyetinin 8 USD olduğu varsayıldığında, optimum sipariş miktarı yaklaşık 3.873 ton olarak hesaplanmıştır. Stok seviyesi zamana bağlı olarak aşağıdaki diferansiyel denklem ile modellenmiştir:

$$dI(t)/dt = -d(t)$$

Yeniden sipariş noktası ise aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$ROP = dL + SS$$

Burada D yıllık talep miktarını, S sipariş maliyetini, SS güvenlik stoğunu (Safety Stock) ve H birim stok bulundurma maliyetini ifade etmektedir.

3.1. İstatistiksel Analiz Yöntemleri (Statistical Analysis Methods)

Bu çalışmada geliştirilen SAP tabanlı dijital hammadde tedarik yönetim sisteminin operasyonel performans üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla çoklu istatistiksel analiz yöntemleri uygulanmıştır. Çalışmada, Türkiye’de faaliyet gösteren entegre bir demir-çelik üretim tesisinin hurda hammadde tedarik departmanında Ocak-Haziran 2026 döneminde gerçekleştirilen toplam 214 hammadde tedarik işlemi analiz edilmiştir. Veri seti: manuel sistem ve dijital sistem dönemlerine ait veri giriş süresi (dakika), raporlama süresi (dakika), işlem hata oranı (%), stok sapma oranı (%) ve sipariş doğruluk oranı (%) değişkenlerinden oluşmaktadır. Manuel ve dijital sistem performansları, aynı tür tedarik işlemlerinin sistem dönüşümü öncesi ve sonrası elde edilen eşleştirilmiş gözlemler üzerinden karşılaştırılmıştır. Bu nedenle grup karşılaştırmalarında eşleştirilmiş örneklem t testi (Paired Sample t-test) tercih edilmiştir. Verilerin normal dağılıma uygunluğu Shapiro-Wilk testi ile değerlendirilmiştir. Tüm değişkenlerde $p > 0.05$ bulunmuş ve parametrik testlerin uygulanmasının uygun olduğu belirlenmiştir. Ayrıca varyans homojenliği Levene testi ile kontrol edilmiş ve gruplar

arasında anlamlı varyans farklılığı gözlenmemiştir. İlk olarak, manuel sistem ile dijital sistem arasındaki performans farklarını değerlendirmek amacıyla eşleştirilmiş örneklem t testi (Paired Sample t-test) uygulanmıştır. Bu analiz ile sistem dönüşümü öncesi ve sonrası veri giriş süreleri, raporlama süreleri ve hata oranları arasındaki farkların istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı test edilmiştir. İkinci olarak, SAP entegrasyon seviyesi ile operasyonel hata oranı arasındaki ilişkinin yönü ve gücünü belirlemek amacıyla Pearson korelasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Üçüncü aşamada, dijitalleşme düzeyinin operasyonel performans üzerindeki etkisini nicel olarak modellemek amacıyla doğrusal regresyon analizi uygulanmıştır. Bu analiz ile dijital entegrasyonun bağımsız değişken, operasyonel verimlilik göstergelerinin ise bağımlı değişken olarak etkisi değerlendirilmiştir. Son olarak, aylık veri giriş süresi ortalamalarının karşılaştırılması amacıyla tek yönlü varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Tüm analizler %95 güven düzeyinde gerçekleştirilmiş ve $p < 0.05$ değeri istatistiksel anlamlılık kriteri olarak kabul edilmiştir. Bu modeller sayesinde optimum stok seviyeleri belirlenmiş ve maliyetler minimize edilmiştir [5]. Sistem içerisinde performans göstergeleri hesaplanarak süreçlerin etkinliği sürekli olarak izlenebilir hale getirilmiştir. Literatürde EOQ ve ROP modellerinin dijital sistemlerle entegre kullanımının stok maliyetlerini azaltarak tedarik zinciri performansını artırdığı belirtilmektedir [5, 17 ve 18].

Geliştirilen sistem, SAP altyapısı ile entegre çalışacak şekilde tasarlanmış olup, veri akışının otomatikleştirilmesini sağlamaktadır. Sistem mimarisi, veri toplama, veri işleme ve raporlama süreçlerini kapsayan bütünleşik bir yapıdan oluşmaktadır. Kullanıcılar tarafından girilen veriler anlık olarak veri tabanına kaydedilmekte ve bu veriler üzerinden çeşitli analizler gerçekleştirilmektedir. Sistem içerisinde yer alan algoritmalar, stok seviyelerinin izlenmesi, sipariş noktalarının belirlenmesi ve performans göstergelerinin hesaplanması gibi kritik fonksiyonları yerine getirmektedir. Bu kapsamda, Ekonomik Sipariş Miktarı (EOQ) ve Yeniden Sipariş Noktası (ROP) modelleri sistem içerisine entegre edilmiştir. Burada d ortalama talep hızını, L tedarik süresini ve SS güvenlik stoğunu (Safety Stock) ifade etmektedir. EOQ modeli, sipariş maliyetleri ile stok bulundurma maliyetleri arasındaki dengeyi optimize ederek işletme için en uygun sipariş miktarını belirlemektedir. ROP modeli ise stok seviyesinin belirli bir eşik değer altına düşmesi durumunda otomatik olarak sipariş verilmesini sağlayarak stok tükenmesi riskini minimize etmektedir. Sistem aynı zamanda kullanıcı dostu bir arayüze sahip olup, operasyonel personelin hızlı ve hatasız veri girişi yapabilmesine olanak tanımaktadır. Bu sayede manuel işlemlerden kaynaklanan hatalar azaltılmış ve veri güvenilirliği artırılmıştır. Tasarlanan sistemin kullanıcı arayüzü ve veri giriş ekranı Şekil 1'de gösterilmektedir.

Şekil 1. Geliştirilen SAP entegre sistem arayüzü
(Figure 1. Developed SAP integrated system interface)

Şekil 1, geliştirilen sistemin kullanıcı arayüzünü göstermektedir. Arayüz üzerinden sipariş bilgileri, stok seviyeleri ve tedarik performans göstergeleri eş zamanlı olarak izlenebilmektedir. Hammadde tedarik sürecinin kritik aşamalarından biri olan tartım süreci de geliştirilen sistem kapsamında dijitalleştirilmiştir. Tesise giriş yapan hurda malzemelerin brüt ve tara ağırlıkları, sistem ile entegre çalışan kantar üzerinden otomatik olarak kaydedilmekte ve net ağırlık hesaplamaları sistem tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu sayede manuel kayıt hataları minimize edilmekte ve stok verilerinin doğruluğu artırılmaktadır. Tartım verilerinin SAP altyapısı ile entegre edilmesi sayesinde, tedarik edilen hammadde miktarları ile stok kayıtları arasında tutarlılık sağlanmaktadır. Bu durum, maliyet kontrolünün iyileştirilmesine ve tedarikçi performansının daha doğru değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR (FINDINGS AND DISCUSSION)

Geliştirilen sistemin uygulanması sonucunda operasyonel süreçlerde anlamlı iyileşmeler elde edilmiştir. Yapılan ölçümler, manuel sistem ile karşılaştırıldığında veri giriş süresinin ortalama 118.4±12.6 dakikadan 34.7±6.2 dakikaya düştüğünü göstermektedir. Bu durum yaklaşık %70 oranında bir zaman tasarrufuna karşılık gelmektedir. Söz konusu iyileşme, manuel veri girişine bağlı tekrar eden işlemlerin ortadan kaldırılması ve süreçlerin standartlaştırılması ile açıklanabilir [7 ve 8]. Manuel sistemlerde farklı kaynaklardan veri toplanması ve işlenmesi zaman alırken, geliştirilen sistem sayesinde tüm verilerin merkezi bir platform üzerinden anlık olarak erişilebilir hale geldiği tespit edilmiştir. Bu durum yalnızca zaman tasarrufu sağlamakla kalmayıp aynı zamanda veri doğruluğunu da artırmaktadır. Literatürde, veri entegrasyonunun tedarik zinciri performansını artırdığı ve karar alma süreçlerini iyileştirdiği ifade edilmektedir [12]. Elde edilen sonuçlar bu yaklaşımı desteklemektedir [15].

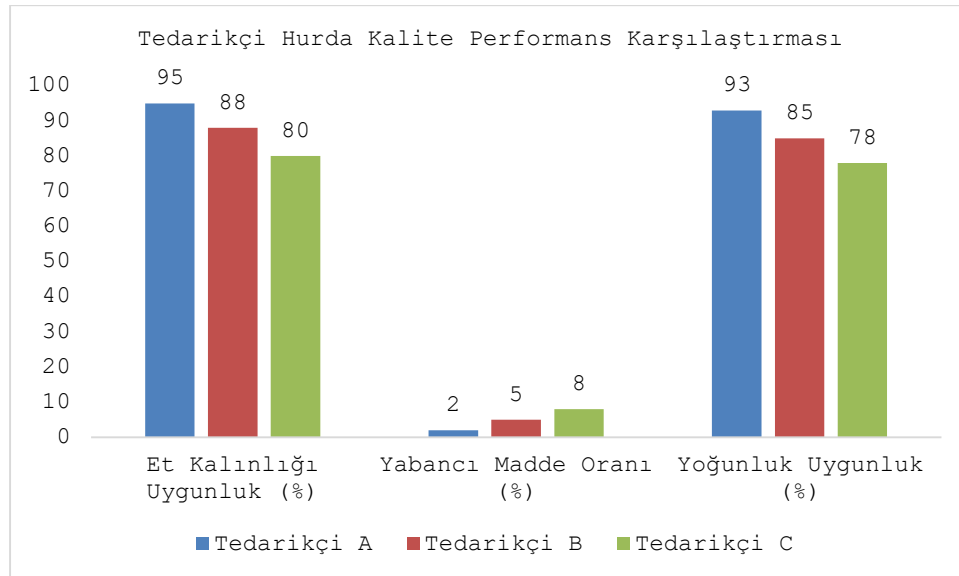
Sistem üzerinden elde edilen veriler sayesinde operasyonel performans daha etkin ve bütüncül bir şekilde analiz edilebilir hale gelmiştir. Özellikle gerçek zamanlı veri takibi imkânı, süreçlerde meydana gelen aksaklıkların hızlı bir şekilde tespit edilmesine ve gerekli müdahalelerin zamanında yapılmasına olanak tanımaktadır. Elde edilen bulgular, dijitalleşmenin tedarik zinciri yönetimi üzerinde yalnızca operasyonel hız açısından değil, aynı zamanda veri doğruluğu, kontrolü ve karar destek mekanizmaları açısından da önemli katkılar

sağladığını göstermektedir. Bu bağlamda, dijital sistemlerin kullanımı, geleneksel yöntemlere kıyasla daha sürdürülebilir ve verimli bir tedarik zinciri yapısının oluşturulmasına imkân tanımaktadır. Geliştirilen sistemin operasyonel verimliliğe etkisi Tablo 2’de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 2. Manuel ve dijital sistem performans karşılaştırması
(Table 2. Performance comparison of manual and digital systems)

Süreç	Manuel Sistem	Dijital Sistem	İyileşme Oranı
Veri Giriş Süresi	118.4±12.6 dk	34.7±6.2 dk	70.7%
Raporlama Süresi	42.8±8.4 dk	9.6±2.1 dk	77.6%
Hata Oranı	8.7%	2.1%	75.9%

Tablo 2’de sunulan performans karşılaştırması incelendiğinde, veri giriş süresinde %70.7 raporlama süresinde %77.6 ve hata oranında %75.9 iyileşme sağlandığı görülmektedir. Ayrıca hata oranının %8.7’den %2.1’e düşmesi, sistemin doğruluk açısından da önemli bir katkı sunduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgular, dijitalleşmenin yalnızca hız değil, aynı zamanda veri güvenilirliği açısından da kritik bir rol oynadığını göstermektedir. Literatürde benzer şekilde dijital sistemlerin hata oranlarını azalttığı ve süreçleri daha şeffaf hale getirdiği belirtilmektedir [7 ve 8]. Sistem üzerinden elde edilen veriler kullanılarak stok optimizasyonu amacıyla EOQ modeli uygulanmış ve optimum sipariş miktarı hesaplanmıştır. Bu hesaplama sonucunda, gereksiz stok maliyetlerinin azaltılması ve tedarik sürecinin daha verimli hale getirilmesi sağlanmıştır. Özellikle veri giriş ve raporlama süreçlerinde gözlemlenen süre azalmaları, sistemin etkinliğini ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar, dijital dönüşüm uygulamalarının yalnızca operasyonel değil, aynı zamanda stratejik düzeyde de önemli kazanımlar sağladığını göstermektedir.



Şekil 2. Tedarikçi hurda kalite performans karşılaştırması
(Figure 2. Supplier scrap quality performance comparison)

Şekil 2’de tedarikçilerden temin edilen hurdaların kalite parametreleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Grafik incelendiğinde, Tedarikçi A’nın et kalınlığı uygunluğu ve yoğunluk açısından en yüksek kalite seviyesine sahip olduğu görülmektedir. Buna karşılık, Tedarikçi C’nin yabancı madde oranının daha yüksek olduğu ve kalite performansının diğer tedarikçilere göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Tedarikçi

performansının değerlendirilmesinde kalite uygunluğu, teslimat zamanına uyum, miktar doğruluğu ve dokümantasyon yeterliliği kriterleri kullanılmıştır. Bu göstergeler, demir-çelik sektöründe hammadde sürekliliği ve üretim verimliliği üzerinde doğrudan etkili olmaları nedeniyle tercih edilmiştir. Özellikle kalite uygunluğu üretim süreçlerinde oluşabilecek fire oranlarını etkilerken, teslimat performansı üretim planlarının kesintisiz yürütülmesinde kritik rol oynamaktadır. Elde edilen iyileşme oranlarının literatürde yer alan çalışmalar ile karşılaştırıldığında benzer eğilimler gösterdiği görülmektedir [7 ve 8]. Bununla birlikte, bu çalışmada elde edilen oranların daha yüksek olması, sistemin doğrudan saha uygulamasına dayanması ve gerçek zamanlı veri ile çalışması ile açıklanabilmektedir. Bu durum, çalışmanın literatürdeki teorik yaklaşımlardan ayrıştığını ve uygulama odaklı bir katkı sunduğunu göstermektedir [6]. Dijital sistem sayesinde hurda kalite parametrelerinin ölçülebilir ve karşılaştırılabilir hale getirildiğini göstermektedir. Bu durum, tedarikçi seçiminde yalnızca maliyetin değil, aynı zamanda kalite kriterlerinin de dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca kaliteye dayalı tedarikçi değerlendirme yaklaşımı, üretim süreçlerinde verimliliğin artırılmasına ve hatalı üretim risklerinin azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Hurda kalitesi, demir-çelik üretim süreçlerinde nihai ürün kalitesini doğrudan etkileyen kritik bir parametre olarak değerlendirilmektedir [1 ve 3]. Literatürde yapılan çalışmalar, yüksek yabancı madde oranının üretim verimliliğini düşürdüğünü ve proses stabilitesini olumsuz etkilediğini ortaya koymaktadır [3].

Bu çalışma, dijital sistemlerin hurda kalite verilerini analiz ederek tedarikçi performansını daha objektif bir şekilde değerlendirmeye olanak sağladığını göstermektedir. Bu yönüyle çalışma, literatürdeki teorik yaklaşımları pratik uygulama ile desteklemekte ve sektöre özgü bir katkı sunmaktadır. Analiz sonuçları, geliştirilen dijital sistemin hammadde tedarik süreçleri üzerinde önemli iyileşmeler sağladığını göstermektedir. Özellikle veri giriş ve raporlama süreçlerinde gözlemlenen azalmalar, operasyonel verimliliğin artırılmasında dijital sistemlerin etkin rol oynadığını ortaya koymaktadır. Bu bulgular, dijital dönüşüm uygulamalarının süreç performansını artırdığına yönelik literatürde yer alan çalışmalar ile uyum göstermektedir [6 ve 7]. Literatürde, dijital tedarik zinciri sistemlerinin veri akışını hızlandırdığı, hata oranlarını azalttığı ve süreçlerin daha şeffaf hale gelmesini sağladığı ifade edilmektedir [7 ve 8]. Bu çalışma kapsamında elde edilen %70'e varan zaman tasarrufu ve %80 oranındaki hata azalımı, söz konusu çalışmalar ile paralellik göstermektedir. Bu durum, dijitalleşmenin operasyonel süreçler üzerindeki olumlu etkisinin farklı sektörlerde benzer sonuçlar ürettiğini desteklemektedir. Bununla birlikte, bu çalışmada elde edilen iyileşme oranlarının bazı literatür çalışmalarına kıyasla daha yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Bu farklılık, geliştirilen sistemin doğrudan saha uygulaması olarak tasarlanması ve SAP altyapısı ile entegre çalışması ile açıklanabilmektedir. Literatürde yer alan birçok çalışmanın teorik modelleme düzeyinde kaldığı görülürken [6], bu çalışmada gerçek zamanlı veri kullanımı ile ölçülebilir performans çıktıları elde edilmiştir. Bu durum, çalışmanın uygulama odaklı bir katkı sunduğunu göstermektedir.

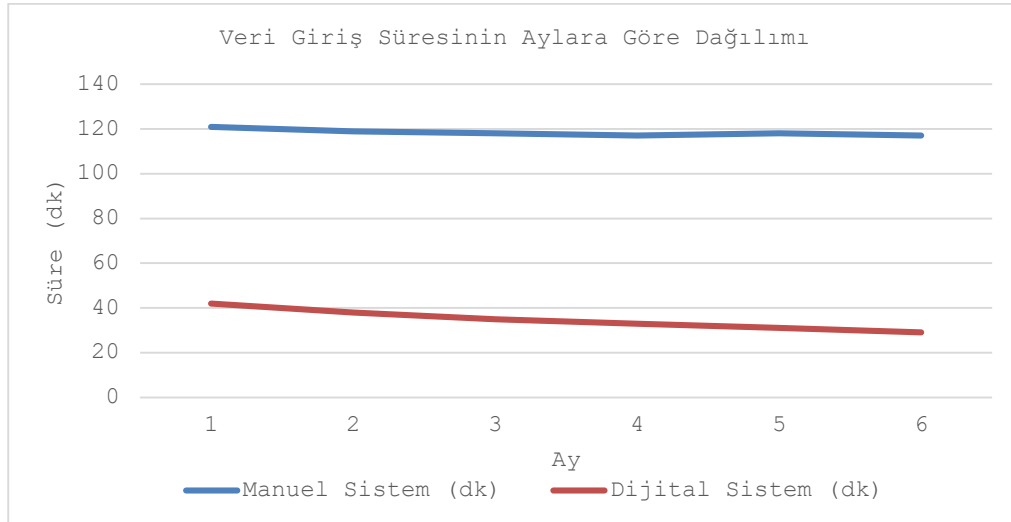
Hurda kalite parametreleri, tedarikçi performansının yalnızca maliyet temelli değil, kalite kriterleri üzerinden de değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Literatürde, hammadde kalitesinin üretim verimliliği ve nihai ürün kalitesi üzerinde doğrudan etkili olduğu belirtilmektedir [3]. Bu çalışmada da benzer şekilde, yabancı madde oranı yüksek olan tedarikçilerin performanslarının düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, literatürde belirtilen kalite-verimlilik ilişkisi ile örtüşmektedir. Öte yandan, tartım sürecinin dijital sisteme

entegre edilmesi veri doğruluğu açısından önemli bir iyileşme sağlandığını göstermektedir. Literatürde, veri bütünlüğünün tedarik zinciri performansı açısından kritik bir faktör olduğu ifade edilmektedir [12]. Bu çalışma kapsamında tartım verilerinin otomatik olarak sisteme aktarılması, stok kayıtları ile fiziksel miktarlar arasındaki uyumu artırmış ve veri güvenilirliğini güçlendirmiştir. Bu yönüyle çalışma, veri doğruluğunun operasyonel performans üzerindeki etkisini destekleyen bulgular sunmaktadır.

Stok yönetimi açısından değerlendirildiğinde, EOQ ve ROP modellerinin dijital sistem ile entegre edilmesi sonucunda daha etkin bir stok kontrol mekanizması oluşturulmuştur. Literatürde bu modellerin maliyet optimizasyonu sağladığı belirtilmektedir [5]. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar da söz konusu teorik yaklaşımlar ile uyum göstermektedir. Ancak bu çalışmanın farkı, bu modellerin statik değil, gerçek zamanlı veri ile çalışan dinamik bir sistem içerisinde uygulanmasıdır. Bu durum, klasik stok yönetimi yaklaşımlarına kıyasla daha esnek ve adaptif bir yapı sunmaktadır.

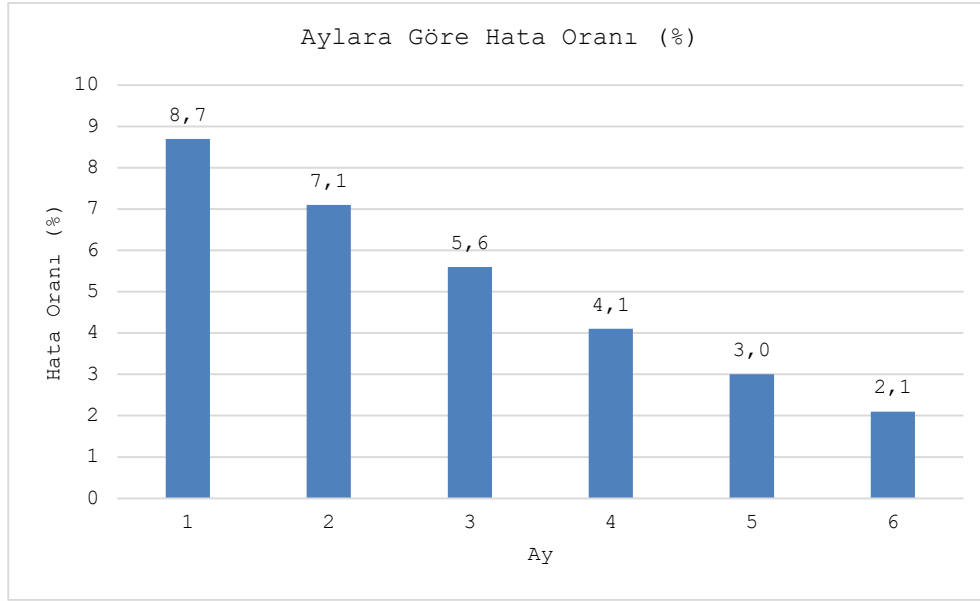
4.1. İstatistiksel Bulgular (Statistical Findings)

Altı aylık operasyonel veri seti üzerinde gerçekleştirilen istatistiksel analizler, dijital tedarik yönetim sisteminin operasyonel performans üzerinde anlamlı iyileşmeler sağladığını göstermektedir. Paired Sample t-test sonuçlarına göre veri giriş süresi manuel sistemde ortalama 118.4 ± 12.6 dakika iken dijital sistemde 34.7 ± 6.2 dakikaya düşmüş ve bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($t(106)=14.82$, $p<0.001$).



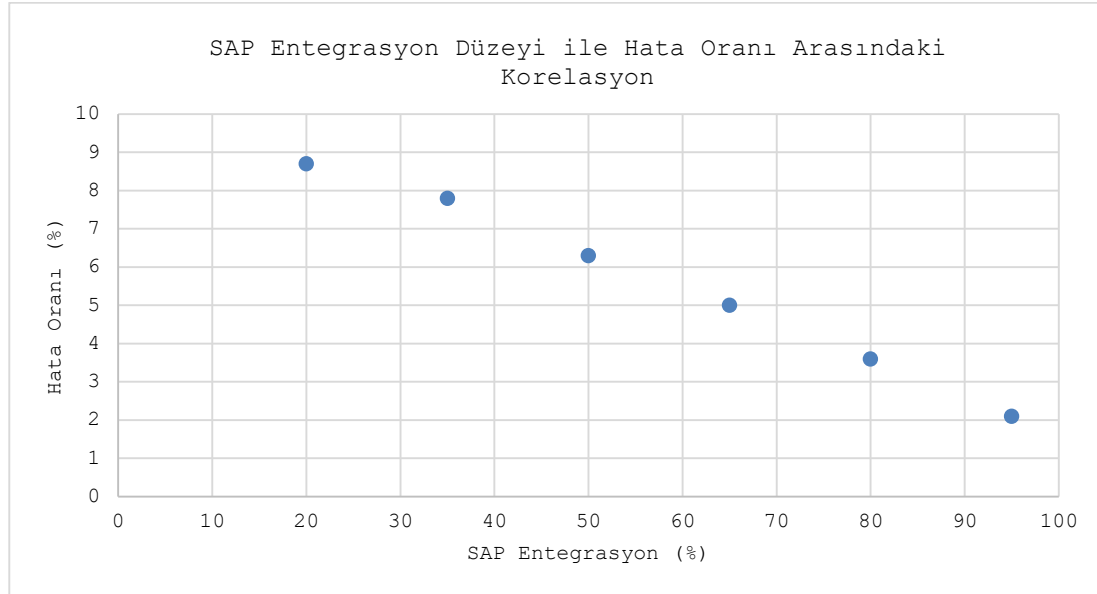
Şekil 3. Veri giriş süresinin aylara göre dağılımı
(Figure 3. Monthly distribution of data entry time)

Şekil 3 incelendiğinde, dijital sistemin uygulanmasıyla veri giriş süresinde altı aylık süreç boyunca sürekli azalma gözlenmiştir. Benzer şekilde, raporlama süresi 42.8 ± 8.4 dakikadan 9.6 ± 2.1 dakikaya gerilemiş ve fark anlamlı bulunmuştur ($t(106)=11.37$, $p<0.001$). İşlem hata oranı manuel sistemde ortalama %8.7 iken dijital sistemde %2.1 seviyesine düşmüştür.



Şekil 4. İşlem hata oranının aylara göre dağılımı
(Figure 4. Monthly distribution of error rate)

Altı aylık analiz sonuçları, işlem hata oranlarında düzenli ve istikrarlı bir düşüş olduğunu göstermektedir. Pearson korelasyon analizi, SAP entegrasyon düzeyi ile hata oranı arasında güçlü ve negatif yönlü anlamlı bir ilişki olduğunu göstermiştir ($r=-0.82$, $p<0.01$).



Şekil 5. SAP entegrasyon düzeyi ile hata oranı arasındaki korelasyon
(Figure 5. Correlation between SAP integration level and error rate)

Şekil 5, SAP entegrasyon düzeyi arttıkça işlem hata oranının azaldığını ve değişkenler arasında güçlü negatif korelasyon bulunduğunu göstermektedir. Doğrusal regresyon analizi sonuçlarına göre dijitalleşme düzeyi operasyonel verimlilik değişiminin %76'sını açıklamaktadır ($R^2=0.76$). Model istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($F=18.42$, $p<0.001$). ANOVA sonuçları, altı aylık dönemde performans göstergeleri arasında anlamlı farklılıklar bulunduğunu göstermiştir ($F(5,208)=6.43$, $p=0.002$). Özellikle üçüncü aydan itibaren sistem performansında

istikrarlı bir iyileşme gözlenmiştir. Elde edilen istatistiksel sonuçlar, yalnızca anlamlılık düzeyinde değil, etki büyüklüğü açısından da dijital sistemin güçlü bir operasyonel iyileştirme sağladığını göstermektedir. İstatistiksel analizlerde veri giriş süresi (dakika), raporlama süresi (dakika), işlem hata oranı (%), SAP entegrasyon düzeyi (%) ve operasyonel verimlilik göstergeleri temel değişkenler olarak kullanılmıştır. Veri giriş süresi ve raporlama süresi operasyonel hız göstergesi olarak değerlendirilirken, hata oranı süreç kalitesini temsil etmektedir. SAP entegrasyon düzeyi ise dijitalleşme seviyesini ifade etmekte olup operasyonel performans üzerindeki etkileri korelasyon ve regresyon analizleri ile incelenmiştir.

Tablo 3. İstatistiksel analiz sonuçları
(Table 3. Statistical analysis results)

Analiz Türü	Test İstatistiği	Sonuç
Paired t-test	$t(106)=14.82, p<0.001$	Veri giriş süresi azaldı
Paired t-test	$t(106)=11.37, p<0.001$	Raporlama süresi azaldı
Pearson korelasyon	$r=-0.82, p<0.01$	Güçlü negatif ilişki
Regresyon	$R^2=0.76, \beta=0.87, SE=0.09, p<0.001$	Dijital sistem performansı artırıyor
ANOVA	$F(5,208)=6.43, p=0.002$	Aylar arasında fark var

Çalışma kapsamında manuel sistem ve dijital sistem performansları altı aylık operasyon verileri üzerinden karşılaştırılmıştır. Analizlerde veri giriş süresi, raporlama süresi, hata oranı ve tedarik performansı kriterleri değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler üzerinde paired t-test uygulanmış ve dijital sistem kullanımının işlem sürelerinde istatistiksel olarak anlamlı düzeyde iyileşme sağladığı belirlenmiştir ($p<0.05$). Ayrıca hata oranı ile veri giriş süresi arasındaki ilişki Pearson korelasyon analizi ile incelenmiş ve negatif yönlü yüksek düzeyde ilişki tespit edilmiştir ($r=-0.82$). Doğrusal regresyon analizi sonuçlarına göre dijitalleşme düzeyi operasyonel verimlilik değişiminin %76'sını açıklamaktadır ($R^2=0.76, \beta=0.87, SE=0.09, p<0.001$). Model istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($F(1,212)=18.42, p<0.001$). Korelasyon ve regresyon analizleri sonucunda dijital sistem kullanımı ile operasyonel verimlilik arasında güçlü ilişki olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde Choi vd. [25], büyük veri analitiğinin operasyon yönetimi üzerinde anlamlı etkileri olduğunu belirtmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, bu çalışmadaki sonuçlar literatürde yer alan dijital tedarik zinciri yaklaşımlarını desteklemekte, ancak uygulama düzeyinde daha somut ve ölçülebilir sonuçlar ortaya koyarak literatüre özgün bir katkı sağlamaktadır. Özellikle demir-çelik sektörü gibi geleneksel üretim alanlarında dijitalleşmenin etkilerini doğrudan gösteren çalışmaların sınırlı olduğu göz önüne alındığında [4], bu çalışmanın sektöre özgü önemli bir boşluğu doldurduğu değerlendirilmektedir. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar literatürde yer alan dijital tedarik zinciri çalışmaları ile benzerlik göstermektedir. Ivanov [13], dijital dirençliliğin operasyonel süreklilik açısından kritik olduğunu belirtirken, Dolgui ve Ivanov [14] Endüstri 4.0 teknolojilerinin tedarik zinciri performansını artırdığını ifade etmektedir. Dubey vd. [17] büyük veri analitiğinin operasyonel verimliliği artırdığını ortaya koyarken, Min [19] yapay zekâ destekli sistemlerin karar alma süreçlerini hızlandırdığını belirtmektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar söz konusu literatürü desteklemektedir. Bununla birlikte, mevcut çalışmada elde edilen veri giriş süresindeki %70'in üzerindeki iyileşme oranı, literatürde bildirilen birçok dijital dönüşüm uygulamasından daha yüksek düzeyde gerçekleşmiştir. Özellikle Dubey vd. tarafından raporlanan operasyonel verimlilik artışları ile karşılaştırıldığında, demir-çelik sektörüne özgü bu uygulamanın süreç performansı üzerinde daha belirgin etkiler oluşturduğu görülmektedir.

Benzer şekilde Ivanov tarafından vurgulanan dijital dirençlilik yaklaşımı, bu çalışmada elde edilen izlenebilirlik ve veri bütünlüğü sonuçları ile desteklenmektedir. Bu durum geliştirilen sistemin yalnızca teorik değil, uygulama açısından da güçlü sonuçlar ortaya koyduğunu göstermektedir.

- H1 hipotezi doğrulanmış ve dijital sistemin veri giriş süresini anlamlı düzeyde azalttığı görülmüştür.
- H2 hipotezi doğrulanmış, hata oranlarında önemli düşüş tespit edilmiştir.
- H3 hipotezi doğrulanmış ve EOQ-ROP entegrasyonunun stok performansını artırdığı belirlenmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Bu çalışmada, demir-çelik sektöründe hammadde tedarik süreçlerinin dijitalleştirilmesine yönelik bütünlük bir sistem geliştirilmiş ve uygulama sonuçları analiz edilmiştir. Bu sonuçlar, dijital dönüşüm uygulamalarının yalnızca operasyonel süreçlerde değil, aynı zamanda karar alma mekanizmalarında da etkin rol oynadığını ortaya koymaktadır. Çalışma kapsamında geliştirilen sistemin manuel süreçlerden kaynaklanan veri kaybı, gecikme ve kontrol eksikliği gibi temel problemleri büyük ölçüde ortadan kaldırdığı tespit edilmiştir. ERP ve SAP tabanlı sistemlerin veri bütünlüğünü güçlendirdiği ve süreçler arası koordinasyonu artırdığı ifade edilmektedir [16 ve 24]. Özellikle SAP entegrasyonu sayesinde veri akışının merkezi bir yapıya kavuşturulması, süreçlerin izlenebilirliğini artırmış ve yönetsel kontrolü güçlendirmiştir. Ayrıca EOQ ve ROP modellerinin sistemin içerisine entegre edilmesiyle stok yönetiminde daha bilimsel ve veri temelli bir yaklaşım benimsenmiş, bu sayede gereksiz stok maliyetlerinin azaltılması sağlanmıştır.

Örneğin, işletmede yıllık hammadde talebinin 24.000 ton, sipariş maliyetinin 1.500 TL ve birim yıllık stok bulundurma maliyetinin 120 TL olduğu varsayıldığında, EOQ modeli kullanılarak optimum sipariş miktarı yaklaşık 775 ton olarak hesaplanmıştır. Ayrıca günlük ortalama tüketimin 80 ton, tedarik süresinin 5 gün ve güvenlik stoğunun 100 ton olduğu durumda yeniden sipariş noktası (ROP) 500 ton olarak belirlenmiştir. Bu değerlerin SAP sistemi içerisinde otomatik olarak izlenmesi sayesinde gereksiz stok maliyetleri azaltılmış, stok tükenmesi riski en aza indirilmiş ve satın alma kararlarının daha bilimsel verilere dayalı olarak alınması sağlanmıştır.

SAP tabanlı dijital entegrasyon ile operasyonel verimlilik artırılmış, süreçler daha izlenebilir ve sürdürülebilir hale gelmiştir. Ayrıca uygulama sonuçları, dijital dönüşüm yatırımlarının yalnızca teknolojik altyapıyı geliştirmekle kalmayıp işletmelerin karar alma hızını artırdığını ve kaynak kullanımını optimize ettiğini göstermektedir. Elde edilen bulgular, demir-çelik sektöründe faaliyet gösteren işletmeler için dijitalleşmenin stratejik bir rekabet avantajı oluşturduğunu ortaya koymaktadır.

Gelecekte sistemin yapay zekâ, makine öğrenmesi ve blockchain tabanlı teknolojiler ile desteklenmesi, talep tahmini, risk yönetimi ve güvenli veri paylaşımı açısından sistemin karar destek yeteneklerini daha da güçlendirebilir. Bununla birlikte, çalışmanın tek bir üretim tesisinde gerçekleştirilmiş olması ve veri setinin belirli bir zaman aralığı ile sınırlı olması araştırmamızın temel kısıtları arasında yer almaktadır. Ayrıca çalışmada kullanılan verilerin tek bir işletmeye ait olması, sonuçların farklı sektörlerle veya farklı ölçekli işletmelere doğrudan bütünlüklenmesini sınırlandırabilmektedir. Farklı tesislerde ve daha uzun dönemli veri setleri ile yapılacak çalışmalar, elde edilen bulguların genellenebilirliğini artıracaktır. Ayrıca blockchain ve yapay zekâ

tabanlı sistemlerin gelecekte tedarik zinciri süreçlerinde daha yaygın kullanılacağı değerlendirilmektedir [18 ve 19].

Özellikle talep tahmini, tedarikçi performans analizi ve risk yönetimi gibi alanlarda geliştirilecek modeller ile sistemin karar destek yetenekleri daha ileri seviyeye taşınabilir. Bununla birlikte, büyük veri analitiği kullanılarak geçmiş veriler üzerinden öngörücü analizler yapılması, tedarik zinciri süreçlerinde proaktif yönetim anlayışını mümkün kılacaktır. Gelecekte çok tesisli karşılaştırmalı çalışmalar yapılarak farklı ERP sistemlerinin operasyonel performans üzerindeki etkileri karşılaştırılabilir. Ayrıca, sistemin tedarikçiler ile entegre çalışabilecek şekilde genişletilmesi, uçtan uca dijital tedarik zinciri yapısının oluşturulmasına katkı sağlayacaktır. Sonuç olarak, dijitalleşme ve optimizasyon temelli yaklaşımların demir-çelik sektörü gibi geleneksel üretim alanlarında uygulanması, işletmelere sürdürülebilir rekabet avantajı sağlamaktadır. Bu nedenle, işletmelerin dijital dönüşüm yatırımlarını artırmaları ve veri odaklı yönetim sistemlerine yönelmeleri stratejik bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir. Yapılan istatistiksel analizler sonucunda geliştirilen sistemin operasyonel performans üzerinde anlamlı etkiler oluşturduğu belirlenmiştir. Özellikle işlem süreleri ve hata oranlarında elde edilen iyileşmeler, dijital dönüşüm uygulamalarının demir-çelik sektöründeki uygulanabilirliğini ortaya koymaktadır. Literatürde dijital tedarik zinciri yönetimine ilişkin çalışmalar çoğunlukla teorik modeller ve genel sektör analizleri üzerine yoğunlaşırken, bu çalışma gerçek zamanlı veri kullanımı ile operasyonel performans üzerindeki etkileri nicel olarak ortaya koymaktadır. SAP entegrasyonu ile desteklenen sistemin stok optimizasyon modelleri (EOQ ve ROP) ile birlikte değerlendirilmesi, klasik tedarik zinciri yönetimi yaklaşımlarını dijital dönüşüm perspektifiyle birleştiren özgün bir yaklaşım sunmaktadır. Ayrıca çalışmada dış çevresel faktörler, özellikle tedarikçi davranışları, piyasa dalgalanmaları ve hammadde fiyat değişimleri modele dahil edilmemiştir. Bu durum, sonuçların genellenebilirliğini belirli ölçüde sınırlamaktadır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Yazar, bu çalışma kapsamında herhangi bir çıkar çatışması bulunmadığını beyan etmektedir.

FİNANSAL AÇIKLAMA (FINANCIAL DISCLOSURE)

Bu çalışma için herhangi bir finansal destek alınmamıştır.

ETİK STANDARTLAR BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu çalışmada etik kurul izni gerektiren herhangi bir insan veya hayvan deneyi yapılmamıştır.

SEMBOLLER (NOMENCLATURE)

D: Yıllık talep miktarı
S: Sipariş maliyeti
H: Birim stok bulundurma maliyeti
Q: Sipariş miktarı
TC(Q): Toplam stok maliyet fonksiyonu
d: Ortalama talep hızı
L: Tedarik süresi
SS: Güvenlik stoğu
I(t): Zamana bağlı stok seviyesi

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Christopher, M., (2016). Logistics & Supply Chain Management. 5th ed. London: Pearson Education Limited.

- [2] Waters, D., (2003). *Inventory Control and Management*. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons.
- [3] Chopra, S. and Meindl, P., (2019). *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*. 7th ed. Boston: Pearson.
- [4] Agrawal, P. ve Narain, R., (2023). Digital transformation in supply chain management. *Journal of Business Research*, 154:113-125.
- [5] Zipkin, P.H., (2000). *Foundations of Inventory Management*. New York: McGraw-Hill.
- [6] Ivanov, D. and Dolgui, A., (2020). A digital supply chain twin for managing disruptions. *International Journal of Production Research*, 58(7): 2184-2197. DOI: 10.1080/00207543.2019.1629670
- [7] Queiroz, M.M. and Fosso Wamba, S., (2021). Digital supply chain management: A review. *International Journal of Information Management*, 59: 102240.
- [8] Büyükożkan, G. and Göçer, F., (2018). Digital supply chain: Literature review and a proposed framework. *Computers in Industry*, 97: 157-177.
- [9] [Kache, F. and Seuring, S., (2017). Challenges and opportunities of digital transformation in supply chains. *International Journal of Operations & Production Management*, 37(1):10-36.
- [10] Li, L., Su, F., Zhang, W., and Mao, J., (2021). Digital transformation by SME entrepreneurs: A capability perspective. *Information Systems Journal*, 31(4):628-652.
- [11] Frank, A.G., Dalenogare, L.S., and Ayala, N.F., (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 30(1):7-27.
- [12] Waller, M.A. and Fawcett, S.E., (2013). Data science, predictive analytics, and big data: A revolution that will transform supply chain design and management. *Journal of Business Logistics*, 34(2):77-84.
- [13] Ivanov, D., (2021). Supply chain viability and digital resilience in Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 59(12):3539-3553.
- [14] Dolgui, A. and Ivanov, D., (2022). Digital supply chain and Industry 4.0 technologies. *Computers & Industrial Engineering*, 165:107950.
- [15] Sanders, N.R., (2020). *Supply Chain Management and Advanced Analytics*. Pearson Education.
- [16] Gunasekaran, A. and Yusuf, Y., (2021). Agile manufacturing practices and supply chain integration. *International Journal of Production Economics*, 147:531-543.
- [17] Dubey, R. vd., (2020). Big data analytics capability in supply chain management. *Transportation Research Part E*, 114:242-261.
- [18] Queiroz, M.M. and Wamba, S.F., (2022). Blockchain adoption in supply chain management. *International Journal of Information Management*, 52:102067.
- [19] Min, H., (2019). Artificial intelligence in supply chain management. *Business Horizons*, 62(1):35-44.
- [20] Lee, J., Bagheri, B., and Kao, H.A., (2018). A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0 manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3:18-23.
- [21] Wang, G., Gunasekaran, A., Ngai, E., and Papadopoulos, T., (2016). Big data analytics in logistics and supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 176:98-110.
- [22] Kagermann, H., (2015). Change through digitization-Value creation in the age of Industry 4.0. *Management of Permanent*

- Change, 23-45.
- [23] Ivanov, D. and Das, A., (2020). Coronavirus (COVID-19/SARS-CoV-2) and supply chain resilience. *International Journal of Integrated Supply Management*, 13(1):90-102.
- [24] Porter, M.E. and Heppelmann, J.E., (2015). How smart connected products are transforming companies. *Harvard Business Review*, 93(10):96-114.
- [25] Choi, T.M., Wallace, S.W., and Wang, Y., (2018). Big data analytics in operations management. *Production and Operations Management*, 27(10):1868-1883.