



**T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**



LOJİSTİK YÖNETİMİ ANABİLİM DALI

LOJİSTİK YÖNETİMİ BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**AKILLI VE SÜRDÜRÜLEBİLİR DEPO UYGULAMALARI VE
SONUÇLARI: ÇUMRA ŞEKER FABRİKASI ÖRNEĞİ**

**ARİFE ACAR
ORCID:0009-0002-4302-446X**

**DANIŞMAN:
DOÇ.DR. TAHSİN GEÇKİL
ORCID:0000-0002-5666-9905**

KONYA-2026



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
Sosyal Bilimler Enstitüsü
Tez Jüri Üyeleri



Öğrencinin	Adı Soyadı	ARİFE ACAR
	Ana Bilim / Bilim Dalı	LOJİSTİK YÖNETİMİ ANABİLİM DALI / LOJİSTİK YÖNETİMİ BİLİM DALI
	Programı	TEZLİ YÜKSEK LİSANS
	Tez Danışmanı	DOÇ.DR. TAHSİN GEÇKİL
	Tezin Adı	AKILLI VE SÜRDÜRÜLEBİLİR DEPO UYGULAMALARI VE SONUÇLARI: ÇUMRA ŞEKER FABRİKASI ÖRNEĞİ

Yukarıda adı geçen öğrenci tarafından hazırlanan Akıllı ve Sürdürülebilir Depo Uygulamaları ve Sonuçları: Çumra Şeker Fabrikası Örneği başlıklı bu çalışma 24/06/2026 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Doktora / Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sıra No	Danışman ve Üyeler	
	Unvanı	Adı ve Soyadı
1	Doç. Dr.	Tahsin GEÇKİL
2	Prof. Dr.	Selda BAŞARAN ALAGÖZ
3	Prof. Dr.	Esen ŞAHİN
4	Prof. Dr.	Muammer ZERENLER
5	Doç. Dr.	Abdullah Oktay DÜNDAR



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
Sosyal Bilimler Enstitüsü

Etik İlke ve Kurallara Uygunluk Beyannamesi Sayfası

Öğrencinin	Adı Soyadı	ARİFE ACAR
	Ana Bilim / Bilim Dalı	LOJİSTİK YÖNETİMİ ANABİLİM DALI / LOJİSTİK YÖNETİMİ BİLİM DALI
	Programı	TEZLİ YÜKSEK LİSANS
	Tezin Adı	AKILLI VE SÜRDÜRÜLEBİLİR DEPO UYGULAMALARI VE SONUÇLARI: ÇUMRA ŞEKER FABRİKASI ÖRNEĞİ

Bu tezin hazırlanmasında bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini, tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel kurallara uygun olarak atıf yapıldığını bildiririm.

ARİFE ACAR

ÖN SÖZ

Bu çalışmamın hazırlanması sürecinde bilgi, deneyim ve değerli katkılarıyla bana yol gösteren, akademik bakış açısı ve desteğiyle çalışmanın her aşamasında rehberlik eden danışman hocam Doç. Dr. Tahsin GEÇKİL'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Araştırma sürecinde bilgi paylaşımı yaparak çalışmanın uygulama boyutuna katkı sağlayan, saha araştırmasının gerçekleştirilmesine imkân sunan ve gerekli desteği sağlayan Çumra Şeker Fabrikası yönetimine ve araştırmaya gönüllü olarak katılarak görüşlerini paylaşan tüm çalışanlara teşekkür ederim. Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam boyunca her zaman yanımda olan, desteklerini ve anlayışlarını hiçbir zaman esirgemeyen değerli aileme, sabırları, sevgileri ve motivasyonları için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın, akıllı depo sistemleri ve sürdürülebilir lojistik alanında yapılacak gelecekteki çalışmalara katkı sağlamasını temenni ederim.

ARİFE ACAR

Haziran 2026

İÇİNDEKİLER

ÖN SÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
TABLolar LİSTESİ.....	vii
KISALTMALAR LİSTESİ.....	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
GİRİŞ (BİRİNCİ BÖLÜM).....	1
1.1. Problemin Tanımı	2
1.2. Araştırmanın Amacı	2
1.3. Araştırmanın Önemi	3
1.4. Araştırmanın Kapsamı	4
LİTERATÜR (İKİNCİ BÖLÜM).....	6
2.1. Dijital Dönüşüm ve Endüstri 4.0 Yaklaşımı	6
2.1.1. Nesnelerin İnterneti (IoT) ve Lojistik Sistemlere Etkisi	8
2.1.2. Akıllı Robotlar ve Yapay Zekâ	8
2.1.3. Dijital İkiz Teknolojisi	10
2.1.4. Bulut Bileşimi	11
2.1.5 Üç Boyutlu Yazıcılar	11
2.1.6 Siber Güvenlik	12
2.1.7 Simülasyon	12
2.1.8 Artırılmış Gerçeklik	13
2.1.9 Yatay – Dikey Yazılım Entegrasyonu (Siber Fiziksel Sistemler).....	13
2.2. Akıllı Depo Sistemi	14
2.3. Akıllı Depo Sistemlerinin Amacı	15
2.4. Akıllı Depo Sistemleri Bileşenleri	16
2.4.1. ERP (Kurumsal Kaynak Planlama) Sistemleri.....	17
2.4.2. Akıllı Robotlar	17
2.4.3. Akıllı Depolama ve Boşaltma Sistemleri (AS / RS)	18
2.4.4. Otomatik Kılavuzlu Araçlar (AGV).....	19
2.4.5. Nesnelerin İnterneti (IOT).....	19
2.5. Sürdürülebilirlik Kavramı ve Lojistikte Uygulamaları	20
2.5.1. Çevresel Boyut	21
2.5.2. Ekonomik Boyut	21
2.5.3. Sosyal Boyut	21
2.6. Yeşil Lojistik ve Çevresel Performans	23
2.7. Akıllı Depo ve Sürdürülebilirlik İlişkisi.....	23

2.8. Literatürdeki Araştırma Boşluğu	24
2.9. Çumra Şeker Fabrikası Örneği	24
YÖNTEM (ÜÇÜNCÜ BÖLÜM).....	28
3.1. Araştırma Deseni	28
3.2. Araştırma Modeli.....	29
3.3. Araştırmanın Evreni ve Örnekleme	31
3.4. Veri Toplama Yöntemleri	33
3.4.1. Birincil Veriler	33
3.4.2. İkincil Veriler	34
3.5. Veri Analizi Yöntemi	34
3.6. Araştırmanın Etik Boyutu	35
3.7. Araştırmanın Sınırlılıkları.....	35
BULGULAR (DÖRDÜNCÜ Bölüm).....	36
4.1. Akıllı Depo Sistemleri ile Teknolojik ve Operasyonel Dönüşüm	38
4.2. Akıllı Depo Yönetiminde Sürdürülebilirlik ve Kurumsal Gelişim	40
TARTIŞMA (BEŞİNCİ BÖLÜM)	46
SONUÇ VE ÖNERİLER (ALTINCI BÖLÜM)	51
KAYNAKÇA	54
EKLER.....	58
EK 1.....	58
EK 2.....	59
EK 3.....	61

TABLÖLER LİSTESİ

Şekil 1: Endüstri 4.0'ı Oluşturan Dokuz Temel Bileşen	7
Şekil 2: Akıllı Robotlar ve Yapay Zekaya Örnek	9
Şekil 3: Üç Boyutlu Yazıcı	11
Şekil 4: Akıllı Robotlar	17
Tablo 1: Araştırma Modeli	29
Tablo 2: Katılımcıların Demografik ve Mesleki Özellikleri	35
Tablo 3: Akıllı Depo Sistemleri: Birincil Kodlar ve Katılımcı Alıntıları	36
Tablo 4: Akıllı Depo Sistemleri ile Teknolojik ve Operasyonel Dönüşüm	39
Tablo 5: Akıllı Depo Yönetiminde Sürdürülebilirlik ve Kurumsal Gelişim	41
Tablo 6: Akıllı Depo Sistemi Pozitif Sonuçlar ve Zorlukları	42
Tablo 7: Sürdürülebilir Akıllı Depo	44

KISALTMALAR LİSTESİ

AGV: Automated Guided Vehicle (Otomatik Kılavuzlu Araç)

AS/RS: Automated Storage and Retrieval System (Otomatik Depolama ve Geri Alma Sistemi)

ERP: Enterprise Resource Planning (Kurumsal Kaynak Planlaması)

GPS: Global Positioning System (Küresel Konumlandırma Sistemi)

IoT : Internet of Things (Nesnelerin İnterneti)

IT: Information Technology (Bilgi Teknolojileri)

LED: Light Emitting Diode (Işık Yayan Diyot)

PLC: Programmable Logic Controller (Programlanabilir Mantık Denetleyicisi)

RFID: Radio Frequency Identification (Radyo Frekansı ile Tanımlama)

SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition (Denetleyici Kontrol ve Veri Toplama Sistemi)

SAP: Systems Applications and Products (Kurumsal Yönetim Yazılımı)

WMS: Warehouse Management System (Depo Yönetim Sistemi)

AI: Artificial Intelligence (Yapay Zekâ)

ML: Machine Learning (Makine Öğrenmesi)

BIG DATA: Büyük Veri

LEED: Leadership in Energy and Environmental Design (Enerji ve Çevresel Tasarımda Liderlik)

BREEAM: Building Research Establishment Environmental Assessment Method (Çevresel Değerlendirme Yöntemi)

TÜSİAD: Türk Sanayicileri ve İş İnsanları Derneği

KPI: Key Performance Indicator (Anahtar Performans Göstergesi)

AKILLI VE SÜRDÜRÜLEBİLİR DEPO UYGULAMALARI VE SONUÇLARI: ÇUMRA ŞEKER FABRİKASI ÖRNEĞİ

ÖZET

Günümüzde sürdürülebilirlik, dijitalleşme ve küreselleşme gibi kavramların işletmeler üzerindeki etkisinin artmasıyla birlikte, lojistik ve depo yönetimi uygulamaları büyük bir değişim yaşamaktadır. Akıllı depo sistemleri, özellikle Endüstri 4.0 teknolojileri tarafından geliştirilmiştir ve operasyonel verimlilik, maliyet avantajı, hız, doğruluk ve çevresel sürdürülebilirlik açısından işletmelere önemli katkılar sunmaktadır. Bu doğrultuda, araştırmada akıllı depo teknolojilerinin sürdürülebilirlik performansı üzerindeki etkileri çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlar çerçevesinde incelenmiştir.

Araştırma nitel bir araştırma yöntemi kullanılarak yürütülmüştür. Veri toplama sürecinde yarı yapılandırılmış görüşme tekniğinden yararlanılmış ve araştırma örneklemini olarak Çumra Şeker Fabrikası seçilmiştir. Araştırmanın bir parçası olarak lojistik ve depo yönetimi alanlarında çalışan kişilerle görüşmeler yapılmış ve içerik analizi yöntemi kullanılarak analiz edilen veriler değerlendirilmiştir. Araştırma bulgularına göre akıllı depo sistemlerinin önemli oranda verimliliğe yol açtığı görülmüştür. Depolama süreçlerinde kullanılan gerçek zamanlı veri yönetimi, otomasyon teknolojileri, barkod sistemleri ve Depo Yönetim Sistemi (Warehouse Management System (WMS)) yazılımları; stok kontrol süreçlerinin etkinliğini artırmakta, sevkiyat operasyonlarını hızlandırmakta ve insan kaynaklı hata oranlarının azaltılmasına önemli katkılar sunmaktadır. Bu kapsamda akıllı depo sistemleri hem operasyonel verimliliğin artırılmasına hem de işletmelerin uzun vadeli rekabet avantajı elde ederek sürdürülebilir bir yönetim anlayışı geliştirmelerine katkı sağlamaktadır.

Çalışmada çevresel sürdürülebilirlik boyutunda otomatik iklimlendirme sistemleri, atık ayrıştırma uygulamaları ve geri dönüşüm süreçlerinin olumlu etkileri tespit edilmiştir. Bununla birlikte karbon ayak izi ölçümü ve enerji tüketimi analizlerinin yeterli düzeyde yapılmaması önemli bir eksiklik olarak belirlenmiştir. Sosyal sürdürülebilirlik açısından ise iş güvenliği ve operasyonel güvenilirliğin arttığı, ancak nitelikli teknik personel eksikliğinin önemli bir sorun olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Sonuç olarak akıllı depo sistemlerinin yalnızca teknolojik bir dönüşüm değil; aynı zamanda sürdürülebilirlik, kurumsal verimlilik ve rekabet avantajı sağlayan stratejik bir yapı

sunduğu belirlenmiştir. Bu nedenle işletmelerin dijital dönüşüm süreçlerini sürdürülebilirlik politikaları ile bütünleşik şekilde yönetmeleri gerektiği değeriendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı depo sistemleri, sürdürülebilirlik, Endüstri 4.0, lojistik yönetimi, dijital dönüşüm, sürdürülebilir depo yönetim

SMART AND SUSTAINABLE WAREHOUSE APPLICATIONS AND RESULTS: ÇUMRA SUGAR FACTORY EXAMPLE

ABSTRACT

Today, with the increasing impact of concepts such as sustainability, digitalization, and globalization on businesses, logistics and warehouse management practices are undergoing a major transformation. Smart warehouse systems, particularly those developed using Industry 4.0 technologies, offer significant benefits to businesses in terms of operational efficiency, cost advantage, speed, accuracy, and environmental sustainability. Accordingly, this research examines the effects of smart warehouse technologies on sustainability performance within the framework of environmental, economic, and social dimensions.

This research was conducted using a qualitative research method. A semi-structured interview technique was used in the data collection process, and the Çumra Sugar Factory was selected as the research sample. As part of the research, interviews were conducted with individuals working in the fields of logistics and warehouse management, and the data were analyzed using content analysis. According to the research findings, smart warehouse systems significantly contribute to increased efficiency. Real-time data management, automation technologies, barcode systems, and Warehouse Management System (WMS) software used in warehousing processes increase the effectiveness of inventory control processes, accelerate shipping operations, and significantly contribute to reducing human error rates. In this context, smart warehouse systems contribute both to increasing operational efficiency and to enabling businesses to gain a long-term competitive advantage and develop a sustainable management approach.

In the study, the positive effects of automated climate control systems, waste sorting practices, and recycling processes were identified in the environmental sustainability dimension. However, the insufficient measurement of carbon footprint and energy

consumption analysis were identified as a significant deficiency. In terms of social sustainability, it was concluded that occupational safety and operational reliability increased, but the shortage of qualified technical personnel was a significant problem.

In conclusion, it was determined that smart warehouse systems offer not only a technological transformation but also a strategic structure that provides sustainability, corporate efficiency, and competitive advantage. Therefore, it is considered that businesses should manage their digital transformation processes in an integrated manner with their sustainability policies.

Keywords: Smart warehouse systems, sustainability, Industry 4.0, logistics management, digital transformation, sustainable warehouse management.

GİRİŞ (BİRİNCİ BÖLÜM)

Yirmi birinci yüzyılda küreselleşme, dijitalleşme ve sürdürülebilirlik kavramları işletme alan yazınında ve profesyonellerde çok sık çalışılan ve gündem haline gelen konulardan olmuştur. Benzer şekilde ön plana çıkan konulardan birisi de tedarik zinciri yönetimi olmuştur. Tedarik zinciri yönetimi rekabet avantajı yaratmada stratejik bir alan olarak öne çıkmaktadır (Akbal, 2022). Tedarik zinciri yönetiminin önemli uygulama alanlarından depo yönetimi, lojistik süreçlerin merkezinde yer almakta ve hem maliyet hem de çevresel performans açısından kritik bir rol üstlenmektedir.

Geleneksel depo sistemleri uzun yıllar boyunca manuel süreçlere dayalı olarak faaliyet göstermiştir. Ancak artan ürün çeşitliliği, hız beklentileri, e-ticaret hacmindeki büyüme ve müşteri memnuniyeti baskısı, bu sistemlerin yetersiz kalmasına neden olmuştur. Bu durum, işletmeleri daha hızlı, daha esnek ve daha hatasız sistemlere yönlendirmiştir (Yardımcı Coşkun, Baskak & Tanyaş, 2025).

Endüstri 4.0 kapsamında geliştirilen dijital teknolojiler, depo yönetimi anlayışında önemli bir değişim meydana getirmiştir. Nesnelerin İnterneti (IoT), yapay zekâ, robotik otomasyon, büyük veri analitiği ve dijital ikiz gibi teknolojilerin depo süreçlerine dâhil edilmesiyle depolar, yalnızca ürünlerin muhafaza edildiği alanlar olmaktan çıkmıştır. Günümüzde bu yapılar, veri üreten ve işleyen, süreçlerin analiz edilmesine katkı sağlayan ve alınacak kararlara destek sunan akıllı sistemler olarak değerlendirilmektedir (Taşkın, Gezik, Yumuşak & Eren, 2022).

Diğer yandan küresel iklim değişikliği, karbon emisyonlarının azaltılması ve doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı gibi çevresel sorunlar, işletmeleri sadece ekonomik değil aynı zamanda çevresel sorumluluklar açısından da yeniden yapılandırmaya zorlamaktadır. Bu noktada sürdürülebilir lojistik ve sürdürülebilir depo yönetimi kavramları ön plana çıkmaktadır.

Dijital dönüşüm ve sürdürülebilirlik yaklaşımlarının birlikte değerlendirilmesi sonucunda "akıllı ve sürdürülebilir depo yönetimi" kavramı ortaya çıkmaktadır. Bu yaklaşım, bir yandan operasyonel verimliliği artırmayı diğer yandan ise çevresel etkileri en aza indirmeyi amaçlayan bütüncül bir yönetim anlayışını ifade etmektedir (Genç and Tunali, 2022).

1.1. Problemin Tanımı

Depo yönetiminde dijital dönüşüm süreci hızla ilerlemesine rağmen, bu dönüşümün sürdürülebilirlik boyutu çoğu işletme tarafından sistematik olarak ele alınmamaktadır. İşletmeler genellikle teknolojik yatırımları yalnızca maliyet azaltma, hız artırma ve operasyonel verimlilik perspektifinden değerlendirmektedir. Ancak bu yaklaşım, çevresel etkilerin göz ardı edilmesine neden olmaktadır. Özellikle enerji tüketimi, karbon emisyonları, atık yönetimi ve kaynak kullanımı gibi sürdürülebilirlik göstergeleri çoğu zaman ölçülmemekte veya ikincil öncelik olarak değerlendirilmektedir.

Bu bağlamda temel araştırma problemi şu şekilde tanımlanmıştır:

Akıllı depo teknolojileri, işletmelerin sürdürülebilirlik performansını etkilemekte midir? Etkilemekte ise hangi mekanizmalar aracılığıyla etkilemektedir?

Bu araştırma problemi, yalnızca teknolojik dönüşümün değil, aynı zamanda çevresel, ekonomik ve yönetsel dönüşüm süreçlerinin de birlikte değerlendirilmesini gerektirmektedir. Bu doğrultuda hazırlanan çalışma altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde giriş, araştırma problemi, araştırmanın amacı, önemi ve kapsamı açıklanmıştır. İkinci bölümde konuya ilişkin literatür incelenmiş, üçüncü bölümde araştırmanın yöntemi açıklanmış, dördüncü bölümde elde edilen bulgular sunulmuş, beşinci bölümde bulgular tartışılmış ve son bölümde araştırmanın sonuçları ile önerilere yer verilmiştir.

1.2. Araştırmanın Amacı

İşletmelerde dijital dönüşüm süreçlerinin yaygınlaşmasıyla birlikte lojistik ve depo yönetim faaliyetlerinde teknoloji kullanımının kapsamı giderek genişlemektedir. Özellikle Endüstri 4.0 uygulamaları doğrultusunda geliştirilen akıllı depo sistemleri, depo operasyonlarının daha sistematik, entegre ve veri temelli biçimde yönetilmesine olanak sağlamaktadır. Bununla birlikte işletmelerin teknolojik yatırımlarının yalnızca operasyonel süreçlere etkisinin değil, yönetim performansı üzerindeki sonuçlarının da değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu araştırmanın temel amacı, işletmelerde kullanılan akıllı depo sistemlerinin depo yönetim süreçleri üzerindeki etkilerini analiz etmek ve bu sistemlerin sürdürülebilir depo yönetimine sağladığı katkıları ortaya koymaktır. Çalışmada akıllı depo teknolojilerinin depo operasyonlarının planlanması, stok kontrol süreçleri, ürün hareketlerinin takibi, iş süreçlerinin koordinasyonu ve operasyonel işleyiş üzerindeki etkilerinin incelenmesi hedeflenmektedir.

Araştırma kapsamında ayrıca, akıllı depo uygulamalarının işletmelerin kaynak kullanım süreçlerini nasıl etkilediği, depo faaliyetlerinde süreç verimliliğini nasıl değiştirdiği ve teknolojik altyapının depo yönetim performansı üzerindeki rolünün belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Çalışmanın bir diğer amacı, uygulamada kullanılan akıllı depo teknolojilerinin işletme içerisinde oluşturduğu yapısal değişimleri incelemek ve bu sistemlerin sürdürülebilir depo yönetimi anlayışı ile ilişkisini değerlendirmektir. Bu kapsamda araştırma, işletmelerin depo yönetiminde teknoloji kullanımına ilişkin mevcut uygulamaları analiz ederek elde edilen bulgular doğrultusunda değerlendirmeler ortaya koymayı hedeflemektedir.

Araştırma, uygulama alanı olarak seçilen Çumra Şeker Fabrikası örneği üzerinden yürütülmüş olup işletmede kullanılan akıllı depo uygulamalarının mevcut işleyiş üzerindeki etkilerinin saha verileri aracılığıyla incelenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda çalışma, akıllı depo sistemlerinin işletme süreçlerindeki rolünü bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirmeyi hedeflemektedir.

1.3. Araştırmanın Önemi

Günümüzde işletmelerin küresel rekabet ortamında sürdürülebilir başarı elde edebilmeleri, yalnızca üretim kapasitelerinin artırılmasına değil, aynı zamanda tüm operasyonel süreçlerin daha verimli, esnek ve teknoloji odaklı biçimde yönetilmesine bağlı hale gelmiştir. Özellikle dijital dönüşüm süreçlerinin hız kazanmasıyla birlikte işletmeler, geleneksel lojistik ve depo yönetim sistemlerinden uzaklaşarak daha akıllı, entegre ve veri temelli yönetim modellerine yönelmeye başlamıştır. Bu dönüşüm sürecinde Endüstri 4.0 teknolojileri işletmelerin operasyonel süreçlerinde önemli değişimler yaratmaktadır.

Lojistik ve depoyönetimi, işletmelerin tedarik zinciri performansını doğrudan etkileyen kritik faaliyet alanlarından biridir. Geleneksel depo sistemlerinde insan gücüne dayalı süreçlerin yoğun olması, hata oranlarının artmasına, zaman kayıplarına, kaynak kullanımında verimsizliklere ve operasyonel maliyetlerin yükselmesine neden olabilmektedir. Buna karşılık akıllı depo sistemleri; otomasyon teknolojileri, gerçek zamanlı veri yönetimi, dijital takip sistemleri ve entegre yazılım altyapıları aracılığıyla depo süreçlerinin daha kontrollü ve verimli şekilde yönetilmesine olanak sağlamaktadır.

Son yıllarda işletmeler açısından yalnızca operasyonel verimlilik değil, aynı zamanda sürdürülebilirlik anlayışı da stratejik önem kazanmaya başlamıştır. Özellikle enerji tüketiminin

azaltılması, kaynak kullanımının optimize edilmesi, atık yönetiminin iyileştirilmesi, karbon emisyonlarının azaltılması ve çevresel performansın artırılması işletmelerin uzun vadeli rekabet gücü açısından temel unsurlar arasında yer almaktadır. Bu noktada akıllı depo sistemlerinin sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi hem akademik literatür hem de işletme uygulamaları açısından önem taşımaktadır.

Literatür incelendiğinde akıllı depo sistemleri ile ilgili çalışmaların büyük ölçüde otomasyon teknolojileri, operasyonel verimlilik, maliyet avantajı ve lojistik performans üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Buna karşılık akıllı depo teknolojilerinin sürdürülebilir depo yönetimi üzerindeki etkilerini ele alan çalışmaların sınırlı olduğu dikkat çekmektedir. Özellikle Türkiye’de bu alanda işletme temelli saha araştırmalarının yetersiz olması, konunun akademik açıdan daha fazla incelenmesini gerekli hale getirmektedir.

Bu araştırma, akıllı depo sistemlerinin yalnızca teknolojik ve operasyonel katkılarını değil, aynı zamanda ekonomik, çevresel ve yönetsel sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerini değerlendirmesi bakımından mevcut literatüre katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Araştırmanın bir diğer önemi ise gerçek işletme verileri ve saha uygulamaları üzerinden değerlendirme yapılmasıdır. Araştırma kapsamında incelenen Çumra Şeker Fabrikası örneği, akıllı depo sistemlerinin uygulama boyutunun somut biçimde analiz edilmesine olanak sağlamaktadır.

Çalışmanın sonuçlarının, dijital dönüşüm yatırımları planlayan işletmelere, lojistik yöneticilerine, sürdürülebilirlik odaklı kurumsal karar vericilere ve bu alanda çalışma yürüten akademisyenlere katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir. Bu yönüyle araştırma, hem teorik bilgi üretimine katkı sunmakta hem de işletmeler açısından uygulamaya dönük stratejik çıkarımlar ortaya koymaktadır.

1.4. Araştırmanın Kapsamı

Bu çalışma Türkiye’de faaliyet gösteren büyük ölçekli üretim ve lojistik firmalarını kapsamaktadır. Araştırma, işletmelerde kullanılan akıllı depo sistemlerinin sürdürülebilir depo yönetimi üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın temel kapsamını, depo yönetim süreçlerinde kullanılan dijital teknolojilerin operasyonel verimlilik, ekonomik sürdürülebilirlik, çevresel sürdürülebilirlik ve sosyal sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi oluşturmaktadır. Araştırma kapsamında Çumra Şeker Fabrikası örnek olay olarak seçilmiştir.

Günümüzde işletmelerin rekabet avantajı elde edebilmesi yalnızca teknolojik altyapı yatırımlarına değil, aynı zamanda bu yatırımların sürdürülebilirlik hedefleri ile uyumlu biçimde yönetilmesine bağlıdır. Özellikle depo yönetim süreçlerinde dijital dönüşüm uygulamalarının yaygınlaşması, akıllı depo sistemlerinin lojistik faaliyetler içerisindeki önemini artırmıştır. Bununla birlikte söz konusu teknolojik dönüşümün sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerinin kavramsal ve teorik açıdan değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda çalışmanın ikinci bölümünde araştırmanın teorik temelini oluşturan kavramlar ve ilgili literatür detaylı biçimde incelenmiştir.

LİTERATÜR (İKİNCİ BÖLÜM)

Bu bölümde araştırmanın teorik çerçevesini oluşturan temel kavramlar ve konuya ilişkin ulusal ve uluslararası literatür sistematik biçimde ele alınmaktadır. Öncelikle dijital dönüşüm süreci ve Endüstri 4.0 yaklaşımı açıklanmakta, ardından akıllı depo sistemleri, bu sistemlerin teknolojik bileşenleri ve sürdürülebilirlik kavramı lojistik perspektifi çerçevesinde incelenmektedir. Son olarak akıllı depo teknolojileri ile sürdürülebilirlik arasındaki ilişki değerlendirilerek araştırmanın literatürdeki konumu ortaya konulmaktadır.

2.1. Dijital Dönüşüm ve Endüstri 4.0 Yaklaşımı

Endüstri 4.0, üretim ve hizmet sistemlerinde dijital teknolojilerin entegrasyonuna dayanan yeni bir endüstriyel paradigma olarak tanımlanmaktadır. Bu paradigma siber-fiziksel sistemler, nesnelerin interneti (IoT), yapay zekâ ve büyük veri analitiği gibi teknolojilerin bir arada kullanılmasıyla üretim ve lojistik süreçlerin daha akıllı, esnek ve etkin hale getirilmesini amaçlamaktadır (Mercimek & Geçkil, 2021).

Küresel ölçekte dijital dönüşüm sürecinin temel unsurlarından biri olarak kabul edilen Endüstri 4.0, ileri teknolojilerin üretim sistemlerine entegre edilmesini esas alan bir yaklaşımdır. Bu dönüşüm anlayışı; üretim süreçlerinde siber-fiziksel sistemler, akıllı makineler ve dijital teknolojilerin birlikte çalışmasını sağlayarak işletmelerin daha otonom, esnek ve verimli üretim yapabilmesine olanak tanımaktadır. Bu kapsamda, üretim faaliyetlerini gerçek zamanlı olarak izleyebilen, kendi süreçlerini optimize edebilen ve minimum insan müdahalesiyle karar alabilen akıllı fabrikaların sanayide giderek daha yaygın hale gelmesi beklenmektedir. Endüstri 4.0 uygulamalarının üretim süreçlerine entegrasyonu sonucunda üretim sürelerinin ve enerji tüketiminin azaltılması, kaynak kullanımında etkinliğin artırılması, ürün kalitesinin iyileştirilmesi ve üretim kapasitesinin yükseltilmesi temel kazanımlar arasında gösterilmektedir (Ertuğrul & Özdemir, 2020).

Dijital dönüşüm süreci, yalnızca teknolojik bir değişim değil aynı zamanda organizasyonel yapının, iş süreçlerinin ve stratejik karar alma mekanizmalarının yeniden yapılandırılmasını ifade etmektedir. Özellikle lojistik sektöründe bu dönüşüm, tedarik zincirinin tüm halkalarını etkileyerek uçtan uca görünürlük sağlamaktadır.

Endüstri 4.0'ın lojistik alanına yansıması olarak değerlendirilen Lojistik 4.0, lojistik süreçlerin fiziksel altyapıdan uzaklaşarak veri odaklı, yazılım destekli ve akıllı sistemler

aracılığıyla yönetildiği bir dönüşüm sürecini ifade etmektedir (Çakır & Sezen, 2021). Endüstri 4.0 kapsamında geliştirilen sistemlerin, kendi kendini yönetebilen ve karar alabilen yapıları sayesinde üretim süreçlerinde daha hızlı ve güvenilir sonuçlar elde edilmesi amaçlanmaktadır. Akıllı fabrikalar ise fiziksel ve dijital ortamları birbirine entegre eden, veri alışverişini sürekli gerçekleştiren otonom sistemlerden oluşmaktadır. Bu doğrultuda Endüstri 4.0, insan gücüne dayalı birçok faaliyetin otomasyon sistemleri tarafından yürütülmesini sağlamaktadır (Şener & Elevli, 2017). Bu dönüşümün en önemli unsurlarından biri depo yönetimi olarak görülmektedir. Çünkü depolar, tedarik zincirinde yalnızca ürün akışının gerçekleştirildiği fiziksel alanlar değil, aynı zamanda verinin üretildiği ve yönetildiği merkezler hâline gelmiştir.

Endüstri 4.0 kavramını anlamana yardımcı olmak için burada kullanılan kavramları bilmek çok önemlidir. Bu fikirlerin günlük hayatta ifade edilmesi, Endüstri 4.0'ın nasıl ortaya çıkacağına dair ipuçları vermektedir. Tusiad'a göre Endüstri 4.0'ın temel bileşenleri şekil 1'de ki gibidir. Farklı kaynaklara göre bu bileşenler hariç giyilebilir teknolojiler, ulaştırma yönetim sistemi, radyo frekansı tanımlama, dronlar ve e-satınalma gibi bileşenlerde bulunmaktadır.



Şekil 1: Endüstri 4.0'ın Temel Bileşenleri

2.1.1. Nesnelerin İnterneti (IoT) ve Lojistik Sistemlere Etkisi

Nesnelerin İnterneti (Internet of Things-IoT), fiziksel nesnelerin internet aracılığıyla birbirleriyle iletişim kurmasını, veri üretmesini, bu verileri paylaşmasını ve analiz edilmesini sağlayan dijital bir teknolojidir. IoT teknolojisi sayesinde farklı cihazlar, sensörler ve sistemler arasında gerçek zamanlı veri alışverişi gerçekleştirilebilmekte, böylece süreçlerin uzaktan izlenmesi, yönetilmesi ve kontrol edilmesi mümkün hâle gelmektedir.

Nesnelerin interneti; RFID (Radyo Frekansı ile Tanımlama) teknolojileri, sensörler, cep telefonları ve diğer akıllı cihazların endüstriyel amaçlar doğrultusunda birlikte kullanılmasını ifade etmektedir. Başka bir ifadeyle nesnelerin interneti, internet aracılığıyla veri üretebilen ve paylaşabilen bilişim cihazları, nesneler, insanlar ile dijital veya mekanik sistemlerin birbirleriyle bağlantı kurmasını sağlayan bir teknolojidir. Bu teknoloji, insan müdahalesine ihtiyaç duymaksızın nesnelere benzersiz kimlikler atayarak hem kendi aralarında hem de merkezi kontrol sistemleriyle veri alışverişi gerçekleştirilmesine imkân sağlamaktadır (Öztürk & Zeybek, 2021).

Lojistik ve depo yönetiminde IoT teknolojisi; ürünlerin konumunun gerçek zamanlı olarak izlenmesi, stok seviyelerinin anlık takip edilmesi, çevresel koşulların kontrol edilmesi ve depo operasyonlarının etkin biçimde yönetilmesine önemli katkılar sağlamaktadır. Sensörler aracılığıyla elde edilen veriler, depo yönetim sistemlerine aktarılmakta ve bu sayede süreçlerin daha hızlı, doğru ve verimli şekilde yürütülmesi mümkün olmaktadır. Ayrıca IoT teknolojisi, insan kaynaklı hataların azaltılmasına, operasyonel maliyetlerin düşürülmesine ve karar verme süreçlerinin daha etkin yönetilmesine katkı sağlamaktadır. Endüstri 4.0'ın temel bileşenlerinden biri olarak lojistik ve depo yönetiminde dijital dönüşümü destekleyen önemli teknolojiler arasında yer almaktadır.

2.1.2. Akıllı Robotlar ve Yapay Zekâ

Akıllı robotlar ve yapay zekâ, Endüstri 4.0'ın temel bileşenleri arasında yer almakta olup üretim ve lojistik süreçlerinin daha verimli, esnek ve otonom şekilde yürütülmesine olanak sağlamaktadır. Üretim süreçlerinde kullanılan otomasyon sistemlerinin yapay zekâ ile desteklenmesi sayesinde makineler, elde ettikleri verileri analiz ederek belirli ölçüde karar verebilmekte ve üretim faaliyetlerini daha etkin biçimde gerçekleştirebilmektedir. Yapay zekâ teknolojileri, büyük veri analitiği ile beslenerek sürekli öğrenmekte ve zaman

içerisinde performansını geliştirmektedir (Fırat ve Fırat, 2017). Yapay zekâ destekli akıllı robotların, üretim sistemleriyle sürekli iletişim hâlinde çalışarak oluşabilecek hataları tespit etmeleri, süreçleri izlemeleri ve sürekli iyileştirme faaliyetleri aracılığıyla üretim sistemlerinin verimliliğini artırmaları beklenmektedir (Genç & Tunalı, 2022).

Yapay zekâ, büyük veri kümeleri üzerinde öğrenme, analiz etme ve tahminleme yapabilen algoritmalarından oluşmaktadır. Makine öğrenmesi ve derin öğrenme teknikleri sayesinde geçmiş veriler analiz edilerek geleceğe yönelik daha doğru tahminler yapılabilmektedir. Bu durum, özellikle depo ve lojistik yönetiminde karar verme süreçlerinin daha etkin yürütülmesine katkı sağlamaktadır.

Lojistik sektöründe yapay zekâ teknolojileri başta aşağıdaki alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır:

- Talep tahmini,
- Stok optimizasyonu,
- Rota planlaması,
- Sipariş yönetimi,
- İş gücü planlaması.



Şekil 2: Akıllı Robotlar ve Yapay Zekaya Örnek (URL-2, 2021);

Makine öğrenmesi algoritmaları, geçmiş dönem verilerini analiz ederek talep değişimlerini ve operasyonel eğilimleri önceden tahmin edebilmektedir. Böylece işletmeler stok seviyelerini daha doğru planlayabilmekte, kaynak kullanımını optimize edebilmekte ve operasyonel belirsizlikleri önemli ölçüde azaltabilmektedir. Özellikle akıllı depo sistemlerinde yapay zekâ uygulamaları; sipariş hazırlama süreçlerinin hızlandırılması, stok doğruluğunun artırılması, depo içi hareketlerin optimize edilmesi ve insan kaynaklı hataların azaltılması açısından önemli katkılar sağlamaktadır.

2.1.3. Dijital İkiz Teknolojisi

Dijital ikiz teknolojisi, fiziksel bir sistemin, ürünün veya sürecin gerçek zamanlı veriler kullanılarak dijital ortamda birebir modellenmesini ifade etmektedir. Bu teknoloji sayesinde fiziksel sistemlerin davranışları sanal ortamda izlenebilmekte, analiz edilebilmekte ve farklı senaryolar altında simüle edilebilmektedir. Depo ve lojistik yönetiminde dijital ikiz teknolojisi, depo operasyonlarının sanal ortamda modellenmesini ve süreçlerin uygulamaya geçirilmeden önce analiz edilmesini mümkün kılmaktadır. Böylece işletmeler, operasyonel performansı değerlendirebilmekte, olası sorunları önceden tespit edebilmekte ve süreç iyileştirme çalışmalarını daha etkin şekilde planlayabilmektedir (Genç ve Tunalı, 2022).

Dijital ikiz teknolojinin işletmelere sağladığı başlıca avantajlar şunlardır:

- Süreçlerin uygulamaya alınmadan önce sanal ortamda test edilmesine olanak sağlaması,
- Enerji tüketiminin analiz edilmesi ve farklı senaryolar üzerinden simüle edilmesi,
- Olası risklerin önceden belirlenerek gerekli önlemlerin alınmasına katkı sağlaması,
- Operasyonel süreçlerde verimliliği sınırlandıran darboğazların tespit edilmesini kolaylaştırması,
- Kaynak kullanımının optimize edilmesine ve operasyonel maliyetlerin azaltılmasına destek olması (**Banger, 2018**).

Özellikle büyük ölçekli üretim ve lojistik işletmelerinde dijital ikiz teknolojisi, gerçek zamanlı veri analizi sayesinde yöneticilerin daha doğru ve hızlı kararlar almasına katkı sağlamaktadır. Bunun yanında depo yerleşim planlarının oluşturulması, malzeme akışlarının optimize edilmesi, ekipman performansının izlenmesi ve bakım süreçlerinin planlanması gibi birçok alanda etkin olarak kullanılmaktadır. Bu yönüyle dijital ikiz teknolojisi, Endüstri 4.0 kapsamında işletmelerin dijital dönüşümünü destekleyen ve stratejik karar alma süreçlerini güçlendiren temel teknolojilerden biri olarak değerlendirilmektedir (Genç ve Tunalı, 2022).

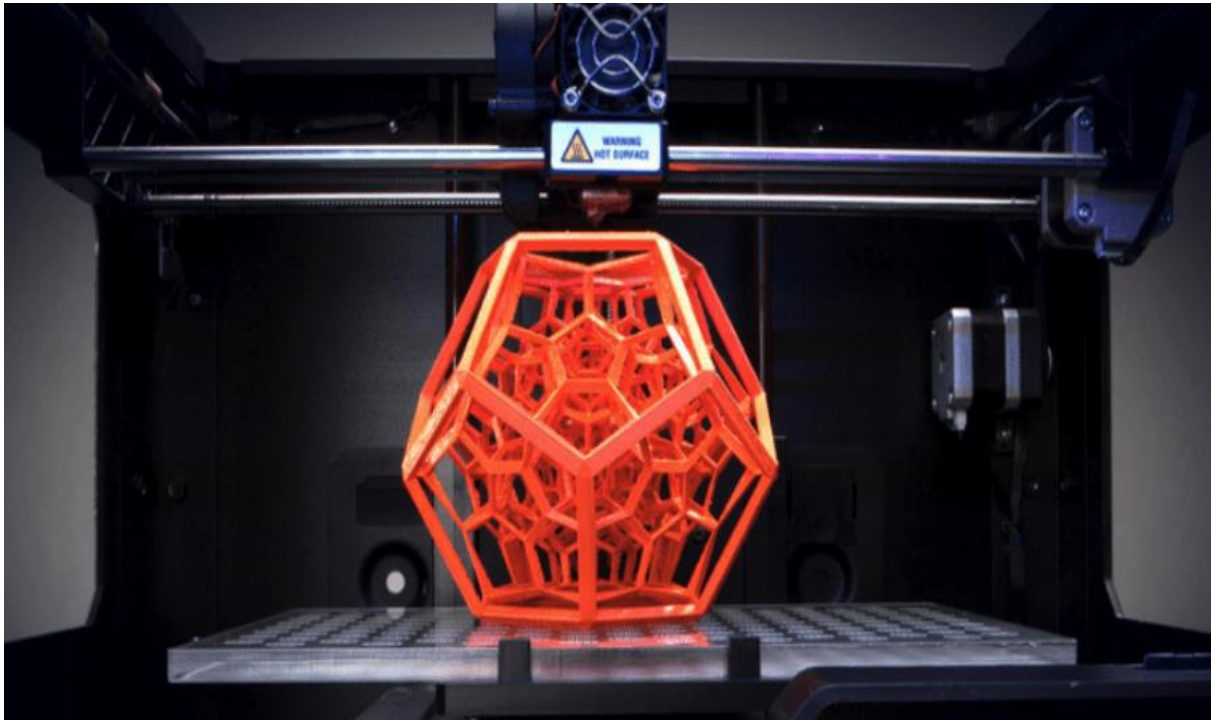
2.1.4. Bulut Bileşimi

Bulut bilişim, internet tabanlı bir çalışma yapısına sahip olan bir sistemdir. Bu sistem, ana sunucu ile ağa bağlı yazılımlar aracılığıyla verilerin ve uygulamaların ağ üzerindeki farklı noktalardan erişilebilir ve paylaşılabilir olmasını sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, bulut bilişim veri depolama olanağı sunarak gerekli bilgilere istenilen yerden erişim imkânı vermektedir. Bulut bilişimin sağladığı bu avantajlar sayesinde işletmelerin yazılım ve donanım yatırımlarına duyduğu ihtiyaç önemli ölçüde azalmıştır (Banger, 2018).

Bulut bilişim teknolojisinin sunduğu en önemli avantajlardan biri, işletmelerin yüksek maliyetli donanım ve yazılım yatırımlarına olan ihtiyaçlarını azaltmasıdır. Ayrıca veri güvenliği, yedekleme, esnek depolama kapasitesi ve uzaktan erişim gibi özellikleri sayesinde işletmelere önemli ölçüde zaman ve maliyet avantajı sağlamaktadır (Banger, 2018).

2.1.5 Üç Boyutlu Yazıcılar

Üç boyutlu yazıcılar, geleneksel yazıcılardan farklı olarak fiziksel ürünlerin kısa sürede üretilmesine olanak sağlayan teknolojilerdir. Günümüzde satın alınan birçok ürünle sunulan üç boyutlu tasarım dosyaları sayesinde ihtiyaç duyulan parçalar yeniden üretilmekte ve yedek parça üretimi yoluyla değiştirilebilmektedir (Dinç, 2018).



Şekil 3: Üç Boyutlu Yazıcı (Kalender, 2018)

Endüstri 4.0 kapsamında değerlendirilen üç boyutlu yazıcılar; prototip geliştirme, özel üretim, yedek parça üretimi ve kişiselleştirilmiş ürün tasarımı gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde birçok endüstriyel ürünün dijital tasarım dosyalarının bulunması sayesinde ihtiyaç duyulan parçalar, üretim sahasında kısa süre içerisinde yeniden üretilebilmektedir. Bu durum, özellikle bakım ve onarım süreçlerinin hızlandırılmasına, stok maliyetlerinin azaltılmasına ve tedarik sürelerinin kısaltılmasına önemli katkılar sağlamaktadır (Dinç, 2018).

2.1.6 Siber Güvenlik

Siber güvenlik, Endüstri 4.0'ın temel unsurlarından biri olarak değerlendirilmektedir. Siber ortamda kullanıcıların ve işletmelerin sahip olduğu varlıkların korunabilmesi amacıyla güvenlik önlemleri, risk yönetimi uygulamaları, teknolojik araçlar, eğitim faaliyetleri ve çeşitli güvenlik politikaları birlikte kullanılmaktadır. Siber güvenlik; akıllı cihazların, mobil teknolojilerin, bilgisayarların, elektronik sistemlerin ve kayıt altındaki verilerin zararlı yazılımlara ve siber saldırılara karşı korunmasını sağlayan güvenlik uygulamalarını kapsamaktadır. Endüstri 4.0 kapsamında faaliyet gösteren işletmeler ile dijital sistemlerden yararlanan tedarikçiler çeşitli siber tehditlerle karşı karşıya kalabilmektedir. Bu nedenle, günlük yaşamı kolaylaştıran ve üretim süreçlerinde yaygın olarak kullanılan bu teknolojilerde gerekli güvenlik önlemlerinin alınmaması önemli risklerin ortaya çıkmasına neden olabilmektedir (Dinç, 2018).

Siber güvenlik; risk yönetimi, güvenlik yazılımları, kimlik doğrulama sistemleri, veri şifreleme yöntemleri, erişim kontrol mekanizmaları ve kullanıcı farkındalık eğitimleri gibi çeşitli uygulamaları kapsamaktadır. Bu uygulamalar sayesinde işletmelerin sahip olduğu kritik bilgiler korunmakta, veri bütünlüğü sağlanmakta ve dijital sistemlerin güvenilirliği artırılmaktadır (Banger, 2018).

2.1.7 Simülasyon

Simülasyon, fiziksel dünyada bulunan siber-fiziksel sistemlere ait verilerin ve süreçlerin sanal bir ortam içerisinde gerçeğe uygun şekilde oluşturulmasını sağlayan bir modelleme tekniğidir. Bu yöntem sayesinde süreçlerin olası sonuçları önceden analiz edilebilmekte, meydana gelebilecek riskler değerlendirilebilmekte ve zaman ile maliyet açısından avantaj sağlanabilmektedir. Simülasyon uygulamalarının temel amacı, mevcut verilere dayalı olarak farklı senaryoların sanal ortamda test edilmesi ve elde edilen sonuçlar doğrultusunda uygun kararların alınmasına yardımcı olmaktır. Etkin bir

simülasyon modelinin oluşturulabilmesi için incelenen fiziksel sisteme ilişkin tüm verilerin sanal ortama doğru biçimde aktarılması ve modellenmesi gerekmektedir (Şekkeli & Bakan, 2018).

Simülasyon teknolojisi sayesinde üretim ve lojistik süreçlerinde oluşabilecek olası riskler önceden belirlenebilmekte, farklı operasyonel senaryolar test edilebilmekte ve süreç performansı ayrıntılı olarak analiz edilebilmektedir. Böylece işletmeler, uygulama öncesinde gerekli iyileştirmeleri gerçekleştirerek zaman ve maliyet tasarrufu sağlayabilmektedir.

2.1.8 Artırılmış Gerçeklik

Artırılmış gerçeklik (AR), sanal ortamda oluşturulan dijital içeriklerin gerçek dünya ile bütünleştirilerek kullanıcıya fiziksel çevreyi daha etkileşimli ve zenginleştirilmiş bir şekilde algılama imkânı sunan bir teknolojidir. Başka bir ifadeyle artırılmış gerçeklik; bilgisayar tabanlı grafik, görüntü ve ses gibi dijital unsurların gerçek dünyadaki nesnelerle bir araya getirilmesi yoluyla fiziksel ortamın dijital bilgilerle desteklenmesini sağlamaktadır (Genç & Tunalı, 2022).

Artırılmış gerçeklik teknolojisi, sanal gerçeklikten farklı olarak kullanıcıyı tamamen dijital bir ortama taşımamakta; gerçek dünya ile dijital verileri bütünleştirerek daha etkileşimli bir çalışma ortamı sunmaktadır. Bu sayede kullanıcılar, fiziksel ortamdan kopmadan dijital bilgilere ulaşabilmekte ve iş süreçlerini daha etkin şekilde yönetebilmektedir.

Lojistik ve akıllı depo yönetiminde artırılmış gerçeklik uygulamaları; sipariş toplama süreçleri, ürün yer tespiti, bakım ve onarım faaliyetleri, çalışan eğitimleri ile depo içi yönlendirme sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle akıllı gözlükler ve mobil cihazlar aracılığıyla çalışanlara gerçek zamanlı bilgi sunulması, sipariş hazırlama sürecini hızlandırmakta, hata oranlarını azaltmakta ve iş gücü verimliliğini artırmaktadır (Kahraman, 2016).

2.1.9 Yatay – Dikey Yazılım Entegrasyonu (Siber Fiziksel Sistemler)

Akıllı fabrika yapılarında yer alan bilgisayar sistemleri, el terminalleri, makineler, cihazlar ve çeşitli ekipmanların birbiriyle bağlantılı olarak çalışması ve veri alışverişinde bulunması dikey entegrasyon olarak ifade edilmektedir. Üretim faaliyetlerinin gerçekleştirilebilmesi için çok sayıda makine, sistem ve ekipmanın birlikte kullanılması

gerekmektedir. Bu unsurların bir kısmı doğrudan fiziksel üretim süreçlerinde görev alırken, diğer kısmı ise iletişim ve veri aktarımını sağlayan üretim yönetim sistemleri, ERP yazılımları, sensörler, vanalar ve motorlar gibi teknolojik bileşenlerden oluşmaktadır. Bu kapsamda dikey entegrasyon, işletmelerin farklı işlev ve süreçlerinin birbirleriyle bağlantılı şekilde çalışarak sürekli iletişim hâlinde olmasını ifade etmektedir.

Yatay entegrasyon, şirketin internet üzerinden tedarikçiler, dağıtıcılar, sigorta şirketleri, lojistik şirketleri, finans kurumları ve üreticiler ile etkileşim kurmasını sağlar (Asar ve Esen, 2021).

Endüstri 4.0 ile gelişen dijital teknolojiler, işletmelerin üretim süreçleri kadar lojistik ve depolama faaliyetlerinde de önemli dönüşümlere neden olmuştur. Özellikle veri temelli yönetim anlayışı, otomasyon sistemleri ve gerçek zamanlı izleme teknolojileri geleneksel depo yönetim modellerinin yeniden şekillenmesini sağlamıştır. Bu süreçte ortaya çıkan en önemli uygulamalardan biri akıllı depo sistemleridir.

2.2. Akıllı Depo Sistemi

Akıllı depo kavramı, geleneksel depo yönetim sistemlerinin dijital teknolojilerle entegre edilmesi sonucu ortaya çıkmıştır. Bu sistemler, gerçek zamanlı veri akışı, otomatik karar alma mekanizmaları ve süreç optimizasyonu üzerine kuruludur. Akıllı depo sistemlerinin birincil hedefi, depoların hizmet kalitesini ve toplam verimliliğini artırırken aynı zamanda maliyetleri ve hataları azaltmaktır (Van Geest ve ark.,2022).

Akıllı depo sistemleri, işletmelerin lojistik faaliyetlerini daha etkin ve verimli bir şekilde gerçekleştirebilmesi açısından tedarik zinciri yönetiminin önemli unsurlarından biri olarak değerlendirilmektedir. Lojistik maliyetlerin toplam üretim maliyetleri içerisinde önemli bir paya sahip olması, depo operasyonlarının işletmelerin rekabet avantajı üzerinde doğrudan etkili olmasına neden olmaktadır. Bu doğrultuda birçok işletme, depolama maliyetlerini azaltmak ve operasyonel süreçleri iyileştirmek amacıyla özellikle tedarik zinciri ve lojistik alanında geliştirilen yeni teknolojilerden yararlanmaktadır. Literatürde yer alan çalışmalar, depo yönetiminin tedarik zinciri süreçlerinin başarısında kritik bir role sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Depolar, tedarik zinciri boyunca gerçekleşen malzeme akışının yönetildiği noktalar olması nedeniyle yalnızca ürünlerin saklandığı alanlar değil, aynı zamanda operasyonel performansı ve maliyetleri etkileyen stratejik birimler olarak ele alınmaktadır (Gu vd., 2007; Berg, 1996; Kamali, 2019; Frazelle, 2002).Geleneksel

depo uygulamalarında malzemelerin raflara yerleştirilmesi, raflardan alınarak sevkiyat alanlarına taşınması ve ürünlerin depo içerisindeki konum değişikliklerinin gerçekleştirilmesi gibi işlemler büyük ölçüde insan gücü veya makine operatörleri aracılığıyla yürütülmektedir. Ancak insan kaynaklı hatalar nedeniyle ürün hasarları, yanlış sevkiyatlar, son kullanma tarihi takibi problemleri ve zaman kayıpları gibi çeşitli operasyonel sorunlar ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle depo yönetim süreçlerinin teknolojik gelişmeler doğrultusunda yeniden yapılandırılması ve Endüstri 4.0 uygulamalarıyla desteklenerek akıllı depo sistemlerine dönüştürülmesi önem taşımaktadır. Akıllı depo sistemlerinin uygulanması işletmelere çeşitli avantajlar sağlamaktadır:

Akıllı depo sistemlerinin sağladığı avantajlar arasında depolama ve boşaltma faaliyetlerinin daha hızlı gerçekleştirilmesi, iş kazalarının azaltılması, ERP destekli stok kontrolünün etkin şekilde yürütülmesi ve müşteri taleplerine daha kısa sürede cevap verilebilmesi yer almaktadır. Bunun yanı sıra bu sistemler, depolama süreçlerinde maliyetlerin azaltılmasına, üretim, tedarik ve depo faaliyetleri arasındaki koordinasyonun güçlendirilmesine, insan kaynaklı hataların en aza indirilmesine, enerji kullanımında verimliliğin artırılmasına ve depo operasyonlarının uzaktan kontrol edilebilmesine olanak sağlamaktadır.

2.3. Akıllı Depo Sistemlerinin Amacı

Geleneksel depo yönetimi süreçlerinde ürünlerin depolanması, raflara yerleştirilmesi, stok hareketlerinin izlenmesi ve sevkiyat işlemlerinin gerçekleştirilmesi çoğunlukla insan gücü aracılığıyla yürütülmektedir. Ancak insan müdahalesine dayalı bu uygulamalarda ürünlerin zarar görmesi, yanlış ürün gönderimleri, stok bilgilerinde hataların oluşması, FIFO ve LIFO kurallarına uyulmaması, malzemelerin son kullanım tarihlerinin etkin biçimde takip edilememesi ve zaman kaybı gibi çeşitli operasyonel sorunlar meydana gelebilmektedir. Bu nedenle depo faaliyetlerinin teknolojik sistemlerle yeniden yapılandırılması ve Endüstri 4.0 uygulamalarıyla desteklenerek akıllı depo sistemlerine dönüştürülmesi, etkin ve verimli bir depo yönetiminin sağlanması açısından önem arz etmektedir. Akıllı depo sistemlerinin işletmelere sağladığı temel avantajlar aşağıda sıralanmaktadır (Sarı, Özveri & Şenyay, 2019);

- İş kazalarının azaltılmasına ve daha güvenli çalışma ortamlarının oluşturulmasına katkı sağlaması,

- Stok maliyetlerinin düşürülmesine ve stok yönetiminin etkinleştirilmesine olanak tanınması,
- Enerji tüketiminin azaltılarak enerji verimliliğinin artırılması,
- Uzaktan erişim ve gerçek zamanlı izleme imkânı sunması,
- Müşteri taleplerine daha hızlı ve doğru şekilde cevap verilmesini sağlaması,
- Depo yönetim sistemleri (WMS) ile kurumsal kaynak planlama (ERP) sistemlerinin entegre çalışmasına olanak tanınması,
- Depolama, yükleme ve sevkiyat süreçlerinin verimliliğini artırması,
- Depolama, üretim, tedarik zinciri ve lojistik faaliyetleri arasındaki koordinasyonu güçlendirmesi,
- İnsan kaynaklı operasyonel hataları en düşük seviyeye indirerek hizmet kalitesini artırması.

Akıllı depo sistemleri, işletmelere yalnızca operasyonel açıdan değil; ekonomik, çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik açısından da önemli katkılar sağlamaktadır. Kaynakların etkin kullanılması, enerji tüketiminin azaltılması, atık miktarının düşürülmesi ve iş güvenliğinin artırılması gibi avantajları sayesinde işletmelerin sürdürülebilir rekabet üstünlüğü elde etmelerine katkıda bulunmaktadır (Alkış, Piritini ve Ertemel, 2020).

2.4. Akıllı Depo Sistemleri Bileşenleri

Akıllı depo sistemleri, dijital teknolojilerin kullanımı ve entegrasyonu ile depo operasyonlarının daha hızlı, etkin ve kontrollü bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak sağlayarak işletmelere operasyonel avantajlar sunmaktadır. Bu teknolojiler aracılığıyla depo süreçleri gerçek zamanlı olarak takip edilebilmekte, operasyonel faaliyetler otomasyon sistemleriyle desteklenebilmekte ve karar alma süreçleri veri temelli bir yaklaşımla yürütülebilmektedir (Genç & Tunalı, 2022).

Akıllı depo sistemlerinin temel bileşenleri aşağıda sıralanmaktadır:

- Kurumsal Kaynak Planlama (ERP) Sistemleri,
- Akıllı Robotlar,
- Akıllı Depolama ve Geri Alma Sistemleri (AS/RS),
- Otomatik Kılavuzlu Araçlar (AGV),
- Nesnelerin İnterneti (IoT).

Bu teknolojiler sayesinde depo içi süreçler manuel müdahaleye gerek kalmadan optimize edilmekte, hata oranları minimize edilmekte ve operasyonel hız önemli ölçüde artırılmaktadır.

Yılmaz'a (2023) göre akıllı depo sistemleri, lojistik performansını yalnızca operasyonel hız açısından değil, aynı zamanda doğruluk, esneklik, kaynak kullanım etkinliği ve maliyet performansı açısından da önemli ölçüde geliştirmektedir. Bu nedenle günümüzde işletmeler, rekabet avantajı elde edebilmek ve müşteri beklentilerini karşılayabilmek amacıyla akıllı depo teknolojilerine yönelik yatırımlarını artırmaktadır.

2.4.1. ERP (Kurumsal Kaynak Planlama) Sistemleri

Kurumsal Kaynak Planlama (ERP) sistemleri; işletmelerin üretim, stok yönetimi, muhasebe, insan kaynakları, tedarik zinciri ve müşteri ilişkileri gibi temel faaliyetlerini ortak bir veri tabanı üzerinden bütünleşik şekilde yönetmelerine imkân sağlayan bilgi teknolojileri tabanlı yazılım sistemleridir (Küçük, 2009).

ERP sistemlerinin kullanım alanı, küresel ölçekte yaygınlaşmasıyla birlikte yalnızca üretim işletmeleriyle sınırlı kalmamış, farklı sektörlerde faaliyet gösteren işletmeler tarafından da benimsenmiştir. Bu sistemler, işletmelerin kaynaklarını ve stoklarını daha etkin biçimde planlamasına ve yönetmesine katkı sağlamaktadır. Modüler yapıları sayesinde farklı sektörlerdeki işletmelerin ihtiyaçlarına göre uyarlanabilen ERP uygulamaları, elektronik ticaretin gelişmesi ve dijitalleşme sürecinin hız kazanmasıyla birlikte işletmeler açısından daha önemli bir konuma gelmiştir (Genç & Tunalı, 2021).

2.4.2. Akıllı Robotlar

Akıllı robotlar, önceden belirlenen yazılımlar doğrultusunda programlanarak belirli görevleri yerine getirebilen elektromekanik sistemlerdir (Genç & Tunalı, 2021). Akıllı depo sistemlerinde kullanılan bu robotlar, malzemelerin bulundukları konumlardan alınması, belirlenen adreslere taşınması veya depo içerisindeki farklı noktalar arasında aktarılması gibi işlemleri insan gücüne ihtiyaç duymadan gerçekleştirebilmektedir. Akıllı robotların depo operasyonlarında kullanılması, iş gücü ihtiyacının azaltılmasına ve iş kazası risklerinin düşürülmesine katkı sağlamaktadır.



Şekil 4: Akıllı robotlar (URL-6, 2023)

Akıllı robotların kullanımı, insan gücüne duyulan ihtiyacı azaltırken aynı zamanda operasyonel süreçlerde meydana gelebilecek insan kaynaklı hataların en aza indirilmesine katkı sağlamaktadır. Özellikle ağır yüklerin taşınması, tekrarlayan işlerin yürütülmesi ve riskli çalışma alanlarında görev alması sayesinde çalışanların fiziksel iş yükü azalmakta ve iş sağlığı ile güvenliği açısından daha güvenli çalışma koşulları oluşturulmaktadır. Bunun yanında akıllı robotlar, depo yönetim sistemleri (WMS), kurumsal kaynak planlama (ERP) sistemleri ve nesnelerin interneti (IoT) teknolojileri ile entegre çalışarak ürün hareketlerinin gerçek zamanlı olarak izlenmesine, sipariş hazırlama süreçlerinin hızlandırılmasına ve stok doğruluğunun artırılmasına katkı sağlamaktadır. Bu yönüyle akıllı robotlar, akıllı depo sistemlerinin temel bileşenlerinden biri olarak işletmelere operasyonel verimlilik, maliyet avantajı ve sürdürülebilir rekabet üstünlüğü kazandırmaktadır (Genç ve Tunalı, 2022).

2.4.3. Akıllı Depolama ve Boşaltma Sistemleri (AS / RS)

Akıllı depolama ve boşaltma sistemleri, ürünlerin depo içerisinde otomatik ekipmanlar aracılığıyla raflardan alınmasını, uygun konumlara yerleştirilmesini ve bu işlemlerin hızlı ve hatasız bir biçimde gerçekleştirilmesini sağlayan teknolojik sistemlerdir (Manzini vd., 2006). Bu sistemler, günümüz üretim tesislerinde stok yönetimi kapsamında gerçekleştirilen depolama, malzeme hareketleri ve sipariş hazırlama faaliyetlerinin daha etkin bir şekilde yürütülmesine yardımcı olan önemli uygulamalardan biridir. Geleneksel

yapıya sahip akıllı depolama ve raf sistemleri; ürün giriş ve çıkış noktaları, koridorlarda hareket eden depolama-toplama ekipmanları ve malzemelerin konumlandırıldığı raf bölümlerinden meydana gelmektedir (Hur vd., 2004).

Akıllı depolama ve boşaltma sistemlerinin kurulumu, yüksek maliyet gerektiren yatırımlar arasında yer almaktadır. Bu nedenle sistem tasarımı ve kapasite planlamasının dikkatli bir şekilde yapılması gerekmektedir. Yetersiz planlama durumunda depo alanlarının etkin kullanımı azalabilmekte ve mevcut kapasiteden beklenen verim elde edilmeyebilmektedir. Malzemelerin uygun koşullarda saklanması ve ihtiyaç duyulduğunda hızlı şekilde erişilebilmesi için depo alanının, raf düzeninin ve taşıma yollarının doğru şekilde tasarlanması önem taşımaktadır (Xu vd., 2015).

2.4.4. Otomatik Kılavuzlu Araçlar (AGV)

Otomatik kılavuzlu araçlar (AGV), malzeme taşıma teknolojileri içerisinde gelişmiş uygulamalardan biri olarak değerlendirilmektedir. Bu araçlar, herhangi bir sürücüye ihtiyaç duymadan, kendilerine iletilen sinyaller ve yönlendirmeler doğrultusunda malzemelerin bir noktadan başka bir noktaya taşınmasını sağlayan otonom sistemlerdir. Esnek kullanım özellikleri sayesinde AGV'ler, üretim faaliyetlerinden hizmet sektörüne kadar farklı alanlarda malzeme taşıma süreçlerinin etkinleştirilmesi amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır (Eren Şeneras & Sezen, 2016).

AGV sistemleri, Endüstri 4.0 kapsamında geliştirilen akıllı depo uygulamalarının temel bileşenlerinden biri olup, depo içi malzeme akışının otomatikleştirilmesine önemli katkılar sağlamaktadır. Bu araçlar, ürünlerin üretim alanlarından depolama alanlarına, depolama alanlarından sevkiyat noktalarına veya farklı depo lokasyonları arasında taşınmasını etkin bir şekilde gerçekleştirmektedir. Böylece malzeme taşıma süreçleri hızlanmakta, operasyonel verimlilik artmakta ve insan kaynaklı hata oranları önemli ölçüde azalmaktadır (Genç ve Tunalı, 2022).

2.4.5. Nesnelerin İnterneti (IOT)

Nesnelerin interneti olarak bilinen sistemler, çeşitli haberleşme protokollerini kullanarak birbirleriyle haberleşen ve veri gönderme yeteneğine sahiptir. IoT teknolojisi, gerçek zamanlı veri elde etme ve bu verileri analiz edebilme kapasitesi sayesinde Endüstri 4.0 yaklaşımının temel teknolojik unsurlarından biri olarak kabul edilmektedir. Sensörler, RFID etiketleri, akıllı cihazlar ve haberleşme ağları aracılığıyla elde edilen veriler,

işletmelerin süreçlerini anlık olarak takip etmelerine ve operasyonlarını daha etkin yönetmelerine olanak sağlamaktadır. Böylece retim, depolama ve lojistik faaliyetlerinde insan müdahalesi en aza indirilirken hata oranları azaltılmakta, süreçlerin doğruluğu ve verimliliği artırılmaktadır (Genç & Tunalı, 2022).

Nesnelerin İnterneti (IoT), teknik açıdan değerlendirildiğinde fiziksel varlıkların ve sanal sistemlerin birbirleriyle iletişim kurmasını sağlayan; nesne kimliklendirme, otomatik veri elde etme, algılama, veri aktarımı, ağ bağlantısı ve küresel iletişim altyapısı gibi bileşenlerden oluşan bir teknolojik yapı olarak tanımlanmaktadır. IoT sistemlerinin temel mimarisi algılama, ağ ve uygulama olmak üzere üç ana katmandan oluşmaktadır. Algılama katmanı, sensörler aracılığıyla nesnelerin çevresel durumlarının ve konum bilgilerinin elde edilmesini sağlamaktadır. Ağ katmanı, cihazlar arasındaki iletişimin kurulmasını sağlayan internet bağlantıları, kablolu/kablosuz iletişim teknolojileri ve bulut bilişim altyapılarından meydana gelmektedir. Uygulama katmanı ise toplanan verilerin işlenerek farklı kullanım alanlarına yönelik hizmetlere dönüştürüldüğü bölümdür. Bu yapı sayesinde birbirine bağlı cihazlar, farklı amaçlar doğrultusunda veri paylaşımı gerçekleştirebilmekte ve çeşitli akıllı uygulamaların geliştirilmesine olanak sağlamaktadır (Sung & Lu, 2018).

2.5. Sürdürülebilirlik Kavramı ve Lojistikte Uygulamaları

Sürdürülebilirlik kavramı, uluslararası alanda kapsamlı biçimde Brundtland Raporu ile gündeme gelmiş ve mevcut ihtiyaçların karşılanması sürecinde gelecek kuşakların kendi gereksinimlerini karşılama imknlarının korunmasını temel alan bir anlayış olarak ortaya konulmuştur (Brundtland, 1987). Bu anlayış doğrultusunda ekonomik gelişmenin sürdürülmesi, doğal çevrenin korunması ve toplumsal refahın sağlanması arasında dengeli ve uzun vadeli bir ilişkinin kurulması amaçlanmaktadır.

Bu kapsamda sürdürülebilir depo yönetimi, depo operasyonlarının çevreye duyarlı, enerji verimli ve uzun vadeli kaynak kullanımını destekleyecek şekilde planlanması ve yürütülmesini ifade etmektedir (Kumar & Singh, 2021). Sürdürülebilir depolarda, güneş panelleri, havalandırma sistemleri, LED aydınlatma sistemleri, atık ayrıştırma sistemleri ve yeşil bina sertifikaları (LEED ve BREEAM) yaygın olarak kullanılmaktadır (Urul, Erkan & zdemir, 2026).

Lojistik sektöründe sürdürülebilirlik üç temel boyutta ele alınmaktadır. Bunlar;

2.5.1. Çevresel Boyut

Sürdürülebilirliğin çevresel boyutu, doğal kaynakların korunmasını, enerji tüketiminin azaltılmasını, karbon emisyonlarının düşürülmesini ve çevresel etkilerin en aza indirilmesini amaçlamaktadır. Lojistik ve depo yönetiminde kullanılan dijital teknolojiler, çevresel sürdürülebilirlik hedeflerinin gerçekleştirilmesinde önemli katkılar sağlamaktadır. Özellikle Endüstri 4.0 teknolojileri sayesinde enerji tüketimi izlenebilmekte, kaynak kullanımı optimize edilmekte, atık yönetimi daha etkin yürütülmekte ve karbon ayak izi azaltılabilmektedir.

Çevresel sürdürülebilirlik kapsamında ön plana çıkan temel unsurlar şunlardır:

- Karbon emisyonlarının azaltılması,
- Enerji verimliliğinin artırılması,
- Atık yönetimi ve geri dönüşüm uygulamalarının geliştirilmesi,
- Doğal kaynakların etkin ve verimli kullanılması.

2.5.2. Ekonomik Boyut

Dijitalleşen lojistik sistemleri; taşıma, depolama, stok yönetimi ve bilgi paylaşımı süreçlerini bütünleşik bir yapıda yöneterek kaynak kullanımını optimize etmekte ve işletmelerin ekonomik sürdürülebilirliğini desteklemektedir. Ayrıca iş birliğine dayalı lojistik modelleri ve dijital çözümler sayesinde operasyonel maliyetler azalmakta, süreçler hızlanmakta ve müşteri memnuniyeti artırılmaktadır.

Ekonomik sürdürülebilirliğin temel unsurları aşağıda sıralanmaktadır:

- Maliyetlerin optimize edilmesi,
- Kaynak verimliliğinin artırılması,
- Operasyonel verimliliğin geliştirilmesi,
- Uzun vadeli kârlılığın ve rekabet avantajının sağlanması.

2.5.3. Sosyal Boyut

Sürdürülebilirliğin sosyal boyutu, çalışanların güvenli çalışma koşullarına sahip olması, iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanması, çalışan memnuniyetinin artırılması ve işletme içerisinde sürekli öğrenme kültürünün desteklenmesi ile ilişkilidir. Kuşaklar arası

özgürlük ilkesine uygun olarak, bu sistemlerin sürdürülebilir kalkınmasını ve yüksek yaşam standartlarını teşvik eder. Bu boyutun temel hedefi, temel bütçenin güvenli bir şekilde karşılanması, sürdürülmesi ve pazarın refahının sağlanması ve toplumsal özgürlüğün ve verimliliğin sürdürülmesidir.

Sosyal sürdürülebilirlik kapsamında öne çıkan temel unsurlar şunlardır:

- Çalışan sağlığının korunması,
- İş sağlığı ve güvenliğinin geliştirilmesi,
- Eğitim ve mesleki gelişim faaliyetlerinin desteklenmesi,
- Çalışan memnuniyetinin ve kurumsal bağlılığın artırılması.

Srivastava (2007), yeşil tedarik zinciri yönetiminin işletmelere yalnızca çevresel faydalar sağlamakla kalmadığını, aynı zamanda maliyetlerin azaltılması, kaynak kullanımının iyileştirilmesi ve rekabet avantajının artırılması gibi ekonomik katkılar da sunduğunu belirtmektedir.

İşletmelerin sürdürülebilirlik odaklılık yaklaşımları, sosyal, ekonomik ve nem oranları dikkate alınmalıdır. Sürdürülebilirlik süreçlerinin yaygınlaştırılması, değer zinciri boyunca çevre dostu çözümlerin kullanılmasını ve bu modüllerin sökülmesini gerektirir. Sürdürülebilir değer zinciri uygulamaları, daha iyi koordine edilmiş, risk yönetimi ve işletme performansını sağlayarak sürdürülebilir tedarik zincirlerinin göstergelerine yardımcı olacaktır. Sürdürülebilir lojistik 4.0'ın başarısının ardından aşağıdaki temel sistemler tarafından belirlenir (Parhi vd., 2022):

- Teknoloji altyapısının güçlü olması ve dijital çözümlerin etkin şekilde entegre edilmesi,
- Siber güvenlik uygulamalarının geliştirilmesi ve siber tehditlere karşı dayanıklılığın artırılması,
- Üst yönetimin dijital dönüşüm ve sürdürülebilirlik süreçlerine bağlılığı,
- Müşteri odaklı stratejilerin benimsenmesi,
- Kamu politikaları, yasal düzenlemeler ve devlet desteklerinin sürdürülebilir lojistik uygulamalarını teşvik etmesi.

Bu unsurların bir bütün olarak değerlendirilmesi, işletmelerin sürdürülebilir lojistik performansını artırmakta, dijital dönüşüm süreçlerinin başarıyla uygulanmasına katkı sağlamakta ve uzun vadeli rekabet avantajı elde edilmesini desteklemektedir.

2.6. Yeşil Lojistik ve Çevresel Performans

Yeşil lojistik, lojistik faaliyetlerin çevresel etkilerini minimize etmeyi amaçlayan bir yönetim yaklaşımıdır. Bu yaklaşım, taşıma, depolama, paketleme, stok yönetimi ve dağıtım süreçlerinde çevre dostu uygulamaların benimsenmesini esas almaktadır. Yeşil lojistik uygulamalarının temel amacı; doğal kaynakların etkin kullanılması, enerji tüketiminin azaltılması, karbon emisyonlarının düşürülmesi ve çevresel performansın iyileştirilmesidir. Yeşil lojistik kapsamında yaygın olarak kullanılan uygulamalar aşağıda sıralanmaktadır:

- Elektrikli ve düşük emisyonlu taşıma araçlarının kullanılması,
- Yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılması,
- Atık yönetimi ve geri dönüşüm uygulamalarının geliştirilmesi,
- Optimum rota planlaması ile yakıt tüketiminin azaltılması,
- Çevre dostu ambalajlama ve depolama uygulamalarının benimsenmesi.

Lai ve arkadaşları (2019), yeşil lojistik uygulamalarının işletmelerin çevresel performansını geliştirmenin yanı sıra maliyetlerin azaltılmasına, kaynak kullanımının optimize edilmesine ve uzun vadeli rekabet avantajı elde edilmesine önemli katkılar sağladığını belirtmektedir.

2.7. Akıllı Depo ve Sürdürülebilirlik İlişkisi

Akıllı depo sistemleri, Endüstri 4.0 kapsamında geliştirilen teknolojilerin depo yönetimi süreçlerine dâhil edilmesiyle sürdürülebilirlik amaçlarının desteklenmesinde önemli bir işlev üstlenmektedir. Otomasyon uygulamaları, yapay zekâ, Nesnelerin İnterneti (IoT), büyük veri analitiği ve depo yönetim sistemlerinin birlikte kullanılması, depo faaliyetlerinin daha etkin yürütülmesine, kaynakların daha verimli kullanılmasına ve çevre üzerindeki olumsuz etkilerin azaltılmasına katkı sağlamaktadır (Genç & Tunalı, 2022).

Akıllı depo sistemlerinin sürdürülebilirliğe sağladığı temel katkılar aşağıda sıralanmaktadır:

- Enerji tüketiminin optimize edilmesi,
- Stok kayıpları ve israfın azaltılması,
- Karbon emisyonlarının düşürülmesi,
- Operasyonel verimliliğin artırılması.

Özellikle IoT ve yapay zekâ teknolojileri, enerji tüketimini ve ekipman performansını sürekli izleyerek gereksiz kaynak kullanımını önlemekte ve depo operasyonlarının daha sürdürülebilir bir yapıda yürütülmesini sağlamaktadır.

2.8. Literatürdeki Araştırma Boşluğu

Literatür incelendiğinde akıllı depo sistemleri üzerine yapılan çalışmaların büyük ölçüde operasyonel verimlilik, maliyet azaltma ve otomasyon performansı üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Buna karşılık bu teknolojilerin sürdürülebilirlik performansı üzerindeki etkilerini ele alan çalışmaların sınırlı olduğu dikkat çekmektedir. Özellikle Türkiye örneğinde işletme bazlı saha araştırmalarının ve sosyal sürdürülebilirlik boyutunu inceleyen çalışmaların yetersiz olduğu görülmektedir. Bu araştırma söz konusu boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır.

2.9. Çumra Şeker Fabrikası Örneği

Çumra Şeker Fabrikası, Türkiye'nin önemli tarım ve gıda sanayi kuruluşlarından biri olan Konya Şeker bünyesinde faaliyet göstermektedir. Fabrikanın temeli 2003 yılında atılmış olup tesis 2004 yılında üretime başlamıştır. Kuruluşundan itibaren sahip olduğu yüksek üretim kapasitesi, modern üretim teknolojileri ve entegre sanayi altyapısı ile Türkiye şeker sektöründe önemli bir konuma ulaşmıştır.

Şeker sanayisi, tarımsal üretim, hammadde tedarigi, üretim planlama, stok yönetimi, depolama faaliyetleri ve dağıtım süreçlerinin yoğun biçimde birlikte yürütüldüğü sektörlerden biri olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle sektörde faaliyet gösteren işletmeler açısından yalnızca üretim performansı değil, aynı zamanda lojistik ve depo süreçlerinin etkin biçimde yönetilmesi de kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda Çumra Şeker Fabrikası, büyük ölçekli üretim yapısı nedeniyle karmaşık operasyonel süreçleri yöneten önemli sanayi işletmeleri arasında yer almaktadır (Konya Şeker, 2024).

Kurumsal veriler incelendiğinde fabrikanın yaklaşık 2 milyon 600 bin metrekarelik alan üzerine kurulduğu ve günlük yaklaşık 17.000 ton pancar işleme kapasitesine sahip olduğu

görülmektedir. Bu kapasite, işletmenin Türkiye'nin en büyük şeker fabrikalarından biri olarak değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Bunun yanında fabrikanın faaliyete geçmesiyle birlikte Konya Şeker'in toplam yıllık şeker üretim kapasitesinde önemli bir artış gerçekleşmiş ve üretim miktarı yaklaşık iki katına ulaşmıştır.

İşletmenin dikkat çeken özelliklerinden biri, üretim altyapısında modern endüstriyel otomasyon sistemlerinin kullanılmasıdır. Resmî kurumsal açıklamalarda fabrikanın üretim süreçlerinde Avrupa'nın yeni teknoloji ve otomasyon sistemlerinden yararlanılarak kurulduğu, üretim süreçlerinin bilgisayar destekli otomasyon altyapıları ile yönetildiği belirtilmektedir. Ayrıca tesiste merkezi endüstriyel otomasyon sistemleri kullanıldığı ve üretim süreçlerinden çok sayıda veri noktasının dijital olarak izlenebildiği ifade edilmektedir. Bu durum işletmenin teknoloji yoğun üretim anlayışını benimseyen sanayi kuruluşları arasında yer aldığını göstermektedir.



Büyük ölçekli üretim gerçekleştiren sanayi işletmelerinde üretim faaliyetleri kadar üretim sonrası süreçlerin yönetimi de stratejik önem taşımaktadır. Hammaddenin kabul edilmesi, üretim sürecine aktarılması, mamul ürünlerin depolanması, stok hareketlerinin izlenmesi ve sevkiyat planlamalarının gerçekleştirilmesi işletmenin lojistik performansını

doğrudan etkileyen temel operasyonlar arasında yer almaktadır. Üretim hacminin yüksek olması, bu süreçlerin daha planlı, kontrollü ve sistematik biçimde yürütülmesini zorunlu hale getirmektedir.

Bunun yanında günümüzde sanayi işletmeleri yalnızca üretim kapasitesi ve maliyet avantajı temelinde değil; enerji verimliliği, kaynak kullanım etkinliği, operasyonel optimizasyon ve sürdürülebilirlik performansı açısından da değerlendirilmektedir. Özellikle büyük üretim tesislerinde süreçlerin verimli yönetilmesi, kaynak kayıplarının azaltılması ve operasyonel faaliyetlerin etkin biçimde planlanması sürdürülebilir işletme yönetiminin temel unsurları arasında yer almaktadır (Konya Şeker, 2024).



Çumra Şeker Fabrikası Akıllı Depo Özellikleri:

Çumra Şeker Fabrikasında kullanılan akıllı depo sistemi, depo operasyonlarının otomasyon teknolojileriyle yönetilmesini sağlayan modern bir lojistik altyapıya sahiptir. Sistemin başlıca özellikleri aşağıda sıralanmaktadır:

Tam otomatik depo sistemi: Mekalux depo yönetim ve otomasyon sistemi sayesinde ürünlerin depolanması, stok takibi ve sevkiyat süreçleri minimum insan müdahalesiyle gerçekleştirilmektedir.

Yüksek depolama kapasitesi: Yaklaşık 38 metre yüksekliğe sahip otomatik depo sistemi, dikey depolama teknolojisi sayesinde yüksek miktarda ürünün güvenli ve verimli şekilde depolanmasına olanak sağlamaktadır.

Depreme dayanıklı yapı: Depo sistemi, sismik dayanım özellikleri dikkate alınarak inşa edilmiş olup deprem riski bulunan bölgelerde ürün güvenliğini desteklemektedir.

Torku üretim tesisleriyle entegre çalışma: Özellikle Torku markası altında üretilen bisküvi, çikolata ve diğer gıda ürünlerinin depolanması ve dağıtım süreçlerinde stratejik bir lojistik merkez olarak faaliyet göstermektedir.

Bu özellikleri sayesinde Çumra Şeker Fabrikası akıllı depo sistemi; depolama kapasitesini artıran, stok yönetimini iyileştiren, sevkiyat süreçlerini hızlandıran ve lojistik operasyonların daha etkin yürütülmesini sağlayan ileri teknolojiye sahip depo uygulamalarından biri olarak değerlendirilmektedir.

Araştırma kapsamında Çumra Şeker Fabrikası'nın seçilmesinin temel nedeni; işletmenin yüksek üretim kapasitesine sahip olması, büyük ölçekli depolama ve lojistik faaliyetleri yürütmesi, ileri teknoloji destekli üretim altyapısına sahip olması ve depo süreçlerinin işletme performansı açısından stratejik önem taşımasıdır. Bu özellikleriyle işletme, akıllı depo sistemlerinin sürdürülebilir depo yönetimine etkilerinin saha uygulaması üzerinden incelenmesi bakımından araştırmanın amaçlarıyla uyumlu bir örnek olay niteliği taşımaktadır.

Literatür incelemesi sonucunda akıllı depo teknolojilerinin operasyonel verimlilik üzerindeki etkilerine ilişkin çalışmaların yoğun olduğu, ancak bu teknolojilerin sürdürülebilirlik boyutunu ele alan çalışmaların sınırlı olduğu görülmüştür. Özellikle Türkiye örneğinde işletme bazlı saha araştırmalarının yetersiz olması bu çalışmanın önemini artırmaktadır. Bu kapsamda araştırma probleminin saha verileri ile incelenebilmesi amacıyla bir sonraki bölümde araştırmanın yöntemsel çerçevesi açıklanmıştır.

YÖNTEM (ÜÇÜNCÜ BÖLÜM)

Literatür bölümünde ortaya konulan teorik çerçeve doğrultusunda bu bölümde araştırmanın metodolojik yapısı açıklanmaktadır. Araştırmada akıllı depo teknolojilerinin sürdürülebilir depo yönetimine etkilerini derinlemesine inceleyebilmek amacıyla nitel araştırma yaklaşımı benimsenmiştir. Bu kapsamda araştırma deseni, örneklem seçimi, veri toplama teknikleri, veri analiz yöntemi ve araştırmanın etik boyutu sistematik biçimde ele alınmıştır.

3.1. Araştırma Deseni

Bu çalışma nitel araştırma yaklaşımı temel alınarak tasarlanmıştır. Nitel araştırma yöntemi, karmaşık sosyal ve organizasyonel süreçlerin derinlemesine incelenmesine olanak sağlayan bir araştırma desendir (Creswell, 2014). Desenleştirilmiş nitel araştırmalar, araştırma konusu olan olay veya olguya ilişkin derinlemesine bilgi edinmeyi ve bu olgunun bağlamsal özellikleri çerçevesinde genel bir anlayış oluşturmaya amaçlamaktadır (Morgan, 1996). Nitel araştırmalarda genellikle gözlem, röportaj, eklenti ve söylev analizi gibi nitel veri toplama tekniklerini kullanılır. Ayrıca, nitel programlamanın temel amacı, insana ilişkin algılar ve olayların hem doğal dünyada hem de sosyal gerçeklikte meydana gelme durumlarıdır. Bu tür araştırmalar, çeşitli disiplinleri birleştirici bütüncül bir bakış açısına sahiptir. Bununla birlikte, kaliteli araştırma, çeşitli disiplinleri birleştirici bütüncül bir bakış açısına sahiptir. İnsana ilişkin algılar ve olaylar hem doğal ortamda hem de sosyal gerçeklikte genel olarak bu şekilde incelenmelidir (Hatch, 2002; Merriam ve Grenier, 2019).

Nitel araştırma sürecinde araştırmacılar, araştırmanın gelişimine ve elde edilen yeni bilgilere bağlı olarak yöntemsel düzenlemeler yapabilme imkânına sahiptir. Bu araştırma yaklaşımının temel özelliklerinden biri, araştırma sürecinde ortaya çıkan yeni durumlar doğrultusunda araştırma deseninin yeniden şekillendirilebilmesine olanak tanıyan esnek yapısıdır. Nitel araştırmalar, incelenen olguya ilişkin ayrıntılı bilgi edinmeyi ve olayları gerçekleştiği doğal bağlam içerisinde değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu yaklaşım, araştırmacıya veri toplama sürecinde farklı tekniklerden yararlanma ve elde edilen verileri bağlamsal özellikleri dikkate alarak yorumlama konusunda esneklik sağlamaktadır (Guba & Lincoln, 1994; Merriam, 1998; Patton, 1990).

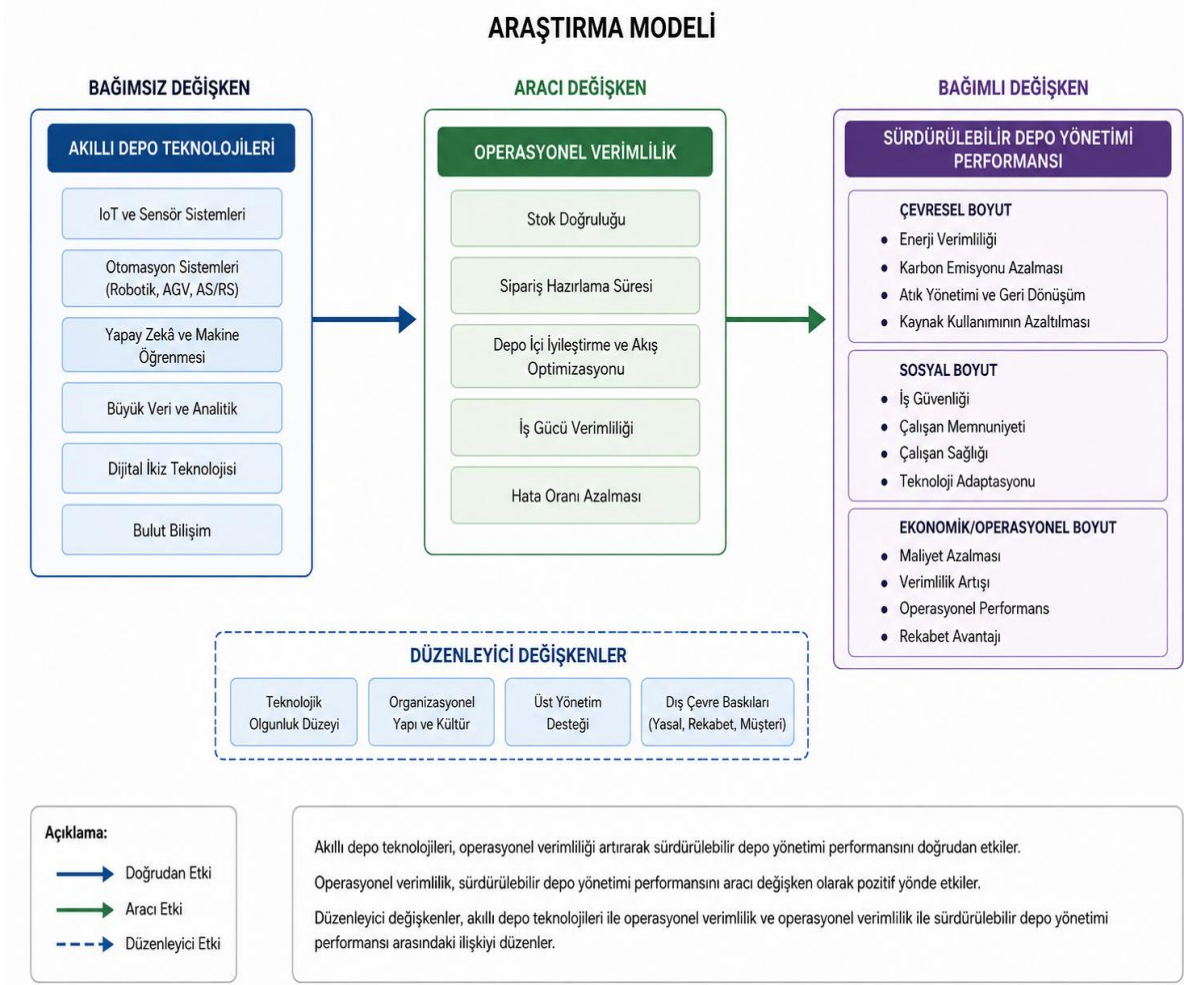
Nitel araştırmalarda kullanılacak verilerin niteliği ve kaynağı, araştırmanın amacı doğrultusunda farklılık gösterebilmektedir. Araştırmacılar, veri elde etmek için gözlem ve görüşme gibi doğrudan veri toplama tekniklerinden yararlanabildiği gibi, grup görüşmeleri, söylem çözümlemeleri ve yazılı içeriklerin incelenmesi gibi yöntemlere de başvurabilmektedir. Bunun yanında görsel, işitsel ve dijital materyaller de nitel araştırmalar kapsamında değerlendirilebilmektedir. Sinema yapımları, reklam ve tanıtım afişleri, sanat çalışmaları, radyo-televizyon içerikleri ile bloglar, çevrim içi iletişim platformları ve sosyal medya paylaşımları bu kapsamda başvurulabilecek veri kaynakları arasında yer almaktadır (Forrester & Sullivan, 2018).

Bu araştırmada veri toplama süreci, nitel araştırma yöntemlerinden yarı yapılandırılmış görüşme tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu teknikte araştırmaçı, araştırmanın amacı doğrultusunda önceden belirlenen konuları ve soruları içeren bir görüşme çerçevesi hazırlamaktadır. Bununla birlikte görüşme süreci katı bir soru sıralamasıyla sınırlandırılmamakta; katılımcıların verdiği yanıtlar doğrultusunda yeni sorular yöneltilebilmekte ve belirli konuların daha ayrıntılı biçimde açıklanması sağlanabilmektedir (Ekiz, 2003).

3.2. Araştırma Modeli

Bu araştırmada, akıllı depo teknolojilerinin sürdürülebilirlik performansı üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla kavramsal bir araştırma modeli geliştirilmiştir. Araştırma modeli oluşturulurken Endüstri 4.0, Lojistik 4.0, akıllı depo sistemleri, operasyonel verimlilik ve sürdürülebilirlik alanındaki güncel literatürden yararlanılmıştır. Modelde, akıllı depo teknolojileri bağımsız değişken, operasyonel verimlilik aracı değişken ve sürdürülebilirlik performansı ise bağımlı değişken olarak ele alınmıştır.

Araştırma modeline göre işletmelerde kullanılan akıllı depo teknolojileri; depo operasyonlarının planlanması, stok yönetimi, ürün hareketlerinin izlenmesi ve sevkiyat süreçlerinin daha etkin yürütülmesine katkı sağlamaktadır. Bu teknolojilerin operasyonel süreçlerde sağladığı iyileştirmelerin ise sürdürülebilirlik performansını doğrudan ve dolaylı olarak etkilediği kabul edilmektedir. Bu nedenle modelde operasyonel verimlilik, akıllı depo teknolojileri ile sürdürülebilirlik performansı arasındaki ilişkiyi açıklayan aracı değişken olarak değerlendirilmiştir.



Tablo 1: Araştırma Modeli

Araştırmada bağımsız değişken olan Akıllı Depo Teknolojileri, depo operasyonlarının dijitalleşmesini sağlayan teknolojik uygulamaları ifade etmektedir. Bu kapsamda nesnelerin interneti (IoT) ve sensör sistemleri, otomasyon sistemleri, yapay zekâ ve makine öğrenmesi uygulamaları, büyük veri analitiği ile dijital ikiz teknolojileri araştırmanın temel teknoloji bileşenleri olarak belirlenmiştir. Bu teknolojiler sayesinde depo süreçlerinin gerçek zamanlı izlenmesi, karar verme mekanizmalarının desteklenmesi, hata oranlarının azaltılması ve kaynak kullanımının optimize edilmesi mümkün olmaktadır.

Araştırma modelinde yer alan Operasyonel Verimlilik, akıllı depo teknolojilerinin işletme performansına yansıyan ilk etkilerini ortaya koymaktadır. Operasyonel verimlilik; stok doğruluğu, sipariş hazırlama süresi, ürün izlenebilirliği, iş gücü verimliliği, hata oranlarının azaltılması, depo kapasitesinin etkin kullanımı ve sevkiyat hızının artırılması gibi göstergeler aracılığıyla değerlendirilmektedir. Literatürde akıllı depo teknolojilerinin operasyonel süreçleri

önemli ölçüde geliştirdiği ve bu gelişimin işletmelerin rekabet avantajı elde etmesine katkı sağladığı ifade edilmektedir.

Araştırmanın bağımlı değişkenini oluşturan Sürdürülebilirlik Performansı ise çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik boyutlarından oluşmaktadır. Çevresel sürdürülebilirlik kapsamında enerji tüketiminin azaltılması, karbon emisyonlarının düşürülmesi, atık miktarının azaltılması ve doğal kaynakların etkin kullanılması ele alınmaktadır. Ekonomik sürdürülebilirlik boyutu; maliyetlerin azaltılması, operasyonel verimliliğin artırılması, yatırımın geri dönüş süresinin iyileştirilmesi ve işletmenin rekabet gücünün yükseltilmesi ile ilişkilendirilmektedir. Sosyal sürdürülebilirlik boyutu ise çalışan güvenliği, ergonomik çalışma koşullarının geliştirilmesi, iş kazalarının azaltılması ve çalışan memnuniyetinin artırılması gibi unsurları kapsamaktadır.

Araştırma modeli, akıllı depo teknolojilerinin sürdürülebilirlik performansını doğrudan etkilediği varsayımının yanı sıra, bu etkinin önemli ölçüde operasyonel verimlilik aracılığıyla gerçekleştiği kabulüne dayanmaktadır. Başka bir ifadeyle, işletmelerde akıllı depo teknolojilerinin uygulanması öncelikle operasyonel süreçlerin etkinliğini artırmakta; operasyonel süreçlerde sağlanan bu iyileşmeler ise sürdürülebilirlik performansının geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Bu nedenle operasyonel verimlilik araştırma modelinde aracı değişken olarak konumlandırılmıştır.

3.3. Araştırmanın Evreni ve Örneklemi

Bu araştırmanın evrenini, Türkiye’de faaliyet gösteren ve depo yönetim süreçlerinde dijital teknolojiler ile akıllı depo sistemlerini aktif olarak kullanan üretim ve lojistik işletmeleri oluşturmaktadır. Günümüzde Endüstri 4.0 temelli teknolojilerin işletmelerde yaygınlaşmasıyla birlikte, depo operasyonlarında otomasyon sistemleri, nesnelerin interneti (IoT), depo yönetim sistemleri (WMS), robotik uygulamalar ve veri tabanlı izleme teknolojileri daha yoğun kullanılmaya başlanmıştır. Bu nedenle araştırmanın genel evreni, söz konusu teknolojileri kullanan işletmeler olarak belirlenmiştir.

Araştırmanın katılımcıları belirlenirken olasılıksız örnekleme yaklaşımları içerisinde yer alan amaçlı örnekleme yöntemi kullanılmıştır. Bu örnekleme yaklaşımında katılımcılar, araştırma konusuna ilişkin bilgi ve deneyime sahip olmaları ve araştırmanın problemine katkı sağlayabilecek nitelikleri taşımaları dikkate alınarak seçilmektedir.

Dolayısıyla örneklem, araştırmanın amacı ve belirlenen seçim ölçütleri doğrultusunda bilinçli olarak oluşturulmuştur. Amaçlı örnekleme, belirli bir olayın veya durumun kendi bağlamı içerisinde ayrıntılı biçimde incelenmesine olanak tanınması nedeniyle nitel araştırmalarda yaygın biçimde kullanılan bir yöntemdir.

Bu çalışma kapsamında araştırmanın amacı doğrultusunda akıllı depo teknolojilerini aktif olarak kullanan çeşitli işletmeler ile iletişime geçilmiş, ancak kurumsal veri gizliliği, işletme politikaları ve araştırmaya katılım konusundaki sınırlılıklar nedeniyle birçok işletmeden gerekli izin alınmamıştır. Bu süreç sonucunda araştırmaya katılım onayı veren işletme olarak Çumra Şeker Fabrikası araştırma örneklemini olarak belirlenmiştir.

Çumra Şeker Fabrikası, ileri düzey otomasyon sistemleri, bilgisayar kontrollü depo yönetimi, tam otomatik depolama sistemleri ve dijital lojistik altyapısı kullanan Türkiye'nin önemli sanayi kuruluşlarından biridir. İşletmenin depo süreçlerinde kullanılan akıllı teknolojiler, araştırmanın temel problemi olan akıllı depo sistemlerinin sürdürülebilir depo yönetimi üzerindeki etkilerinin incelenmesi açısından uygun bir araştırma ortamı sunmaktadır.

Araştırma kapsamında veri toplama süreci, işletmede depo yönetimi ve lojistik operasyonlarında aktif görev alan yöneticiler ve ilgili teknik personel ile gerçekleştirilmiştir. Katılımcıların seçiminde, işletmenin akıllı depo sistemlerine ilişkin operasyonel süreçlere hâkim olmaları, teknolojik uygulamalar hakkında bilgi sahibi olmaları ve sürdürülebilirlik uygulamalarını değerlendirebilecek pozisyonlarda bulunmaları temel kriter olarak dikkate alınmıştır.

Bu doğrultuda araştırmanın örneklemini, Çumra Şeker Fabrikası bünyesinde görev yapan ve araştırma konusu ile doğrudan ilişkili pozisyonlarda çalışan toplam beş katılımcı oluşturmaktadır. Çalışmanın tek işletme ile yürütülmüş olması, araştırmanın derinlemesine inceleme yapmasına olanak sağlarken aynı zamanda araştırmanın genellenebilirliği açısından belirli sınırlılıklar oluşturmaktadır. Ancak nitel araştırmalarda temel amaç evrene genelleme yapmak değil, belirli bir olguya ilişkin kapsamlı ve ayrıntılı bilgi üretmektir.

3.4. Veri Toplama Yöntemleri

Bu araştırmada veri toplama yöntemi olarak nitel araştırma yöntemlerinden görüşme tekniği kullanılmıştır. Bilimsel araştırma, belirli bir problemi sistematik ve planlı bir biçimde inceleyerek güvenilir bilgi üretme süreci olarak tanımlanmaktadır (Karasar, 2009). Araştırmanın amacı doğrultusunda akıllı depo sistemlerinin işletmeler üzerindeki etkilerini derinlemesine inceleyebilmek için nitel araştırma yaklaşımı tercih edilmiştir.

Karasar'a (2009) göre nitel araştırmalar, olayların doğal ortamında ayrıntılı biçimde incelenmesine ve bireylerin konuya ilişkin görüşlerinin ortaya çıkarılmasına olanak sağlamaktadır. Bu kapsamda araştırmada veri toplama aracı olarak yarı yapılandırılmış görüşme formu hazırlanmış ve araştırma konusu ile ilgili katılımcılarla birebir görüşmeler gerçekleştirilmiştir.

Görüşme tekniği, araştırmacıya önceden belirlenen sorular çerçevesinde sistematik veri toplama imkânı sağlarken, katılımcıların deneyimlerini ve konuya ilişkin değerlendirmelerini ayrıntılı olarak ifade etmelerine olanak tanımaktadır.

Toplanan veriler daha sonra içerik analizi yöntemi kullanılarak incelenmiş, benzer ifadeler belirli temalar ve kategoriler altında sınıflandırılmıştır. Böylece akıllı depo sistemlerinin teknolojik, operasyonel ve sürdürülebilirlik boyutları bilimsel olarak değerlendirilmiştir.

3.4.1. Birincil Veriler

Birincil veriler, yarı yapılandırılmış görüşmeler aracılığıyla elde edilmiştir. Görüşmeler, lojistik ve depo yönetimi alanında görev yapan yöneticiler ile gerçekleştirilmiştir.

Görüşme soruları üç temel tema etrafında şekillendirilmiştir:

Akıllı depo teknolojilerinin kullanım düzeyi 8 sorudan,

Operasyonel performans değişimleri 6 sorudan,

Sürdürülebilirlik uygulamaları ve çevresel etkiler 9 sorudan,

İzlenebilirlik ve gıda güvenliği 5 sorudan,

Kurumsal vizyon ve gelecek planları 6 sorudan oluşmaktadır (EK 3).

3.4.2. İkincil Veriler

İkincil veriler aşağıdaki kaynaklardan elde edilmiştir:

Kurumsal sürdürülebilirlik raporları,

Şirket faaliyet raporları,

İkincil veriler araştırma bulgularının tartışıldığı Bölüm 5'te tartışma sırasında araştırmacı tarafından kullanılmıştır.

3.5. Veri Analizi Yöntemi

Bu çalışmada elde edilen verilerin analizinde nitel içerik analiz yöntemlerinden biri olan içerik analizi (qualitative content analysis) yöntemi kullanılmıştır. İçerik analizi; görüşme, gözlem ve dokümanlar gibi nitel veri kaynaklarından elde edilen bilgilerin sistematik biçimde sınıflandırılması, anlamlı kategorilere ayrılması ve yorumlanmasını sağlayan bir analiz yöntemidir (Yıldırım&Şimşek,2018). İçerik analizinde temel amaç, araştırma kapsamında elde edilen verilerin sistematik bir biçimde incelenmesi ve benzer içeriklerin ortak temalar altında bir araya getirilerek araştırma problemine ilişkin anlamlı bulgulara ulaşılmasıdır.

Araştırma kapsamında yarı yapılandırılmış görüşmelerden elde edilen ses kayıtları araştırmacılar tarafından yazılı metne dönüştürülmüş ve görüşme dökümleri analiz öncesinde tekrar tekrar okunarak veriye bütüncül bir bakış açısıyla hâkim olunmuştur. Analizin ilk aşamasında araştırmanın amacı doğrultusunda anlamlı ifadeler belirlenmiş ve bu ifadelerden birincil kodlar oluşturulmuştur. Kodlama süreci tümevarımsal bir yaklaşımla yürütülmüş ve kodlar doğrudan katılımcı ifadelerinden elde edilmiştir.

İkinci aşamada benzer anlam taşıyan kodlar bir araya getirilerek kategoriler oluşturulmuştur. Daha sonra kategoriler arasındaki benzerlikler ve ilişkiler incelenerek daha üst düzey soyutlamalar olan temalar geliştirilmiştir. Analiz süreci boyunca sürekli karşılaştırma yöntemi kullanılmış, yeni elde edilen veriler mevcut kodlar ve kategoriler ile karşılaştırılarak analiz yapısı sürekli gözden geçirilmiştir. Kodlama ve tema oluşturma süreci araştırmacılar tarafından tekrar değerlendirilmiş ve ortak görüşe varılarak son hâli verilmiştir.

Bulguların güvenilirliğini artırmak amacıyla katılımcı ifadelerinden doğrudan alıntılara yer verilmiş ve oluşturulan tema yapısı bu alıntılarla desteklenmiştir. Analiz

sonucunda akıllı depo teknolojilerinin sürdürülebilir depo yönetimine etkilerini açıklayan temalar, kategoriler ve birincil kodlardan oluşan kapsamlı bir kavramsal yapı ortaya çıkarılmıştır. İçerik analizinin tercih edilmesinin temel nedeni, katılımcı görüşlerinden elde edilen verilerin derinlemesine incelenmesine ve araştırma problemine ilişkin ayrıntılı değerlendirmeler yapılmasına olanak sağlamasıdır. Aynı zamanda araştırma bulgularının sistematik ve anlamlı biçimde sunulmasına katkı sağlamaktadır.

3.6. Araştırmanın Etik Boyutu

Araştırma da ilk olarak etik kurul (Ek 1) ve Çumra Şeker Fabrikasından (Ek 2) izin alınmıştır. Araştırma kapsamında görüşmeler için sorular hazırlanmıştır (Ek 3). Ekler tezin sonunda verilmiştir. Araştırma sürecinde etik ilkelere uygun hareket edilmiştir. Katılımcıların kimlik bilgileri gizli tutulmuş ve elde edilen veriler yalnızca akademik amaçlarla kullanılmıştır. Ayrıca tüm ikincil veriler firma tarafından elde edilmiş ve akademik referans kurallarına uygun şekilde kullanılmıştır.

3.7. Araştırmanın Sınırlılıkları

Bu çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır:

Örneklem sayısının sınırlı olması,

Tüm sektörleri kapsamaması,

Nicel veri eksikliği,

Firma gizlilik politikaları nedeniyle veri kısıtları.

Araştırmanın en önemli sınırlılığı örneklem sayısının azlığıdır. Bunun nedeni çalışma için izin talep edilen işletmelerden biri dışında diğerlerinin izin vermemesidir. Bu yüzden tek bir işletme ile çalışma yürütülmüştür. Bu işletmedeki akıllı depo uygulamaları ile bu uygulamaların sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerini değerlendirebilecek kişiler ancak yönetim düzeyindekiler olacağından katılımcı sayısı da çok sınırlı kalmıştır. Okuyucuların sonuçlarının genellenebilirliği konusundaki bu sınırlılığı dikkate alması yararlı olacaktır.

BULGULAR (DÖRDÜNCÜ BÖLÜM)

Araştırma kapsamında gerçekleştirilen yarı yapılandırılmış görüşmelerden elde edilen verilerin analiz sonuçları bu bölümde sunulmaktadır. İçerik analizi yöntemiyle değerlendirilen veriler doğrultusunda oluşturulan tema, kategori ve kodlar sistematik bir şekilde açıklanmıştır. Elde edilen bulgular katılımcı ifadelerinden doğrudan alıntılarla desteklenerek yorumlanmış ve akıllı depo teknolojilerinin operasyonel verimlilik, sürdürülebilirlik ve kurumsal gelişim üzerindeki etkileri ortaya konulmuştur.

Tablo 2: Katılımcıların Demografik ve Mesleki Özellikleri

Katılımcı	Pozisyon	Deneyim
G1	Otomatik Depo Yöneticisi	14 yıl
G2	WMS Sorumlusu	5 yıl
G3	WMS Sevkiyat Sorumlusu	6 yıl
G4	Sevkiyat Sorumlusu	5 yıl
G5	Otomatik Depo Müdürü	15 yıl

Araştırmanın temel bulgusu, akıllı depo sistemlerinin yalnızca teknolojik bir dönüşüm sağlamadığı; aynı zamanda operasyonel verimlilik, sürdürülebilirlik, izlenebilirlik ve kurumsal güvenilirliği bütüncül şekilde dönüştüren stratejik bir yapı oluşturduğudur.

Yapılan içerik analizi sonucunda araştırma bulguları iki temel tema altında sınıflandırılmıştır. Bunlar; “Akıllı Depo Sistemleri ile Teknolojik ve Operasyonel Dönüşüm” ve “Akıllı Depo Yönetiminde Sürdürülebilirlik ve Kurumsal Gelişim” temalarıdır.

Tablo 3: Akıllı Depo Sistemleri: Birincil Kodlar ve Katılımcı Alıntıları

Ana Tema 1: Akıllı Depo Sistemleri ile Teknolojik ve Operasyonel Dönüşüm			
Temalar	İlgili Kategoriler	Birincil Kodlar	Katılımcı Alıntıları
Dijital Dönüşüm ve Otomasyon	Entegre dijital depo altyapısı	Siemens S7-300, PLC, WMS ve Gallile sistemlerinin kullanımı	“Siemens S7-300 plc programı, Gallile scada programı, WMS depo yönetim yazılımı kullanıyoruz.” (Görüşme 2)
	Akıllı tanımlama ve takip teknolojileri	RFID, el terminalleri ve barkod sensörlerinin kullanımı	“RFID el terminalleri, barkod okuma sensörleri kullanıyoruz.” (Görüşme 2)
	Otomasyon tabanlı depo kontrolü	Depo operasyonlarının Siemens S7-300 ile yönetilmesi ve SCADA ile izlenmesi	“Siemens S7-300 plc sistemleri yönetilmekte, Gallileo scada sistemi ile izlenmektedir.” (Görüşme 2)
	Gerçek zamanlı dijital yönetim	Gerçek zamanlı izleme ve veri yönetimi	“Evet gerçek zamanlı anlık olarak yürütülmektedir.” (Görüşme 5)
Operasyonel Verimlilik ve Süreç Optimizasyonu	Manuel bağımlılığın azaltılması	Haftalık sınırlı manuel müdahale	“Haftada birkaç kez manuel müdahale edilmektedir.” (Görüşme 4)
	Hata minimizasyonu	Sevkiyat hata oranlarının minimum seviyeye düşmesi	“Sevkiyat hata oranları minimuma inmiştir.” (Görüşme 5)
	Süreç hızlandırma	Daha hızlı ve doğru sevkiyat süreçleri	“Daha hızlı ve doğru sevkiyat olmuştur.” (Görüşme 3)
	Doğru stok ve sevkiyat kontrolü	Doğru stok kodlama ve lokasyon bazlı stok yerleştirme	“Ürünlerin doğru stok kodları ile olması gereken lokasyonlara hatasız stok yapılabilmesi sağlanmıştır.” (Görüşme 2)
	İş gücü optimizasyonu	Daha az personelle daha doğru sevkiyat operasyonları	“Daha az personel ile daha çok ve hatasız sevkiyat gerçekleşmektedir.” (Görüşme 2)
	Hızlı lojistik erişilebilirlik	Hızlı ve hatasız ürün sevkiyatı	“Sevk edilmek istenen ürünlere hatasız, kolay ve hızlı bir şekilde ulaşılmaktadır.” (Görüşme 2)
Sistem Güvenilirliği ve Sürekliliği	Teknik destek entegrasyonu	Uzaktan bakım ve yazılım güncelleme	“Firma yetkilileri uzaktan erişim ile bakım ve güncellemeleri yapıyor.” (Görüşme 4)
	Hızlı arıza müdahalesi	Arıza durumlarında dört saat içinde teknik müdahale	“Hata-arıza durumlarında sisteme en geç 4 saat içinde müdahale edip düzeltiyorlar.” (Görüşme 2)
	Sürekli operasyonel izleme	Operasyonel hataların teknik ekipler tarafından sürekli izlenmesi	“Bu hataları arızaları sürekli takip eden bir ekip bulunmaktadır.” (Görüşme 4)
Gıda Güvenliği ve İzlenebilirlik	Dijital izlenebilirlik sistemleri	Üç aylık geriye dönük izlenebilirlik kapasitesi	“3 aylık veri geriye dönük izlenebilir.” (Görüşme 5)
	Gıda güvenliği için çevresel izleme	Otomatik iklimlendirme ve çevresel takip sistemleri	“Otomatik iklimlendirme sistemi bu verileri tutmaktadır.” (Görüşme 5)
	Güvenli gıda depolama operasyonları	Ürünlerin dış çevresel faktörlerden korunması	“Ürünlerin dış etkenlere karşı tamamen korunmaktadır.” (Görüşme 4)
Gelecek Yönelimi ve Yenilikçilik	Uzun vadeli operasyonel büyüme stratejisi	Gelecekte depo kapasitesinin artırılması planı	“Uzun vadede ise kapasite artırımını öngörülmektedir.” (Görüşme 4)

Ana Tema 2: Akıllı Depo Yönetiminde Sürdürülebilirlik ve Kurumsal Gelişim			
Temalar	İlgili Kategoriler	Birincil Kodlar	Katılımcı Alıntıları
Çevresel Sürdürülebilirlik	Akıllı çevresel kontrol	Sıcaklık temelli otomatik ısıtma ve soğutma sistemleri	“Kış aylarında ısıtma, yaz aylarında soğutma sağlayan otomatik iklimlendirme sistemi mevcuttur.” (Görüşme 2)
	Atık yönetim sistemleri	Plastik ve ahşap palet atık yönetimi	“Atık plastik ve tahta palet uygulamamız vardır.” (Görüşme 5)
	Geri kazanım odaklı atık yönetimi	Atık ürünlerin yetkili geri dönüşüm firmalarına satılması	“Atık ürünler ihale ile yetkili firmalara satılmaktadır.” (Görüşme 4)
	Çevresel performans sınırlılıkları	Karbon ayak izi ve enerji tüketimi hesaplamalarının yapılmaması	“Hayır hesaplanma yapılmamaktadır.” (Görüşme 1)
Ekonomik Sürdürülebilirlik ve Kaynak Yönetimi	İş gücü verimliliği	İş gücü ihtiyacının azaltılması	“Daha az personel ile zamanında sevkiyat gerçekleştirilmektedir.” (Görüşme 2)
	Alan optimizasyonu	Sınırlı depo alanında yüksek palet depolama kapasitesi	“Dar bir alanda çok fazla palet depolama kapasitesiyle doğru ve hızlı sevkiyat sağlanmaktadır.” (Görüşme 2)
	Ekipman verimliliği	Otomasyon sayesinde ekipman ihtiyacının azaltılması	“Az personel ve ekipmanla doğru ve hızlı sevkiyat sağlanmaktadır.” (Görüşme 5)
Kurumsal Vizyon ve Stratejik Yetkinlik	Kurum içi organizasyonel yetkinlik	Akıllı depo sisteminin dış danışmanlık olmadan kurulması	“Danışmanlık alınmadı.” (Görüşme 5)
	Stratejik kurumsal vizyon	Geçiş sürecinin kurumsal öngörü ile yönetilmesi	“Kendi birimlerimizin öngörü ve vizyonu ile gerçekleştirildi.” (Görüşme 5)
İnsan Kaynakları Zorlukları	Nitelikli iş gücü sorunu	Eğitilmiş teknik personel bulmada yaşanan zorluk	“Yetiştirilmiş personel bulmakta zorluk çekilmektedir.” (Görüşme 5)

4.1. Akıllı Depo Sistemleri ile Teknolojik ve Operasyonel Dönüşüm

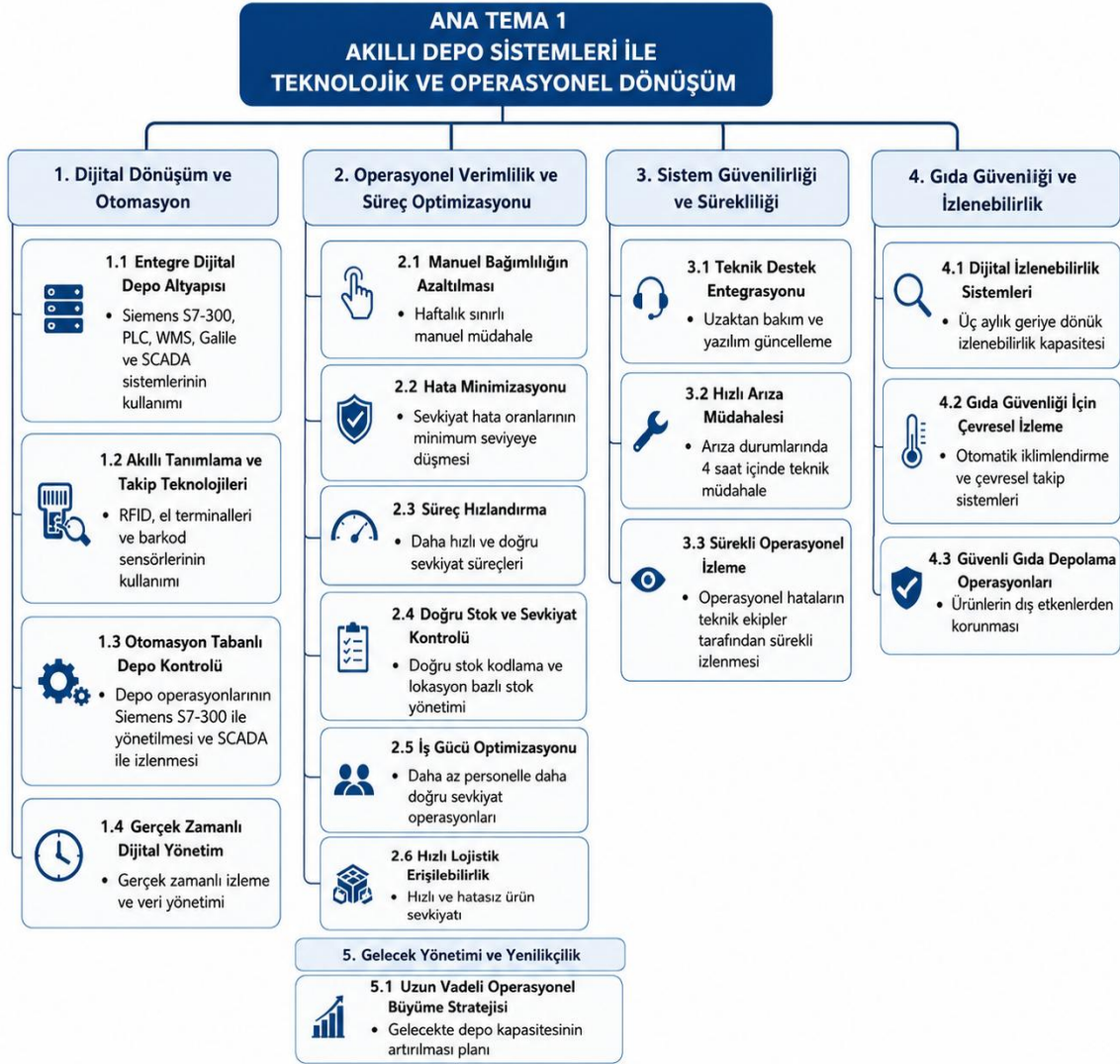
“Akıllı Depo Sistemleri ile Teknolojik ve Operasyonel Dönüşüm” ana teması kapsamında katılımcılar, depo süreçlerinde dijital dönüşüm ve otomasyonun operasyonel süreçleri önemli ölçüde geliştirdiğini ifade etmişlerdir. Bu tema altında yer alan “Dijital Dönüşüm ve Otomasyon” teması içerisinde entegre dijital depo altyapısı, akıllı tanımlama ve takip teknolojileri, otomasyon tabanlı depo kontrolü ve gerçek zamanlı dijital yönetim kategorileri öne çıkmıştır. Katılımcılar tarafından Siemens S7-300, PLC, WMS, Gallile ve SCADA sistemlerinin kullanılması, RFID, barkod sensörleri ve el terminallerinin aktif olarak kullanılması, depo operasyonlarının otomasyon sistemleri ile yönetilmesi ve süreçlerin gerçek zamanlı olarak izlenmesi önemli birer birincil kod olarak belirtilmiştir.

“Operasyonel Verimlilik ve Süreç Optimizasyonu” teması kapsamında ise manuel bağımlılığın azaltılması, hata minimizasyonu, süreç hızlandırma, doğru stok ve sevkiyat kontrolü, iş gücü optimizasyonu ve hızlı lojistik erişilebilirlik kategorileri ortaya çıkmıştır. Haftalık sınırlı manuel müdahale yapılması, sevkiyat hata oranlarının minimum seviyeye düşmesi, daha hızlı ve doğru sevkiyat süreçlerinin sağlanması, stokların doğru lokasyonlara yerleştirilmesi, daha az personel ile daha fazla ve hatasız sevkiyat yapılabilmesi ile ürünlere hızlı ve kolay erişim sağlanması bu tema altında öne çıkan birincil kodlardır.

“Sistem Güvenilirliği ve Sürekliliği” teması altında teknik destek entegrasyonu, hızlı arıza müdahalesi ve sürekli operasyonel izleme kategorileri belirlenmiştir. Uzaktan bakım ve yazılım güncellemelerinin yapılması, arıza durumlarında kısa süre içerisinde teknik müdahale sağlanması ve operasyonel hataların teknik ekipler tarafından sürekli izlenmesi sistem güvenilirliğini destekleyen önemli birincil kodlar olarak değerlendirilmiştir.

“Gıda Güvenliği ve İzlenebilirlik” teması kapsamında dijital izlenebilirlik sistemleri, gıda güvenliği için çevresel izleme ve güvenli gıda depolama operasyonları kategorileri ortaya çıkmıştır. Ürünlerin geriye dönük olarak izlenebilmesi, sıcaklık ve nem gibi çevresel koşulların otomatik sistemlerle takip edilmesi ve ürünlerin dış etkenlerden korunması gıda güvenliği açısından önemli katkılar sağlayan birincil kodlar arasında yer almıştır.

Tablo 5: Akıllı Depo Sistemleri ile Teknolojik ve Operasyonel Dönüşüm



Son olarak “Gelecek Yönelimi ve Yenilikçilik” teması içerisinde uzun vadeli operasyonel büyüme stratejisi kategorisi belirlenmiş; gelecekte depo kapasitesinin artırılmasına yönelik planlamalar yapılması önemli bir birincil kod olarak değerlendirilmiştir.

4.2. Akıllı Depo Yönetiminde Sürdürülebilirlik ve Kurumsal Gelişim

“Akıllı Depo Yönetiminde Sürdürülebilirlik ve Kurumsal Gelişim” ana teması kapsamında katılımcılar, akıllı depo sistemlerinin yalnızca operasyonel süreçleri değil, aynı zamanda ekonomik sürdürülebilirlik, çevresel uygulamalar, kurumsal kapasite ve insan kaynakları yönetimini de önemli ölçüde etkilediğini ifade etmişlerdir. Bu ana tema altında yer alan “Çevresel Sürdürülebilirlik” teması içerisinde akıllı çevresel kontrol, atık yönetim sistemleri, geri kazanım odaklı atık yönetimi ve çevresel performans sınırlılıkları

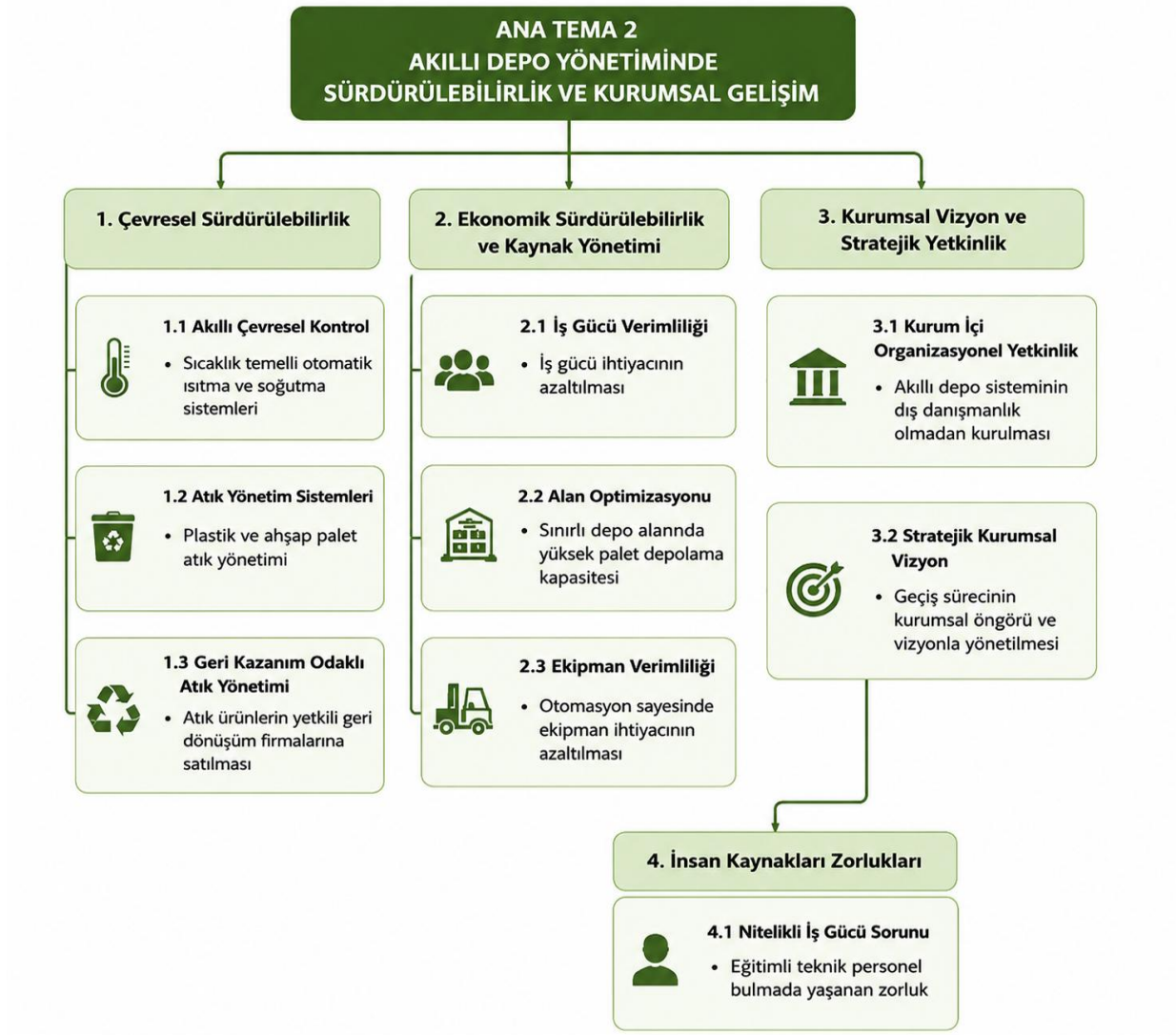
kategorileri ortaya çıkmıştır. Katılımcılar tarafından sıcaklığa duyarlı otomatik ısıtma ve soğutma sistemlerinin kullanılması, plastik ve ahşap palet atıklarının ayrıştırılması, atık ürünlerin yetkili geri dönüşüm firmalarına verilmesi önemli birincil kodlar olarak belirtilmiştir. Bununla birlikte karbon ayak izi ve enerji tüketimi hesaplamalarının yapılmaması da çevresel sürdürülebilirlik açısından dikkat çeken bir sınırlılık olarak ifade edilmiştir.

“Ekonomik Sürdürülebilirlik ve Kaynak Yönetimi” teması kapsamında iş gücü verimliliği, alan optimizasyonu ve ekipman verimliliği kategorileri belirlenmiştir. Daha az personel ile daha fazla operasyon gerçekleştirilmesi, depo alanının daha verimli kullanılması ve otomasyon sayesinde ekipman ihtiyacının azalması ekonomik sürdürülebilirliği destekleyen önemli birincil kodlar arasında yer almıştır. Katılımcılar özellikle dar alanlarda yüksek palet depolama kapasitesine ulaşılmasının önemli bir avantaj sağladığını vurgulamışlardır.

“Kurumsal Vizyon ve Stratejik Yetkinlik” teması altında kurum içi organizasyonel yetkinlik ve stratejik kurumsal vizyon kategorileri ortaya çıkmıştır. Akıllı depo sistemine geçiş sürecinde dış danışmanlık alınmadan hareket edilmesi, sürecin kurum çalışanlarının bilgi birikimi, öngörüsü ve vizyonu doğrultusunda yürütülmesi önemli birincil kodlar olarak değerlendirilmiştir. Bu durum, kurumun kendi operasyonel ihtiyaçlarına uygun sistem geliştirme kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir.

Son olarak “İnsan Kaynakları Zorlukları” teması kapsamında nitelikli iş gücü sorunu kategorisi belirlenmiştir. Katılımcılar, akıllı depo sistemlerinin iş gücü ihtiyacını azaltmasına rağmen, sistemi yönetebilecek teknik bilgiye sahip yetişmiş personel bulmakta zorlandıklarını ifade etmişlerdir. Bu nedenle nitelikli teknik personel eksikliği, sürdürülebilir dijital depo yönetimi açısından önemli bir sorun alanı olarak ortaya çıkmıştır.

Tablo 6: Akıllı Depo Yönetiminde Sürdürülebilirlik ve Kurumsal Gelişim



Araştırma bulguları, akıllı depo sistemlerinin önemli operasyonel ve kurumsal avantajlar sağladığını, bununla birlikte bazı uygulama zorluklarını da beraberinde getirdiğini göstermektedir. Olumlu sonuçlar arasında katılımcılar özellikle operasyonel hataların azalmasını, sevkiyat süreçlerinin hızlanmasını, iş gücü ihtiyacının düşmesini ve ürün izlenebilirliğinin gelişmesini vurgulamışlardır. Otomasyon sistemleri, barkod teknolojileri, RFID uygulamaları ve gerçek zamanlı izleme mekanizmaları sayesinde daha az personel ile daha doğru stok yönetimi ve daha hızlı sevkiyat süreçleri gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca dijital izlenebilirlik sistemleri, ürünlerin ve depo süreçlerinin geriye dönük olarak takip edilmesine olanak sağlayarak ürün güvenliğini ve operasyonel güvenilirliği artırmaktadır.

Bununla birlikte katılımcılar, akıllı depo sistemleriyle ilişkili bazı önemli zorluklara da dikkat çekmişlerdir. Özellikle otomasyon yatırımlarının yüksek maliyeti, teknolojik gelişmelerin yaygınlaştırılmasını sınırlayan önemli bir engel olarak ifade edilmiştir. Ayrıca ileri düzey otomasyon sistemlerini yönetebilecek nitelikli teknik personel bulmada yaşanan güçlükler önemli bir kurumsal sorun olarak ortaya çıkmıştır. Sürdürülebilirlik açısından değerlendirildiğinde ise yenilenebilir enerji kaynaklarının sınırlı kullanımı ve karbon ayak izi ölçüm sistemlerinin bulunmaması çevresel sürdürülebilirlik uygulamalarındaki eksiklikler olarak belirlenmiştir. Genel olarak bulgular, akıllı depo sistemlerinin operasyonel verimlilik ve ekonomik sürdürülebilirliği önemli ölçüde güçlendirdiğini; buna karşın çevresel sürdürülebilirlik ve nitelikli iş gücü gelişiminin hâlen geliştirilmesi gereken temel alanlar olduğunu göstermektedir.

Tablo 7: Akıllı Depo Sistemlerinin Sonuçları ve Zorlukları

Akıllı Depo Sistemlerinin Sonuçları ve Zorlukları	
Görüşmelerden elde edilen bulguların özeti	
POZİTİF SONUÇLAR	ZORLUKLAR
 Hata Oranlarının Azalması Sevkiyat ve stoklama süreçlerinde hata oranları minimuma inmiştir.	 Yetiştirilmiş Personel Bulmakta Zorluk Akıllı sistemleri yönetebilecek nitelikli teknik personel bulmakta güçlük çekiliyor.
 Daha Hızlı ve Doğru Sevkiyat Ürünlerin hatasız, kolay ve hızlı bir şekilde sevkiyatı sağlanmaktadır.	 Yüksek Otomasyon Maliyetleri Sistem kurulumu, bakım ve güncellemeleri yüksek maliyet gerektirmektedir.
 Daha Az İş Gücü İhtiyacı Daha az personel ile daha fazla ve hatasız operasyon gerçekleştirilmektedir.	 Yenilenebilir Enerji Kullanımının Kısıtlılığı Güneş, rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmamaktadır.
 İyileşen İzlenebilirlik Parti/lot bazlı izlenebilirlik sağlanmakta ve 3 aya kadar geriye dönük takip yapılmaktadır.	 Karbon Ayak İzi Ölçümünün Yapılmaması Depo faaliyetlerinin karbon ayak izi veya enerji tüketimi hesaplanmamaktadır.
 Gıda Güvenliğinin Artması Otomatik iklimlendirme ve izleme sistemleri ile ürünler dış etkenlere karşı korunmakta, HACCP ve ISO 22000 standartlarına uyum sağlanmaktadır.	 Atık Yönetimi ve Geri Dönüşüm Sınırlılıkları Atıklar ihale ile yetkili firmalara satılmakta, geri dönüşüm süreçleri sınırlı düzeydedir.
 Alan ve Kaynak Verimliliği Dar alanlarda yüksek palet depolama kapasitesi sağlanmakta, ekipman ve kaynak kullanımı optimize edilmektedir.	 Arıza ve Kesinti Riskleri Sistem arızalarında operasyonlar etkilenmekte, müdahale süresi maksimum 4 saat olmaktadır.
Genel Değerlendirme Akıllı depo sistemleri operasyonel verimlilik, izlenebilirlik ve gıda güvenliği açısından önemli avantajlar sağlarken, insan kaynağı, çevresel sürdürülebilirlik ve maliyet yönetimi gibi alanlarda geliştirmeye açık yönler bulunmaktadır.	

Akıllı Depo Sürdürülebilirlik Modeli”, akıllı depo sistemlerinin sürdürülebilir depo yönetimine çok boyutlu katkılarını açıklayan bütüncül bir yapıyı ortaya koymaktadır. Modelin temelinde teknolojik altyapı yer almakta olup WMS, SCADA, Siemens S7-300,

RFID ve barkod sistemleri gibi dijital teknolojiler depo süreçlerinin otomasyonunu ve gerçek zamanlı yönetimini sağlamaktadır. Bu teknolojik dönüşüm, operasyonel optimizasyonu destekleyerek hata oranlarının azalmasına, sevkiyat hızının artmasına, iş gücü ve ekipman kullanımının daha verimli hale gelmesine katkıda bulunmaktadır. Bununla birlikte izlenebilirlik ve gıda güvenliği boyutu sayesinde ürünlerin parti ve Iot bazında takip edilmesi, sıcaklık ve çevresel koşulların otomatik izlenmesi ve gıda güvenliği standartlarının korunması mümkün olmaktadır. Modelin ekonomik sürdürülebilirlik boyutu, daha az personel ve daha etkin alan kullanımı ile maliyet avantajı sağlanmasına odaklanırken; çevresel sürdürülebilirlik boyutu enerji verimliliği, atık yönetimi ve geri dönüşüm uygulamalarını kapsamaktadır. Ayrıca model, kurumsal vizyon ve organizasyonel yetkinliğin önemini vurgulamakta; sürdürülebilir başarının yalnızca teknoloji yatırımlarıyla değil, aynı zamanda stratejik yönetim anlayışı, teknik bilgi birikimi ve nitelikli insan kaynağı ile mümkün olacağını göstermektedir. Genel olarak model, akıllı depo sistemlerinin operasyonel verimlilik, güvenilirlik, müşteri güveni ve sürdürülebilir rekabet avantajı sağlayan stratejik bir yapı oluşturduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 8: Sürdürülebilir Akıllı Depo



TARTIŞMA (BEŞİNCİ BÖLÜM)

Araştırma sonuçları, Endüstri 4.0 teknolojileri ile akıllı depo sistemlerinin lojistik sektörünün gelişimi açısından önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, bu teknolojilerin işletmelerde yaygınlaştırılması ve etkin biçimde kullanılabilmesi çeşitli yapısal ve uygulamaya yönelik güçlükleri beraberinde getirmektedir. Çalışmada özellikle çalışanların teknolojik dönüşüme uyum sağlama sürecinde yaşanan sorunlar, yüksek yatırım gereksinimleri ve yeni teknolojilerin mevcut sistemlere entegre edilmesi gibi hususların önemli engeller oluşturduğu görülmektedir. Türkiye’deki lojistik işletmelerinin yenilikçi teknolojilere yönelik yatırımları yüksek maliyetli olarak değerlendirmesi, bu alandaki dönüşümün hızını sınırlayan unsurlardan biri olarak öne çıkmaktadır (Genç & Tunalı, 2022). Bunun yanı sıra, ileri teknolojileri kullanabilecek yeterli niteliklere sahip insan kaynağının sınırlı olması da işletmelerin yüksek teknoloji yatırımlarına yönelik temkinli bir yaklaşım sergilemesine neden olmaktadır.

Endüstri 4.0 teknolojilerinin lojistik süreçlere dâhil edilmesi; operasyonların daha kolay ölçülebilmesine, üretim faaliyetlerinin farklı alanlara yayılmasına, otonom sistemlerle etkileşimin geliştirilmesine ve dağıtım planlamalarının daha doğru ve etkin biçimde gerçekleştirilmesine katkı sağlamaktadır (Tubis & Rohman, 2023). Rekabetin yoğun olduğu lojistik sektöründe işletmelerin teknolojik gelişmelere uyum sağlaması giderek daha önemli hâle gelmektedir. Akıllı fabrikalar, robotik sistemler, akıllı depolar, otonom taşıma araçları ve blokzincir teknolojisi gibi uygulamalar, tedarik zinciri süreçlerinde görünürlüğün ve izlenebilirliğin artırılmasını mümkün kılmaktadır. Bu teknolojilerin lojistik faaliyetlerde daha yaygın biçimde kullanılması, sektörün iş yapış biçimlerinde önemli değişikliklere yol açacaktır. Bu dönüşüm sonucunda geleneksel insan gücüne dayalı bazı işlerin azalması beklenirken, teknoloji temelli yeni iş ve uzmanlık alanlarının ortaya çıkması öngörülmektedir (Ivanov & Dolgui, 2021).

Bu araştırmada elde edilen bulgular, akıllı depo sistemlerinin yalnızca operasyonel süreçleri hızlandıran teknolojik yapılar olmadığını; aynı zamanda sürdürülebilirlik, izlenebilirlik, kurumsal verimlilik ve stratejik yönetim açısından da işletmelere önemli katkılar sunduğunu göstermektedir. Araştırma kapsamında elde edilen bulgular, literatürde yer alan birçok çalışma ile benzerlik göstermekle birlikte bazı yönlerden farklılaşmaktadır.

Akıllı depo uygulamalarının sürdürülebilirlik performansına etkilerinin incelendiği bu araştırmanın en önemli sonuçlarından biri, akıllı depo uygulamaları aracılığıyla performans ölçümlerinin önemli ölçüde kolaylaşması ve sık sık yapılabilmesidir. Katılımcılar, RFID sistemleri, barkod teknolojileri, WMS yazılımları ve otomasyon tabanlı depo yönetimi uygulamalarının stokların izlenebilirliğini artırdığını, sevkiyat süreçlerini hızlandırdığını ve hata oranlarının düştüğünü ifade etmiştir. Bu sonuçlar, Genç & Tunalı (2022 tarafından gerçekleştirilen çalışmanın sonuçlarıyla paralellik göstermektedir. Söz konusu çalışmada, akıllı depo teknolojilerinin lojistik operasyonlarda ölçüm doğruluğunu artırdığı, süreçlerin daha hızlı yürütülmesini sağladığı ve operasyonel maliyetlerin azaltılmasına katkıda bulunduğu belirtilmiştir. Dolayısıyla bu araştırmanın bulguları, akıllı depo uygulamalarının yalnızca operasyonel verimliliği artırmakla kalmayıp, aynı zamanda işletmelerin sürdürülebilir performans yönetimini destekleyen stratejik bir unsur olduğunu da ortaya koymaktadır. Benzer şekilde, Tubis & Rohman (2023), yapay zekâ destekli lojistik işletmelerde analizlerin artırıldığını keşfetmiştir. Bu çalışma, özellikle gerçek zamanlı veri yönetiminin ve otomatik kontrol sistemlerinin depo operasyon süreçlerinin etkin ve verimli yönetilmesinde önemli bir rol oynadığını da göstermiştir.

Bununla birlikte mevcut araştırmanın bulguları, değişimin yalnızca hız ve maliyet avantajı sağlamadığını aynı zamanda kurumsal güvenilirliğin ve izlenebilirliğinin de artırıldığını göstermektedir. Araştırmanın öne çıkan bulguları arasında ürünlerin dijital sistemler aracılığıyla geriye dönük olarak eksiksiz biçimde izlenebilmesi, otomatik sensör sistemleri sayesinde sıcaklık ve nem gibi çevresel koşulların sürekli kontrol altında tutulması ve bu sayede gıda güvenliğinin güvence altına alınması yer almaktadır. Literatürde akıllı depo uygulamaları ağırlıklı olarak lojistik performansın artırılması, operasyonel verimliliğin geliştirilmesi ve maliyetlerin azaltılması ekseninde ele alınmaktadır. Buna karşın, bu araştırma akıllı depo teknolojilerini yalnızca operasyonel performans açısından değil; gıda güvenliği, ürün izlenebilirliği, kalite güvencesi ve sürdürülebilirlik performansı boyutlarıyla da değerlendirmektedir. Bu kapsamda elde edilen bulgular, akıllı depo sistemlerinin dijital izlenebilirliği güçlendirdiğini, ürün güvenliğini artırdığını ve sürdürülebilir lojistik uygulamalarını desteklediğini ortaya koymaktadır.

Araştırma sonuçları, akıllı depo uygulamalarının iş gücünün optimizasyonuna katkı sağladığını göstermiştir. Katılımcılar, daha az personel ile daha hızlı ve sorunsuz sevkiyat

gerçekleştirilebileceğini belirtmektedirler. Bu sonuç Ivanov & Dolgui (2021)'ın lojistik sektöründe insan gücüne dayalı işlerin azalacağı ve otomasyon sistemlerinin yaygınlaşacağı yönündeki değerlendirmelerini desteklemektedir. Bununla birlikte, dikkat çekici önemli bir farklılık vardır. Literatürde otomasyon sistemlerinin kullanılması genellikle iş gücü maliyetlerini azaltma açısından olumlu bir gelişme olarak ifade edilmektedir. Bu çalışmada ise bu durum teknik personel eksikliği şeklinde önemli bir sorun olarak ortaya çıkmıştır. Dijital dönüşümde insan kaynağı çok önemlidir. Özellikle sistemi yönetebilecek eğitimli personelin bulunması zordur. Bu, teknolojik verimliliğin hem donanımın hem de insan sermayesi yatırımlarının varlığının gerekli olduğunu göstermektedir.

Araştırmanın sürdürülebilirlik boyutuna ilişkin bulguları, ilgili çalışmalarla büyük ölçüde örtüşmektedir. Katılımcılar, otomatik iklimlendirme sistemleri, atık ayrıştırma uygulamaları ve geri dönüşüm süreçlerinin çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağladığını belirtmişlerdir. Bu bulgular, Srivastava (2007)'in sürdürülebilir depo yönetiminin enerji verimliliği ve çevresel performans üzerindeki olumlu etkilerine ilişkin çalışmalarıyla uyumludur. Aynı şekilde Srivastava (2007), yeşil tedarik zinciri uygulamalarının işletmelere hem ekonomik hem de çevresel avantaj sağladığını ifade etmektedir. Bu araştırmada da çevresel uygulamaların maliyet optimizasyonu ve operasyonel verimlilik ile ilerlediği görülmektedir.

Araştırma kapsamında elde edilen bulgular, akıllı depo sistemlerinin işletmeler üzerinde hem operasyonel süreçlerin iyileştirilmesi hem de sürdürülebilir kurumsal gelişimin desteklenmesi açısından önemli katkılar sağladığını ortaya koymaktadır. Katılımcı görüşleri doğrultusunda RFID teknolojileri, barkod sistemleri, WMS (Depo Yönetim Sistemi) yazılımları ve otomasyon tabanlı depo uygulamalarının stok süreçlerini daha sistematik hale getirdiği, sevkiyat süreçlerini hızlandırdığı, hata oranlarını azalttığı ve iş gücünün daha verimli kullanılmasına katkı sağladığı belirlenmiştir. Ayrıca gerçek zamanlı veri yönetimi sayesinde depo operasyonlarının anlık olarak izlenebilmesi, süreçlerin daha kontrollü yürütülmesini sağlayarak operasyonel verimliliği artırmaktadır. Bu sonuçlar, Endüstri 4.0 ile lojistik faaliyetlerde dijitalleşmenin işletmelere hız, verimlilik ve süreç kontrolü açısından önemli avantajlar sağladığını göstermektedir. Bununla birlikte araştırma bulguları, akıllı depo sistemlerinin yalnızca operasyonel süreçleri iyileştirmekle sınırlı kalmadığını, aynı zamanda enerji verimliliği, atık yönetimi, geri dönüşüm

uygulamaları ve kaynak kullanımının etkin yönetimi yoluyla sürdürülebilirlik performansına da katkı sunduğunu göstermektedir. Bu durum, işletmelerde sürdürülebilir uygulamaların çevresel performans ve rekabet avantajı üzerindeki etkisini vurgulayan Alkış, Pirtini & Ertemel, (2022) ile paralellik göstermektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde akıllı depo sistemleri; operasyonel verimliliği artıran, maliyetlerin kontrol edilmesini sağlayan, çevresel sürdürülebilirliği destekleyen ve işletmelerin kurumsal rekabet gücünü artıran stratejik bir yönetim aracı olarak değerlendirilmektedir.

Araştırmanın uygulama alanını oluşturan Çumra Şeker Fabrikası'nın üretim ve depo süreçlerinde ileri teknolojiye dayalı sistemler kullandığı görülmektedir. Kurumsal veriler doğrultusunda fabrikanın 2.600.000 m² gibi geniş bir üretim alanına sahip olması ve günlük 17.000 ton şeker pancarı işleme kapasitesi, işletmenin büyük ölçekli endüstriyel faaliyet gösterdiğini ortaya koymaktadır. Tesis bünyesinde 10.000'den fazla noktadan bilgisayar destekli otomasyon sistemi ile süreçlerin kontrol edilmesi, işletmenin dijital dönüşüm ve Endüstri 4.0 uygulamalarını operasyonel süreçlerine entegre ettiğini göstermektedir. Bu durum depo yönetimi, stok kontrolü ve üretim süreçlerinde hata oranlarının azaltılması, operasyon hızının artırılması ve süreçlerin daha etkin yönetilmesi açısından önemli avantajlar sağlamaktadır.

Bunun yanında enerji maliyetlerini azaltmaya yönelik akışkan yataklı kazan sisteminin kullanılması ve endüstriyel atık su arıtma tesisinin bulunması, işletmenin sürdürülebilir üretim anlayışını benimsediğini göstermektedir. Sürdürülebilirlik kapsamında uygulanan çevresel yönetim sistemleri, işletmelerin yalnızca ekonomik performansa değil aynı zamanda çevresel sorumluluklarına da önem verdiğini ortaya koymaktadır.

Ayrıca otomatik sıcaklık ve nem kontrollü depolama sistemlerinin kullanılması, ürün kalitesinin korunmasına katkı sağlarken depo süreçlerinde verimlilik artışı sağlamaktadır. İşletme bünyesinde kullanılan entegre dijital izleme sistemleri ise lojistik faaliyetlerin daha kontrollü, planlı ve etkin biçimde yürütülmesine destek olmaktadır.

Bu sonuçlar Çumra Şeker Fabrikası'nın sahip olduğu teknolojik altyapı ve sürdürülebilirlik uygulamaları, araştırmada elde edilen bulguları desteklemekte ve akıllı depo sistemlerinin işletmelere operasyonel verimlilik ve maliyet avantajı açısından önemli katkılar sunduğunu göstermektedir.

Araştırmanın sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, akıllı depo sonuçlarının hız, maliyet avantajı, izlenebilirlik, iş güvenliği ve sürdürülebilirlik açısından önemli faydalar sunduğu anlaşılmaktadır. Bununla birlikte yüksek yatırım maliyetleri, yetersiz teknik personel ve performans ölçüm sistemleri gibi yapısal sorunlar hala vardır. Bu bulgular, dijital dönüşümlerin yalnızca teknoloji yatırımı olarak değil, aynı zamanda planlama, insan kaynakları ve sürdürülebilirlik yönetimi ile ele alınmasını göstermektedir.

Bu araştırma, sürdürülebilirlik kavramı ile akıllı depo teknolojilerini bütüncül bir yaklaşımla ele alarak mevcut literatüre katkı sağlamaktadır. Çalışmanın bir özelliği, özellikle Türkiye örneğinde firma temelli nitel analiz sunmasıdır.

SONUÇ VE ÖNERİLER (ALTINCI BÖLÜM)

Günümüzde küresel rekabetin artması, teknolojik gelişmelerin hız kazanması ve sürdürülebilirlik anlayışının işletmeler açısından stratejik bir gereklilik haline gelmesi, lojistik ve depo yönetim süreçlerinde dijital dönüşüm uygulamalarının önemini artırmıştır. Özellikle Endüstri 4.0 yaklaşımı ile işletmeler, geleneksel depo yönetim sistemlerinden daha akıllı, otomasyon temelli ve veri odaklı yönetim yapılarına yönelmeye başlamıştır. Bu süreçte akıllı depo sistemleri, yalnızca operasyonel süreçleri hızlandıran teknolojik uygulamalar değil, aynı zamanda işletmelerin sürdürülebilirlik performansını doğrudan etkileyen stratejik yönetim araçları haline gelmiştir.

Bu araştırmanın temel amacı, akıllı depo sistemlerinin sürdürülebilir depo yönetimi üzerindeki etkilerini incelemek ve bu teknolojilerin işletmelere sağladığı operasyonel, ekonomik, çevresel ve kurumsal katkıları ortaya koymaktır. Araştırma kapsamında gerçekleştirilen nitel analiz sonucunda elde edilen bulgular, akıllı depo teknolojilerinin işletmeler açısından çok boyutlu katkılar sağladığını göstermektedir.

Araştırma bulgularına göre depo yönetim süreçlerinde kullanılan otomasyon sistemleri, depo yönetim yazılımları (WMS), barkod sistemleri, RFID uygulamaları, sensör teknolojileri ve gerçek zamanlı veri yönetim sistemleri operasyonel süreçlerin daha verimli yönetilmesini sağlamaktadır. Özellikle manuel iş gücü ihtiyacının azalması, hata oranlarının düşürülmesi, stok doğruluğunun artırılması, ürün hareketlerinin daha etkin izlenmesi ve sevkiyat süreçlerinin hızlandırılması işletmeler açısından önemli operasyonel avantajlar yaratmaktadır.

Araştırmada elde edilen önemli sonuçlardan biri de akıllı depo sistemlerinin sürdürülebilirlik üzerindeki etkisidir. Bulgular, akıllı depo uygulamalarının enerji kullanımını optimize ettiğini, depo alanlarının daha verimli kullanılmasını sağladığını, gereksiz kaynak kullanımını azalttığını, hata kaynaklı ürün kayıplarını minimize ettiğini ve süreçlerde izlenebilirliği artırdığını göstermektedir. Bu durum hem ekonomik sürdürülebilirlik hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından işletmelere önemli katkılar sağlamaktadır.

Bununla birlikte araştırma sonuçları, akıllı depo sistemlerinin yalnızca teknolojik altyapı yatırımları ile sınırlı olmadığını, aynı zamanda organizasyonel değişim, çalışan yetkinliği, teknik bilgi düzeyi, kurumsal adaptasyon ve stratejik yönetim anlayışı gerektirdiğini ortaya koymaktadır. Başka bir ifadeyle akıllı depo sistemleri yalnızca otomasyon uygulamaları

değil, işletmelerin uzun vadeli sürdürülebilir rekabet avantajı elde etmesinde etkili olan bütüncül yönetim sistemleri olarak değerlendirilmektedir.

Araştırmanın değerlendirilmesinde bazı sınırlılıkların dikkate alınması gerekmektedir. Çalışmanın en önemli sınırlılığı araştırmanın yalnızca tek işletme örneği üzerinden gerçekleştirilmiş olmasıdır. Araştırma kapsamında farklı işletmeler ile görüşme yapılması planlanmış olmasına rağmen, veri paylaşımı konusundaki kurumsal sınırlılıklar nedeniyle araştırma yalnızca Çumra Şeker Fabrikası örneği ile yürütülmüştür. Bu durum araştırma sonuçlarının farklı sektörlerle veya tüm işletmelere genellenmesini sınırlandırmaktadır.

Araştırmanın bir diğer sınırlılığı ise yalnızca nitel araştırma yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiş olmasıdır. Görüşmelerden elde edilen veriler detaylı biçimde analiz edilmiş olsa da çalışmanın nicel veriler ile desteklenmemesi nedeniyle sonuçların istatistiksel olarak ölçülmesi mümkün olmamıştır. Ayrıca katılımcı sayısının sınırlı olması ve araştırmanın belirli bir zaman diliminde gerçekleştirilmiş olması da araştırmanın diğer önemli kısıtları arasında yer almaktadır.

Araştırmadan elde edilen sonuçlar doğrultusunda işletmelere ve gelecekte bu alanda çalışma yapacak araştırmacılara yönelik çeşitli öneriler geliştirilebilir. Öncelikle işletmelerin depo yönetim süreçlerinde yalnızca maliyet odaklı karar verme anlayışından uzaklaşarak dijital dönüşüm yatırımlarını sürdürülebilirlik hedefleri ile birlikte değerlendirmeleri gerekmektedir. Akıllı depo sistemleri başlangıç aşamasında yüksek yatırım maliyeti gerektirse de uzun vadede operasyonel verimlilik, kaynak tasarrufu ve maliyet kontrolü açısından işletmelere önemli stratejik avantajlar sağlamaktadır.

İşletmelerin depo süreçlerinde kullanılan otomasyon sistemlerini, veri analitiği uygulamalarını, RFID teknolojilerini ve depo yönetim yazılımlarını entegre biçimde kullanmaları önerilmektedir. Bunun yanında enerji tüketiminin izlenmesi, karbon ayak izinin ölçülmesi, geri dönüşüm uygulamalarının yaygınlaştırılması ve çevresel performans göstergelerinin düzenli takip edilmesi sürdürülebilir depo yönetiminin güçlendirilmesine katkı sağlayacaktır.

İnsan kaynağı açısından ise işletmelerin dijital dönüşüm süreçlerine uyum sağlayabilecek nitelikli teknik personel yetiştirmesi, çalışanlara teknoloji odaklı eğitimler sunması ve organizasyonel öğrenme kültürünü güçlendirmesi önem taşımaktadır.

Gelecekte yapılacak akademik çalışmalarda farklı sektörlerde faaliyet gösteren işletmeler üzerinde karşılaştırmalı araştırmalar yapılması önerilmektedir. Bunun yanında nitel araştırma yöntemlerinin yanında nicel araştırma yöntemlerinin de kullanılması, daha geniş örneklem grupları ile çalışmalar yürütülmesi ve akıllı depo yatırımlarının finansal performans üzerindeki etkilerinin ölçülmesi literatüre daha kapsamlı katkılar sağlayacaktır.

Sonuç olarak akıllı depo sistemleri, işletmeler açısından yalnızca depo otomasyonunu sağlayan teknik uygulamalar olarak değerlendirilmemelidir. Bu sistemler aynı zamanda ekonomik verimlilik, çevresel sürdürülebilirlik, kaynak optimizasyonu, izlenebilirlik, kurumsal gelişim ve uzun vadeli rekabet avantajı yaratan stratejik yönetim araçlarıdır. İşletmelerin gelecekte sürdürülebilir büyüme sağlayabilmeleri için akıllı depo teknolojilerini stratejik bir yatırım ve sürdürülebilir dönüşüm aracı olarak değerlendirmeleri gerekmektedir.

KAYNAKÇA

Akbal, H. (2022). Sürdürülebilir lojistik kapsamında yeşil lojistik uygulamaları. *Kapadokya Akademik Bakış*, 6(1), 15–23

Alkış, G., Piritini, S., & Ertemel, A. V. (2020). Lojistik sektöründe Endüstri 4.0 uygulamalarının operasyonel verimliliğe etkisi. *Business and Management Studies: An International Journal*, 8(1), 371–395. <https://doi.org/10.15295/bmij.v8i1.1341>

Asar, İ. ve Esen, Ş. (2021). Endüstri 4.0 ve İşletme Yönetiminin Geleceğine Olası Etkileri: Kavramsal Bir Araştırma. *Journal of Academic Value Studies*, 7(4), 459-468. <http://dx.doi.org/10.29228/javs.51809>

Barney, J. B. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, 17(1), 99–120. <https://doi.org/10.1177/014920639101700108>

Chen, H., Chiang, R. H. L., & Storey, V. C. (2012). Business intelligence and analytics: From big data to big impact. *MIS Quarterly*, 36(4), 1165–1188. <https://doi.org/10.2307/41703503>

Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4th ed.). Sage Publications.

Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2018). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches* (4th ed.). SAGE Publications.

Çakır, G., & Sezen, H. (2021). Lojistik 4.0 ve dijital dönüşüm uygulamaları. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 29, 133–150.

Çelen, S. (2017). Sanayi 4.0 ve simülasyon. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 1(1), 9–26.

Ekiz, D. (2003). *Eğitimde araştırma yöntem ve metotlarına giriş: Nitel, nicel ve eleştirel kuram metodolojileri*. Anı Yayıncılık.

Ertuğrul, İ., & Özdemir, L. (2020). Endüstri 4.0 ve üretim sistemlerine etkileri. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(2), 789–804.

Fırat, O. Z., & Fırat, S. Ü. (2017). Endüstri 4.0 yolculuğunda trendler ve robotlar. İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi, 46(2), 211–223. <https://doi.org/10.5152/iujsb.2017.005>

Forrester, M. A., & Sullivan, C. (2018). Doing qualitative research in psychology: A practical guide (2nd ed.). Sage Publications.

Genç, E., & Tunalı, İ. (2022). Endüstri 4.0 ve lojistik 4.0 kapsamında akıllı depo sistemleri. Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, 9(4), 194–215.

Gu, J., Goetschalckx, M., & McGinnis, L. F. (2007). Research on warehouse operation: A comprehensive review. European Journal of Operational Research, 177(1), 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.02.025>

Hatch, J. A. (2002). Doing qualitative research in education settings. State University of New York Press. <https://www.tusiad.org/indir/2016/sanayi-40.pdf>

Konya Şeker. (2024). Çumra Şeker Fabrikası. Konya Şeker Sanayi ve Ticaret A.Ş. [Konya Şeker Kurumsal Sayfası](#)

Konya Şeker. (2024). Konya Şeker Endüstriyel Ürünler ve Üretim Altyapısı. [Konya Şeker Endüstriyel Ürünler](#)

Lai, K. H., Wong, C. W. Y., & Cheng, T. C. E. (2012). Green logistics management and performance: Some empirical evidence from Chinese manufacturing exporters. Omega, 40(3), 267–282. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2011.07.002>

Manzini, R., Gamberi, M. ve Regattieri, A. (2006). Design and Control of an AS/RS. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 28(7), 766-774.

Mercimek, A. F., & Geçkil, T. (2021). Endüstri 4.0’ın lojistik sektörüne uygulanması: Lojistik 4.0. Fivezero Journal, 1(1), 57–77. <https://doi.org/10.54486/fivezero.2021.5>

Merriam, S. B., & Tisdell, E. J. (2016). Qualitative research: A guide to design and implementation (4th ed.). Jossey-Bass

Morgan, D. L. (1996). Focus groups. *Annual Review of Sociology*, 22, 129–152.
<https://doi.org/10.1146/annurev.soc.22.1.129>

Öztürk, İ., & Zeybek, B. (2021). Dijitalleşme ve etik sorunlar: Nesnelerin interneti teknolojisini gözetim, gizlilik, güvenlik kapsamında değerlendirme. *İletişim Kuram ve Araştırma Dergisi*, 55, 1–15. <https://doi.org/10.47998/ikad.932173>

Sarı, E. B., Özveri, O., & Şenyay, U. E. (2019). Endüstri 4.0'ın iş süreçlerine etkisi: Akıllı depo sistemi uygulaması. *Uluslararası Yönetim Akademisi Dergisi*, 2(2), 466–477.
<https://doi.org/10.33712/mana.596709>

Srivastava, S. K. (2007). Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review. *International Journal of Management Reviews*, 9(1), 53–80.
<https://doi.org/10.1111/j.1468-2370.2007.00202.x>

Srivastava, S. K. (2007). Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review. *International Journal of Management Reviews*, 9(1), 53–80.
<https://doi.org/10.1111/j.1468-2370.2007.00202.x>

Sung, W. T. ve Lu, C. Y. (2018). Smart Warehouse Management Based on IoT ARchitecture. In 2018 International Symposium on Computer, Consumer and Control (IS3C) (pp. 169-172).

Şekkeli, Z. H., & Bakan, İ. (2018). Endüstri 4.0'ın etkisiyle lojistik 4.0. *Journal of Life Economics*, 5(2), 17–36. <https://izlik.org/JA37DC42AX>

Şenaras, A. E., & Sezen, H. K. (2016). AGV niteliklerinin imalat sistemlerine etkisinin benzetim ile incelenmesi. *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 35(1), 103–117.

Şener, S., & Elevli, B. (2017). Endüstri 4.0 ve akıllı fabrikalar. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(2), 546–556. <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.321957>

Taşkın, E., Gezik, N., Yumuşak, R., & Eren, T. (2022). Depo yönetiminde Endüstri 4.0 uygulaması: Bir işletme için RFID teknoloji seçimi. *Endüstri Mühendisliği*, 33(1), 194–211.
<https://doi.org/10.46465/endustrimuhendisligi.960374>

Tikwayo, L. N., & Mathaba, T. N. D. (2023). Applications of Industry 4.0 technologies in warehouse management: A systematic literature review. *Logistics*, 7(2), 24. <https://doi.org/10.3390/logistics7020024>

Tubis, A. A., & Rohman, J. (2023). Intelligent warehouse in Industry 4.0—Systematic literature review. *Sensors*, 23(8), 4105. <https://doi.org/10.3390/s23084105>

Tusiad. (2016). Türkiye'nin Küresel Rekabetçiliği İçin Bir Gerekliklik Olarak Sanayi 4.0: Gelişmekte Olan Ekonomi Perspektifi Raporu. Erişim Adresi:

Urul, A. A., Erkan, M., & Özdemir, İ. (2026). Yeşil depolama uygulamalarının lojistik performansa olan etkileri: İstanbul'da bulunan antrepolar üzerine bir araştırma. *Akademik Tarih ve Düşünce Dergisi*, 13(1), 1–31. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18686139>

Xu, X., Shen, G., Yu, Y. ve Huang, W. (2015). Travel Time Analysis for the Double-Deep DualShuttle AS/RS. *International Journal of Production Research*, 53(3), 757-773. <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.921351>

Yardımcı Coşkun, İ., Baskak, M., & Tanyaş, M. (2025). Dijital depo yönetiminde kritik başarı etmenlerinin DEMATEL yöntemiyle analizi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(5), 2420–2448. <https://doi.org/10.47495/okufbed.1629261>

Yıldırım, A., & Şimşek, H. (2018). Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri (11. bs.). Seçkin Yayıncılık.

EKLER

EK 1



NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL VE BEŞERİ BİLİMLER BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU
ETİK KURUL KARARI

Etik Kurul Toplantı Tarihi/Sayısı ve Karar No	Tarih :05/09/2025 Toplantı Sayısı:16 Karar No :2025/720
Araştırmanın Başlığı	Akıllı ve Sürdürülebilir Depo Uygulamaları ve Sonuçları: Çumra Şeker Fabrikası Örneği.
Sorumlu Araştırmacı	Doç. Dr. Tahsin GEÇKİL
Yardımcı Araştırmacı	Lisansüstü Öğrenci: Arife ACAR
Etik Kurul Kararı	26491 sayılı başvuru Etik Kurul tarafından değerlendirilmiş olup, başvurunun bilimsel araştırma etiği açısından “Uygun” olduğuna karar verilmiştir.

EK 2

Konu: Yüksek Lisans Tez Çalışması İçin Bilgi Talebi: Çumra Şeker Depo Uygulamaları

Sayın Yetkili,

Ben Arife ACAR, Necmettin Erbakan Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Fakültesi Lojistik Yönetimi Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimimi sürdürmekteyim. Tez çalışmamı, "Akıllı ve Sürdürülebilir Depo Uygulamaları ve Sonuçları: Çumra Şeker Fabrikası Örneği" başlığı altında yürütmekteyim.

Tez çalışmam kapsamında, Türkiye’de yürütmekte olduğu depo operasyonlarına ilişkin aşağıda belirtilen konularda bilgi ve/veya belge talebinde bulunmak istiyorum:

Depo operasyonları, büyüklükleri, lokasyonları ve kullanılan teknolojik altyapılar,

Depolarda uygulanan akıllı sistemler (otomasyon teknolojileri, veri analitiği, IoT uygulamaları vb.),

Sürdürülebilirlik çalışmaları (enerji verimliliği, atık yönetimi, karbon emisyonlarının azaltılması vb.),

Bu uygulamaların operasyonel ve çevresel etkilerine ilişkin somut veriler veya göstergeler,

Şirketin geleceğe yönelik depo ve lojistik stratejileri kapsamında yürütülen veya planlanan projeler.

Söz konusu bilgiler, yalnızca akademik çalışma amaçlı kullanılacak olup, üçüncü kişilerle paylaşılmayacak ve yayımlanması halinde Firmanın izni doğrultusunda hareket edilecektir.

Bu çerçevede, mümkün olması halinde:

Şirketinizin sürdürülebilirlik raporlarına,

Depo operasyonlarına ilişkin basın bültenlerine, vaka çalışmalarına,

İlgili bir yetkili ile kısa bir görüşme veya yazılı röportaj yapma imkânına erişim sağlanması konusunda desteklerinizi talep ederim.

Firma isminin kullanımı konusu sorun teşkil eder ise tez çalışmasın da Konya örneği şeklinde ifade edilecektir.

Bilgi ve destek sağlayabileceğiniz konular hakkında tarafıma geri dönüş sağlamanız durumunda çok memnun olacağım.

İlginize ve desteğinize şimdiden teşekkür eder, iyi çalışmalar dilerim.

Saygılarımla,

Ad-Soyad:

E-posta:

Telefon:

Adres:

EK 3

1. Çumra Şeker Fabrikası - Akıllı Depo Sistemi Ön Görüşme Soruları

1.1. Akıllı Depo Teknolojileri

- Fabrikanızda akıllı depo sistemleri kapsamında kullanılan yazılım ve donanım teknolojileri nelerdir?
- Hangi üretici firmalarla çalışılmakta ve bu sistemler hangi işlevleri yerine getirmektedir?
- RFID, barkod, otomatik taşıma sistemleri veya Iot tabanlı sensörler gibi teknolojiler kullanılıyor mu?
- Bu sistemler hangi alanlarda etkin şekilde kullanılmaktadır?
- Ürünlerin depo içerisindeki akışları (giriş, yerleştirme, çıkış) hangi otomasyon sistemleriyle yönetilmektedir?
- Manuel müdahale oranı nedir?
- Veri toplama, analiz ve izleme süreçleri gerçek zamanlı mı yürütülmektedir?
- Hangi platform veya yazılımlar kullanılmaktadır?

1.2. Sürdürülebilirlik ve Enerji Verimliliği

- Depoda enerji verimliliği için alınmış önlemler nelerdir? (örneğin LED dönüşümü, hareket sensörleri, otomatik iklimlendirme sistemleri)
- Yenilenebilir enerji kaynakları (güneş, rüzgar vb.) kullanılmakta mıdır?
- Kullanılıyorsa enerji tüketimindeki payı nedir?
- Yenilebilir enerji kaynakları akıllı depo sistemlerinden öncede kullanılmakta mıdır?
- Kullanılıyor ise şuan ile arasında ki fark nedir?
- Depo faaliyetlerinin karbon ayak izi ya da enerji tüketimi hesaplanmakta mıdır?
- Hangi yöntem veya araçlar kullanılmaktadır?
- Atık yönetimi uygulamanız var mı?

- Atık yönetimi nasıl sağlanmaktadır? Organik, plastik, ambalaj gibi atıkların ayrıştırılması, geri dönüşümü veya bertarafı nasıl organize edilmektedir?

1.3. Operasyonel Etkinlik

- Dijitalleşme sonrası depo operasyonlarında gözlemlenen gelişmeler nelerdir? (örneğin işlem süresi, hata oranı, insan gücü ihtiyacı, maliyetler)
- Mal kabul sürecinde dijital sistemlerin sağladığı kolaylıklar nelerdir?
- Stoklama sürecinde dijital sistemlerin sağladığı kolaylıklar nelerdir?
- Sevkiyat sürecinde dijital sistemlerin sağladığı kolaylıklar nelerdir?
- Bu sistemler iş gücü planlamasını nasıl etkiledi?
- Kullanılan dijital sistemlerin bakım ve güncellenme sıklığı nedir? Arıza durumları operasyonları ne düzeyde etkiliyor?

1.4. İzlenebilirlik ve Gıda Güvenliği

- Ürünlerin parti ve Iot bazında izlenebilirliği nasıl sağlanmaktadır? Geriye dönük takip süresi ne kadardır?
- Ortam sıcaklığı, nem gibi kritik gıda güvenliği parametreleri otomatik olarak izlenmekte midir?
- Uyarı sistemleri var mı?
- Gıda güvenliği açısından dijital depo sistemlerinin sağladığı avantajlar nelerdir?
- HACCP, ISO 22000 gibi standartlara katkısı nedir?

1.5. Kurumsal Vizyon ve Gelecek Planları

- Akıllı depo sistemine geçiş süreci nasıl gerçekleşti? Bu süreçte dış danışmanlık hizmeti alındı mı?
- Sistemin sizin açınızdan en güçlü ve verimli yönleri hangileridir?
- İyileştirme gerektiren veya zayıf gördüğünüz yönler nelerdir?

- Önümüzdeki 2–3 yıl içinde sistemle ilgili dijitalleşme, otomasyon veya sürdürülebilirlik alanında planlanan yatırımlarınız var mı?

Akıllı depo sistemini yeniden kuracak olsaydınız neleri farklı yapardınız?

Akıllı depo sistemini yeni kuracak birine neler söylerdiniz?