

İSTANBUL ESENYURT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

**İLAÇ DAĞITIM LOJİSTİĞİNDE ENDÜSTRİ 4.0
UYGULAMALARININ İŞ SÜREÇLERİNE OLAN
ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Tezi Hazırlayan: **Bengisu KURTULUŞ**

İSTANBUL, 2025

İSTANBUL ESENYURT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

**İLAÇ DAĞITIM LOJİSTİĞİNDE ENDÜSTRİ 4.0
UYGULAMALARININ İŞ SÜREÇLERİNE OLAN
ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Tezi Hazırlayan:

BENGİSU KURTULUŞ

Öğrenci No:

2231200015

Danışman:

Prof. Dr. Hüseyin BAŞLIGİL

İSTANBUL, 2025

YEMİN METNİ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “ İlaç Dağıtım Lojistiğinde Endüstri 4.0 Uygulamalarının İş Süreçlerine Olan Etkilerinin Değerlendirilmesi” başlıklı bu çalışmanın, bilimsel ahlak ve geleneklere uygun şekilde tarafımdan yazıldığını, yararlandığım eserlerin tamamının kaynaklarda gösterildiğini ve çalışmamın içinde kullanıldıkları her yerde bunlara atıf yapıldığını belirtir ve bunu onurumla doğrularım...../...../.....

Aday: Bengisu KURTULUŞ

KILAVUZA UYGUNLUK

İlaç Dağıtım Lojistiğinde Endüstri 4.0 Uygulamalarının İş Süreçlerine Olan Etkilerinin Değerlendirilmesi adlı Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Esenyurt Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Lisansüstü Tez ve Proje Yazım Kılavuzu'na uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Bengisu KURTULUŞ

Danışman

Prof. Dr. Hüseyin BAŞLIGİL

Prof. Dr. Hüseyin BAŞLIGİL

ABD Başkanı

KABUL VE ONAY

Prof. Dr. Hüseyin BAŞLIGİL danışmanlığında Bengisu KURTULUŞ tarafından hazırlanan “İlaç Dağıtım Lojistiğinde Endüstri 4.0 Uygulamalarının İş Süreçlerine Olan Etkilerinin Değerlendirilmesi” adlı bu çalışma jürimiz tarafından İstanbul Esenyurt Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

(12/06/2025)

JÜRİ:

İMZA:

Danışman: Prof Dr. Hüseyin BAŞLIGİL

Üye: Prof. Dr. Sudi APAK

Üye: Doç. Dr. Umut Hulisi İNAN

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

İLAÇ DAĞITIM LOJİSTİĞİNDE ENDÜSTRİ 4.0 UYGULAMALARININ İŞ SÜREÇLERİNE OLAN ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Tezi Hazırlayan: Bengisu KURTULUŞ

ÖZET

Günümüzün sağlık sistemi için önem arz eden ilaçlar, hastaya veya müşteriye ulaşması için çeşitli dağıtım yolları ile sağlanmaktadır. Son müşteriye eczaneler tarafından teslim edilebilen ilaçların, eczanelere uygun koşullarda ve zamanda ulaşmasını gerekmektedir. Bu tedariki ise ilaç depoları sağlamaktadır. Endüstri 4.0 etkisiyle gelişen tedarik zinciri ve lojistik, sektörün tüm süreçlerini verimlilik açısından büyük gelişmelere yol açmıştır. İlaç dağıtım lojistiği alanında yapılan bu tez çalışmasında, dağıtım süreçlerinde karşılaşılan lojistik ve tedarik sorunlarına çözüm üretmek ve daha pratik çözüm yolları sunmak amacıyla karar destek sistemi kurmaktadır. Endüstri 4.0 teknolojileri sayesinde ilaç dağıtım lojistiğinde daha izlenebilir, kontrol edilebilir ve yönetilebilir bir sistem geliştirilmiştir. Uygulama için Endüstri 4.0 teknolojileri kullanılarak zamanında teslimat, stok yönetimi ve olası acil durumların yönetimi için geliştirilen Python tabanlı arayüz uygulaması geliştirilmiştir. Bu geliştirilen uygulama sayesinde gerçekçi senaryolar oluşturularak optimizasyon çalışması yapılmıştır. Bu uygulamada: rota planlaması için Gezgin Satıcı Problemi, taşıma kapasitesi optimizasyonu için Sirt Çantası Problemi, deponun mevcut stok durumunu takip edebilmek amacıyla da Stok Problemi optimizasyon algoritmaları kullanılmıştır. Kullanıcı dostu arayüz tasarımı için Visual Studio Code programında Python tabanlı grafiksel kullanıcı arayüzü olan PySimpleGUI uygulaması geliştirilerek hazırlanan bu tez çalışmasında, eczanenin taleplerinin sisteme manuel olarak girilmesi durumunda otomatik bir ilaç dağıtım optimizasyonu senaryosu oluşturması gerçekleştirilmektedir. Çalışmanın sonucunda geliştirilen bu sistem, teorikte değil de gerçek hayat verileri ile birleşimi sonucunda farklı dağıtım senaryoları oluşturabilen bir uygulama olarak dijital bir altyapı oluşturabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: İlaç Lojistiği, Endüstri 4.0, Gezgin Satıcı Problemi, Sirt Çantası Problemi, Stok Problemi, Dağıtım Optimizasyonu, Python, PySimpleGUI

EVALUATION OF THE IMPACT OF INDUSTRY 4.0 APPLICATIONS ON BUSINESS PROCESSES IN PHARMACEUTICAL DISTRIBUTION LOGISTICS

Presented by: Bengisu KURTULUŞ

ABSTRACT

Medicines, which are of critical importance to modern healthcare systems, are delivered to patients via pharmacies through various distribution channels. It is essential that these medicines reach pharmacies under proper conditions and in a timely manner. This supply is coordinated by pharmaceutical warehouses. With the advancements brought by Industry 4.0, logistics and supply chain processes have become more efficient, traceable, and manageable. This thesis focuses on pharmaceutical distribution logistics and presents a decision support system designed to address common logistical challenges and propose practical, optimized solutions. Utilizing Industry 4.0 technologies, a Python-based graphical user interface application was developed to support timely delivery, stock management, and emergency response. The system integrates key optimization algorithms: the Traveling Salesman Problem (TSP) for route planning, the Knapsack Problem for vehicle capacity optimization, and an inventory management module to monitor depot stock levels. A user-friendly interface was created using PySimpleGUI in the Visual Studio Code environment, enabling users to manually input pharmacy requests and automatically generate optimized distribution scenarios. Realistic scenarios were simulated, and the results demonstrated that the system is not merely a theoretical model but also a digital infrastructure that can be applied to real-world logistics operations. The developed application supports flexible planning, practical decision-making, and integration with actual distribution data, offering a scalable and adaptable solution for pharmaceutical supply chain management.

Keywords: Pharmaceutical Logistics, Industry 4.0, Optimization, TSP, Knapsack Problem, Inventory Management, PySimpleGUI

İÇİNDEKİLER

Sayfa No.

ÖZET

ABSTRACT

TABLolar LİSTESİ..... vi

ŞEKİLLER LİSTESİ..... vii

KISALTMALAR viii

GİRİŞ 1

1. ENDÜSTRİ 4.0..... 3

1.1. Endüstri Devrimlerinin Tarihi 3

1.1.1. Birinci Endüstri Devrimi Dönemi..... 3

1.1.2. İkinci Endüstri Devrimi Dönemi..... 5

1.1.3. Üçüncü Endüstri Devrimi Dönemi..... 7

1.1.4. Dördüncü Endüstri Devrimi Dönemi 8

1.2. Endüstri 4.0'ın Temel Prensipleri..... 10

1.2.1. Birlikte Çalışabilirlik: 10

1.2.2. Sanallaştırma: 10

1.2.3. Yerinden Yönetim: 11

1.2.4. Gerçek Zamanlı Yetenek: 11

1.2.5. Platform Odaklı Hizmetler: 11

1.2.6. Modülerlik: 11

1.3. Endüstri 4.0'ın Teknolojik Altyapısı: 12

1.4. Endüstri 4.0'ın Bileşenleri 13

1.4.1. Nesnelerin İnterneti: 13

1.4.2. Bulut Bilişim Sistemi: 14

1.4.3. Büyük Veri ve Analizi: 15

1.4.4. Siber Fiziksel Sistemler: 16

1.4.5. Siber Güvenlik: 17

1.4.6. 3 Boyutlu Yazıcılar: 18

1.4.7. Simülasyon: 19

1.4.8. Arıtılmış Gerçeklik ve Sanal Gerçeklik: 19

1.4.9. Akıllı Fabrikalar: 20

1.4.10. Otonom Robotlar: 21

1.4.11. Yapay Zeka: 21

1.4.12. Sistem Entegrasyonu:.....	22
1.5. Endüstri 4.0 Devrimi İle Oluşacak İhtiyaçlar:.....	23
1.6. Türkiyede Endüstri 4.0:	23
1.7. Endüstri 4.0'ın Avantajları Ve Dezavantajları	24
1.7.1. Endüstri 4.0'ın Avantajları:.....	24
1.7.2. Endüstri 4.0'ın Dezavantajları:	25
2. TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ VE LOJİSTİK	27
2.1. Tedarik Zinciri Yönetimi.....	27
2.2. Tedarik Zinciri Yönetiminin Aşamaları	27
2.3. Tedarik Ağı.....	28
2.4. Endüstri 4.0'ın Tedarik Zincirinde Kullanımı.....	28
2.5. Tedarik Zinciri Yönetimi Ve Lojistik	30
2.5.1. Lojistik	30
2.5.2. Lojistik Yönetimi ve Aşamaları	31
2.5.3. Lojistik Sektöründe Değişen Şartlar ve Endüstri 4.0'ın Lojistik Sektörüne Katkıları	32
2.5.4. Lojistik 4.0	33
3. İLAÇ SEKTÖRÜNDE DAĞITIM LOJİSTİĞİ	35
3.1. Endüstri 4.0'ın İlaç Dağıtım Sektörü Üzerindeki Etkisi	36
3.2. Metotlar	46
3.2.1. Sırt Çantası Problemi	46
3.2.2. Gezgin Satıcı Problemi	47
3.2.3. Kamçı Etkisi.....	48
3.2.4. Stok Problemi.....	49
3.3. Metotların Birleşimi İle Endüstri 4.0 Uygulamasına Geçiş	53
4. UYGULAMA	56
5. SONUÇ	66
KAYNAKLAR	69
EKLER.....	74
Ek-1: Esenyurt Bölgesinin Navigasyon Görüntüsü.....	74
Ek-2: Esenyurt Bölgesinin Navigasyon Görüntüsü.....	75

Ek-3: Visual Studio Code Programı İle Oluşturulan PySimpleGUI Kütüphanesinin
Kullanımıyla Hazırlanan Python Kodu: 76



TABLULAR LİSTESİ

Sayfa No.

Tablo. 1. Endüstri 4.0 Devrimi Öncesi Ve Sonrası Tedarik Zinciri.....	29
Tablo. 2. Endüstri 4.0'ın İlaç Dağıtım Sektörü Üzerindeki Etkisi İle İlgili Literatür Taraması.....	36
Tablo. 3. Deterministik Stok Problemi Modelin Değişkenleri.....	50
Tablo. 4. Stokastik Stok Problemi Modelin Değişkenleri.....	51



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No.

Şekil. 1. Akış Diyagramı.....	55
Şekil. 2. Kullanıcı Arayüzünün İlk Açıldığındaki Görüntüsü	58
Şekil. 3. Eczane Seçim Sekmesinin Görüntüsü	59
Şekil. 4. İlaç Seçim Sekmesinin Görüntüsü.....	59
Şekil. 5. Kullanıcı Arayüzünün İstenilen Talepleri Girildikten Sonraki Görüntüsü Ve Araç 1 İçin Dağıtım Planının Senaryosu.....	60
Şekil. 6. Sonuç Ekranının Görüntüsünün Devamı Ve Araç 2 İçin Dağıtım Planı	61
Şekil. 7. Sonuç Ekranının Görüntüsünün Devamı Ve Araç 3 İçin Dağıtım Planı.....	61
Şekil. 8. Sonuç Ekranının Görüntüsünün Devamı Ve Deponun Mevcut Stokunun Karşılaştırılması	62
Şekil. 9. Tekrardan Taleplerin Belirlenmesi Ve Taleplerin Manuel Olarak Girilmesi	63
Şekil. 10. Araç 1 İçin Dağıtım Planı	64
Şekil. 11. Araç 2 İçin Dağıtım Planı	64
Şekil. 12. Araç 3 İçin Dağıtım Planı	65
Şekil. 13. Deponun Stok Karşılaştırması	65

KISALTMALAR

3D	: 3 Boyutlu
AR-GE	: Araştırma ve Geliştirme
BWM	: En İyi – En Kötü Yöntemi
CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım
CAM	: Bilgisayar Destekli Üretim
CFA	: Doğrusal Faktör Analizi
CIM	: Bilgisayarla Bütünleşik İmalat
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
CLAF	: Havayolu Soğuk Zincir Lojistiği
ECR	: Enerji Tüketimi Güvenirliği
EFA	: Keşifsel Faktör Analizi
EOQ	: Ekonomik Sipariş Miktarı
FDM	: Erimiş Biriktirme Modeli
GPA	: Gri Tercih Analiz
GPS	: Küresel Konumlandırma Sistemi
IaaS	: Bulut Altyapı Servisi
IoT	: Nesnelerin İnterneti
IP	: İnternet Protokolü
MAM	: Çoklu Nitelikli Yöntem
MAUT	: Çok Nitelikli Fayda Teorisi
MJF	: Çoklu Jet Teknolojisi
PaaS	: Bulut Platform Servisi
PLC	: Programlanabilir Lojistik Denetleyicisi
RFID	: Radyo Frekansı Tanımlama
PMM	: Hızlı Mikrobital Test
SaaS	: Bulut Yazılım Servisi
SEM	: Yapısal Eşitlik Modellemesi
SLA	: Stereolitografi
SLS	: Seçici Lazer Sinterleme
SSK	: Sosyal Sigortalar Kurulu
TOBB-MMNM	: Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği Milli Mal Numaralama Merkezi

TSP : Gezin Satıcı Problemi
TTR : Seyahat Süresi Güvenirliği
UV : Ultraviyole



GİRİŞ

Sağlık sektörünün önemli bir parçası olan ilaçlar, hastaların tedavisinde kullanılan en temel ihtiyaçlardan biridir. İlaçların bozulmadan, güvenli, hızlı ve zamanında son müşteriye yani hastalara ulaşması kritik bir yol izlemektedir. Bu karmaşık ve önemli tedariki ise ilaç dağıtım lojistiği sayesinde etkin bir şekilde sürdürmek mümkündür. İlaç dağıtım lojistiği, ilaçların üretim tesislerinden son müşteriye yani hastaya ulaşana kadarki süreci yönetmeyi amaçlar. Bu dağıtım sürecinin kesintisiz, eksiksiz ve zamanında sağlanabilmesi için ise günümüzde hızla gelişen teknolojilere ayak uydurmak önem arz etmektedir. Günüm dünyası, değişikliklere ve yeniliklere adapte olmak, benimsemek ve süreçlerinde kullanma zorunluluğu ile karşı karşıya kalmaktadır. Sağlık sektörü gibi hayati önem taşıyan bir alanda ise süreçlerinde bu gelişmeleri kullanarak izleyebilir, geliştirebilir ve daha verimli hale getirilebilmektedir. Bu kapsamda ortaya çıkan Endüstri 4.0 devrimi, üretimden dağıtıma kadarki tüm süreçleri dijitalleştirmekte önemli bir rol oynamaktadır. Nesnelerin interneti, yapay zeka ve büyük veri analizi gibi Endüstri 4.0 teknolojileri sayesinde bütünleşik bir dijital dönüşüm süreci sağlanabilmektedir.

Literatürde 4. Endüstri Devrimi olarak adlandırılan Endüstri 4.0 kavramı, 21. yüzyılın başında hayatımıza giren ve hızla gelişen dijitalleşme dönemidir. Her geçen gün daha da gelişen bu dijital teknolojiler, üretim ve hizmet sektöründe köklü değişikliklere sebep olmasının yanı sıra vazgeçilmez bir parçası olmuştur. Rekabet avantajı için önemli bir yere sahip olan Endüstri 4.0 teknolojileri, insan-makine arasındaki iletişimi güçlendirerek kendi kendilerine öğrenebilen, gelişebilen ve karar vermeye destek sağlayabilen sistemler oluşturmaktadır. Sektörün her alanına kullanılmaya başlanan Endüstri 4.0 kavramı, tedarik zinciri alanında da büyük gelişmelerin önünü açmıştır. Bütünleşik bir yapıya sahip olan tedarik zinciri yönetimi, deneme yanılma ve tahmine dayalı bir sistemden, Endüstri 4.0 teknolojileri ile bütünleşik bir sistem haline gelmiştir. Gerçek zamanlı verilerle takibi, süreci anlık olarak izlemeyi ve kontrol etmeyi sağlamanın yanı sıra talep tahmini ve kara verme teknikleri kullanarak daha esnek ve şeffaf bir sistem haline gelmiştir. Tedarik zincirinin en önemli parçalarından biri olan Lojistik ise taşıma, depolama ve stok kontrolünde Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanımıyla bütünleşik bir dağıtım optimizasyonu sağlamıştır. Gerçek zamanlı rota optimizasyonları, kapasite optimizasyonları ve anlık olarak izlenebilen stok takip uygulamaları gibi özellikleri

içeren sistemler, lojistik operasyonlarını daha verimli bir şekilde yönetilmesini sağlamıştır. Bu tez çalışmasında, Endüstri 4.0 teknolojilerinin tedarik zinciri ve lojistik alanında kullanımıyla ilaç dağıtım optimizasyon senaryoları oluşturulmuştur.

Bu tez çalışması 5 bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm olan Endüstri 4.0, günümüzün de içinde bulunduğu 4.Endüstri Devrimi dönemini ve teknolojik gelişmelerini kapsamaktadır. Endüstri 4.0'ın teknolojik gelişmelerini ve bu teknolojilerin günümüzdeki kullanım alanları açıklanmıştır. İkinci bölüm olan Tedarik Zinciri ve Lojistik ise Endüstri 4.0'ın etkilerinden doğrudan etkilenen alanlardan biridir ve geleneksel, öngörüye dayalı devam eden sistemden Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanımıyla çevresel değişikliklere adapte olan, kendi kendine öğrenebilen ve karar verme süreçlerinde kullanılabilen bir sistem haline gelmiştir. 3. Bölümde, bu tez çalışmasının asıl konusu olan İlaç Sektöründe Dağıtım Lojistiğini ve bu alandaki Literatür taramasına yer verilmiştir. Çalışmanın metotlarına yani kullanılan Gezgin Satıcı Problemi, Sırt Çantası Problemi, Kamçı Etkisi ve Stok Problemleri gibi optimizasyon algoritmalarına bu bölümde yer verilmiştir. Tez çalışmasının uygulama kısmına ise 4. Bölümde Uygulama başlığı altında anlatılmıştır. Uygulamada, Python tabanlı PySimpleGUI grafiksel kullanıcı arayüzü programı kullanılarak, 3.bölümdeki metotların kullanımıyla ilaç dağıtım optimizasyonu senaryoları oluşturulmuştur. Bu tez çalışmasının 5.bölmü yani son bölümünde ise bu çalışmanın araştırmalarının ve uygulamalarının sonuçlarının değerlendirildiği, Sonuç bölümünden oluşmaktadır.

1. ENDÜSTRİ 4.0

1.1. Endüstri Devrimlerinin Tarihi

1.1.1. Birinci Endüstri Devrimi Dönemi

1712 yılında buharlı makinelerin icadı ile 18.yüzyılın başlarında başlayan Birinci Endüstri Devrimi, ilk olarak İngiltere’de görüşmüştür. Daha çok 1750-1890 yılları arasında yaşanan Buhar Çağı döneminde ilk olarak tekstil imalathanesinde dokuma tezgahlarının, su ve buhar gücüyle mekanikleştirilmesi ile gerçekleştirilmiştir (Soba & Akar, 2021). Bu gelişimden sonra evlerde atölye tipi imalatın kalkmasına ve fabrikalaşma ile üretim başlamıştır. İnsan kas gücünün yerine makinelerin aldığı bu dönemde, demir, köpür, su ve buhar gücü sayesinde makineleşme sadece üretim ve fabrikalarda değil bu üretimin tedariki yani ulaşımında da kullanılmaya başlamıştır. Gelişen demir ve deniz yolları sayesinde tarihin en büyük değişimlerinden birine sahip olmuştur. Bu sayede, uzun mesafelere olan taşımacılığın sürelerinde kısalma ve taşımacılığın kolaylaşması gerçekleşmiştir (George & George, 2020).

Endüstri 1.0 olarak da adlandırılan bu dönem, sömürge sayesinde finansal olarak yükselen İngiltere’nin, rekabet ortamına girerek sömürge sayesinde kazandığı hammaddelerin üretimde kullanımıyla başlamıştır. İngiltere’den sonra 19.yüzyılda Avrupa ve Amerika’ya yayılan Endüstri Devrimi ülke ekonomilerinin gelişmelerini sağlamıştır. Bu aynı zamanda Endüstri Devrimine geçemeyen ülkelerle aralarında büyük uçurumlara sebep olmuştur. Bu uçurumlar ve ülkeleri sadece ekonomik olarak değil sosyokültürel bakımdan da etkilemiştir. Bu durumun sonucunda Endüstri Devriminde yeni hammadde ve Pazar arayışlarının da başlamasıyla 1.Dünya Savaşının başlamasına neden olmuştur (Arslan & Delican, 2020).

Birinci endüstri devriminin gelmesiyle kırsal bölgelerden şehir merkezlerine göçün artışı, yeni meslek gruplarının ortaya çıkması, fabrika sistemi ile üretimin başlaması ve bunu doğrultusunda insan el emeği ile değil de makineler yardımı ile üretimin başlaması, şirketlerin kurumsallaşması ve uluslararası pazar arayışlarının başlaması gibi durumlar yaşanmıştır (Phyllis, 1994).

Endüstri 1.0’ın Etkileri:

-Ekonomik - Finansal Etkileri: İhracatı attırıp ithalatı azaltma politikası ile gelişen merkantilizm politikasının benimsendiği bu dönemde altın ve gümüş stoklarını arttırarak ticareti hareketlendirmiştir. Bu hareketlenme finansal güçlülüğe ve

endüstrinin hızlıca büyümesine aracı olmuştur. Büyüyen endüstri, finansal yatırım için bir araç haline geldi ve yeni yatırım yaklaşımları getirdi. Bu yatırımlar, işletmeler ve endüstriyel yatırımlar için temel oluşturmuştur. Endüstriyel yatırımın artmasıyla gelişen bankacılık sektörü, endüstriyi ve yatırımcıyı finanse edecek kredi alımları sağlamıştır (Taha vd., 2017).

- Toplumsal Etkileri: Birinci Endüstri Devriminin gelmesiyle kırsal bölgelerden şehir merkezlerine göçün artışı yaşanmıştır. Makineleşmeyle birlikte fabrikalaşma sistemi ile üretimin başlaması yeni meslek gruplarının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu yeni meslek grupları sayesinde aynı zamanda firmaların ve fabrikaların kurumsallaşması yaşanmıştır (Phyllis, 1994). Yeni meslek gruplarının oluşması aynı zamanda toplumsal sınıfın oluşmasına neden olmuştur. İşçi sınıfın ve tüccar sınıfın arasındaki uçurumun artması, bazı toplumsal örgütlenmelerin yaşanmasına sebep olmuştur. İşçi sınıfın yaşadığı ağır ve sağlıksız çalışma koşulları ve hak arayışları örgütlenmeye sebep olmuştur.

- Siyasal Etkileri: Üretimin artması ile birlikte hammadde arayışları ve pazar arayışlarında artışa neden olmuştur. 1840'lı yıllarda düzenli okyanus ötesi buharlı gemi seferlerinin başlaması ve demir yolu ulaşımının gelişmesi ile birlikte uluslararası pazar arayışlarının başlamıştır. Donanması daha gelişmiş ülkeler sömürge alanlarını genişleterek diğer ülkelere nazaran siyasal üstünlüğe sahip olmuştur. Örneğin İngiltere'nin gelişen deniz donanması sayesinde sömürgeci gelen malların deposu haline gelmesidir (Taha vd., 2017).

- Sosyal Ve Kültürel Etkileri: Halkın günlük yaşamında ve iş hayatlarındaki iş yükünün azalması, yaşam kalitelerini yükseltmiş ve ortalama insan ömrünün uzamasına neden olmuştur. Makineleşme sayesinde oluşabilecek iş kazalarının azalması, işçinin gündelik hayatının yaşam kalitesini yükselten bir diğer etmendir. Ortalama yaşam süresinin artması aynı zamanda nüfusun hızla büyüyerek çoğalmasına neden olmuştur (Arslan & Delican, 2020). Bir diğer sosyal etkisi ise Birinci Endüstri Devrimi, toplumsal sınıf yapıları üzerinde derin bir etkiye neden olmuştur. İşçi sınıfın çalışma koşullarının ağırlığı, çalışma saatlerinin uzun olması ve karşılığında alınan ücretlerin düşük olması gibi işçi sınıfı derinden etkileyen durumlar yaşanmıştır. Tekstil, gemi yapımı ve demiryolu gibi sektörlerde makineleşme, el işçiliğinin yerini almış ve işsizlikte artış yaşanmıştır. Kırsal kesimden kentlere göç, toplumsal yapıda

bozulmalara ve ailelerin parçalanmasına neden olmuştur. Sağlıksız yaşam koşulları ve kötü beslenme, hastalıkların yayılmasına ve yaşam kalitesinin düşmesine yol açmıştır (Kılıç, 2023).

- Fransız İhtilali: Endüstri Devrimi, kapitalist ekonominin gelişmesine ve yeni ekonomik ve sosyal sınıfların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu yeni sınıflardan biri olan burjuva sınıfı, siyasi güce de sahip olmuş ve Fransız İhtilali'nin önemli bir rolü haline gelmiştir (Sucu, 2019). Ayrıca, Endüstri Devrimi'nin getirdiği ekonomik ve sosyal değişimler, Fransa'da da mevcut toplumsal yapıyı sarsmış ve ihtilali tetikleyen faktörlerden biri olmuştur. Ekonomik güç sahibi tüccarların ve sermaye sahiplerinin ön plana çıkması, muhafazakâr anlayışının yerine yüksek kar peşinde koşan bir anlayışın doğmasına yol açmıştır. Ekonomik ve siyasi alandaki bu değişimler, toplumsal alanda da sınıflar arasındaki ayrımın artmasına, yeni bir "işçi sınıfı" kavramının oluşmasına neden olmuştur. Bu değişimler, Fransız İhtilali'nin ortaya çıkmasında ve yayılmasında önemli rol oynamıştır. İhtilal, monarşik sisteme ve sınıf ayrımına karşı çıkan, özgürlük, eşitlik ve kardeşlik gibi ilkeleri öne çıkaran bir harekete dönüşmüştür. Böylece, Endüstri Devrimi'nin yarattığı ekonomik ve toplumsal dönüşümler, Fransız İhtilali'nin fikri temellerinin oluşmasında etkili olmuştur. Endüstri devriminin ortaya çıkması, Fransız İhtilali üzerinde önemli bir rol oynamıştır. Ekonomik değişimler ve toplumsal dönüşümler, ihtilal sürecinin tetiklenmesinde ve yayılmasında neden olmuştur (Kartal & Kartal, 2020). Sonuç olarak Fransız Devrimi ve Birinci Endüstri Devrimi, toplum, siyaset ve ekonomi üzerinde derin etkileri olan iki önemli tarihi olaydır. Radikal toplumsal ve siyasi çalkantılarla karakterize edilen Fransız Devrimi, mevcut düzene meydan okudu ve kanun önünde eşitlik gibi ilkelerin kurulmasına yol açmıştır (Acemoglu vd., 2011).

1.1.2. İkinci Endüstri Devrimi Dönemi

19.yüzyılın başlarında su ve buhardan daha kullanışlı enerji kaynağı olarak kullanılan elektrik, benzin ve kimyasal maddelerin gelişmesiyle Endüstri 2.0 Dönemi başlamıştır. Bu dönemde elektrik güçlerinin makine odaklı olması sayesinde makinenin daha hızlı, verimli çalışmasına olanak sağlarken aynı zamanda taşıma kolaylığı açısından da verimlilikte artış gözlemlenmiştir. Enerji kaynağının değişmesi ile yaşanan değişikliklere adapte olunması ve daha verimli kullanımı için bazı yönetim programlarının da gelişimine neden olmuştur. Elektriğin kullanımıyla montaj hatları

ile seri üretimine geçilmesi, iş bölümü, yalın üretim, kalite kontrol yöntemleri gibi ilkeler gelişmesine öncülük etmiştir (George & George, 2020).

Daha çok 1850-1914 yılları arasında Amerika Birleşik Devletleri, Japonya ve Almanya gibi ülkelerin aralarında gerçekleşen bu Endüstri Devrimi Döneminde, üretim maliyetlerinin giderek düşmesi ve ürünlerin toplumun her kesimine ulaşımının sağlanması, rekabetin ve pazarın daha da büyümesine sebep olmuştur (Von Tunzelmann, 2001). Örneğin Henry Ford'un seri üretim ile otomobil üretimine başlaması, otomobil kullanımını dünyada yaygınlaşmasına aracı olmuştur. Otomobil alımları, seri üretim sayesinde ürün fiyatlarının düşmesi sonucunda halka erişilebilir hale gelmiştir (Genç, 2018).

Demir yerine çelik üretimine geçilmesi ile birlikte tedarikte ürünlerin demir yolu ulaşımını hızlandırmasının yanı sıra telefon, radyo, telsiz, motor gibi teknolojik gelişmelerin de önünü açmıştır. İkinci Endüstri Devriminde seri üretim dönemi başlayarak insan gücünün azaltılması ve daha çok makineleşme ile üretimin devamlılığı sağlanmıştır. Seri üretim sayesinde ilk kez üretim bandlarının kurulması ve kullanılması gözlemlenmiştir (Öcal & Altıntaş, 2018).

Endüstri 2.0'ın Etkileri:

- Ekonomik - Finansal Etkileri: Gelişen teknoloji ile seri üretime geçilmesi üretim maliyetlerini azalmasına ve ürün fiyatlarındaki düşüşe sebep olmuştur. Ürün fiyatlarındaki düşüş, ürünlerin erişilebilirliğini arttırarak ekonomiye katkı sağlamıştır. Bu durum aynı zamanda yeni endüstrilerin açılmasına katkıda bulunmuştur. Seri üretim sadece üretim maliyetini düşürmekle kalmayıp, verimliliği de arttırmıştır ve sayıca fazla ürünün üretilip daha hızlı tedarikinin yapılması sağlanmıştır. Bu durum ülke ekonomisinin kalkınmasını sağlamıştır. Telgraf, buharlı gemiler ve hızlanan demir yolları gibi ulaşım ve iletişim araçlarındaki ilerlemeler, dünya çapında ticaret ve ekonominin genişlemesini hızlandırmıştır (Taha vd., 2017).

- Toplumsal Etkileri: Birinci Endüstri Döneminde de yaşandığı gibi nüfusun artışı, toplumun kentlere ve şehir merkezlere göçünde artışı ve sosyal sınıflar arasındaki gelir eşitsizliği yaşanmıştır. Gelişen teknoloji ile sermaye sahiplerinin ekonomik koşullarının gelişmesi ve işçi sınıfının ağır şartlar altında çalışması toplumsal örgütlenmeye sebep olmuştur (Mohajan, 2019).

- Siyasal Etkileri: İkinci Endüstri Dönemine giren ülkeler ekonomisini hızlıca yükseltirken, pazar ve hammadde arayışları yine ülkeleri kaosa sürüklemektedir. Birinci Dünya Savaşı ve İkinci Dünya Savaşı arasında yaşanan bu dönemde İkinci Endüstri Dönemi savaşın seyrini şekillendirmekteydi (Jaworski, 2017). İkinci Endüstri Döneminin bir diğer etkisi ise işçi sınıfının ağır çalışma koşulları karşısında örgütlenmesi ve grevler oluşturmalarıdır. İşçi sınıfın yaşadığı ağır çalışma koşulları, uzun çalışma saatleri ve çocuk işçilerin çalıştırılması gibi birçok durum işçi sınıfı greve yönlendirmekteydi.

- Sosyal Ve Kültürel Etkileri: Yeni endüstrilerin kurulması yeni mesleklere olan ihtiyacın artmasını sağlamıştır. Bu dönemde mesleki eğitimlerinin gelişmesinin yanı sıra eğitimin ulaşılabilirliği de artmıştır. Bu dönemden önce zengin ve orta sınıfa yönelik olan eğitim sistemi, ikinci endüstri devrimi ile birlikte eğitimde yaygınlaşma başlamıştır (Mohajan, 2019).

1.1.3. Üçüncü Endüstri Devrimi Dönemi

İkinci Dünya Savaşı sonrasında internet ve bilgi iletişim teknolojilerinin hayatımıza giresi sonucunda otomasyon üretim sistemi başlamıştır. Bilgisayarlar, lazer sistemleri, nükleer, biyoelektrik gibi sistemlerin hayatımıza girmesi ile Endüstri 3.0 Dönemi yaşanmıştır. İkinci Endüstri Devrimi Döneminde kullanılan bilgisayarlar internetin gelmesiyle üçüncü Endüstri Devrimi Dönemi kullanımı yaygınlaşmıştır. İkinci Dünya Savaşı sırasında, savaşta haritalama ve rotalama alanlarında kullanılan bilgisayarlar savaş sonrasında ise üretim ve tedarik alanında kullanılmaya başlamıştır. Tedarik zinciri yönetiminin internet aracılığı ile gelişmesi, kurumsal kaynak planlanması ve AR-GE gibi birçok yeni alanın geliştirilmesini sağlamıştır (Taha vd., 2017). Dijital devir olarak bilinen Endüstri 3.0 dönemi, bilgisayar ve internetin kullanımıyla birlikte bilgi teknolojisi gibi alanların oluşmasını sağlamıştır. Bilgi teknolojisi sayesinde üretim sistemini bilgisayarlar üzerinden kontrol edilebilir ve kullanılabilir hale getirmiştir. Bu dönemden öncesinde manuel olarak kullanılan üretim, planlama ve izleme sistemleri yerine bilgi teknolojileri aracılığı ile otomatikleştirilmiş yeni sistemler kullanılmaya başlanmıştır. Bilgisayarla Bütünleşik İmalat (CIM), Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD), Bilgisayar Destekli Üretim (CAM) ve Programlanabilir Lojik Denetleyici (PLC) bu tür sistemlerden bazılarıdır (Kılıç, 2023). Dünya kaynaklarının tükenmesi halkı ve devletleri sürdürülebilir enerji kaynaklarını kullanılmasını sağlamıştır. Önceki Endüstri devrimlerinde kömür veya

fosil yakıtlar gibi tükenbilir enerji kaynakları kullanırken üçüncü endüstri devriminde rüzgar, Güneş gibi yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmaya başlanmıştır (Taş, 2018).

Endüstri 3.0'ın Etkileri:

- Ekonomik - Finansal Etkileri: Yeni teknolojiler sayesinde gelişen ürünler ve hizmetler ticaretin küreselleşmesine olanak sağlamıştır. Pazar arayışının ve ticaretin hızlanması ekonomiye olumlu etkilemiştir. Yeni yatırım alanlarının gelişmesi bankacılık ve finans sektörünü daha canlandırmasına katkıda bulunmuştur. Üretim maliyetlerinin düşmesi ürün ve hizmet fiyatlarında da düşüşe sebep olmuştur. Bu düşün ürünlerin ve hizmetlerin daha geniş kesime erişmesini mümkün kılar ve halkın tüketim faaliyetlerinin değişmesine sebep olmuştur (Davutoğlu, 2020).

- Toplumsal Etkileri: Yeni teknolojilerin gelişmesi ile insan gücüne olan ihtiyacın azalması, işsizlik sorunu ortaya çıkarmıştır. Bilgisayarın ve internetin kullanımı, insan işgücünün yerine gelişen otomasyon sistemleri almıştır. Bu sistemler vasıfsız işçileri işsizliğe sürüklerken, vasıflı çalışan ihtiyacının artmasına neden olmuştur.

- Siyasal Etkileri: Küreselleşmenin hızlanması dış ticaretin artmasına ve uluslararası anlaşmaların güçlenmesini sağlamıştır. Teknolojinin gelişmesi ile daha gelişmiş eğitim, sağlık, güvenlik gibi alanların oluşması sağlanmıştır.

- Sosyal Ve Kültürel Etkileri: Teknolojik gelişmelerin artması, iş gücünde eğitilmiş elemanların ihtiyacının artmasına sebep olmuştur. Bu ihtiyaçların karşılanabilmesi için mesleki ve teknik eğitimlerin artmasına ve okul müfredatında değişikliklere sebep olmuştur. Mühendislik gibi meslek alanlarına duyulan ihtiyacın artması eğitimin verilen önemin artmasına ve eğitim sisteminin gelişmesini sağlamıştır. Bir diğer sosyal etkisi ise teknolojinin daha erişilebilir olması ve halk tarafından artık telefon, televizyon ve bilgisayar gibi teknolojik aletlerin kullanılabilirliğini sağlamıştır (İşler, 2022).

1.1.4. Dördüncü Endüstri Devrimi Dönemi

Almanya'da 2011 yılında Hannover Ticaret Fuarında tanıtılan Endüstri 4.0 terimi, Almanya'daki genç nüfusun ve iş gücünün azalması nedeniyle kaybedilen rekabet gücünün yeniden kazanmak amacıyla ortaya çıkan bir fikirdir. Endüstri 4.0, herhangi bir fiziksel güce ihtiyaç duymadan gelişen yeni teknolojiler aracılığıyla

birbiri ile iletişim kurabilen, daha hızlı çalışabilen, öğrenebilen, kontrol edebilen ve yönetebilen sistem amaçlamaktadır. Üretimi veya hizmeti daha kaliteli, ucuz, çevre dostu ve israf yapmadan üretmeyi hedeflemektedir (Tonga & Tonga, 2022). Endüstri 4.0'ın bir diğer amacı ise artan ürün ve hizmet çeşitliliğine ayak uydurabilmek ve talebe karşılık vermek amacıyla esnek üretimi amaçlamaktadır. Esnek üretim sayesinde müşteri odaklı üretimin yapılabilir ve daha çeşitli ürünlerin daha hızlı üretilmesini hedeflemektedir (Toker, 2018). Sensörler, nesnelerin interneti ve yapay zeka gibi gelişen yeni teknolojiler sayesinde algılayabilen, ihtiyaç analizi yapabilen ve karar verme sürecini destekleyen sistemler oluşmuştur. Bu sistemlerin birbiri ile iletişim kurabilen ve yönetebilen akıllı fabrikaların ve akıllı makinelerin oluşmasını sağlamıştır (Burns & Stalker, 1994).

Özetle 4.Endüstri Devrimi, imalat ve hizmet sektöründeki ürünlerin ve birimlerin, birbiri ile iletişimi sayesinde elde edilen verilerin erişilebilirliğidir. Birbiri ile eş zamanlı faaliyet gösterip çalışan bu sistemler, bu dönemin diğer dönemlerden ayıran en büyük özelliğidir (Sürmen, 2019).

Endüstri 4.0'ın Etkileri

- Ekonomik – Finansal Etkileri: Ürün çeşidi fazla olan sanayiler yani otomobil, tekstil ve gıda sektörü gibi sanayiler esneklikten yararlanarak ekonomik ve finansal alanda yükselişe geçmişlerdir. Yeni gelişen teknolojiler sayesinde hata oranlarını azaltarak israftan kurtulurken aynı zamanda daha yüksek kaliteli üretim sistemi oluşturmuşlardır (Taha vd., 2017). Üretim maliyetlerinin düşmesi ve verimliliğin artmasının yanı sıra müşteri odaklı esnek üretimin başlaması, tüketici memnuniyetinin artması yatırımların da artmasına aracı olmuştur. Sistemin, şeffaflık ilkesi ile üretimden müşteriye tedarikine kadar izlenebilir ve denetleyebilir olması, firmalara olan güvenin artmasına ve bu sayede de yatırımların artmasına sebep olmuştur (Kasa, 2020). Dördüncü Endüstri Devriminde seri üretimin hızlanması, otomasyonun hızlanması, şeffaflığın sağlanması, çalışan sağlığı ve güvenliğindeki olumlu gelişmeler firma ekonomisi bakımından olumlu gelişmelere neden olurken, öte yandan akıllı sistemlerin ve robotların hayatımıza girmesiyle emek gücüne olan ihtiyaç oldukça azalmıştır. İşsizliğe sebep olan emek gücünün azalması, ekonomik olarak olumsuz etkileri arasındadır (Dikkaya vd., 2018).

- Toplumsal Etkileri: Yapay zeka, otonom robotlar, nesnelerin interneti, büyük veri analizi ve benzeri gelişmiş teknolojilerin ortaya çıkması ile insan gücüne duyulan ihtiyaç oldukça azalmaktadır. Özellikle otonom robotların ve makineleşmenin gelişmesi, vasıfsız işçileri işsizliğe sürüklemektedir. Öte yandan firmalarda azalan çalışan sayısı, çalışanların iş konforunu oldukça yükseltmektedir. Çalışanlara daha değer veren, eğitimlerini ve gelişmelerini destekleyen sistematik yollar izlenmiştir. Esnek çalışma saatleri, gelirlerinde artık gibi gelişmeler yaşanmıştır. Kısacası, çalışanların daha verimli çalışmaları için çalışmalar başlatılmıştır (Taha vd., 2017).

-Siyasal Etkileri: Almanya’da nüfustan kaynaklı iş gücü ve işçi sıkıntısı yaşanırken, Çin ve Hindistan gibi ülkelerde nüfus fazlalığı ve ucuz iş gücü sayesinde rekabet üstünlüğü sağlanmıştır. Bu durumun önüne geçmek isteyen Almanya endüstrilerini büyütmeyi ve geliştirmeyi hedefleyen Endüstri 4.0 kavramını tanıttıktan sonra 2013 yılında yani 2 sene sonra Dördüncü Endüstri Devrimini Dünyaya tanıtmışlardır. Bu durumda Dördüncü Endüstri devrimine ayak uyduran firmalar hızla yükselirken aynı zamanda ülke ekonomilerini ve ticaretlerini canlandırmaktadır. Bu sayede Dördüncü Endüstri Devrimi ülkeler arasındaki siyasal üstünlüğü sağlamaktadır (Barutcu, 2019).

- Sektörel Etkileri: Teknolojinin gelişmesi yeni iş olanaklarının önünü açmıştır. Yazılım, veri analisti gibi yeni sektörlerin gelişmesine neden olmuştur. Endüstri 4.0 Döneminde üretimde, tedarikte, lojistikte, tarımda ve sağlık sektöründe gibi birçok alanlarda büyük değişimler ve gelişmeler sağlamıştır (Taha vd., 2017).

1.2. Endüstri 4.0’ın Temel Prensipleri

1.2.1. Birlikte Çalışabilirlik: Nesnelerin interneti aracılığı ile insanların, makinaların, araçların ve fabrikaların birbiri ile iletişim kurarak karşılıklı çalışmasıdır (Yıldız & Ağdeniz, 2019). İnsanların internet ağları sayesinde makinelerle veya araçlarla iletişime geçebilme ve bu iletişimin çift taraflı sağlanması prensibidir. Yani iletişime geçilen makine, fabrika veya araçlardan geri bildirim alabilmektedir. İnsan – makine arasında kurulan bu köprü sayesinde bütünsel bilgi ve güvenilirlik anlamında daha etilidir. Çünkü birbirlerine bağlı makineler, insanlar, fabrikalar ve iletişim teknolojileri çeşitli kaynaklar aracılığı işle iş birliğine sahiptir.

1.2.2. Sanallaştırma: Nesnelerin dijitalleşmesi ile oluşan “ayna dünya” olarak da bilinen fiziksel nesnelerin sayısallaşması ve görselleştirilmesidir (Yıldız &

Ağdeniz, 2019). Sensorlar aracılığı ile akıllı fabrikaların sanal bir kopyasını oluşturarak sistem üzerinden kontrolünü sağlar (Özkan vd., 2018). Sistemler arası köprüünün kurulabilmesi için birlikte çalışabilirlik prensibinin kullanılması gerekmektedir. Bu durumda Birlikte çalışabilirlik prensibi olmadan, sanallaştırma prensibi kullanılması mümkün değildir.

1.2.3. Yerinden Yönetim: Özerk Yönetim olarak da adlandırılan bu prensip, Siber-Fiziksel sistemlerin kendi kararını kendi verme yeteneğidir (Özkan vd., 2018) (Yıldız & Ağdeniz, 2019).

1.2.4. Gerçek Zamanlı Yetenek: Gerçekleşebilecek sıkıntılı durumlara anlık müdahale etmek amacıyla verilerin toplanıp analiz etme yeteneğidir. Bu sayede sadece fiziksel olarak değil, fabrika dışından da müdahale edilmesini sağlar. Aynı zamanda veri ve sistem anlayışının hızlı bir biçimde yapılmasına olanak sağlar. Anlayışın hızlanması kararların daha çabuk alınıp müdahale edilmesini sağlar (Yıldız & Ağdeniz, 2019) (Özkan vd., 2018) (Arslan & Delican, 2020).

1.2.5. Platform Odaklı Hizmetler: Hizmetlerin internet aracılığıyla, siber-fiziksel yapılar herkes tarafından ulaşılabilir olmuştur. Bu sayede montaj hattı, üretim hattı, ulaşım hattı ve depolama gibi hizmetler daha ulaşılabilir hale gelmiştir (Yıldız & Ağdeniz, 2019) (Arslan & Delican, 2020).

1.2.6. Modülerlik: Değişen çevre şartları, müşteri talepleri ve ihtiyaçlarına kolaylıkla uyum sağlayabilmesi için üretim sisteminin daha esnek olmasını sağlar (Yıldız & Ağdeniz, 2019). Doğrusal üretim ve planlama yaklaşımlarından vazgeçilerek; müşterilerden, tedarik zinciri ortaklarından, pazar koşullarından ve üretime neden olan diğer tüm olası etkenlerden kaynaklanan değişen taleplere başa çıkma yeteneğidir. Üretimde çeşitliliğin artması ve müşteri odaklı hizmet, Ar-Ge ve inovasyon faaliyetlerinin artmasına yol açmıştır. Bu sayede gelişen teknolojilerle birlikte Endüstri 4.0'ı etkileyen teknolojik altyapının oluşumu ve gelişimi gözlemlenmiştir. Sistemlerin daha hızlı ve kontrolü yapılabilir şekilde gelişmesi için yenilikçi teknolojilere ihtiyaç duyulmuştur. Bunlara örnek olarak akıllı sistemler ve fabrikalar, yapay zeka, otonom robotlar ve nesnelerin internetidir.

1.3. Endüstri 4.0'ın Teknolojik Altyapısı:

Sensörler: Fiziksel faktörleri algılayarak elektriksel bir sinyal oluşturma sistemidir. Çevredeki fiziksel, kimyasal ve biyolojik hareketleri, ışığı ve olayları algılayarak ölçüm yapabilme özelliğine sahiptir.

İnternet: 3. Endüstri Devrimi döneminde hayatımız giren internet, 4. Endüstri Devriminde cihazların birbiri ile iletişim kurabilen bir sistem haline gelmiştir. Cihazlar arasında gerçekleşen bilgi alışverişi ve iletişim ise Nesnelerin İnterneti teknolojisini oluşturmaktadır.

Ağlar: İnternet aracılığı ile cihazların birbirleri ile iletişim kurması sağlayan bir sistemdir. Ağ kavramı kullanım alanlarına göre birçok farklı anlamı taşıyabilmektedir. Cihazlar arasında veri iletişimini sağlayan ağlardan, yapay zeka kullanımında kullanılan ağaç ağlarına veya yapay sinir ağlarına kadarki tüm birbiri ile iletişim sağlayan teknolojileri bağlayan ağ olarak tanımlamak mümkündür.

IP (Internet Protocol): Türkçeye İnternet Protokolü olarak çevrilen IP teknolojisi, cihazların internet sayesinde birbirleri ile iletişimini sağlayan en temel teknolojidir. Cihazların birbirleri ile iletişim kurmasına, veri alışverişinin yapılmasına olanak sağlayan en temel kavramdır.

Veri: Ham bilgi olarak tanımlayabileceğimiz veri kavramı, bir durum hakkında toplana tüm bilgileri ifade eder. Fiziksel ve fiziksel olmayan her türlü bilgi toplanabilir. Veri, ölçünler yapılmadan veya analizler yapılmadan hiçbir anlama kavuşamaz. Anlamlandırılabilmesi için verinin analiz edilmesi gerekmektedir.

Otonom: İnternet ve Sensör teknolojilerinin gelişmesi ile kendi kendine karar verebilen ve çalışabilen otomatik sistemler gelişmiştir. Otonom kavramı da bu kendi kendine otomatik karar verebilen ve çalışabilen sistemi ifade etmektedir. Makinelerin otomatikleşmesi sayesinde insan faktörü en aza inmesinin yanı sıra insan gücü ile yapılması zor ve tehlikeli işleri makinelerin otomatik bir şekilde kullanılması gerçekleşmiştir.

Uzaktan Kumandalar: bir cihazı veya sistemi, fiziksel olarak yanında bulunmadan kontrol etmeye yarayan teknolojidir. Kablosuz sinyaller aracılığı ile fabrikalardan evimizdeki teknolojileri yönetmekte kullandığımız bir cihazdır.

Kontrol Paneli: Bir sistemi veya cihazı izleme, yönlendirme ve kontrol etmemizi sağlayan bir fiziksel sistemdir. Kullanıcının daha kolay erişebileceği bir ara yüz veya ekran ile sistemi kontrol etmekte kullanılmaktadır. Uzaktan kumada teknolojisinin gelişmiş hali olan kontrol paneli sistemi de fabrikalardan, evimizdeki teknolojileri yönetmekte kullanılan bir sistemdir.

Akıllı Sistemler: 4. Endüstri Devriminin tüm teknolojilerini kullanabilen ve her sistemi kendi kendine çalışabilen, kontrol edebilen bir sistemi oluşturabilmektedir. Kendi kendine verileri toplayabilir, topladığı verileri analiz edebilen, bu analizler sonucunda karar verebilen ve uygulamaya geçebilen bir sistem oluşturmak bu teknoloji ile mümkündür.

1.4. Endüstri 4.0'ın Bileşenleri

1.4.1. Nesnelerin İnterneti:

Nesnelerin İnterneti, birden çok teknolojik cihazların birbirine bağlanmasıyla, sorunsuz bir şekilde iletişim kurmasını sağlayan sistemdir. Sensörlerden, karmaşık makineler kadar teknolojilerle fiziksel ve sanal nesnelere, internet üzerinden haberleşebileceği, bilgi toplayabileceği bir sistemi oluşturur. Güncel ve gerçek verileri üretilen, bu verileri toplayarak analizlerinin yapılması, kontrollerin yapılması ve otomatik karar alınmasında büyük bir rol oynar. Nesnelerin interneti sayesinde insan-makine iletişiminin sağlanması ile birlikte uyumun artması ve birlikte çalışabilirliğin gerçekleşmesi gözlemlenmiştir. İnternet ağı üzerinden, hem makinelerle hem insanlarla iletişim kurabilen bu sistem, iş süreçlerinin yönetilmesinde, bu süreçlerin şeffaflaşmasında ve esnekleşmesinde verimliliği arttırmaktadır. Cihazların izlenmesinde ve kontrol edilmesinde büyük rol oynayan nesnelerin interneti, olası arızaların önüne geçerek bakım maliyetinden kurtararak maliyet tasarrufu sağlar. Tedarik zincirinin her aşamasını izleyerek, aksaklıkları, stok durumunu ve olası akıştaki gecikmeleri öngörebilir.

Nesnelerin İnterneti dört ana süreçten oluşmaktadır. Sensörler aracılığı ile fiziksel dünyadaki olayların algılanması, algılanan olayları yani verilerin iletilmesi, toplanan verilerin analizlerinin yapılması gerekli kararların alınması yani hesaplanması ve alınan kararlar doğrultusunda aksiyonların uygulanmasıdır. Kısacası, nesnelere tarafından algılanan tepkiyi veya süreci, sisteme aktararak, tanımlanmış özellikler sayesinde verilen tepki konutlarıdır (Arslan & Delican, 2020).

Veri yönetiminin ve süreçlerin kontrollerinin hızlanması sayesinde üretkenlikte artış, maliyette azalış, kaynak kullanımının daha verimli hale getirilmesi, yeni çalışma alanlarının ve iş modellerin oluşmasına, depolama ve stok kontrollerin sağlanmasıyla band genişliğinin artmasına ve birçok avantaja olanak sağlamıştır (Salğar & GÜLBAHAR, 2018).

1.4.2. Bulut Bilişim Sistemi:

Bulut bilişim sistemi, internetin gelmesi ile birlikte dijital sistemde saklanan verilerde artış ve bu verilerin saklanmasına olan önemin artması sonucunda ihtiyaç duyulan kapasite alanı sağlayan bir hizmettir. Cihazın kapasitesinin yetmediği durumlarda bulut sistemi, verilerin bulutta saklanması ile birlikte cihaz kapasitesinin arttırma maliyetinden kurtararak firma için avantaj sağlar. Çünkü bu sistem sınırsız bir kapasiteye sahiptir ve ihtiyaç duyulduğu kadar kullanılma özelliği vardır. İhtiyaç duyulduğu kadar kapasiteyi arttırıp azaltabilir ve kullanıldığı kadarını ödeme olanağına sahiptir (Sürmen, 2019).

İnternet tabanlı olan bu sistem, verilerin erişilebilirliğine olanak sağlamaktadır. Ağ tabanlı bir sistem olduğu için ağ tabanlı diğer cihazlardan da erişim sağlanma avantajını kullanarak veri paylaşımına olanak sağlar. Verilerin erişiminin ve paylaşımının kolay olması, farklı cihazlar ve sistemler üzerinden grup halinde çalışılmasına olanak sağlar ve grup uyumunun sağlanmasını kolaylaştırır (Arslan & Delican, 2020).

Bulut bilişim teknolojisi sayesinde kurum içi bilgisayarlarda ve arşivlerde veri depolamak yerine, internet ağı ile buluta depolanması sayesinde, kullanıcıların istedikleri yer ve zamanda erişim sağlanabilme olanağı oluşmuştur. Akıllı cihazlar arasında nesnelere interneti sayesinde kurulan iletişim sayesinde büyük veri ve bulut bilişim hizmetinin birlikte kullanımı ile endüstriyel devrim oluşmuştur ve yeni bir döneme girilmiştir. Birlikte çalışan bu sistemler sayesinde, farklı teknolojilerle veriler depolanabilir, analiz ve testler edilebilir ve kontrolleri sağlanabilmektedir (Barutcu, 2019).

Bulut bilişim sistemi, 3 farklı servis hizmeti sunmaktadır. Bunlar; Bulut yazılım servisi (Software As A Service (SaaS)), Bulut platform servisi ((Platform As A Service (PaaS)) ve Bulut altyapı servisidir (Infrastructure As A Service (IaaS)) (Barutcu, 2019).

Bulut bilişim sistemi, farklı alanlarda ve biçimlerde kullanılabilir. 4 farklı uygulama modeli sunmaktadır. Bunlar:

- Genel Bulut: İnternet ağı üzerinden erişimin sağlanabilen ve bu sayede kaynakların kullanıcılara erişimi açık olan sistemdir. E-posta, ofis programları ve depolamada kullanılır. Örneğin, Google ve Microsoft platformlarının yani web tabanlı kaynaklarının kullanıcılara internet üzerinden erişilebilir olmasıdır.
- Özel Bulut: Gizliliğin yüksek olduğu bulut bilişim hizmetidir. Depolama, uygulama ve paylaşım özelliğinin tek bir firmaya ve/veya kurucunun erişimine izin verildiği sistemdir. Verilerin firma içi ağda ya da özel bulut sisteminde saklanması olanağından dolayı gizliliğe önem veren büyük firmalarda tercih edilir.
- Melez Bulut: Genel ve Özel Bulut hizmetlerinin birleşimi olan bu bulut sistemi, firmalara özel olarak hazırlanan bir bulut teknolojisidir. Buluttaki kaynakların ve bulutta bulunmayan kaynakların birleştirilmesiyle oluşur. Depolama ve test etme gibi hizmetlerinde ise genel bulut sistemi özelliğini taşır. Depolama dışındaki hizmetler için ise dışardan hizmet alabilme özelliğine sahiptir.
- Topluluk Bulutu: Birden fazla firmanın ortak kullanımına ve kullanıcıların verilere erişebilmesini sağlayan bulut hizmetidir (Tonga & Tonga, 2022).

Bulut bilişim teknolojisi kısaca, fiziksel bir alana ihtiyaç duymadan ağa bağlı cihazlar ve yazılımlar sayesinde internet üzerinden bulutta veri depolama hizmetidir. Bu hizmet sayesinde büyük verilerin depolanması, analizlerinin edilmesi ve güvenle saklanması sağlanmıştır. Depo alanının artırılıp azaltılması sayesinde ise ihtiyaca göre kullanım ve kullanılan alan kadar ödeme yöntemi gerçekleşmiştir.

1.4.3. Büyük Veri ve Analizi:

Teknolojinin hızla gelişmesiyle bilgiye ulaşmak artık çok daha kolaydı. Bilgiye olan erişimin artması, ihtiyaç dışındaki bilgilerin yani yararsız bilgi yığınının oluşmasına sebep olmuştur. Bu bilgi yığınının ihtiyaç olan bilgileri seçip, doğru teknolojiler ve stratejiler kullanılarak analiz edildiğinde, işletmelere önemli avantajlar sunmaktadır (Arslan & Delican, 2020).

Bulut bilişim sistemleri ve nesnelerin interneti gibi teknolojilerin gelişmesiyle, verilerin toplanması, işlenmesi ve analiz edilmesi süreçlerinde büyük bir değişim yaşanmaktadır. Bu dönüşüm, geleneksel veri tabanı teknolojileri tarafından işlenemeyen büyük miktardaki verilerin analizi ve yönetimi için geliştirilen "Büyük Veri" kavramı oluşturmaktadır. Büyük miktarda verilerin toplanmasını ve bu verilerin anlamlı bilgiye dönüştürmesini büyük veri analizi olarak tanımlayabiliriz. Büyük Veri Analizi, sensörler gibi birçok kaynaktan verileri hızlı bir biçimde toplayıp kapsamlı analizler yaparak karar verme tekniklerine yardımcı olur ve istenilen sonuçları elde etmemizi sağlar. Olası hataların önceden tespit edilmesi, verimliliğin ve performansın iyileşmesi, esnek ve çevik ürünler veya hizmetler oluşturması gibi birçok faaliyetin gerçekleşmesine aracı olur (Gedik, 2021). Kısacası büyük veri analizi, verileri toplayı saklamada ve analiz etmede daha güçlü bir altyapı sunduğundan dolayı karar vermeye dayalı daha güçlü bir sistem kurmaktadır (Ortiz, 2020).

Büyük Veri beş temel birleşenden oluşmaktadır. Verinin farklı kaynaklardan oluşması "Çeşitliliği", veriyi üretme ve veriyi işleme "Hızı", büyük boyutlardan oluşması "Hacmi", verinin güvenilirliğini ifade eden "Doğrulama" ve büyük verinin sunduğu hizmetin katma değerini ifade eden "Değer" bileşenlerinden oluşmaktadır (Sürmen, 2019). Sonuç olarak Büyük Veri Analizi, büyük veriyi işleyerek daha kullanılabilir hale getirerek sunduğu hizmeti rekabet avantajına çevirmektedir. Firmalar ve işletmelerin isteklerini ve ihtiyaçlarını karşılama konusunda daha hızlı ve doğru kararlar alınmasına olanak sağlayarak bu teknolojik altyapı, Endüstri 4.0 teknolojilerinin arasında önemli bir yere sahip olmuştur.

1.4.4. Siber Fiziksel Sistemler:

Siber Fiziksel Sistemler, üretim sürecindeki izleme, kontrol etme ve organize çalışma gibi sistemin çalışmasındaki ana ilkeleri bütünleşik teknoloji ile kullanan sistemdir. Bu sistem sayesinde fiziksel makinelerin, siber teknoloji ile entegre olmasıyla, makinelerin daha akıllı ve gelişmiş versiyonu oluşur (Arslan & Delican, 2020).

Siber Fiziksel Sistemler, insan gücü ile gerçekleştirilmesi zor işlerde hızlı ve anlık iş yaparak, insan gücüne oranla daha yüksek performanslı ve kaliteli uygulama sağlar. Günümüzde de hemen hemen her alanda kullanılan bu sistemler: sürücüsüz arabalarda veya akıllı bir arabadaki otomatik fren sisteminde, robotik cerrahi alanlarda

daha hassas işlerde görevlendirilmesinde, depreme dayanıklı akıllı binaların oluşturulmasında, akıllı üretim ve tedarik sistemlerinde, evde kullanılan akıllı robotlarda kullanılmaktadır. Kısacası, fiziksel ve siber dünya arasında entegre oluşturularak insan gücünden daha hızlı, hassas, tutarlı, yanıt verme yeteneğine sahip ve organize çalışan bir sistemdir (Wing, 2008).

Siber-fiziksel sistemler, gerçek zamanlı çalışmanın bir sonucudur ve çevrelerindeki değişikliklere dinamik olarak tepki verebilirler. Bu yetenek, özellikle gözlemlene ve otomatik üretim gibi zamanla ilgili endüstrilerde hayati önem taşır. Bulut Bilişim teknolojisi, Büyük Veri Analizi ve Yapay Zeka teknolojilerinin entegrasyonu ile çalışan bu sistem, geçmiş verilerden öğrenerek operasyonel verimliliği zaman içinde artırmayı hedeflemektedir. Kısacası Siber Fiziksel Sistemler, karma teknolojilerden oluşan bir bütün sistemdir (Barutcu, 2019).

1.4.5. Siber Güvenlik:

Dördüncü Endüstri Devrimi ile hayatımıza giren teknolojiler, kullanım kolaylığı ve erişilebilirliği yüzünden firmalar için güvenlik tehdidi oluşturmaktadır. İnternet hizmeti, Büyük Veri ve Bulut Bilişim gibi teknolojiler sayesinde saklanıp, toplanan bilgilerin korunması firmalar ve güvenlik hizmetleri için önemli bir yere sahiptir. Bu bilgilerin kötü amaçlarda kullanılmasının ve sızdırılmasının önüne geçmek amaçla Siber Güvenlik teknolojisine ihtiyaç duymaktadır. Siber Güvenlik; bilgisayar sistemlerinin, ağların ve verilerin korunmasında ve güvenliğinin sağlanmasında büyük bir rolü vardır. Gelişen teknolojiler, yapay zeka ve makine öğrenimi gibi teknolojiler sayesinde oluşturdukları sistem ve süreçler sayesinde olası tehditleri algılayabilen ve yapılan saldırılara karşı koruyucu kalkan oluşturabilen bir sistem kurmayı hedefler.

Fiziksel, biyolojik ve dijital sistemlerin birbiri ile entegre olmasıyla üretimden lojistiğe, iletişimden enerji sistemlerine kadar tüm alanlarda dönüşüm sürecini başlatmıştır. Bu dönüşüm, yeni nesil teknolojilerle üretim sistemlerini optimize ederken; artan dijitalleşme, yapay zeka ve nesnelere interneti gibi teknolojik gelişmeler siber güvenlik ihtiyacını hiç olmadığı kadar ön plana çıkarmaktadır. Kötü amaçlı yazılımlar, fidye yazılımları, kimlik avı saldırıları ve veri ihlallerinin önüne geçmek amacıyla kurulan Siber Güvenlik Teknolojileri, kişisel verilerin

korunmasında, kurumsal verilerin korunmasında ve devlet güvenliğinin kurulmasında önemli bir rol oynamaktadır (Arslan & Delican, 2020).

1.4.6. 3 Boyutlu Yazıcılar:

3D yazıcılar olarak da bilinen bu sistem 3 boyutlu CAD (bilgisayar destekli tasarım) çizimleri sayesinde elde edilen verilerle 3 boyutlu fiziksel nesleler oluşturulmasını sağlayan teknolojidir. 3 Boyutlu Yazıcılar katmanlı üretim yöntemi kullanarak ısı ile şekillendirilebilen termoplastik polimer malzemesini kullanarak üretim yapar. Yani hammaddesi plastikten oluşan mu ürünler lazerler, elektron ışın kaynakları, UV (Ultraviyole) kürleme gibi üst üste yığılma yöntemi ile oluşurlar. Bu yazıcılarda araç, yedek parça ve motor gibi birçok fiziksel parça üretiminin üretilmesine olanak sağlar. 3D yazıcılar tarafından kullanılan teknolojiler:

FDM (Fused Deposition Modelling) teknolojisi: Türkçeye Erimiş Biriktirme Modeli olarak çevrilen bu yöntem, günümüzde en çok tercih edilen 3D baskı yöntemidir. Hammadde olarak filament kullanır ve hammaddenin yüksek ısı ile eriterek katmanlı üretim yapar.

SLS (Selective Laser Sintering) teknolojisi: Seçici Lazer Sinterleme olarak bilinen bu teknoloji, lazer teknolojisini kullanarak metal, alaşım, seramik ve polimer gibi hammaddeleri toz halinde kullanarak lazer ışığının geldiği bölgeleri yakarak baskın yapma yöntemidir.

SLA (Stereolithography) teknolojisi: Stereolithography teknolojisi ile lazer ışığıyla hammadde olarak kullanılan reçineyi katılaştırarak baskı yapar. Dünyada kullanılan ilk 3D baskı teknolojisi olan bu yöntem, daha hassas parçaların üretimi için tercih edilir.

MJF (Multi jet fusion) teknolojisi: Türkçeye Çoklu Jet Teknolojisi olarak çevrilen bu yöntem, daha hızlı üretim yapmak için tercih edilir. Toz halindeki hammaddeleri üst üste yapıştırma teknolojisi ile baskı yapmaktadır.

Polyjet teknolojisi: UV (Ultraviyole) ışığı kullanarak tabla üzerine fotopolimer reçine püskürtülerek katlaşmasını sağlar ve katmanlı baskı yapılır (Tonga & Tonga, 2022).

Üç Boyutlu Yazıcılar sayesinde üretim sistemi bilgisayar ortamından yönetileceği için, üretimde hızlanma ve üretim sürelerinin kısılması sayesinde stok ve

depolama hizmeti azalacaktır. Bu sayede firmaların depo maliyetleri azalma ve israfın ortadan kalkmasına aracı olacaktır (Radivojević & Milosavljević, 2019).

1.4.7. Simülasyon:

Simülasyon, siber fiziksel veriler gibi gerçek dünyada var olan sistemleri, sanal bir ortamda modellenmesiyle sistemin dijital kopyasının oluşturulmasıdır. Dijital ikiz olarak da adlandırılan bu sistem, mevcut verilerle oluşturulan sanal ortamda gerekli gözlemlerin yapılmasına, hizmetin sanal ortamda test edilmesine olanak sağlar (Genç & Tunalı, 2022).

Simülasyon teknolojisi sayesinde, fiziksel var olan süreçleri sanal ortamdan izleyebilir, problemleri öncesinden öngörüp analizler yapılarak sorunların oluşmasını minimuma indirebilir, bu problemler karşısında nasıl çözüm yolları uygulayabileceklerinin testlerini yapılabilmektedir. Oluşabilecek problemlerin öngörülmesi sayesinde risk analizleri yapılır ve bu analizler, karar verme sürecini optimize edebilmektedir. Olası hataları minimuma indirmesi sonucunda işletmeler hem zamanda, hem malzeme ve işçilikten, hem de maliyetten israfın önüne geçerek masrafları minimuma indirebilmektedir (Sürmen, 2019).

4. Endüstri Devrimi için önemli yere sahip teknolojilerden biri olan Simülasyon teknolojisi, üretim, tasarım ve operasyonel süreçlerine olan katkıları, süreçleri optimize etmenin yanı sıra işletmelere büyük ölçekte kar avantajı sağlamıştır. Simülasyon sadece süreçleri takip etmede değil; işçi eğitimlerinde, iş sağlığı ve güvenliğinde, üretim bandı tasarımında, yeni ürünlerin geliştirilmesinde gibi birçok alanda kullanılarak teknolojiye yeni bir çağ başlatmıştır.

1.4.8. Arıtılmış Gerçeklik ve Sanal Gerçeklik:

Arıtılmış gerçeklik, fiziksel ve dijital dünya arasındaki entegrasyonu sağlayarak dijital ortamda gelişen sistemleri, gerçek görünümünü oluşturmaya çalışır. Bilgisayar ortamında hazırlanan ses, görüntü, veri ve grafikleri yeni fiziksel görünümünü elde ederek gerçek dünyadaki nesnelere etkileşimde bulunmasını sağlar (Arslan & Delican, 2020). Sanal gerçeklik ise arıtılmış gerçeklikten farklı olarak fiziksel dünyadan ayrılarak tamamen dijital ortamda sistemin yürümesidir. Arıtılmış gerçeklik sistemi gerçek dünyada dijital nesnelere üzerinden yapılandırırken, sanal gerçeklik dijital ortamda sahne yaratarak sanal dünyada, sistemi gerçek dünyadan koparır (Kılıç, 2023). Her iki teknoloji de bilgisayar üzerinden oluşturulan iki sistem

olsa da sanal gerçeklik sayesinde gelişen grafiklerin zenginleşmesi sayesinde artırılmış gerçeklik teknolojisinin gelişmesine sebep olmuştur. Her ne kadar birbirinden farklı iki teknoloji olsalar da sanal gerçeklikte oluşturulan dijital dünyadan yararlanarak, gerçek dünyada iyileştirilmesinin yapılmasını sağlar artırılmış gerçeklik (Bulut & Akçacı, 2017).

Günümüzde sağlık, eğitim, inşaat, ulaşım, lojistik gibi birçok alanda kullanılan bu iki teknoloji, uygulama alanlarının gittikçe artması sayesinde iş gücünde kolaylık sağlamıştır. Mühendislik ve Mimarlık alanında tasarımların önceden gerçekçi yapı ile görüp, tasarımın oluşması sonucunda yaşanabilecekleri test etmede kullanılmıştır. Sağlık alanında, hastalığın tanısı ve tedavisinin kolay bir şekilde yapılmasını sağlayan teknolojiler kullanılmıştır (Tonga & Tonga, 2022). Artırılmış Gerçeklik teknolojisi sayesinde üretim, dağıtım, lojistik süreçlerini yöneterek tedarik zinciri entegrasyonunun sağlanmıştır. Örneğin depolama alanında kullanılan akıllı gözlüklerin kullanılması sayesinde ürünlerin ayrılması ve paketlenmesi süreçlerinin yapılabilmesidir (Radivojević & Milosavljević, 2019).

1.4.9. Akıllı Fabrikalar:

Endüstri 4.0 Döneminde hayatımıza giren nesnelerin interneti, Büyük Veri, Sensörler, Yapay Zeka gibi birçok teknolojinin birleşmesi ile ortaya çıkan Akıllı Fabrikalar, tamamen dijitalleşmiş ve otomatikleşmiş bir fabrika sistemidir. Üretim, dağıtım gibi alanlarda faaliyet gösteren Akıllı Robotlar, Sensörler ve Nesnelerin İnterneti gibi teknolojiler sayesinde birbiri ile iletişim kurarak entegrasyonu sağlar. Makine ve insan iletişiminin daha iyi kurulduğu bu sistemde üretim istemindeki sürecin daha verimli, seri ve hatasız gerçekleşmesi sağlanmıştır (Arslan & Delican, 2020).

Akıllı fabrika sisteminin en önemli kaynağı olan akıllı makineler, işletmeler arasındaki rekabet gücünün artırmıştır. Bu artışın nedenleri arasında ürün çeşitliliğinin sağlanabilmesi, ürün gelişiminin mümkün olması, üretim kapasitesinin artması ve üretim hızındaki artıştır. Müşteri odaklı üretimin yanı sıra işletme sahipleri için de hatasız üretim sayesinde enerjiden tasarruf ve israfı azaltma gibi etkilere sahiptir (Sürmen, 2019).

Akıllı fabrikalar, Dördüncü Endüstri Devrimi teknolojilerinin neredeyse hepsinin kullanılarak oluşan fabrika sistemidir. Sensörler ve Nesnelerin İnterneti ile toplanan veriler Büyük Veriyi oluşturur. Bu büyük verinin saklanması bulut bilişim

sistemine ihtiyaç duyar. Üretim öncesi tüm sistemin tasarlanması sayesinde ihtiyaç olmayan ürünlerin fabrikada bulunmaması, gereksiz ürünlerin depolanması ihtiyaç kalmaması yalın üretim sistemini getirmiştir. Yalın üretim sayesinde müşteri odaklı, müşteri isteklerini yerine getiren ve gereksiz ürün bulundurmama ve gereksiz üretimin gerçekleşmemesi sağlanmıştır. Bu sayede Akıllı Fabrika sistemi ekonomik olarak büyük bir rekabet avantajı sağlamaktadır (Salğar & GÜLBAHAR, 2018).

1.4.10. Otonom Robotlar:

Daha önceki endüstri dönemlerinde operatörlerin desteği ile kullanılan robotlar; Yapay Zeka, Nesnelerin İnterneti ve Akıllı Sistemlerin gelişmesiyle kendi kendilerini yönetebilen, karar verebilen ve insan gücü olmaksızın kullanılabilen Otonom Robotları oluşturmuştur. Etrafındakileri algılama, harita oluşturma ve öğrenme özelliklerine sahip bu Yapay Zeka ile entegre robotlar, üretimde, sağlıkta, tarımda ve lojistikte gibi birçok alanda kullanılabilir (Salğar & GÜLBAHAR, 2018).

Otonom Robotlar, sensör teknolojisi sayesinde çevredeki olayları algılayabilmekte ve verileri toplayabilmektedir. Bulut Bilişim teknolojisini kullanarak uzaktan yönetilebilen bu robotlar, hem diğer robotlarla hem de sistemi yöneten veya kontrol eden insan faktörü ile etkileşim halindedir (Bulut & Akçacı, 2017).

İşçi sınıfının yerini alan Otonom Robotlar daha kaliteli, hızlı ve hatasız çalışma sistemlerine sahiptirler. Riskli işlerin robotlar tarafından yapılması iş kazalarının önüne geçmektedir. Yorulma kavramı olmayan bir sisteme sahi olduklarından dolayı daha hızlı ve aralıksız çalışma saatlerine sahiptirler. Otonom Robotlar, insan faktörünün hizmetine kıyasla hatasız hizmete sahip olduğu için gecikmelerin önüne geçer ve onarılması daha hızlı olmasından dolayı daha kaliteli hizmet sistemine sahiptirler. Tüm bu avantajlar Otonom Robotların, insan faktörüne kıyasla daha az maliyetle hizmet verdiğini ve işletmeler açısından daha karlı olduğunu göstermektedir (Arslan & Delican, 2020).

1.4.11. Yapay Zeka:

Dördüncü Endüstri Devriminde her yeni bir teknolojik gelişme başka bir gelişmenin yolunu açmaktadır. Nesnelerin interneti, bulut bilişim teknolojileri ve akıllı sistemler teknolojilerinin gelişmesi, Yapay Zekanın çalışmasını sağlayan en önemli teknolojilerdir. Yapay Zeka, insan beyninin işleyişi ve yapısından yola çıkarak

oluşturulan Dördüncü Endüstri Devriminin en büyük gelişmelerinden biridir. İnsanlar tarafında oluşturulan bu işletim sistemi aynı insanlar gibi öğrenebilen, düşünebilen ve ortaya fikir yürütebilen bir sistemdir. Sensörler, nesnelerin interneti gibi birçok kaynak sayesinde öğrenebilen, bu bilgileri algılayabilen ve bulut bilişim teknolojileri sayesinde bilgileri saklayabilen, iletişim kurabilen ve karar vermeye yardımcı olabilecek bir sistemdir (Sürmen, 2019).

Günümüzde hemen hemen her alanda kullanılabilen bu işletim sistemi; sağlık alanında erken teşhiste ve tedavi süreçlerinde, güvenlik hizmetlerinde siber saldırılardan korunmada ve risklerin önceden tespit edilmesinde, tedarik zincirinde süreç optimizasyonunda, stok yönetimi de depolamada müşteri ihtiyaçlarını tahmin ederek talep tahminleri yapmada, lojistikte ise rotalama, en kısa yok problemlerinde ve nakliye optimizasyonu gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

1.4.12. Sistem Entegrasyonu:

Dördüncü Endüstri Devriminde yaşanan teknolojik gelişmeler farklı sistemlerin işbirliği ile çalışmaya yönlendirilmiştir. Farklı yazılım, donanım ve sistemlerin bir araya gelerek uyumlu bir şekilde çalışmasını sağlanmasını sağlayan sürece Sistem Entegrasyonu denir. Yani birçok sistemin, tek bir sistem gibi organize çalışmasıdır (Gedik, 2021).

Üretim, planlama, tedarik zinciri yönetimi, lojistik ve satış gibi birbirini takip eden süreçlerde birbirlerini tamamlayarak hem şirket içi hem de şirket dışı faaliyetleri birbiri ile organize çalışmasını sağlar. Yani sistem entegrasyonunu iki alt başlıkta incelememiz mümkündür. Bunlar (Barutcu, 2019):

Yatay Entegrasyon: Şirketler arası entegrasyon olarak tanımlanabilir. Aynı sektörde faaliyet gösteren şirketler, ortak hedefler amacıyla rekabet avantajı sağlayabilmektedir. Ortak hedefler, bilgi alışverişiyle hem hedeflerine ulaşmakta hem de maliyeti düşürerek daha karlı bir sistem oluşturduklarından dolayı yatay entegrasyon, firmalar arasında tercih edilen bir sistemdir. Şirketler arası yapılan bilgi alışverişi ve iş birlikleri sayesinde daha esnek, hızlı ve kaliteli tedarik zinciri sistemi gerçekleştirilmektedir (Barutcu, 2019).

Dikey Entegrasyon: Şirket içindeki farklı sistemlerin birbirleri ile organize çalışmalarını dikey entegrasyon olarak tanımlayabiliriz. Hizmetin üretiminde yer alan hammadde temininden, nihai ürünün oluşup müşteriye teslimine kadarki süreci

kapsayan sistemdir. Şirket için bilgi alışverişinin ve iş birliğinin hızlanması, otomasyonun artmasını sağlamaktadır (Barutcu, 2019). Örneğin, dikey entegrasyon sisteminin ürünü olan Kurumsal Kaynak Planlaması (Enterprise Resource Planning (ERP)), üretim hattındaki sensörler aracılığı ile toplanan bilgileri alır ve sürecin verimliliğini optimize edilmesine olanak sağlamaktadır (Sürmen, 2019).

1.5. Endüstri 4.0 Devrimi İle Oluşacak İhtiyaçlar:

Dördüncü Endüstri Devrimi, diğer devrimlere kıyasla daha hızlı gelişen ve daha çok teknolojik gelişmelere sahiplik yapan bir dönemdir. Bu dönemde kalifiyeli elemanın daha çok ihtiyaç duyduğu ve kalifiyesiz elemanın ise iş dağılımının çok azaldığı bir dönemdir. İnsan iş gücünün en aza indirildiği bu dönemde işsizliğin artması mümkünken aynı zamanda kalifiyeli eleman ihtiyacı artmaktadır. Veri bilimi, makine öğrenmesi ve yapay zeka gibi teknolojilerinin gelişmesi, yeni eğitim ihtiyaçlarının artması ve eğitilmiş işçi ihtiyacının daha fazla olduğu bir döneme sürüklemiştir.

Bilginin sürekli artması, veri artışına sebep olmaktadır. Veriyi anlamlandırabilmek ve bu verileri kullanılabilmesi için büyük veri analizlerine ihtiyacın daha da artması yaşanabilmektedir. Aynı şekilde bu verilerin saklanabilmesi için gelişmiş bulut sistemleri önemli bir ihtiyaç haline gelmektedir.

Teknolojinin bu denli artması ve erişilebilirliğin kolaylaştırılması aynı zamanda siber güvenlik ihtiyacının artmasına sebep olmuştur. Bilgi güvenliği ve saklanması için güçlü bir güvenlik önlemlerine ihtiyaç duyulmasını sağlamıştır. Ağ güvenliğinin korunması, siber saldırılara karşı korunması için güçlü bir siber güvenlik teknolojisine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu devrim ile oluşabilecek bir diğer ihtiyaç ise daha sürdürülebilir ve çevre dostu sistemler oluşturmaktır. Döngüsel ekonomi ile geri dönüşümün sağlandığı ve enerji sistemi olarak çevre dostu teknolojiler kullanıldığı bir sisteme ihtiyaç duyulabilmektedir.

1.6. Türkiyede Endüstri 4.0:

Dördüncü Endüstri Devrimi, firmaların, işletmelerin ve devletlerin arasında rekabet gücünü büyük oranla etkilemektedir. Türkiye ise Endüstri 4.0 döneminin dönüşüm sürecine dahil olsa da, daha yolun başında yer almaktadır. Türkiye'nin coğrafi konumu, iş gücünün fazla olması ve düşük iş gücü maliyeti gibi faktörlerin bu

endüstri devrimi ile öneminin yitirmesiyle, rekabet avantajının altında kalmaktadır. Hem Kamunun hem de Özel Sektörlerin Endüstri 4.0 teknolojilerine ayak uydurması ve gerekli AR-GE çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Bu endüstri devriminde vasıflı işçiye duyulan ihtiyacın artması, işçi eğitimlerine ve yeni iş olanaklarına olan ihtiyacın artmasına neden olmuştur. Toplumun refah seviyesine katkıda bulunmayı hedefleyen bu devrimde, gelişen yeti teknolojilerle birlikte, dijitalleşme, mesleki dönüşümler ve vasıflı iş gücüne ihtiyaç artmaktadır (Taş, 2018).

1.7. Endüstri 4.0'ın Avantajları Ve Dezavantajları

1.7.1. Endüstri 4.0'ın Avantajları:

- Üretimde esnekliğin artması: Müşteri odaklı ve değişen herhangi bir koşula uyum sağlayabilme yeteneğidir. Modüler üretim sistemleri sayesinde talebe göre hizmeti mümkün kılar.
- Verimliliğin artması: Akıllı fabrikalar sayesinde üretim süreçlerinin optimizasyonu yapılarak hataların azaltılması ve hatta önlenmesi sağlanır.
- Maliyetlerin ve stokların azalması: Akıllı sensörler aracılığı ile stok yönetiminin kontrolü sağlanır ve optimizasyonu yapılabilir. Bu sayede israfın önüne geçerek maliyetlerin azaltılması sağlanır.
- Yeni hizmet ve iş modellerinin gelişmesi: Yapay zeka ve akıllı sistemler sayesinde gerçekleşen dijitalleşme, yeni ürün ve hizmetlerin gelişmesine olanak sağlar. Ar-Ge ve inovasyon çalışmalarına teşvik eder, müşteri odaklı hizmetin yani üretimde esnekliğin artmasına yardımcı olur.
- Sistemlerin izlenmesi ve kontrol edilmesinin kolaylaşması: Nesnelerin interneti ve Siber-Fiziksel sistemler ile üretim ve tedarik gibi sistemlerin izlenmesi sağlanmaktadır. Sensörler aracılığı ile işlemlerin algılanması ve nesnelerin interneti sayesinde cihazların birbiri ile iletişime geçilmesi sayesinde uyum içinde çalışma sistemi oturabilmiş ve sistemlerin kontrolü sağlanmıştır.
- Daha hızlı ve güvenilir kararların alınması: Sistemlerin izlenebilir ve kontrol edilebilir olması aynı zamanda kararların daha güvenli alınabilmesine olanak sağlamaktadır.
- Sürdürülebilir iş modelleri oluşturmak: Yenilenemeyen enerji kaynaklarının ve hammaddelerin azalması, küresel sorunlara ve endişeye neden olmaktadır. Bu

endişe sonucunda Endüstri 4.0, daha çevreci, yenilenebilen ve sürdürülebilir sistemler kullanmaktadır (OVACI, 2017).

- İnsan-makine işbirliğinin sağlanması: akıllı makineler ve yapay zeka aracılığı ile karar vermede oldukça avantaj sağlamaktadır. Daha hızlı ve doğru kararların verilmesine ve bunun gerçekleşmesine olanak sağlar.
- Rekabet avantajı sağlamak: Günümüzde teknolojik gelişmesiyle sosyal, kültürel ve ekonomik gibi birçok alanlarda gelişmelerin yolunu açmıştır. Hayatımızın her anında kullanılan bu teknolojik gelişmeler rekabet için önemli bir faktör haline gelmiştir. Müşteri ve tüketici ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik hizmetlerin artması, müşteri memnuniyetini ve bağlılığını sağladığından dolayı rekabet üstünlüğü sağlamıştır. Teknolojik yenilikleri takip eden ve uyum sağlayan işletmeler bu sayede Pazar paylarını koruyabilmiş ve rekabet üstünlüğü sağlayabilmişlerdir (Salğar & GÜLBAHAR, 2018).
- Tedarik zincirinin şeffaflaşması: Siparişlerin, teslimatların ve üretimin basitleşmesi ve takibinin kolaylaşması tedarikin daha güvenli ve sağlam adımlarla ilerlemesini sağlar. Bilgilerin erişilebilir olması ve kullanım avantajı karar verme süreçlerinin hızlanmasına ve doğru kararların verilmesine aracı olur.

1.7.2. Endüstri 4.0'ın Dezavantajları:

- İnsan gücüne duyulan ihtiyacın azalması: Makineleşme ve yapay zeka kullanımı ile insan gücüne duyulan ihtiyacın azalması işsizliğin artması gibi sorunlara neden olabilmektedir.
- Siber güvenlik ve gizlilik açığı: Dijital saldırılara karşı alınan önlemler olmadığı durumlarda veri sızdırılması gibi durumların yaşanması muhtemeldir. Aynı zamanda veri gizliliğinin korunması müşteri güvenliği açısından oldukça önemli olduğundan firma güvenilirliği için riskli durumlar oluşturabilmektedir.
- Yüksek maliyet: Personel eğitimi, yeni cihazlar, sistemler ve ekipmanlar gibi birçok yatırımların yapılması gerekmektedir.
- Adaptasyon zorluğu: İnsan gücüne duyulan ihtiyacın azalması ve teknoloji ile yeni gelişen işgücü ihtiyacına adapte olmak yerel halk için zorlayıcı olabilmektedir. Aynı zamanda çalışanların yeni teknolojilere uyum sağlaması hem zaman alıcı hem de maliyetli olabilmektedir.



2. TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ VE LOJİSTİK

2.1. Tedarik Zinciri Yönetimi

Tedarik zinciri, hammaddelerden son tüketiciye malların akışında ve dönüşümünde yer alan tüm faaliyetlerin ve üretimin sürecidir. Hammaddenin tedarikinden üretilmesine ve sonrasında ise son müşteriye ulaşmasına kadarki tüm süreci yönetmekte ise tedarik zinciri yönetimi kullanılmaktadır. Üretimin planlanmasından, talep ve arzlara göre siparişin alınmasında, stok ve depo yönetiminden müşteriye ulaşmasında yani ürünün lojistiğine kadarki tüm süreçleri yönetmekte tedarik zinciri yönetimi kullanılmaktadır (Gedik, 2021).

Tedarik Zinciri literatürde ilk olarak Houlihan (Houlihan, 1985) tarafından yapılan çalışmada, müşteriye malzeme tedarikinden, yarı mamul ve mamullere dönüşmesinden ve ürünün müşteriye dağıtılmasından, şirket içi ve dışı faaliyetlerin bir takım araçlarla süreci oluşturan ağ olarak tanımlamıştır. Tedarik Zinciri Yönetimi ise müşterilerin ve tedarikçilerin ihtiyaçlarına göre ürün, hizmet belirleyerek planlanmasının ve kontrollerinin yapılmasının süreci olarak tanımlamıştır (Dağdeviren & Erturgut, 2024).

2.2. Tedarik Zinciri Yönetiminin Aşamaları

Planlama: Arz ve taleplerin karşılanması, müşteri isteklerinin ve üretimin için gerekli kaynakların sağlanması amacıyla stratejik bir plana ihtiyaç duyulmaktadır. Tedarik zinciri yönetiminin ilk aşaması olan planlama, tedarikin verimli bir şekilde gerçekleşmesini sağlayan, sunulan hizmetin müşteri memnuniyetine göre hazırlanmasını sağlayan aşamadır (Tekin, 2014).

Hammadde ve Tedarik: Üretimde kullanılacak hammaddenin seçimi, üretim için gerekli kaynakların karşılanması için uygun bir tedarikçi seçimi aşamasıdır. Kapasiteye uygun ve güvenilir tedarikçi seçimi aşamasında fiyat, kalite ve stok yönetimi gibi faktörlere göre uygun tedarikçi seçilir.

Üretim: Hammaddenin işlenip müşteriye sunulacağı ürünün oluşturma aşamasıdır. Üretimin planlanması, ürün kalitesinin kontrolünün yapılması bu aşamada yapılmaktadır.

Depolama: Stok yönetimini düzgün yapabilmek amacıyla ve üretimi tamamlanmış ürünlerin muhafaza edilebilmesi amacıyla depolama sistemi yapılmaktadır. Burada müşteriye gitmeden önce ürünlerin son kontrollü ve dağıtım öncesi ürünlerin araçlara yerleştirilmesi için hazırlık yapıldığı aşamadır.

Dağıtım ve Lojistik: Bitmiş ürünlerin müşteriye dağıtımı, depo ve teslimat ağının optimize edildiği aşamadır. Müşteri memnuniyeti için teslimatın zamanında olması önemlidir ve bunun için uygun dağıtım rotasının ve lojistiğinin yapılması gerekmektedir.

Tüketiciye Ulaştırma: Tedarik zincirinin son aşaması olan ürünlerin müşteriye ulaşması aşamasıdır. Bu aşamada müşteri ürünlerin kontrolünü yapar ve geri bildirimlerini sunar. Müşteri memnuniyetinin karşılanmaması durumunda yani hatalı, hasarlı veya fazla ürünlerin iade işleminin yapılması ve tersine lojistik işleminin başlar. Tersine lojistik ile ürünler geri gönderim işlemine başlar ve tersine tedarik ile ürünler üreticiye geri iade edilir.

2.3. Tedarik Ağı

Tedarik zincirinin sürecinin daha kapsamlı, karmaşık ve çok katmanlı modellerinin oluşturulmasına tedarik zinciri ağı diyebiliriz. Hammaddeden son tüketiciye ulaştırılması kadarki geçen tüm süreci dinamik ve esneklik sağlayarak yönetilebilen bu süreçte karmaşık Pazar taleplerine ayak uydurabilerek hem müşterilerin hem de firmaların süreç memnuniyetini arttıran bir etkidir. Üreticilerden depolara, lojistikçilere yani sadece malzeme akışının yönetimi için değil, bu sürecin finansal, ekonomik ve bilgi akışını da içeren bütünleşik bir sistemdir. Tedarik ağı, tedarik zinciri yönetimini optimize ederek verimlilikte, esneklikte ve müşteri memnuniyetinde artışa sebep olmuştur.

2.4. Endüstri 4.0'ın Tedarik Zincirinde Kullanımı

Endüstri 4.0 döneminin başlamasıyla işletmeler arasında büyük değişimler yaratarak rekabet gücü açısından ayak uydurulması önemli bir yere sahip olmuştur. Gelişen teknolojik gelişmeler sayesinde gerek üretimde gerek tedarik zincirinin tüm aşamalarında hız, esneklik, verimlilik ve şeffaflık gereksinimi önemli bir etkiye sebep olmuştur. Bu teknolojik gelişmeler sektörün her alanında köklü değişikliklere sebep olmuştur. Bu değişimlere örnek vermek gerekirse:

Tablo. 1. Endüstri 4.0 Devrimi öncesi ve sonrası Tedarik Zinciri

Endüstri 4.0 Dönemi Öncesi	Endüstri 4.0 Dönemi
Sezgisel yöntemlerle kararlar verilirdi. Geçmiş deneyimlere göre manuel analizlerle kararlar alınır ve kriz anlarında hızlı karar almak zor ve riskliydi.	Bulut bilişim teknolojisi sayesinde saklanan verilerle büyük veri analizleri yapılabilir ve yapay zeka destekli karar verme sistemleri ile gerçek zamanlı analizler yapılabilir. Kriz anlarında senaryo analizleri yapılarak hızlı kararlar verilebilir.
Talep tahminleri genellikle geçmiş satış verilerine dayalı ve sektör analizleri ile bilgi alışverişi ile karar verilirdi ve talep değişikliğine hızlı yanıt verilemezdi.	Talep tahminlerinde kullanılan yapay zeka ve büyük veri analizi sayesinde anlık verilere dayalı tahminler yapılabilir. Esneklik sayesinde talep değişikliklerine hızlı yanıtlar verilebilir talebi karşılayabilir.
Üretimde esneklik sağlanamıyordu. Önceden belirlenen sayıda klasik üretim miktarı ile üretim yapılıyordu.	Esnek üretim süreçleri sayesinde talebe göre hızlı planlama ve üretim yapılabilir.
Stok kontrolü manuel olarak yapılıyordu. Stok fazlalığı veya eksikliği yaşanır ve stok kontrolü zaman alıyordu.	Sensörler ve nesnelerin interneti gibi gelişmiş teknolojilerle stoktaki hareketlenmeyi anlık olarak izleyip kayda alabilen teknolojiler gelişmiştir.
Teslimat süreleri ve rotaları manuel olarak hesaplanırdı. Araç takibi yapılamaz ve tedarik zincirindeki aksaklıkların fark edilip düzeltilmesi zaman alıyordu.	Nesnelerin interneti ve sensörler sayesinde gelişen teknoloji ile GPS teknolojisi kullanılarak araçların anlık izlenmesi ve takibi gerçekleştirilmiştir. Olası teslimat süresini ve rotasını planlayıp optimize edebilen ve herhangi bir sıkıntıda tabip sayesinde anlık müdahaleler gerçekleştirilebilir.

Dördüncü Endüstri Döneminin başlamasıyla birlikte tedarik zincirinin her aşamasında ve sürecinde etkili olan teknolojik gelişmeler, verimlilikteki artış sayesinde süreçleri hızlandırmıştır. Süreçteki insan faktörünün azalması sayesinde iş gücüne olan ihtiyacın daha da azalması aynı zamanda iş kazalarının önüne geçmiş ve kaynak kullanımını takip ederek stok kontrolünü optimize ederek fazla maliyetten kurtarmıştır.

2.5. Tedarik Zinciri Yönetimi Ve Lojistik

Tedarik zinciri yönetimi bu sürecin tamamını kapsayan bir kavramdır. Lojistik ise dağıtımı ve taşımacılığı kapsayan bir kavramdır. Tedarikin alt dalı olan lojistik, ürünlerin taşınma sürecini ve dağıtımında verimliliği sağlamayı amaçlamaktadır. Tedarik zinciri gerekli hammaddenin araştırılıp ulunmasında, o hammaddenin üretim tesisine gidip işlenmesinden ve oluşan ürünün saklanmasından ulaşımına ve son tüketici dahil müşteriye ulaşmasından sorumludur. Müşterinin memnuniyetini sürecin her aşamasında en verimli şekilde sağlamaya çalışır. Tedarik zinciri sadece hammaddeden ürünün oluşması ve bu ürünün müşteriye teslim edilmesinden değil, bu sürecin tamamından sorumludur. Bu sürecin finansının değerlendirilmesinde, maliyetin azaltılmasından ve pazardaki yenilikleri takip etmekten de sorumludur. Lojistik ise firmalar, depolar ve müşteriler arası ürünün taşımacılığını temsil eden bir kavramdır. Rota oluşturma sistemlerinin, en kısa yol problemlerinin, takip sistemlerinin ve bunun gibi matematiksel hesaplamalarının kullanıldığı alandır (Tutar, 2024).

2.5.1. Lojistik

Müşterilerin siparişlerini ve isteklerini yerine getirmek amacıyla ürün, hizmet ve bilgilerin tüketiciye yani müşteriye ulaşmasını sağlayan sürecinin yönetimidir lojistik. Bu süreçlerin planlanmasında, depolanmasında, gümrük işlemlerinde, paketlenmesinde ve kontrollerinin yapılmasında lojistik süreçleri kullanılmaktadır. Müşterinin talep ettiği ürünleri müşterinin talep ettiği zamanda teslimatından sorumludur. Lojistik süreçlerinden birinde yaşanan herhangi bir hata veya aksaklık tüm süreçlerin tekrardan yapılmasına veya yüksek maliyette zarara sebep olacaktır. Bu sebeple lojistik süreçlerinin hepsinin organize, doğru ve kontrollü yapılması maliyet açısından önemlidir.

Lojistik süreçlerini daha detaylı bir şekilde incelemek gerekirse bu süreç müşterinin isteklerini ve taleplerinin yani siparişlerinin doğru bir şekilde alınması ve sisteme işlenmesi ile başlamaktadır. Teslimatın planlanmasından, zaman ve yer gibi faktörlerin planlanması gibi işlemler bu aşamada karar verilir ve siparişin onayı yapılır. Talebin yani siparişin planlanması süreci ürünün yani stokun planlanmasının yapılması ve bu siparişin teslimat için ayrılması planlanmaktadır. Ürünlerin tüketiciye

hasarsız ve güvenli bir şekilde ulaşması için ambalajlanması ve sonrasında da paketlenme süreci yapılır. Ürün ve hizmet akışının doğru ve düzenli sağlamak amacıyla stok yönetimi ve depolama faaliyetleri lojistik faaliyetleri için önemli bir yere sahiptir. Lojistik süreçlerinin en önemli faaliyetlerinden bir olan taşımacılık faaliyeti, ürünün veya hizmetin doğru zamanda, doğru rotayla ve doğru ürünlerle nakliye işlemidir. Müşteriye teslim edilmesi amacıyla ürünün veya hizmetin taşımacılığı yapılır ve müşteriye istenilen zamanda teslimatı gerçekleştirilir. Lojistik sürecinin son aşaması olan müşteri memnuniyeti ve müşteriden geri dönüş alındığı aşamadır. Eğer hatalı, eksik veya hasarlı hizmet verirse bu süreçleri tekrardan müşteriye teslim için gerçekleştirmek gerekecektir ve maliyet açısından olumsuz etkileyeceği için tüm bu süreçleri doğru ve yeterli şekilde planlamak maliyet açısından ve rekabet açısından büyük bir öneme sahiptir (Tekin, 2014).

2.5.2. Lojistik Yönetimi ve Aşamaları

Lojistik Yönetimi, ürün ve hizmetin müşteriye ulaşana kadarki taşımacılık, depolama ve bunların planlanması ile ilgilidir. Lojistik faaliyetlerinin maliyetlerini minimumda tutarak, maksimum müşteri memnuniyeti için hizmet planlamayı amaçlar. Üretim veya depo noktasından müşteriye ulaşma noktasına kadarki tüm süreçleri bütünsel olarak yönetir.

Lojistik Yönetiminin en önemli işlerinden biri olan taşımacılıkta, uygun yolu ve uygun taşıma biçimini en düşük maliyetle en verimli bir şekilde yapılmasını sağlamayı amaçlar. Hammaddeyi veya ürünü müşteriye fiziki taşımacılık ile ulaştırmakla sorumludur. Bu taşımacılık sırasında ürünlerin korunmasında, hasar görmemesinden ve müşteriye zamanında teslim edilmesinden sorumludur.

Ürünlerin taşımacılığının yanı sıra bu ürünlerin uygun koşullarda saklandığı ve bekletildiği depolama faaliyetlerinden de sorunlu olan lojistik yönetimi, müşterinin ihtiyaç duyduğu ürünlerin hazırda bekletildiği alan olarak depoları kullanır. Bu depolardan ihtiyaç duyulan ürün, ihtiyaç duyulan vakitte depodan taşıma araçlarına yüklenerek müşteriye ulaşır. Depolar yalnızca hazır ürünlerin saklanması için değil, mamul – yarı mamul ürünlerin, yedek parçaların ve üretim için gerekli olan ürünlerin saklandığı da alandır. Bu depolarda bu ürünlerin bozulmadan saklanması ve gerekli kadar ürünün saklanması lojistik yönetiminin maliyet açısından önemli bir etkidir. Depolama maliyetini minimumda tutmayı hedefleyen lojistik yönetimi faaliyeti olan

depolama, yeni gelişen teknolojiler sayesinde maliyeti minimumda tutmayı hedefler. Barkot sistemleri ve sensörler ile ürün takibinin yapılması ve o ürünün hangi tarihler arasında depoda olabileceğinin yapılabilmesi lojistik yönetiminin en önemli faaliyetlerinden biridir.

Müşterinin taleplerini karşılamak için talep tahmini ve talep yönetimi faaliyetinin de yönetiminden sorumlu olan lojistik yönetimi, müşterinin istediğine göre uygun koşullarda ürünleri müşteriye teslim etmeyi hedefler. Talep tahminlerinin doğru yapılması, müşterinin taleplerinin hızlı ve daha düşük maliyet ile teslim edilmesini sağlar (Tekin, 2014).

2.5.3. Lojistik Sektöründe Değişen Şartlar ve Endüstri 4.0'ın Lojistik Sektörüne Katkıları

Savaşlarda ordu malzemeleri taşımacılığında ve sömürgelemlerden hammaddeleri sömürge sahibi ülkeye taşımada kullanılmaya başlanan lojistik sektörünün tarihi Birinci Endüstri Döneminin öncesine kadar uzanmaktadır. Birinci Endüstri Döneminde odun yerine kömür madeninin kullanılması demiryolu çağının başlamasına önemli bir yol oynamıştır. Raylı sistemlerin gelişmesi ile daha uzak mesafelere ulaşım, malzeme taşımacılığı ve lojistik kavramı gelişmiştir.

İkinci Endüstri Döneminde petrolün, elektriğin ve çeliğin gelişmesi gibi yeni maddelerin ortaya çıkışı ve sanayide kullanılması ile birlikte ulaşımda da çok büyük yeniliklere yol açmıştır. Gelişen demir yolunun yanında deniz yolu ve hava yolu gibi diğer taşımacılık yollarında da büyük gelişmelere sebep olmuştur. Demiryollarında çeliğin kullanılması ile hızla gelişen demiryolu ulaşımı sayesinde savaşlarda ordular için malzeme taşımacılığı önemli bir yol oynamıştır.

Üçüncü Endüstri Döneminde bilgisayarların hayatımıza girmesiyle lojistikte büyüme, hızlanma gibi faktörler gelişmiştir. Hızlı trenler, büyük yük gemileri gibi yeni ulaşım yöntemleri gelişmiştir.

Dördüncü Endüstri Döneminin başlamasıyla esneklik ve verimlilik prensibinin gelişmesi sonucu ile müşteri isteklerine daha iyi karşılık verilebiliyordu. Endüstri 4.0 teknolojilerinin gelişmesi alanlarda 4.0 döneminin başlamasına sebep olmuştur. Lojistik 4.0 sistemi ile akıllı sistemler gelişerek süreç optimizasyonuna katkıda sağlanmıştır. Lojistik 4.0 ile sensörler, ağlar, algılayıcılar sayesinde izleme, kontrol ve çözümlerde sürekli ve anlık çözümler gelişmiştir. Endüstri 4.0 teknolojilerinin

gelişmesiyle RFID, GPS ve Sistem Otomasyonu gibi teknolojiler lojistik alanında büyük değişimlere sebep olmuştur.

Radyo frekanslarını kullanarak nesnelerin tanınmasında ve etiket okuma sistemini oluşturan RFID (Radyo Frekansı İle Tanıma) teknolojisi, etiketlerin üzerindeki bilgileri okumada, saklamada ve ürünün üzerindeki etiketi kullanılabilir veriye dönüştürülmede kullanılmaktadır. Türkiye’de ise TOBB-MMNM (Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği Milli Mal Numaralama Merkezi) sistemi kullanılmaktadır.

Uydu teknolojisi sayesinde izlenebilen, yol gösterebilen ve konum belirleyebilen GPS (Küresel Konumlama Sistemi) sayesinde taşımacılıkta önemli gelişmeler sağlanmıştır. Konum ve aracı takip etmede, konumu belirlemede ve araç kontrollerinde kullanılmaya başlanmıştır. Akıllı sistemlerin gelişmesi ve bu sistemlerin otomatikleşmesi ile robotik sistem otomasyonu, otonom araçlar ve otomatik depolama sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. Bu teknolojiler sayesinde depo kapasitesi en verimli şekilde kullanılmaya başlanmış ve depoda akıllı yönetim sistemleri kullanılmıştır. Kısa sürede daha hızlı ve verimli iş yapabilen robotlar sayesinde akıllı depo sistemleri oluşmuştur (Tutar, 2024).

2.5.4. Lojistik 4.0

Dördüncü Endüstri Döneminin başlamasıyla gelişen Lojistik 4.0 Dönemi, teknolojinin gelişmesiyle birlikte yeni teknolojik değişikliklere hızlı bir şekilde uyum sağlayabilerek esneklik, çeviklik gibi ilkelere ayak uydurabilmiştir. Sensörler, nesnelerin interneti, siber fiziksel sistemler ve GPS Teknolojisi sayesinde iletişim teknolojilerindeki gelişmeler lojistik sektöründeki iletişimi ve veri akışını kolaylaştırmıştır. Müşteri odaklı, esnek ve daha hızlı yani verimliliği optimize etmeyi hedeflemektedir. Hata oranını minimuma düşürerek israfı azaltmanın yanı sıra müşteri memnuniyetini karşılayarak rekabet avantajı sağlamaktadır (Pilikoğlu, 2021).

Lojistik 4.0’da kullanılan Nesnelerin İnterneti teknolojisi sayesinde lojistik süreçleri şeffaf ve güvenilir bir şekilde yürütülebilmektedir. Gerçek verilerle anlık olarak süreç takibi yapılabilmektedir. Stok ve depolarda kullanılan otomasyonlar ve otonom robotlar sayesinde insan kaynaklı hataların önüne geçerek hem maliyetleri düşürmüştür hem de depo yönetiminde hız ve kolaylık sağlamıştır. Akıllı robotlar sayesinde malların toplanması, siparişin hazırlanması, konteynerlerin boşaltılması ve belirli bir yerden başka bir yere ürünlerin teslimatının yapılması gerçekleşmiştir.

Büyük Veri Analizleri sayesinde talep tahminlerinin yapılması, kapasite planlanmasının yapılması ve veri odaklı lojistik süreçlerinin verimli yönetilmesini sağlamaktadır. Büyük verileri analiz ederek hızlı karar verme yeteneği ve yapılan tahminlerin daha olumlu sonuçlar alınması sağlanmıştır (Radivojević & Milosavljević, 2019). Lojistik 4.0'ın hedefleri:

- Akıllı sistemler, robotlar ve makineler sayesinde tüm süreçler yönetilebilecek ve insan gücüne ihtiyaç büyük oranda azalacaktır.
- Depolarda kullanılan otomatik ve akıllı robotlar sayesinde stok kontrolü siparişleri ayarlama ve raf takibinden raftan ürünün alınıp araçlara yerleştirilmesine kadarki tüm süreçlerin akıllı makineler tarafından yapılması beklenmektedir.
- GPS, Navigasyon gibi teknolojiler ve gelişen iletişim teknolojileri sayesinde nakliye araçlarında şoförden kaynaklı hataların azaltılması ve en kısa yol, optimal rotalama sistemi gibi sistemlerin kullanılması ile ulaşımda büyük değişimler yaşanması hedeflenmektedir. Bu sayede müşteriye teslim edilecek olan ürün veya hizmetin zamanında teslimatını garantilemiş oluş müşteri memnuniyetini arttıracaktır.
- Taşımacılıkta araçlara ve siparişlere uygun kapasite ayarlama sağlanabilecektir. Örneğin sırt çantası optimizasyon problemleri gibi algoritmalar sayesinde uygun ürünleri uygun kapasite ayarları ile ulaştırma problemi sağlanabilecektir (Genç & Tunalı, 2022).

3. İLAÇ SEKTÖRÜNDE DAĞITIM LOJİSTİĞİ

İnsan yaşamının önemli ve vazgeçilmez ürünü olarak kabul edilen ilaçlar, insanların ve hayvanların tedavisi amacıyla kullanılan ürünlerdir. Kimyasal ve biyolojik maddelerden oluşan bu ilaçlar genellikle alanında eğitim almış doktorlar ve eczacılar tarafından yönlendirilmesi ile tüketiciye ulaşmaktadır. İlaçların da arzları ve talepleri olması, ilaç piyasasını ortaya çıkarmaktadır. İlaç piyasasının son tüketiciye ulaştırılması amacıyla eczaneler, ilaç depoları ve/ veya kooperatifler arzın en önemli taraflarıdır. İlacı üreten firmalar tüketiciye ulaştırmak için eczanelere ihtiyaç duymaktadır. İlacın eczaneye ulaşmasını ise dağıtımdaki aracı firmalar yer almaktadır. Türkiye’de ise ilaç dağıtımının en önemli rolünü ilaç depoları sağlamaktadır. Özel ilaç depoları ve ecza kooperatifleri ilaç üreten firmalardan ilaçların tedarik edilmesini sağlayıp uygun koşullarda depolanmasına aracı olmaktadır. Eczanelerin talepleri doğrultusunda ise ilaçları eczanelere ulaştırmaktaki dağıtım rolünü üstlenmektedir.

İnsan yaşamını doğrudan etkileyen ilaçların bozulmadan veya yapısı değişmeden tüketiciye ulaştırmak önemlidir. Tüketiciye ulaşana kadarki süreçte üretici firmadan tedarikin yapıldığı firmaya ve eczaneye kadarki tüm süreçte ilacın sağlıklı bir şekilde saklanması insan hayatı için büyük öneme sahiptir. Ülkemizde ilaç piyasasının büyük bir çoğunluğu ilaç depoları yolu ile eczanelere ulaşmaktadır. Geri kalan küçük bir bölümü ise Sosyal Sigortalar Kurumu (SSK) tarafından üreticiden doğrudan eczanelere ürünü teslim eden satıcılardır. Eczanelerin ortaklığı ile kurulan ecza kooperatifleri, bu ortaklıktaki eczanelere hizmet vermektedir ve ülkemizin her bölgesindeki eczanelere ilaç dağıtımını yapmaktadır. Ecza Kooperatiflerinin eczacılarla ortak yürüttükleri ekonomik faydalar, eczacıların diğer ilaç depolarındansa ecza kooperatiflerini tercih etmelerinde büyük bir rol oynamaktadır. Kooperatifin diğer ilaç depolarından daha çok tercih edilmesinin diğer nedenleri ise ecza kooperatifin kurucularının eczacılardan oluşması ve ilaç fiyatlarında diğer depolara kıyasla daha az kar etme amacıyla bulunmasıdır (Atay, 1996).

3.1. Endüstri 4.0'ın İlaç Dağıtım Sektörü Üzerindeki Etkisi

Tablo. 2. Endüstri 4.0'ın İlaç Dağıtım Sektörü Üzerindeki Etkisi ile ilgili Literatür taraması

NO	TARİH	YAZAR	KONUSU	METODU	ÇALIŞMA ALANI
1	2023	Muneeb Ullah, Abdul Wahab, Shahid Ullah Khan, Muhammad Naeem, Khalil ur Rehman, Haider Ali, Aziz Ullah, Amjad Khan, Nauman Rahim Khan, Waleed Y. Rizg, Khaled M. Hosny, Mohammed Alissa, Moutaz Y. Badrj, Hala M. Alkhalidi	Üç Boyutlu baskı teknolojisini, ilaç alanındaki potansiyelini ve ilaç üretiminin kişiselleştirilebilme teknolojisini incelemektedir. Gelecekte hastanelerde ve eczanelerde ilaç üretiminde kullanılabilir üç boyutlu ilaç ve doku baskısı potansiyeline değinmektedir.	3D baskı teknolojisi ile ilaç ve biyomedikal alanındaki etkileri	Epilepsi hastaları için hızlı çözünebilir tablet olarak "Spritam" üretimi.
2	2024	Gerald Schneikart, Walter Mayrhofer, Clemens Loffler, Josef Frysak	İade edilebilir taşıma ürünleri kullanımına dayalı ilaç döngüsünü oluşturarak atıkların azaltılıp, sürdürülebilir lojistik döngüsünü sağlamak amacıyla yol haritasını oluşturmaktadır. Endüstri 4.0 teknolojileri ile ilaç	Denge noktası analizi kullanılarak idare edilebilir taşıma sisteminin ekonomik olarak uygulanabilirliğini değerlendirilmiş. Toptan süt taşıma, palet nakliyecisi hava taşımacılığı ve laboratuvar taşımacılığı gibi lojistik senaryolarını	İlaç döngüsü ve atık ilaçlar

			lojistiğinde, sürdürülebilir lojistiği hedeflemektedir.	ters lojistik ve endüstri 4.0 konuları ile inceleyerek döngüsel ekonomiye etkilerini incelemiştir.	
3	2023	Preethi Lakkala, Siva Ram Munnangi, Suresh Bandari, Michael Repka	Sağlık ve ilaç sektöründe kişiselleşmiş tedavi, ilaç salınım sistemleri ve tıbbi cihazlar üzerimi için Stereolitografi (SLA) destekli 3D baskının kullanımını konu almaktadır.	3D Baskı teknolojilerinden Stereolitografi (SLA) kullanılarak kişiselleşmiş ilaç ve tedavi sağlamak.	Hastaya özel protezler, ilaç salınım sistemleri
4	2024	Ting Wang, Nina S. Cauchonb, J. Paul Kirwanb, Marisa K. Jouberta, Marquerita Algorrib, Brian Bella, Robert J. Sotoa, David J. Semin	Yenilikçi analitik teknolojilerini kullanarak ilaç üretim endüstrisinin kalite ve üşerim sürecini analiz etmektedir.	Yenilikçi Analitik Teknolojilerinden ürün kalitesini arttırmak için Çoklu Nitelikli Yöntem (MAM), çevresel izleme için Hızlı Mikrobital Test (RMM) ve kimyasal bileşenlerin ve ürünün tanımlanması için Raman Spektroskopisini kullanmaktadır.	Genel ilaç üretimi üzerine çalışmaktadır.
5	2025	Show-Hui Huang, Jun-Wen Chen, Huynh Tan Nguyen, Wen-Kai Hsu	Havayolu taşımacılığında soğuk zincir lojistiğindeki hizmet kalitesinin değerlendirilmesi üzerine bir analiz çalışması yapılmıştır. Bu	Karar verme yöntemlerinden en iyi – en kötü yöntemi olan Bulanık BWM yöntemi, Müşteri hizmetinin kalitesini karşılamak amacıyla Algı – Beklenti	Taylan'da bulunan Havayolu Soğuk Zincir Lojistiğindeki (CLAF), kargo operatörü deneysel olarak incelenmiştir.

			<p>çalışmada Tayvan'da AFF-D şirketindeki havayolu kargo operatörleri ile bir vaka çalışması yapmıştır.</p>	<p>Farkı Modelini ve karmaşık karar durumlarını değerlendirmek için Bulanık Küme Teorisi Yöntemi kullanmıştır.</p>	
6	2021	<p>Gaurav Kumar Badhotiya, Vijay Prakash Sharma, Surya Prakash, Vinayak Kalluri, Ranbir Singh</p>	<p>İlaç lojistiğinin şeffaf ve güvenilir olabilmesi için, tedarik zincirine blok zinciri yani bir diğer adı ile BlockChain teknolojisini entegre edilmesi üzerine bir inceleme yapmaktadır. BlokChain teknolojisi sayesinde lojistik sırasında ilaçlarda bozulma kaynaklı olan mali kaybı azaltmak ve sahte ilaç tespiti yapılması hedeflenmektedir.</p>	<p>Ürünü tanımlama ve izleme alanlarında Radyo Frekansı Tanımlama (RFID) ve Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojileri kullanılabilir olduğu fikrini sunmuştur.</p>	<p>Sahte ilaç tespiti ve genel ilaç tedariki.</p>
7	2023	<p>Altahir Ali, Mengqiu Cao b, Julian Allenb, Qihao Liuc, Yantao Ling, Long Cheng</p>	<p>Birleşik Krallık'taki ilaç üretim sektöründeki lojistik maliyetlerini düşürmek amacıyla lojistik dış kaynak kullanımlarının itici güçlerini incelemektedir.</p>	<p>Anket sonucu ile toplanan verileri Lojistik Regresyon Analizi, Keşifsel faktör analizi, T-testleri ve ANOVA Testi ile analiz yöntemleri ile analizini gerçekleştirmiştir.</p>	<p>Birleşik Krallık'taki ilaç üretim sektörü</p>

8	2025	Xiang Xu, Fen Li, Ting Wu, Xinru Huang, Xueling Guan, Tingyu Zheng, Liang Shen	Petrollü ve elektrikli araçlardan oluşan karışık ulaştırma araçlarını, soğuk zincir alanında çalışan ilaç lojistiğinde rotalama ve optimizasyon problemi üzerine bir çalışma.	Seyahat Süresi Güvenilirliği (TTR) ve Enerji Tüketimi Güvenilirliği (ECR) ölçümleri ile farklı senaryolar oluşturulmuş, Bulanık Mantık Modeli ile ilaç taleplerin tahmini ve talep belirsizliğinin yönetimi için kullanılmış, NSGA-II Algoritmasını (Baskın Olmayan Sıralama Genetik Algoritmasının gelişmiş versiyonu) kullanarak rota optimizasyonu yapmıştır.	Soğuk Zincir İlaçları
9	2025	Hao Zou, Jiehui Jiang	İlaç talep belirsizliği altında ve karbon emisyonunu azaltmaya yönelik lojistik ağı planlamasını nasıl optimize edilebileceği incelenmiştir. Düşük karbonlu taşımacılık (raylı sistemler gibi) sistemlerini kullanarak lojistik ağı planlama sorunu incelenmiştir.	Norm tabanlı yaklaşım modeli olan Belirsizlik Modellemesi, iki aşamalı dağıtımsal optimizasyon modeli için matematiksel optimizasyon kullanılmıştır.	İlaç lojistiğindeki karbon emisyonlarını azaltma

10	2024	Ahmed M. Abdelhaleem Ali, Majed M. Alrobaian	Bu çalışmada yapay zekanın ilaç endüstrisindeki etkilerini, avantaj ve dezavantajlarını değerlendirerek ilaç sektöründeki hangi alanlarda yapay zekayı nasıl kullanılacağı incelenmiştir.	Bu çalışmada Dijital İkiz teknolojisi, akıllı üretim ve optimizasyon, makine öğrenimi ve yapay sinir ağları gibi yapay zeka destekli teknolojileri ilaç sektöründeki kullanımını incelemiştir.	Genel ilaç üretimi ve ilaç hizmetleri üzerinde çalışılmıştır.
11	2022	Esha Saha, Pradeep Rathore, Ratri Parida, Nripendra P. Rana	Bu çalışmada Hindistan'daki ilaç sektöründeki dijital dönüşümün tedarik zincirine olan etkileri incelenmiştir. İlaç firmaları ile deneysel bir araştırma yaparak İlaç 4.0 kavramı çerçevesinde endüstri 4.0 teknolojilerinin tedarik zinciri sürecindeki etkilerini araştırılmıştır.	Anket yolu ile toplanan verilerin analizi; Yapısal Eşitlik Modellemesi (SEM), Doğrusal Faktör Analizi (CFA) ve Keşifsel Faktör Analizi (EFA) metodlarıyla yapılmıştır. Analizin güvenilirliğini test etmek amacıyla ise IBM SPSS programı ve SmartPLS programı kullanılmıştır.	Hindistan'daki ilaç firmaları üzerinden anket yolu ile çalışma yapılmıştır.
12	2020	Maria Josep Cabañas, Maria Queralt Gorgas	SARS-CoV-2 Salgını karşısında tedaviye ihtiyaç duyulan ilaçların güvenli bir şekilde dağıtılması ve dağıtımın planlanmasını incelemiştir.	İlaç dağıtımını ve ilaç kalitesini güvenilir bir şekilde gerçekleştirebilmek için tek dozluk ve otomatik dağıtım sistemleri gibi ilaç dağıtım sistemlerine ve tedarik planına ihtiyaç duyulmuştur.	SARS-CoV-2 (Covid) Pandemi tedavisi alanında çalışma yapılmıştır.

13	2012	Şemsettin USLU, Mualla AKÇADAĞ	Kayseri ilinde bulunan ilaç firmaları üzerinde lojistik faaliyetleri ile ilgili araştırma yapan bu çalışmada, tersine lojistik ve etkilerini tespiti üzerine çalışılmıştır.	Anket yolu ile toplanan verilerle Faktör Analizi yapılmıştır.	Kayseri’de bulunan ilaç firmaları ile çalışma yapılmıştır.
14	2022	Hasan Khaled Al-Awamleh, Mohammad Izzat Alhalalmeh, Zakarya Ahmad Alatyatb, Shadi Sarairehc, Iman Akourd, Suleiman Alneimate, Farah faisal Alathamnehf, Yasmen Sofyan Abu-Farhag and Sulieman Ibraheem Shelash Al-Hawary	Yeşil tedarik zincirinin sürdürülebilirlik üzerindeki etkisini inceleyen bu çalışmada, Ürdün’deki ilaç endüstrisindeki tedarik zinciri alanında incelenmesi ve analizi yapılmıştır.	Anket yolu ile toplanan verilerle Doğrusal Faktör Analizi (CFA), Tanımlayıcı Analizler ve AMOS yazılımı kullanarak hipotez testlerini gerçekleştirmişlerdir.	Ürdün’deki ilaç endüstrisinde, yeşil tedarik zincirin sürdürülebilirlik üzerindeki etkileri üzerinde çalışılmıştır.
15	2014	Ertuğrul Tekin	İlaç lojistiğinde E-Lojistik faktörünün kullanımını arttırmak ve ilaç tedariki ile E-Lojistik	Anket yolu ile toplanan verilerle SPSS Programını kullanarak T-Testleri ve ANOVA testleri kullanılmıştır.	Konya ilindeki ilaç dağıtım depoları ve Eczaneler arasındaki E-Lojistik alanında çalışma yapılmıştır.

			sistemlerinin ilaç sektörü ile entegre edilmesi amacıyla yapılmış bir çalışmadır. Bu çalışma, Konya’da bulunan ilaç dağıtım depoları ve eczaneler arasındaki ilaç tedarikinin, E-Lojistik kullanım düzeyini tespit etmek amacıyla yapılmıştır.	Çoktan seçmeli soruların değerlendirilmesi için Frekans Analizi ve Likert ölçekli soruların değerlendirilmesi için Faktör Analizi kullanılmıştır.	
16	2024	Elif Demir	Ecza depoları ve eczaneler arasındaki teslimatın Drone araçları ile gerçekleştirilmesi ve Drone araçlarının seçimi için çok kriterli karar verme teknikleri kullanılarak bir çalışma yapılmıştır.	Ele alınan problemleri çözümü için Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri kullanılmıştır. DEMATEL, SWARA, MAUT ve GPA karar verme yöntemleri kullanılmıştır.	İnsansız hava aracı olan Drone’ların kullanımı.
17	2024	Ayşenur Tutar	Bu çalışma, eczanelerin E-Lojistik uygulamalarını kullanımını ve etkilerini araştırmaktadır.	Anket yolu ile toplanan verilerle SPSS İstatistiksel analiz programı ile analizler yapılmıştır. Betimsel istatistikler, normallik testleri ve parametrik olmayan testler kullanılmıştır.	Karaman’daki Eczanelerin ilaç dağıtım süreçlerini ve E-Lojistik uygulamalarını incelemiştir.

Muneeb Ullah, Abdul Wahab ve diğerkleri, 2023 yılında 3 boyutlu baskı teknolojisinde yeni bir bakış açısı ile Epilepsi hastaları için hızlı çözünebilen tablet olarak “Spritam” üretimini biyomedikal alanındaki etkisini incelemişlerdir. 3 boyutlu baskılı ilaç Spritam’ın gelişmesi ile gelecekte 3 boyutlu baskı ile üretilebilecek tedavileri inceleyen bu makalede doku mühendisliğindeki organ taklidi yapan organ üretiminden, kişiselleşmiş ilaç olarak tablet üretimine yol açabileceğini araştırmıştır (Ullah vd., 2023).

Gerald Schneikart, Walter Mayrhofer ve diğerkleri, 2024 yılında yaptığı çalışmada ilaç lojistiğinde sürdürülebilir lojistik oluşturmak amacıyla ilaç döngüsü ve atık ilaçları kullanarak dairesel ekonomi için yol haritası oluşturmaktadır. Ters lojistik ve endüstri 4.0 konularını üzerinde duran bu çalışmada denge noktası analizini kullanarak toptan süt yaşama, palet nakliyecisi hava taşımacılığı ve laboratuvar taşımacılığı gibi lojistik senaryolarını oluşturarak inceleme yapmıştır (Schneikart vd., 2024).

Preethi Lakkala, Siva Ram Munnangi, Suresh Bandari ve Michael Repka, 2023 yılında için Stereolitografi (SLA) destekli 3D baskını yöntemini kullanarak tıbbi cihazların üretimini ve kişiselleşmiş ilaç ve tedavisini sağlamayı amaçlamıştır (Lakkala vd., 2023).

Ting Wang, Nina S. Cauchonb ve diğerkleri, 2024 yılında ilaç üretim kalitesini ve üretim sürecini incelemek amacıyla yenilikçi analitik teknolojiler kullanmıştır. Çoklu nitelikli yöntem (MAM), Mikrobital test (RMM) ve Raman Spektroskopisini kullanmıştır (Wang vd., 2024).

Show-Hui Huang, Jun-Wen Chen ve diğerkleri, 2025 yılında yaptıkları bir çalışmada havayolu taşımacılığında soğuk zincir lojistiğini incelemiştir. Tayvanda bulunan bir havayolu kargo operatörleri üzerinden bir vaka analizi yapıldığı bu çalışmada Karar verme yöntemlerinden en iyi – en kötü yöntemi olan Bulanık BWM yöntemi, Müşteri hizmetinin kalitesini karşılamak amacıyla Algı – Beklenti Farkı Modelini ve karmaşık karar durumlarını değerlendirmek için Bulanık Küme Teorisi Yöntemi kullanmıştır (Huang vd., 2025).

Gaurav Kumar Badhotiya, Vijay Prakash Sharma ve diğerkleri, 2021 yılında yaptıkları bir araştırmada sahte ilaç tespiti ve ilaç tedariki alanında blok zinciri teknolojisini kullanmıştır. Ürünü tanımlama ve izleme alanlarında Radyo Frekansı

Tanımlama (RFID) ve Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojileri kullanılabilir olduğu fikrini sunmuştur (Badhotiya vd., 2021).

Altahir Ali, Mengqiu Cao b, Julian Allenb ve diğerleri, 2023 yılında Birleşik Krallık'taki ilaç üretim sektöründe anket yolu ile topladığı verilerle Regresyon Analizi, Keşifsel faktör analizi, T-testleri ve ANOVA Testi ile analizi yöntemlerini kullanarak lojistikteki dış kaynak kullanımının itici güçlerini araştırarak maliyeti düşürmeyi amaçlamıştır (Ali vd., 2023).

Xiang Xu, Fen Li, Ting Wu ve diğerleri, 2025 yılında ilaç dağıtımında kullanılan soğuk zincir lojistiğinde rotalama ve optimizasyon çalışması yapılmıştır. Seyahat Süresi Güvenilirliği (TTR) ve Enerji Tüketimi Güvenilirliği (ECR) ölçümleri ile farklı senaryolar oluşturulmuş, Bulanık Mantık Modeli ile ilaç taleplerin tahmini ve talep belirsizliğinin yönetimi için kullanılmış, NSGA-II Algoritmasını (Baskın Olmayan Sıralama Genetik Algoritmasının gelişmiş versiyonu) kullanarak rota optimizasyonu yapmıştır (Xu vd., 2025).

Hao Zou ve Jiehui Jiang, 2025 yılında ilaç lojistiğindeki karbon emisyonunu azaltmak amacıyla lojistik ağı planlamasını nasıl optimize edileceğini incelemiştirler. İlaçlardaki talep belirsizliğini azaltmanın karbon emisyonunun azalmasına aracı olacağından talep belirsizliğini minimuma indirmek amacıyla Norm tabanlı yaklaşım modeli olan Belirsizlik Modellemesi, iki aşamalı dağıtımsal optimizasyon modeli için matematiksel optimizasyon kullanılmıştır (Zou & Jiang, 2025).

Ahmed M. Abdelhaleem Ali ve Majed M. Alrobaian, 2024 yılında yaptıkları çalışmada, yapay zekanın ilaç sektöründeki etkilerini incelemiştir. Genel ilaç üretimi ve ilaç hizmetleri alanında inceleme yapılan bu çalışmada, Dijital İkiz teknolojisi, akıllı üretim ve optimizasyon, makine öğrenimi ve yapay sinir ağları gibi yapay zeka destekli teknolojileri kullanmıştır (Ali & Alrobaian, 2024).

Esha Saha, Pradeep Rathore ve diğerleri, 2022 yılında yapmış oldukları bir araştırmada Hindistan'daki ilaç sektörünün dijitalleşmesi ile tedarik zincirine olan etkilerini incelemiştirler. Anket yolu ile toplanan verileri IBM SPSS programı ile analiz ederek endüstri 4.0 teknolojilerinin tedarik zincirine olan etkilerini değerlendirmişlerdir. Bu analizleri; Yapısal Eşitlik Modellemesi (SEM), Doğrusal Faktör Analizi (CFA) ve Keşifsel Faktör Analizi (EFA) metotları ile analizleri yapılmıştır (Saha vd., 2022).

Maria Josep Cabañas ve Maria Queralt Gorgas, 2020 yılında yapmış oldukları çalışmada SARS-CoV-2 Salgını karşısında tedaviye ihtiyaç duyulan ilaçların güvenli bir şekilde dağıtılması ve dağıtımın planlanmasını incelemiştir. İlaç dağıtımını ve ilaç kalitesini güvenilir bir şekilde gerçekleştirebilmek için tek dozluk ve otomatik dağıtım sistemleri gibi ilaç dağıtım sistemlerine ve tedarik planına ihtiyaç duyulmuştur (Cabañas & Gorgas, 2020).

Şemsettin USLU ve Mualla AKÇADAĞ, 2012 yılında yapmış olduğu çalışmada Türkiye'nin Kayseri ilinde bulunan ilaç firmalarını inceleyerek lojistik faaliyetlerini araştırmıştır. Anket yolu ile toplanan verilerle faktör analizi yaparak ilaç dağıtımında tersine lojistiğin etkilerini incelemiştir (Uslu & Akçadağ, 2012).

Hasan Khaled Al-Awamleh, Mohammad Izzat Alhalalmeh ve diğerleri, 2022 yılında yapmış oldukları çalışmada Ürdün'deki ilaç endüstrisini inceleyerek yeşil tedarik zincirinin sürdürülebilirlik üzerindeki etkisini incelemiştir. Anket yolu ile toplanan verilerle Doğrusal Faktör Analizi (CFA), Tanımlayıcı Analizler ve AMOS yazılımı kullanarak hipotez testlerini gerçekleştirmişlerdir (Al-Awamleh vd., 2022).

Ertuğrul Tekin'in 2014 yılında yapmış olduğu yüksek lisans tezinde, Konya'daki ilaç depoları ve eczaneler arasındaki dağıtım lojistiğini inceleyerek E-Lojistik çalışması yapmıştır. E-Lojistik faktörünün kullanımını arttırmayı hedefleyen bu çalışmada anket yolu ile toplanan verileri IBM SPSS programını kullanarak T-Testleri ve ANOVO testleri kullanarak E-Lojistik kullanım düzeyini test etmiştir. Anketin çoktan seçmeli sorularında ise Frekans Analizi ve Likert ölçekli soruların değerlendirilmesi için Faktör Analizi kullanılmıştır (Tekin, 2014).

Elif Demir'in 2024 yılında yapmış olduğu yüksek lisans tezinde, İnsansız hava aracı olan Drone'ların ilaç dağıtımındaki etkisini incelemiştir. İlaç depoların ve eczanelerin arasındaki ilaç dağıtımının Drone araçları ile gerçekleşmesi ve bu araçların seçiminin yapılabilmesi amacıyla çok kriterli karar verme tekniklerini kullanmıştır. Ele alınan problemleri çözümü için Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden DEMATEL, SWARA, MAUT ve GPA karar verme yöntemleri kullanılmıştır (Demir & Boz, 2024).

Ayşenur Tutar'ın 2024 yılında yapmış olduğu yüksek lisans tezinde Karaman ilinde bulunan eczanelerin ilaç dağıtımında E-Lojistik teknolojisinin kullanımını incelemiştir. E-Lojistik uygulamalarının kullanımı ve etkilerinin incelenmesi için

anket yolu ile toplanan verilerle IBM SPSS programını kullanarak betimsel istatistikler, normallik testleri ve parametrik olmayan testler kullanılmıştır (Tutar, 2024).

3.2. Metotlar

3.2.1. Sırt Çantası Problemi

Sırt çantası problemi, verimlilikten maksimum faydalanmak için kullanılan belirli kapasitedeki alanı değerlendirmek için doğru seçimlerin yapılması amacı ile kullanılan bir karar verme uygulamasıdır. Belirli hacmi ve ağırlıkları olan değerleri seçerek maksimum fayda ile çantaya, araca veya toplayacağı alana toplayarak karar vermeye dayalı optimizasyon uygulaması yapar.

Sırt Çantası Problemlerinin matematiksel modeli, b_j hacimli veya ağırlıklı n adet ürün ve bu ürünlerin c_j ağırlıklarıdır. Toplam kapasiteyi yani B 'yi aşmayacak şekilde ürünlerin seçilmesi ve sırt çantasını doldurmayı hedeflemektedir. Ürünlerin sırt çantasına dahil edilip edilmeyeceğine karar vermede kullanılan x_j değeri belirlenir. Sırt çantası problemi, sınırsız sırt çantası ve 0-1 sırt çantası problemleri olmak üzere iki alana ayrılabilir. Sınırsız sırt çantası probleminde bir ürünü birden fazla sırt çantasına yerleştirebilirken, 1-0 sırt çantası probleminde ise bir ürünü yalnızca 1 kere sırt çantasına yerleştirilebilmektedir. Yani 1-0 sırt çantası probleminde ikili karar yöntemi kullanılarak o ürün ya sırt çantasına seçilir ya da seçilmez olarak kullanılır (Karaçayır).

$$\text{Maxz} = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad 3.1$$

$$\sum_{j=1}^n b_j x_j \leq B \quad 3.2$$

$$x_j \geq 0 \quad 3.3$$

Denklem 4.1 Sınırsız Sırt çantası probleminin matematiksel modelinin fonksiyonunu gösterirken denklem 4.2 ve denklem 4.3 ise kısıtlarının denklemini göstermektedir (Karaçayır).

$$\text{Maxz} = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad 3.4$$

$$\sum_{j=1}^n b_j x_j \leq B \quad 3.5$$

Denklem 1.4 ise 1-0 Sırt Çantası Problemlerinde kullanılan matematiksel modeli ifade etmektedir. Denklem 4.4'ün kısıdı ise denklem 4.5'de gösterilmektedir (Karaçayır).

Sırt çantası problemleri lojistik, tedarik zinciri, kaynak planlama, stok yönetimi, taşımacılık ve envanter yönetimi gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Sınırlı taşıma kapasitesine sahip araçlarda doğru ve değerli ürünlerin seçilmesinde lojistik ve tedarik, sınırlı kapasiteye sahip depolarda muhafaza etme konusunda stok ve envanter yönetiminde kullanılmasının yanı sıra, sunucu kapasitesine göre veri yönetiminin yapılmasında bulut bilişim alanında da kullanılmaktadır. Yani sırt çantası problemleri hayatımızın hemen hemen her alanında, sınırlı bir alanı verimli bir şekilde değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır.

3.2.2. Gezgin Satıcı Problemi

Rotalama ve yol problemlerinden biri olan Gezgin Satıcı Problemi, başlangıç noktasından uğraması gereken rotalara birer kez uğrayıp tekrardan başlangıç noktasına dönen bir rotalama problemidir. En kısa yol algoritmalarından biri olan bu dağıtım yolunun amacı, başlangıç noktasından ziyaret edeceği noktalara en kısa sürede ulaşmayı ve daha sonrasında ise başlangıç noktasına dönmeyi hedefler. Minimum maliyet ve zamanla rotalama yapmayı hedefleyen optimizasyon problemidir. Araç güzergahını belirleme ve düzenlemede, iş sıralamada ve bilgisayar bağlantıları oluşturmada kullanılabilir (Özalp, 1995).

Gezgin Satıcı Optimizasyon problemleri kısıtlama altında amaç fonksiyonundan oluşan bir problemidir. Matematiksel olarak modellenen için: 1 ve 0'lardan oluşan X matrisinde, i konumundan j konumuna uğrama durumu belirtilir. Eğer i konumundan j konumuna gidiliyorsa $X_{ij}=1$, eğer gidilmiyorsa $X_{ij}=0$ olur. Gezgin Satıcı Probleminin toplam mesafe ve maliyeti minimuma indirme amaç fonksiyonu, Denklem 4.6'da gösterilmiştir.

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad 4.6$$

Matematiksel modelde n ziyaret edilecek konumu belirtirken, c ise mesafeyi belirtmek için kullanılmaktadır. Gezgin satıcı problemlerindeki kısıtlar ise aşağıdaki diğer denklemlerde gösterilmiştir (Dündar, 2020).

Gezgin satıcının her konuma yalnızca bir kez uğraması gerektiğini belirten kısıtlar:

$$\sum_{i=1, i \neq j}^n x_{ij} = 1 \quad \forall j \quad 4.7$$

$$\sum_{j=1, j \neq i}^n x_{ij} = 1 \quad \forall i \quad 4.8$$

Gezgin satıcının tek bir turda rotayı bitirmesi gerektiğini belirten kısıt:

$$u_i - u_j + n \cdot x_{ij} \leq n - 1, \forall i \neq j \quad 4.9$$

Gezgin satıcının gerekli konuma uğrayıp uğramadığını belirten ve bu değişkenlerin alabileceğini belirten kısıtlar:

$$x_{ij} \begin{cases} 1, \text{Gezgin satıcı } i \text{ konumundan } j \text{ konumuna uğruyorsa} \\ 0, \text{Gezgin satıcı } i \text{ konumundan } j \text{ konumuna uğramıyorsa} \end{cases} \quad 4.10$$

$$x_{ij} = 0 \text{ ya da } 1, u_i \geq 0 \quad 4.11$$

3.2.3. Kamçı Etkisi

Tedarik zinciri, hammaddeden tüketiciye ulaşana kadarki tüm aşamaların bütünüdür. Bu bütünlük sağlanırken bilgi akışı yönetimi önemli bir pay almaktadır. Bu bilgi akışı, siparişin doru miktarlarla doğru yere ulaşmasını, aynı zamanda zaman ve maliyet açısından verimli bir sürecin sağlanmasını amaçlamaktadır. Bilgi akışının bozulması, stoktaki dengenin bozulması veya bilgi akışı sırasında oluşacak bilgi çarpıtmasının oluşması tedarik zincirinde aksamalara sebep olacaktır. Bu aksamalara Kamçı Etkisi diyebiliriz. Kamçı Etkisi problemlerinde amaç, bu bilgi akışını dengelemek ve tedarik zincirindeki aksamaların önüne geçmektir. Bunu yaparken talepleri karşılamak amacıyla stok dengelemesi yapar, belirsizliği azaltır, bilgi akışını

hızlandırır ve bazı kurallarla tedarik zinciri bütünlüğünün sağlanmasını amaçlar (Paksoy & Keskin, 2006).

Kamçı Etkisi yani bir diğer ismiyle Kırbaç Etkisini matematiksel olarak ifadesi, müşteriden üreticiye olan hareketindeki talep varyansının artması olarak ifade edilebilir. Kamçı Etkisinin varyansı Denklem 4.12'deki gibidir (Ahmetoğlu Taşdemir).

$$Kamçı Etkisi = \frac{\sigma_{Sipariş}^2}{\sigma_{Talep}^2} \quad 4.12$$

Kamçı etkisini performans değerlendirme aracı olarak kullanmak mümkündür. Bilgi çarpıtması durumlarında müdahale etmede, tedarik zincirinde iyileştirme çalışmaları yapılmasında ve geri bildirimlerinin alınıp sonrasında değerlendirilmede kullanılabilir. Bu sayede yaşanan aksaklıkların tekrarlanmaması ve aynı olayın tekrar yaşanmasında önlem alma amacıyla Kamçı Etkisi kullanılabilir.

3.2.4. Stok Problemi

Firmanın elinde bulundurduğu gerek hammadde, gerek yarı mamul ve gerek ürünlerin varlığına stok denir. Ürünlerin stoklanması, stok seviyelerinin uygun bir biçimde seçilip bulundurulması firmalar için önem arz etmektedir. Tedarikte aksamaların olmaması ve stok seviyelerinin uygun belirlenmesi için Stok problemleri kullanılmaktadır. Envanter yönetimi olarak da kullanılan Stok Problemleri, ürünün ne kadar ve ne zaman teslim edilmesinin gerektiğinin ve müşteri talebine uygun stoku karşılamayı hedefler. Stok yönetimini yaparken maliyeti minimuma indirmeyi amaçlayarak, optimum stok seviyesini belirlemeyi amaçlar. Stok problemlerinde en çok kullanılan modellerden biri olan Ekonomik Sipariş Miktarı (Economic Order Quantity (EOQ)) modeli, siparişi sürekli izler, stoku takip eder ve sürekli kontrollüğü sağlayan bir modeldir. Stok tutma ve sipariş verme maliyetleri arasındaki dengeyi korumayı amaçlayan stok politikasıdır. Talepler ve tedarik süresi, sabit ve bağımsızdır yani belirlidir. Matematiksel olarak stok problemlerini, Deterministik ve Stokastik Stok Modelleri olarak iki grupta incelenebilir (Behret, 2011).

3.2.4.1. Deterministik Stok Problemi

Talebin kesin olarak bilindiği durumlarda kullanılır. Tedarik koşulları belirlidir ve bu sebeple talepleri öngörmede ve planlamada kullanılabilirler. Deterministik Stok Problemlerinde talebin öngörülebilir olması, taleplerin zamanında karşılanmasını

sağlar. Bu sayede elde tutulan fazla stok olan emniyet stoku gibi yedekte stoka ihtiyaç duyulmaz. Talebin belirli olması talebin değişmediği anlamına gelmemektedir. Talebin zamana göre değişiklik yaşadığı durumlarda Dinamik Deterministik Problemler kullanılırken, talebin her dönemde sabit olduğu durumlarda ise Statik Deterministik Problemler kullanılmaktadır. EOQ Modellerinde her dönem aynı sabit oranla talep bulunduğu için statik deterministik problemlerde EOQ modeli hesaplanması mümkündür. EOQ modelinin matematiksel modeli (Behret, 2011):

Tablo. 3. Deterministik Stok Problemi modelin Değişkenleri

Modelin Değişkenleri	
Semboller	Açıklamalar
D	Yıllık talep miktarı (birim/yıl)
Q	Sipariş başına sipariş miktarı (karar değişkeni)
C_o	Sipariş başına sabit sipariş maliyeti (TL/sipariş)
C_p	Birim ürün satın alma maliyeti (TL/birim)
C_h	Birim başına yıllık stok bulundurma maliyeti (TL/birim-yıl)
L	Ortalama günlük temin süresi, sabit
\bar{d}	Ortalama günlük talep miktarı (birim/gün)

Yıllık Sipariş Maliyeti:

$$\frac{D}{Q} C_o \quad 4.13$$

Yıllık Stok Bulundurma Maliyeti:

$$\frac{Q}{2} C_h \quad 4.14$$

Yıllık Satın Alma Maliyeti:

$$D * C_p \quad 4.15$$

Toplam Maliyet Fonksiyonu:

$$TC(Q) = \frac{D}{Q}C_o + \frac{Q}{2}C_h + D * C_p \quad 4.16$$

Ekonomik Sipariş Miktarı (EOQ) Denklemi:

$$\frac{dTC(Q)}{dQ} = \frac{D * C_o}{Q^2} + \frac{C_h}{2} = 0 \quad 4.16$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 * D * C_o}{C_h}} \quad 4.17$$

3.2.4.2. Stokastik Stok Problemi:

Gerçek hayatta karşılaşılan belirsizlik ve değişkenlik faktörlerinin varlığı durumlarında Stokastik yani bir diğer ismiyle Olasılıksal Stok Kontrol problemleri kullanılmaktadır. Deterministik modeller stoktaki sabitlik nedeniyle gerçek hayatta kullanılamazken Olasılıksal modeller günümüzde ve gerçek hayatta sıklıkla kullandığımız stok kontrol modelidir. Talebin ve tedarik süresinin önceden tam olarak bilinmediği durumlarda kullanılan stok modeli problemidir. Talepteki dalgalanma yani talep olasılığı zamana göre değişip değişmemesi durumuna göre iki grupta incelenebilir. Eğer talepteki dalgalanma zamana göre değişmiyorsa Durağan, değişiklik oluyorsa durağan olmayan Stokastik Modeldir.

Deterministik stok kontrol modelinde EOQ modelini talebin ve tedarik süresinin kesin olarak bilindiği varsayımı ile incelemiştik. Gerçek hayatta ise bunlar zamana göre değişiklik gösterebilen değişkenlerdir. Bu sebeple ise emniyet stokuna ihtiyaç duyulur. Emniyet stoku sayesinde stokun tükenmesi ve müşterinin talebinin karşılanmaması durumunun önüne geçilmiş olur. Emniyet stokunu ise Sürekli Kontrol Modeli ve Aralıklı Kontrol Modeli olmak üzere iki grupta inceleyebiliriz. Sürekli Kontrol Modelinde stok sürekli olarak izlenir, sipariş miktarı sabittir ama sipariş aralığı talebe göre değişkenlik gösterebilir. Aralıklı Kontrol Modelinde ise stok dönemsel olarak kontrol edilir, sipariş aralığı sabittir ama sipariş miktarı talebe göre değişkenlik gösterebilir. Sürekli ve Aralıklı stok kontrol modellerinin matematiksel gösterimi (Behret, 2011):

Tablo. 4. Stokastik Stok Problemi modelin değişkenleri

Modelin Değişkenleri	
Semboller	Açıklamalar

Q	Sipariş Miktarı
I	Elde edilen mevcut stok
R	Yeniden sipariş noktası
\bar{d}	Ortalama günlük talep
L	Temin süresi
z	Belirlenen müşteri hizmet düzeyi için standart sapma sayısı
σ_L	Temin süresindeki talep için standart sapma
P	Müşteri hizmet düzeyi
T	Sabit sipariş dönemi

Sürekli kontrol modelinde stok düzeyi R düzeyine ulaştığında yeni stok yenileme siparişi verilebilir.

$$R = \bar{d}L + z\sigma_L \quad 4.18$$

Müşteri hizmet düzeyine yani P'ye göre belirlenen z-skoru ve sipariş sayısının matematiksel modeli:

$$E(z) = \frac{(1 - P)Q}{\sigma_L} \quad 4.19$$

Aralıklı kontrol modelinde belirli dönemlerde kontrol edilir ve bu dönemlerin sonunda stok tükenme riskini gözlemlemiş olur. Emniyet stoku modeli:

$$z\sigma_{T+L} \quad 4.20$$

Aralıklı kontrol modelinin gözden geçirme döneminde verilmesi gereken sipariş miktarı:

$$Q = \bar{d}(T + L) + z\sigma_{T+L} - I \quad 4.21$$

Sipariş miktarının müşteri hizmet düzeyinin sağlanması için z değerinin hesaplanabilmesi gerekmektedir:

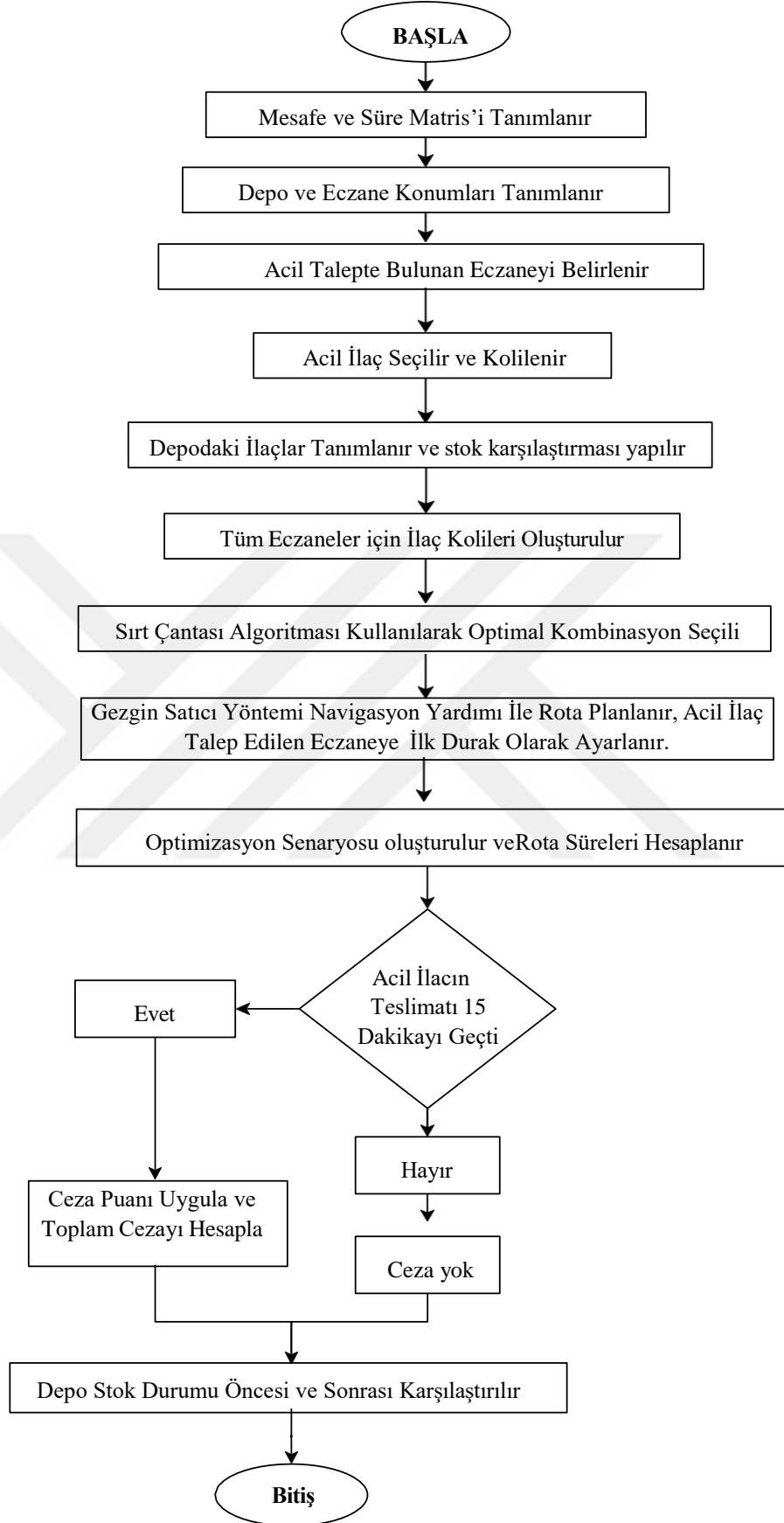
$$E(z) = \frac{\bar{d}T(1 - P)}{\sigma_{T+L}} \quad 4.22$$

3.3. Metotların Birleşimi İle Endüstri 4.0 Uygulamasına Geçiş

Bu tez çalışması, İstanbul Esenyurt bölgesindeki eczanelere ilaç dağıtımını yapan bir deponun Navigasyon verilerini referans alarak mesafe ve süre matrisinin değer aralıklarını belirlenmesiyle yapılmıştır. Esenyurt Bölgesindeki Navigasyon görüntüsü Ek-1 ve Ek-2’de gösterilmiştir. Bu çalışmada amaç, eczanelerin talep ettikleri ilaçları, depodan eczanelere toplu ulaştırma ve bunu en uygun süre ve maliyetle yapabilmektir. Bunun için En Kısa Yol Algoritmalarından Gezgin Satıcı Yöntemini ve Sırt Çantası Algoritmasını kullanılmıştır. İnsan hayatı için önem arz eden ilaçlar, acil ihtiyaçlara ve acil teslimata ihtiyaç duymaktadır. Eczanenin elinde mevcut olmayan ilaçları, temin edebileceği en kısa sürede sahip olmaları da oldukça önem arz etmektedir. Bu durum Acil İlaç teslimatlarının yolunu açmaktadır. Bu durumu ise Gezgin Satıcı Yöntemini kullanarak depodan sonraki ilk durağının acil ilacın teslim edileceği eczaneye uğraması kuralını tanıyarak sağlayabiliriz. Acil ilacın istenilen zamanda teslim edilmemesi yani teslimatta yaşanan gecikme o ilacın ihtiyacının karşılanmamasına sebep olabilmektedir. Bu durumun önüne geçmek için ise Kamçı Etkisini kullanarak, gecikme durumlarında depoya yapılan mali yaptırım uygulaması kullanılmıştır. Bu yaptırım sayesinde acil ilacın eczaneye ulaşması daha önem arz etmekte olup, bir sonraki bu tarz durumlar için deponun hazır olmasını sağlayacaktır.

Bu çalışmada 1 depo, 30 eczaneye dağıtım hizmeti yapmaktadır. Deponun mevcutta bulunan 3 aracın 20’şer kilo kapasitesi bulunmaktadır ve ilaçları araçlara bu kapasiteye Sırt Çantası Algoritması ile yerleştirilmektedir. Bu 3 araç için Navigasyon yardımı ile rota hesaplaması yapılır ve en kısa yol algoritmalarından gezgin satıcı yöntemi kullanılır. Bu sayede araç, ilaç dağıtımının soruna geldiğinde depoya geri dönmektedir. Her eczanenin kendine ait barkotlu koli sistemleri vardır. Bu barkotlu kolilerde eczaneni istediği ilaçların hepsi bulunmaktadır. Sırt Çantası Algoritması kullanılırken değer maksimize edilmesi amaçlanmaktadır. Bu algoritmayı kullanırken ilaç değerleri değil, eczanenin koli değeri kullanılmaktadır. Aracın ilk rotası her zaman acil ilaç ihtiyacı olan eczanedir ve bu eczaneye 15 dakika içerisinde teslimatı gerçekleştirmezse 10.000 TL artı ilaç değerinde ceza puanı hesaplaması gerçekleştirilmektedir. Deponun mevcut stok durumunu takip edilebilmesi için ise her teslimattan sonra düzenli stok kontrolünün yapılması da önem taşımaktadır. Bu durum için ise çalışmanın sonunda depodaki ilaçların dağıtımdan önceki ve sonraki stok karşılaştırılmasının yapılması sağlanmıştır.

Bu çalışmanın Akış Diyagramı, Şekil. 1’de gösterilmiştir. Akış Diyagramını ayrıntılı bir şekilde açıklayacak olursak; Navigasyon verilerini baz alarak belirlenen değer aralıklarında mesafe matrisinin oluşturulması ile çalışma başlamalıdır. Eczanelerin ve deponun konumları bu mesafe matrisine göre belirlenmektedir. Planlanan rota senaryosu acil ilaca göre ayarlanacağı için önce acil ilacın gideceği eczane belirlenir ve acil ilacın barkotlu kolilenme işlemi yapılır. Depodaki mevcut stok belirlenir ve bu stok durumuna göre ilaç talebinde bulunan diğer eczanelerin barkotlu ilaç kolilerinin oluşturulması gerçekleştirilir. Dağıtımını gerçekleştirecek araçlara bu barkotlu koliler Sırt Çantası Algoritması aracılığı ile yerleştirilir. Navigasyon verileri baz alınmasıyla, Gezgin Satıcı Algoritması kullanılarak rota planının senaryosu oluşturulur ve Acil ilacı talep eden eczane ilk rota olarak ayarlanır. Planlama başlar ve ilaç dağıtım planının optimizasyon senaryosu oluşturulur. Bu senaryoda acil ilacın teslim süresi 15 dakikayı geçmesi durumunda ceza puanı uygulanır ve hesaplanır. Eğer acil ilaç, eczaneye 15 dakikayı geçmeden ulaşırsa ceza puanı uygulanmaz. Son olarak deponun mevcut stokunu takip edebilmemiz için dağıtım öncesi ve sonrası stok karşılaştırılması yapılır ve çalışmanın akışı yani Akış Diyagramı sonlanır.



Şekil. 1. Akış Diyagramı

4. UYGULAMA

Bu tez çalışmasında ilaç dağıtım planlamasını uygulamaya dökerken, Visual Studio Code programında Python programlama dilini kullanarak kullanıcı dostu arayüz oluşturmak için PySimpleGUI kütüphanesini kullanılmıştır. Grafikselle kullanıcı arayüzü olarak kullandığımız Python tabanlı PySimpleGUI programı; pencereler, butonlar, giriş ekranları ve çıktı ekranlarında oluşarak sistemle iletişim sağlayabilen bir arayüz oluşturmaktadır. Eczanelerin taleplerinin manuel girilmesini sağlayabilmekte ve bu belirlenen değerler doğrultusunda çıktı verilerini yani lojistik optimizasyonunu oluşturabilmektedir.

İlk olarak Python tabanlı program kodunun çalışması için gerekli kütüphane ve değerleri tanımlanmıştır. Veri kaynağı kullanmadığı için değerlerin belirlediği değer aralıklarında kullanılabilmesi için “random” fonksiyonu tanımlanması gerekmektedir. Ek-3’de gözüktüğü gibi yazılımın ilk 5 satırı bu komutlardan oluşmaktadır.

Sırt Çantası, Gezgin Satıcı, Kamçı Etkisi ve Stok Kontrol problemleri için Ek-3’deki gibi başlangıç kısıtları belirlenmiştir. Bu çalışmada 3 dağıtım aracı kullanılacaktır ve her aracın 20 kilo kapasitesi bulunmaktadır. Acil ilaçlar için teslimat süresinin 15 dakikayı geçmemesi gerektiği ve deponun dağıtımdan sonraki stok kontrolünde ilaç çeşitlerinden her biri için 10 adetten az bulunması durumunda uyarı vermesi gerektiğinin kısıtları belirlenmiştir. Bu çalışmadaki kısıtlar, modelin erişilebilirliğini arttırmak ve uygulamayı somutlaştırabilmek amacıyla seçilmiştir. Bu kısıtların belirlenmesi mevcut düzene ve ihtiyaçlara göre değiştirilebilmektedir.

Bu çalışmanın Visual Studio Code programında, PySimpleGUI kütüphanesinin kullanımıyla yazılmış Python kodu, Ek-3’de gösterilmiştir. Ek-3’de de gösterildiği gibi, depo ve eczanelerin önce isimlendirilmesi daha sonra ise Navigasyon verilerini baz alarak belirlenen değer aralığında, random fonksiyonu kullanılarak mesafe matrisi oluşturulmuştur. Teslimat süreleri ise bu mesafe matrisine bağlı olarak hesaplanmıştır.

Sırt Çantası (Knapsack) Algoritmasını, araçların kapasitesine uygun en yüksek fiyat değerini taşıyacak şekilde ayarlanması için maliyete göre optimizasyon yapılmıştır. Bunu için Ek-3’de de gözüktüğü gibi, knapsack algoritması kullanarak fiyatı baz alınmıştır.

Gezgin Satıcı (Traveling Salesman (TSP)) Problemini, sıra kombinasyonlarına dayalı rota planlanması yapılmıştır. Eğer eczanelerin acil ilaç taleplerinin olması durumunda, planlanacak rotanın ilk durağı olarak acil ilacın teslim edileceği ilaç olacak şekilde rota planlaması yapılır. Bu rota planlamaları süreyi minimuma indirecek şekilde yapılması amaçlanmaktadır. Bunun için Ek-3’de de gözüktüğü gibi tsp_acilli komutu kullanılarak Sırt Çantası Problemi uygulanmıştır.

İlaçların isimlendirilmesi, hangi eczaneye gideceklerinin, ağırlıklarının ve fiyatlarının belirlenmesi yapıldıktan sonra, PySimpleGUI kütüphanesinin kullanımıyla kullanıcı arayüzü oluşmaya başlanmıştır. Kullanıcının ilaç taleplerinin manuel bir şekilde girebildiği, planlamanın ve sonuçların takip edilebildiği bir arayüz yapılmıştır. Bu arayüzde hangi eczanenin, hangi ilaçtan, kaç adet talep ettiği manuel olarak belirtilmiştir. Yapılan arayüzün detayları belirlenir ve bu detaylarda “Talep Ekle”, “Planlamayı Başlat” kutucuklarının oluşturulması, talebin “Acil” olup olmadığının belirtilmesi, eczane ve ilacın seçilmesi gibi fonksiyonlar eklenmiştir.

Kodun detaylı açıklaması ve incelemesi; depo stoklarını, 100 çeşit ilaç için 20’şer adet stok belirlenecek şekilde ayarlanmıştır, barkotlu koli sistemi tanımlanmıştır ve her eczanenin kendine ait bir barkotlu kolisi, eczanelerin talep ettikleri ilaçlardan oluşacak şekilde ayarlanmıştır. Eczaneden gelen talepler rotaya uygun Sırt Çantası Problemine göre yani kapasiteye en değerli ürünlerin alınacağı şekilde 3 adet araca yerleştirilebilir şekilde ayarlanmıştır. Rota optimizasyonu acil ilaca göre ayarlanması yapılmıştır ve eğer acil ilaç için belirtilen süre sınırını geçerse (10.000 TL + İlacın Fiyatı) değerinde ceza puanı ödenir şeklinde ayarlanmıştır.

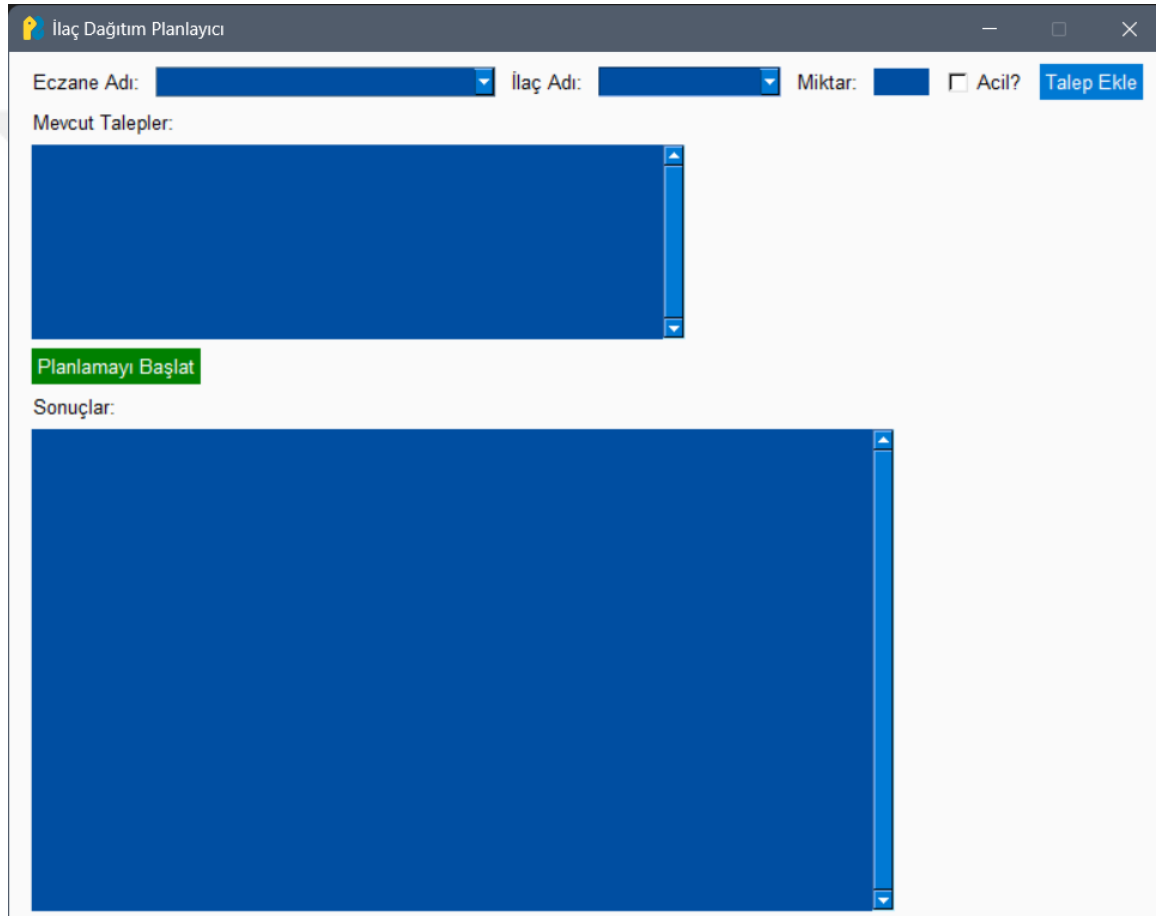
Bu arayüzü kullanan kullanıcı, tüm eczaneler için talep kriterlerini manuel bir şekilde belirledikten sonra “Planlamayı Başlat” butonuna basar ve sonrasında ise “Sonuçlar” ekranında belirtilen tüm kriterlere göre ilaç dağıtım lojistiğinin optimizasyonunun senaryosu otomatik bir şekilde oluşmaktadır.

“Sonuçlar” ekranında Acil ilaç olarak hangi ilacın hangi eczaneye gideceği, acil ilacın zamanında teslim edilip edilmediği ve ceza puanı var ise ceza puanının hesaplanmasının otomatik olarak yapılması gibi senaryolar gösterilmektedir. Her aracın rotası ve her aracın hangi eczaneye hangi barkotlu koliyi taşıdığı, bu barkotlu kolilerde hangi ilaçlardan kaç adet olduğu ve fiyatları yani dağıtım planı gösterilir. Deponun dağıtım öncesi ve sonrası kullanılan ilaçların stok takibinin yapılması ve

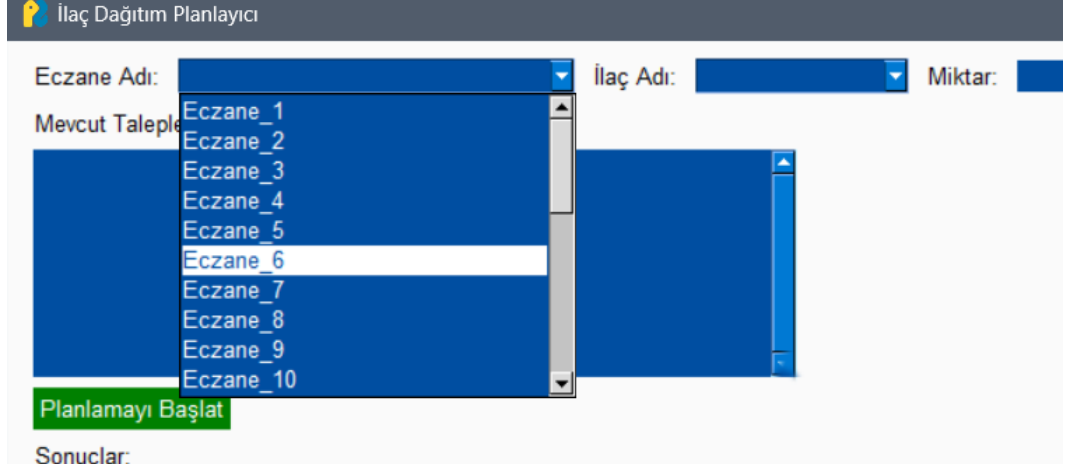
kritik stok uyarısı yani 10 adetten az stoku alan ilaç çeşidi olan ilacın uyarısı bu “Sonuçlar” ekranında gösterilmektedir.

PySimpleGUI kullanımı ile oluşan “İlaç Dağıtım Planlayıcısı” kullanıcı arayüzünün ilk açıldığı ve hiçbir işlem yapmadan önceki yani arayüzün boş halinin görseli, Şekil. 1’de gösterilmiştir.

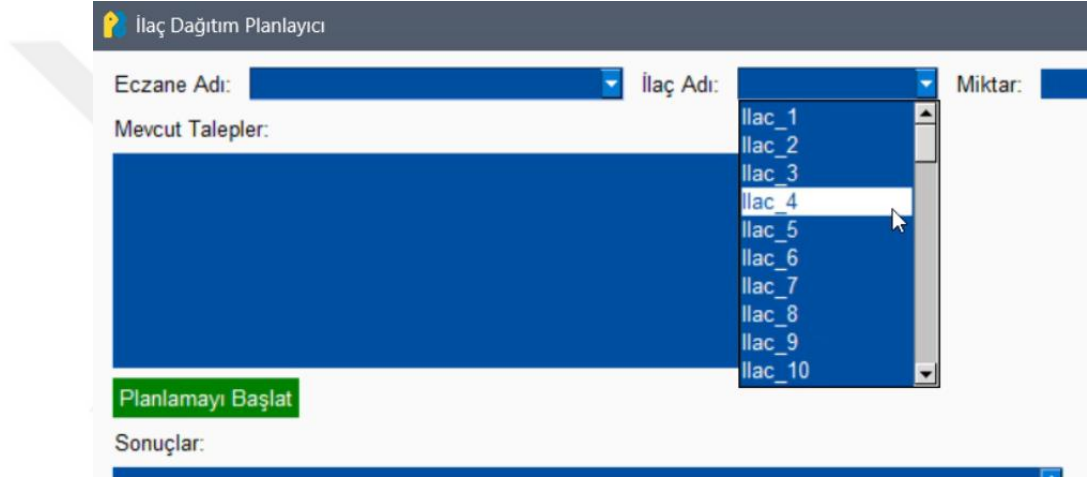
“İlaç Dağıtım Planlayıcısı” arayüzünü kullana kullanıcı, eczaneleri ve ilaçları talepler doğrultusunda manuel bir şekilde sisteme girebilmektedir. Eczanelerin ve ilaçların seçildiği sekmeler ise Şekil. 2 ve Şekil. 3’de gösterildiği gibidir.



Şekil. 2. Kullanıcı arayüzünün ilk açıldığındaki görüntüsü

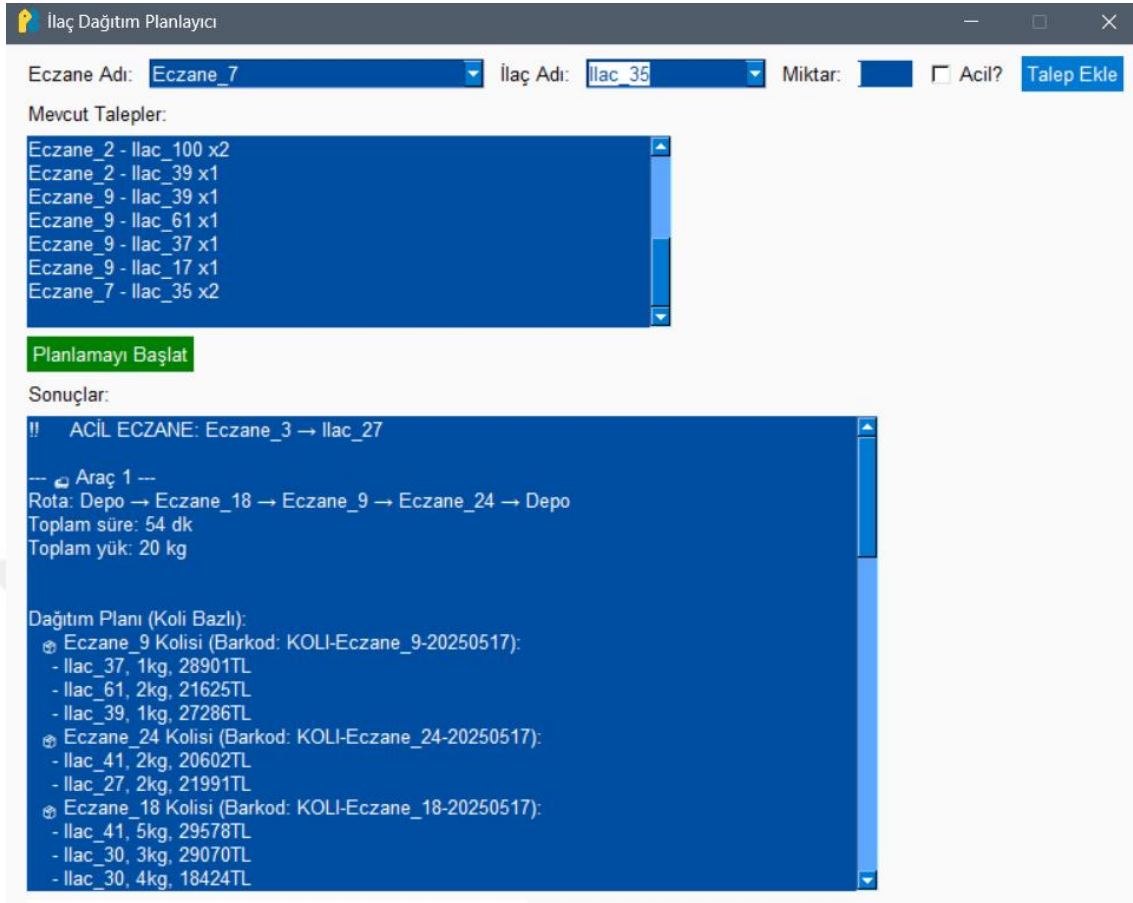


Şekil. 3. Eczane seçim sekmesinin görüntüsü



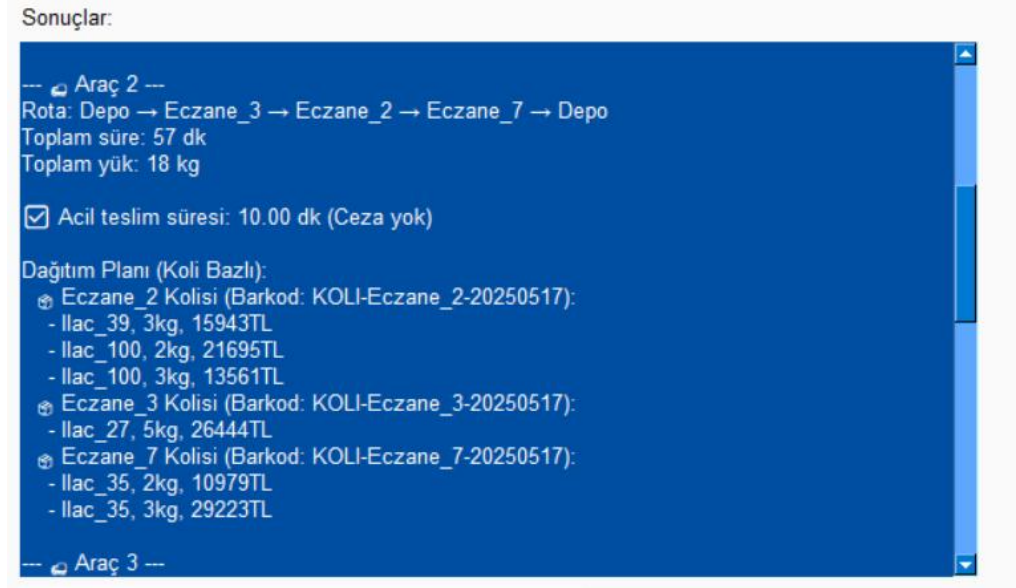
Şekil. 4. İlaç seçim sekmesinin görüntüsü

İlaç Dağıtım Planlayıcı kullanıcı arayüzünde işlem yaptıktan sonra yani “Eczane Adı”, “İlaç Adı” kriterlerinin seçilmesi, “Miktar” kutusunun belirlenmesi, “Acil?” butonuna gereği var ise kutunun seçilmesi ve sonrasında “Talep Ekle” butonuna basılmasıyla tüm talepler teker teker seçilmektedir. Mevcut taleplerin hepsi belirlendikten sonra ise “Planlamayı Başlat” butonuna basılması sonucunda “Sonuçlar” ekranında ilaç dağıtım lojistiğinin planı optimizasyon senaryosu oluşmaktadır. Kullanıcı arayüzünün talepler doğrultusunda doldurulmuş hali Şekil. 4’de gösterilmiştir.



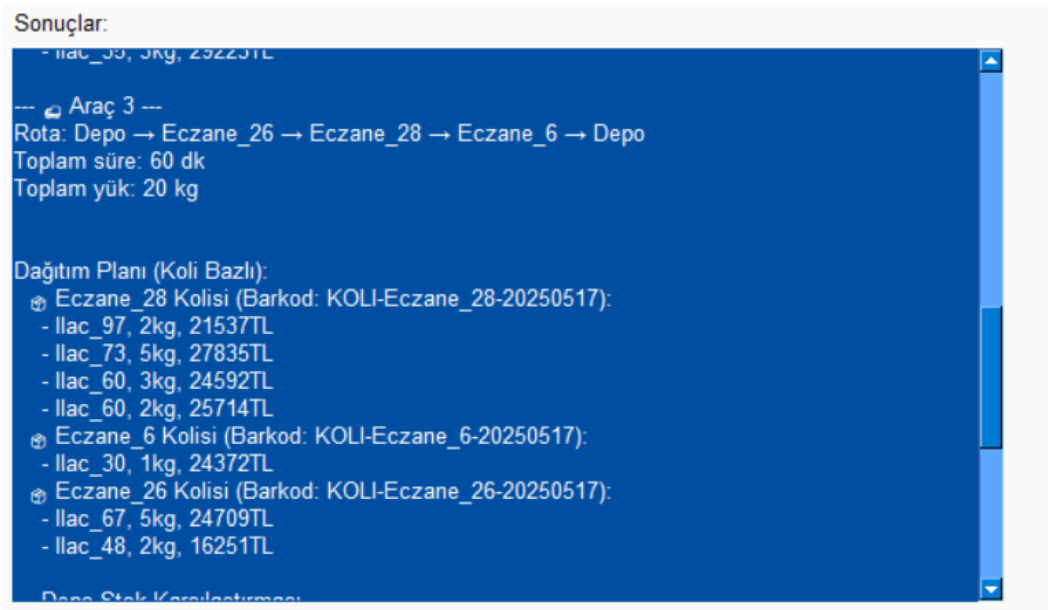
Şekil. 5. Kullanıcı arayüzünün istenilen talepleri girildikten sonraki görüntüsü ve Araç 1 için dağıtım planının senaryosu

Şekil. 4’deki talepler doğrultusunda yapılan planlamanın senaryo sonuçları Şekil. 4, Şekil. 5, Şekil. 6 ve Şekil. 7’de görüldüğü gibidir. Şekil. 4’de “Sonuçlar” ekranında acil ilacın hangisi olduğunu ve hangi eczaneye gideceği, Araç 1’in rotasını, bu rotanın toplamda ne kadar sürdüğünü, aracın taşıdığı toplam yükünün ağırlığını ve barkotlu koli bazlı hangi eczaneye hangi ilaçların gittiği gösterilmiştir.



Şekil. 6. Sonuç ekranının görüntüsünün devamı ve Araç 2 için dağıtım planı

Şekil. 5’de ise Araç 2 için dağıtım planının senaryo sonucunu göstermektedir. Acil ilaç talebi bulunan eczanenin bu araç rotasında olması, Araç 2’nin ilk rotasının acil ilacın teslim edileceği eczane olacağını göstermektedir. Bu yaptığımız hesaplamada acil ilacın teslim süresi belirlenen kriteri yani 15 dakikayı geçmediği için herhangi bir ceza yaptırımı olmayacağını göstermektedir. Yani acil ilacın teslimi sorunsuz bir şekilde tamamlanmıştır.



Şekil. 7. Sonuç ekranının görüntüsünün devamı ve Araç 3 için dağıtım planı

Şekil. 6’da ise Araç 3 için dağıtım planının senaryo sonucu gösterilmektedir. Her eczanenin kendine ait barkotlu koliler vardır ve bu barkotlu koliler sayesinde, dağıtım takibin yapılmasını daha kolay bir şekilde sağlamaktadır.

Sonuçlar:

--- Depo Stok Karşılaştırması ---			
Ilac_17:	Önceki: 20,	Sonraki: 19,	Gönderilen: 1
Ilac_27:	Önceki: 20,	Sonraki: 18,	Gönderilen: 2
Ilac_30:	Önceki: 20,	Sonraki: 15,	Gönderilen: 5
Ilac_35:	Önceki: 20,	Sonraki: 18,	Gönderilen: 2
Ilac_37:	Önceki: 20,	Sonraki: 19,	Gönderilen: 1
Ilac_39:	Önceki: 20,	Sonraki: 18,	Gönderilen: 2
Ilac_41:	Önceki: 20,	Sonraki: 17,	Gönderilen: 3
Ilac_48:	Önceki: 20,	Sonraki: 18,	Gönderilen: 2
Ilac_60:	Önceki: 20,	Sonraki: 18,	Gönderilen: 2
Ilac_61:	Önceki: 20,	Sonraki: 19,	Gönderilen: 1
Ilac_67:	Önceki: 20,	Sonraki: 18,	Gönderilen: 2
Ilac_73:	Önceki: 20,	Sonraki: 19,	Gönderilen: 1
Ilac_82:	Önceki: 20,	Sonraki: 19,	Gönderilen: 1
Ilac_97:	Önceki: 20,	Sonraki: 19,	Gönderilen: 1
Ilac_100:	Önceki: 20,	Sonraki: 18,	Gönderilen: 2

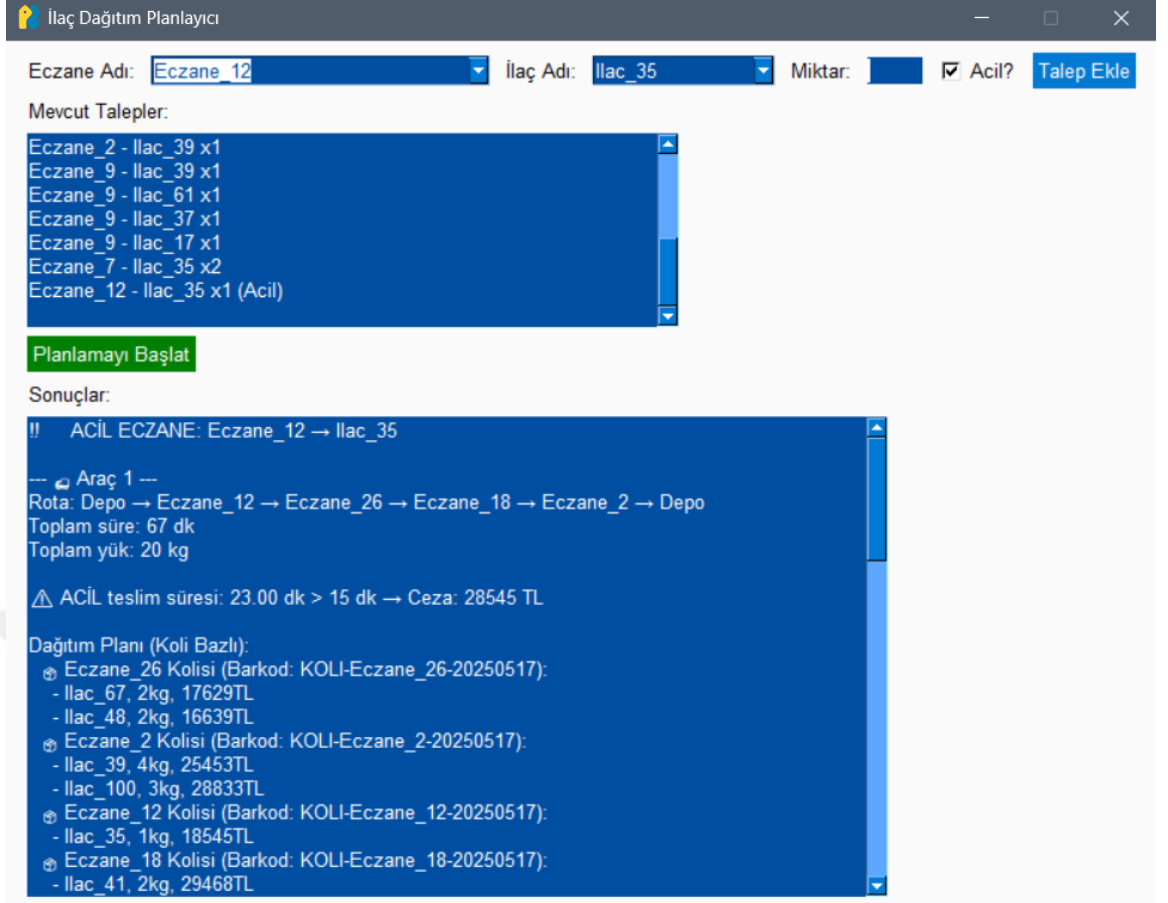
▲ Kritik Stok Uyarıları (<= 10 adet) ---

🔍 Toplam Ceza: 0 TL

Şekil. 8. Sonuç ekranının görüntüsünün devamı ve deponun mevcut stokunun karşılaştırılması

Şekil. 7’de ise dağıtıma çıkan ilaçların stok karşılaştırılmasının sonucu gösterilmektedir. Dağıtımda kullanılan ilaç çeşitleri için önceki, sonraki ve toplam gönderilen ilaç miktarını hesaplamasını yapıp, çıktısını vermektedir. “Kritik Stok Uyarıları” sayesinde ise stoku 10 adet altına düşen ilacın uyarısı yapılmaktadır. Bu uyarı sayesinde depo, stoku belirlediği kriterin altına düşen ilacı, depoya tedarikini sağlayabilmektedir.

Şekil.4 ‘deki kriterler doğrultusunda dağıtım senaryosu oluşturulduğunda, bu senaryonun sonucunda ceza puanı uygulaması olmamıştır çünkü araç acil ilacı, istenilen eczaneye zamanında ulaştırmıştır. Başka bir senaryo denemesinde acil ilacın yetiştirilmeme durumunun senaryosu Şekil. 8’deki gibi tekrardan çalıştırılarak yapılmıştır. Tekrardan eczaneler için talepler belirlenmiş ama bu sefer acil ilacın teslim edileceği eczaneyi farklı bir eczane olarak belirlenmiştir. Bu durumda ise yine aynı şekilde her araç için rota planı ve genel bir ilaç dağıtım planı yapılmıştır.



Şekil. 9. Tekrardan taleplerin belirlenmesi ve taleplerin manuel olarak girilmesi

Şekil. 8’de Araç 1 için dağıtım planının senaryosu gösterilmektedir. Bu senaryoya göre Araç 1, depodan acil ilaç teslimi için önce Eczane 12’ye sonra ise dağıtım yapacağı diğer eczanelere yani sırasıyla Eczane 26, Eczane 18 ve Eczane 2’ye uğradıktan sonra depoya geri dönmektedir. Bu teslimat toplamda 67 dakikada tamamlanmaktadır. Acil ilacı, Eczane 12’ye 23 dakikada teslim edildiğinden dolayı yani acil ilaç teslim süresi 15 dakikayı geçtiği için ceza puanı uygulanmıştır.

Şekil. 9, Şekil. 10 ve Şekil. 11’de diğer araçların dağıtım planının senaryoları gösterilmiştir. Şekil. 12’de ise stok takibi için deponun stok karşılaştırılması ve bu dağıtım senaryosundaki toplam cezamın hesaplanması gösterilmiştir.

Sonuçlar:

--- Araç 1 ---
Rota: Depo → Eczane_12 → Eczane_26 → Eczane_18 → Eczane_2 → Depo
Toplam süre: 67 dk
Toplam yük: 20 kg

⚠ ACİL teslim süresi: 23.00 dk > 15 dk → Ceza: 28545 TL

Dağıtım Planı (Koli Bazlı):

- ⊕ Eczane_26 Kolisi (Barkod: KOLI-Eczane_26-20250517):
 - Ilac_67, 2kg, 17629TL
 - Ilac_48, 2kg, 16639TL
- ⊕ Eczane_2 Kolisi (Barkod: KOLI-Eczane_2-20250517):
 - Ilac_39, 4kg, 25453TL
 - Ilac_100, 3kg, 28833TL
- ⊕ Eczane_12 Kolisi (Barkod: KOLI-Eczane_12-20250517):
 - Ilac_35, 1kg, 18545TL
- ⊕ Eczane_18 Kolisi (Barkod: KOLI-Eczane_18-20250517):
 - Ilac_41, 2kg, 29468TL
 - Ilac_30, 2kg, 17570TL
 - Ilac_30, 2kg, 19385TL

Şekil. 10. Araç 1 için dağıtım planı

Sonuçlar:

--- Araç 2 ---
Rota: Depo → Eczane_7 → Eczane_28 → Eczane_24 → Depo
Toplam süre: 42 dk
Toplam yük: 20 kg

Dağıtım Planı (Koli Bazlı):

- ⊕ Eczane_24 Kolisi (Barkod: KOLI-Eczane_24-20250517):
 - Ilac_27, 5kg, 24340TL
- ⊕ Eczane_28 Kolisi (Barkod: KOLI-Eczane_28-20250517):
 - Ilac_97, 1kg, 21724TL
 - Ilac_73, 5kg, 26933TL
 - Ilac_60, 5kg, 25404TL
 - Ilac_60, 1kg, 20610TL
- ⊕ Eczane_7 Kolisi (Barkod: KOLI-Eczane_7-20250517):
 - Ilac_35, 3kg, 12535TL

Şekil. 11. Araç 2 için dağıtım planı



Şekil. 12. Araç 3 için dağıtım planı



Şekil. 13. Deponun stok karşılaştırması

Sonuç olarak yaptığımız çalışmayı bir çatı altında toplayacak olursak, Endüstri 4.0 döneminin teknolojilerinin kullanımıyla ilaç dağıtım planlamasının optimizasyon senaryoları oluşturulmuştur. Bu dağıtım senaryoları kullanıcı arayüzünü kullanan personelin, eczaneden gelen talepleri manuel bir şekilde sisteme girmesi ve sonrasında planlamayı başlatması doğrultusunda, otomatik bir dağıtım optimizasyonu senaryosu oluşturmaktadır.

5. SONUÇ

Hayatımızın her anını etkileyen teknolojik gelişmeler, tedarik zincirinde büyük değişikliklere olanak tanımaktadır. Artık daha esnek, müşteri odaklı ve verimli çalışan tedarik sistemi, tedarikin her aşamasında kolaylık sağlamaktadır. Endüstri 4.0 Döneminin başlamasıyla verimlilikteki hız artışı ve hızlı karar verme yetenekleri sayesinde tedarik ve lojistik alanlarında yaşanan sorunların, büyük ölçekte önüne geçilmiştir. İnsan hayatı ve sağlığı için önem taşıyan ilaçlar, güvenli bir şekilde korunarak taşınması ve muhafaza edilmesinde eczaneler ve depolar önemli bir yer almaktadır. Üretilen ilaçların hastaya ulaşana kadarki süreç, doğrudan teslimatın mümkün olmadığı bir yapıya sahiptir. Bu süreçte dağıtım depoları ve eczaneler gibi araçlara ihtiyaç duyulmaktadır. Depoların ve eczanelerin hastaya veya müşteriye ilacı güvenli bir şekilde ulaştırabilmesi için doğru tedarik sistemi geliştirmeleri gerekmektedir. İlaçların uygun bir şekilde saklanması yani stoklanmasının yanı sıra ulaşımda da uygun şekilde ve uygun zamanda teslim edilmesi gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında ilaç dağıtım lojistiğinde Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanımıyla süreç optimizasyonu çalışması yapılmıştır. Çalışmamızda yapılan ayrıntılı gelişme ve aşamaları; ilaç dağıtım süreçlerinin, Python tabanlı bir kullanıcı arayüzü tasarlanması ve lojistik planlamasının optimizasyon çalışması ile uygulamada Gezgin Satıcı Problemi, Sırt Çantası Problemi, Kamçı etkisi ve Stok Problemi gibi optimizasyon algoritmalarını bir çatı altında Endüstri 4.0 teknolojileri ile birleştirilerek orijinal bir uygulama yapılmıştır ve ayrıca bu algoritmaların içeriğinde rota planlaması, taşıma kapasitesi planlaması ve stok kontrol planlaması etkin olarak kullanılmıştır. Tasarlanan kullanıcı dostu arayüz sayesinde ilaç dağıtım sürecinin optimizasyon senaryolarını Navigasyon verilerini kullanarak oluşturmak mümkündür. Depo ve eczane arası ilaç dağıtımının süreci üzerinde durulan bu çalışmada, ilaç deposunun çeşitli eczanelere ilaç dağıtımındaki yaşadığı süreçleri ve yaşanan sıkıntıları göz önünde bulundurarak dağıtıma çıkmadan önce dağıtımın, Endüstri 4.0 programı çatısı altında senaryolarının oluşturulması amaçlanmıştır. Bu sayede araçlar dağıtıma çıkmadan önce hangi aracın hangi rotayı kullanacağı ve hangi ürünleri taşıyacağı önceden planlanabilir, izlenebilir ve kontrol edilebilirdir. İnsan sağlığı için önem arz eden ilaçların aciliyeti dikkate alınarak, rota planlaması bu duruma öncelik verilecek şekilde tasarlanmıştır.

Bu çalışmada Python tabanlı PySimpleGUI kullanıcı arayüzü tasarımı programı kullanılarak depo ve eczaneler arasındaki ilaç dağıtım optimizasyonu, Endüstri 4.0 çatısı altında senaryo oluşturma teknikleri ile kullanılmıştır. Depo, 30 farklı eczaneye dağıtım yapabildiği bir senaryoda 100 farklı ilaç baz alınarak dağıtım planı yapılmıştır. Bu dağıtım planını planlarken, en kısa ve verimli rotayı planlamak için Gezgin Satıcı Problemi kullanılmıştır. İlaçların aciliyeti söz konusu olduğu durumlarda ise Gezgin Satıcı Problemi aciliyete göre entegre edilmiştir. 3 dağıtım aracı ile dağıtım yapılan bu sistemde araç kapasitesini en yüksek fiyat değerine göre ayarlanmasını sağlayacak Sırt Çantası Problemi kullanılmıştır. Bu sayede aracın kapasitesine göre en uygun seçimler yapılabilecektir. Dağıtımdaki düzeni sağlayabilmek amacıyla oluşturulan barkotlu koli sistemi ile eczanelerin kendine ait barkotlu koliler sayesinde sevkiyatlar daha organize halinde gerçekleştirebilmektedir. Acil ilaç teslimlerinin zamanında karşılanabilmesi amacıyla kullanılan Kamçı Etkisi sayesinde ise talebin karşılanmama durumunda yaşanacak olan ceza yaptırımını sayesinde bir sonraki durumlar tekrar yaşanmasının önüne geçilmiştir. Son olarak deponun stok takibinin yapılması, bir sonraki teslimatlarda sıkıntı yaşanmamasını sağlamaktadır. Deponun her dağıtımdan sonra dağıtım öncesi ve sonrası stok karşılaştırılmasının yapılması ve ilaç stokunun belirtilen değer altına düşmesi durumunda bir uyarı vermesi sayesinde deponun stok yönetimi kolaylıkla yapılabilmektedir.

Bu çalışma sayesinde dijitalleşmede insan-makine etkileşimini destekleyen kullanıcı arayüzü tasarımı yapılmıştır. Bu kullanıcı arayüzünün kullanım kolaylığı ve ilaç dağıtım optimizasyonunu otomatik hesaplama sistemi sayesinde dağıtım öncesi planlamalar hızlanabilecek ve yaşanması muhtemel sıkıntılar önceden tespit edilebilecektir. Bu çalışmayı gerçek zamanlı sensör verilerini kullanarak, gerçek verilerin sisteme aktarılması sağlanmasıyla gerçek hayatta uygulanabilir sistem haline getirmek mümkündür. Gerçek ilaç stok verileri, eczane ve depo arasındaki mesafeler; kullanılarak depolarda etkin kullanılabilir sektöre özgü Endüstri 4.0 sistemi haline getirilebilir.

Sonuç olarak bu çalışma, özgün ve ilaç sektörlerinde kullanılabilir Endüstri 4.0 mantığı ile yapılmış bir çalışmadır.

Gelecek için önerimiz; teorik bir Endüstri 4.0 optimizasyonu içeren senaryoların kullanımı ile ilaç dağıtım lojistiğinde somut çözümler sağlayabilen ve uygulama olarak kullanılabilen bir sistem haline getirilebilir. Geliştirilen sistemin esneklik özelliği sayesinde, farklı değerlerle entegre edilmesiyle, gerçek bir sistem altyapısı oluşturabilir.

Saha operasyonlarında, teknik personellerin, depo sorumlularının ve yöneticilerin kullanımında kolaylık sağlayacak Endüstri 4.0 senaryo analizleri doğrultusunda, saha uygulamalarında kullanılabilir bir sistem şeklinde geliştirilebilir.



KAYNAKLAR

- Acemoglu, D., Cantoni, D., Johnson, S., & Robinson, J. A. (2011). The consequences of radical reform: The French Revolution. *American economic review*, 101(7), 3286-3307.
- Ahmetoğlu Taşdemir, F. Zeki talep tahmin yntemlerinin doğruluk ve kamı etkisi açısından değerlendirilmesi: Kimya sektöründe bir uygulama.
- Al-Awamleh, H., Alhalalmeh, M., Alatyat, Z., Saraireh, S., Akour, I., Alneimat, S., & Al-Hawary, S. (2022). The effect of green supply chain on sustainability: Evidence from the pharmaceutical industry. *Uncertain Supply Chain Manag*, 10(4), 1261-1270.
- Ali, A., Cao, M., Allen, J., Liu, Q., Ling, Y., & Cheng, L. (2023). Investigation of the drivers of logistics outsourcing in the United Kingdom's pharmaceutical manufacturing industry. *Multimodal Transportation*, 2(1), 100064.
- Ali, A. M. A., & Alrobaian, M. M. (2024). Strengths and weaknesses of current and future prospects of artificial intelligence-mounted technologies applied in the development of pharmaceutical products and services. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 32(5), 102043.
- Arslan, A., & Delican, D. M. (2020). Dördüncü sanayi devriminin (endüstri 4.0) emek piyasaları üzerindeki etkileri. *TC İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*.
- Atay, T. (1996). *Türkiye İla Sektrndeki Dağıtım Kanalları İerisinde Eczacı Kooperatiflerinin Analizi* Marmara Universitesi (Turkey)].
- Badhotiya, G. K., Sharma, V. P., Prakash, S., Kalluri, V., & Singh, R. (2021). Investigation and assessment of blockchain technology adoption in the pharmaceutical supply chain. *Materials Today: Proceedings*, 46, 10776-10780.
- Barutcu, H. (2019). Endüstri 4.0 uygulamalarının üretim süreçlerine etkisi: Bosch San. ve Tic. A. Ő rneđi (Master's thesis, İstanbul Geliřim Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü).
- Behret, H. (2011). Üretim sistemlerinde bulanık tek dönemli stok kontrol modelleri.
- Bulut, E., & Akçacı, T. (2017). Endüstri 4.0 ve inovasyon göstergeleri kapsamında türkiye analizi. *ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi*, 4(7), 55-77.
- Burns, T., & Stalker, G. M. (1994). *The management of innovation*. Oxford University Press.
- Cabañas, M. J., & Gorgas, M. Q. (2020). The pharmacy service facing the logistics of safely dispensing, storing and preserving drugs in healthcare units. *Farmacia Hospitalaria*, 44, 53-56.

- Dağdeviren, I. E., & Erturgut, R. (2024). The Mediating Role of Supply Chain Integration in the Relationship Between Supply Chain Strategy and Logistics Performance. *Sustainability*, 16(21), 9514.
- Davutoğlu, N. A. (2020). ÜÇÜNCÜ VE DÖRDÜNCÜ SANAYİ DEVRİMLERİ ARASINDAKİ TEMEL VE SİSTEMATİK FARKLILIKLARIN DETERMİNİST BİR YAKLAŞIMLA ANALİZİ. *Management and Political Sciences Review*, 2(1), 176-194.
- Demir, E., & Boz, E. (2024). Sağlık Sektöründe İlaç Dağıtımını İçin Kullanılacak Olan Dronların Seçiminde ÇKKV Yöntemlerinin Uygulanması. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(3).
- Dikkaya, M., Gençer, Ü., & Aytakin, İ. (2018). Endüstri 4.0 Devriminin Ekonomik Etkileri Üzerine, 12. *Uluslararası Kamu Yönetimi Sempozyumu*, 25-27.
- Gedik, Y. (2021). Endüstri 4.0 teknolojilerinin ve endüstri 4.0'ın üretim ve tedarik zinciri kapsamındaki etkileri: Teorik bir çerçeve. *JOEEP: Journal of Emerging Economies and Policy*, 6(1), 248-264.
- Genç, E., & Tunalı, İ. (2022). ENDÜSTRİ 4.0 VE LOJİSTİK 4.0 KAPSAMINDA AKILLI DEPO SİSTEMLERİ. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 9(4), 194-215.
- Genç, S. (2018). Sanayi 4.0 Yolunda Türkiye. *Sosyoekonomi*, 26(36), 235-243.
- George, A., & George, A. (2020). INDUSTRIAL REVOLUTION 5.0: THE TRANSFORMATION OF THE MODERN MANUFACTURING PROCESS TO ENABLE MAN AND MACHINE TO WORK HAND IN HAND. Zenodo (CERN European Organization for Nuclear Research). In.
- Huang, S.-H., Chen, J.-W., Nguyen, H. T., & Hsu, W.-K. (2025). An assessment of service quality for cold-chain logistics in air freight: A Perception-Expectation gap model based on fuzzy Best-Worst Method. *International Journal of Refrigeration*, 170, 164-171.
- Houlihan, J. B. (1985). International supply chain management. *International journal of physical distribution & materials management*, 15(1), 22-38.
- İşler, H. (2022). Transformations Created by the Third Industrial Revolution on Vocational Technical Education Systems. *Türkiye Bilimsel Araştırmalar Dergisi*, 7(2), 354-370.
- Jaworski, T. (2017). World War II and the industrialization of the American South. *The Journal of Economic History*, 77(4), 1048-1082.
- Karaçayır, P. Project selection problem in R&D center by using fucom, Mairca & Knapsack algorithm.

- Kartal, A. N., & Kartal, H. B. (2020). SANAYİLEŞME, FRANSIZ İHTİLALİ ve LİBERAL ANLAYIŞLARIN 19. YÜZYIL KENTİNE YANSIMALARI. *Uluslararası Sosyal Bilimler Akademik Araştırmalar Dergisi*, 4(2), 46-56.
- Kasa, H. (2020). Endüstri 4.0'ın ekonomik büyümeye etkisi: Yenilikçi ekonomilere yönelik ampirik bir analiz. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 305-312.
- Kılıç, R. (2023). Sanayi devrimlerinin serüveni: endüstri 1.0'dan endüstri 5.0'a. *Takvim-i Vekayi*, 11(2), 276-291.
- Lakkala, P., Munnangi, S. R., Bandari, S., & Repka, M. (2023). Additive manufacturing technologies with emphasis on stereolithography 3D printing in pharmaceutical and medical applications: A review. *International journal of pharmaceutics: X*, 5, 100159.
- Mohajan, H. (2019). The second industrial revolution has brought modern social and economic developments.
- Ortiz, J. H. (2020). Industry 4.0: Current status and future trends.
- OVACI, C. (2017). Endüstri 4.0 Çağında Açık İnovasyon. *Journal of Finance Letters/Maliye Finans Yazıları Dergisi*.
- Öcal, F. M., & Altıntaş, K. (2018). Dördüncü sanayi devriminin emek piyasaları üzerindeki olası etkilerinin incelenmesi ve çözüm önerileri. *OPUS International Journal of Society Researches*, 8(15), 2066-2092.
- Özkan, M., Al, A., & Yavuz, S. (2018). Uluslararası politik ekonomi açısından dördüncü sanayi-endüstri devrimi'nin etkileri ve Türkiye. *International Journal of Political Science and Urban Studies*, 6(2).
- Paksoy, T., & Keskin, E. (2006). TEDARİK ZİNCİRİNDE BİLGİ ÇARPITMASININ ETKİSİ: KIRBAÇ ETKİSİ. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*(15), 483-496.
- Phyllis, D. (1994). The first industrial revolution. In: Cambridge University Press.
- Pilikoğlu, A. (2021). COVID-19 pandemi sürecinde ve endüstri 4.0 çerçevesinde tedarik zinciri uygulamalarının değerlendirilmesi: lojistik sektöründe bir uygulama.
- Radivojević, G., & Milosavljević, L. (2019). The concept of logistics 4.0. 4th Logistics international conference,
- Saha, E., Rathore, P., Parida, R., & Rana, N. P. (2022). The interplay of emerging technologies in pharmaceutical supply chain performance: An empirical investigation for the rise of Pharma 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*, 181, 121768.
- Salğar, U., & GÜLBAHAR, D. F. B. Ş. (2018). SANAYİ 4.0 KAPSAMINDA TÜRKİYE'NİN REKABET GÜCÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ.

- Schneikart, G., Mayrhofer, W., Löffler, C., & Frysak, J. (2024). A roadmap towards circular economies in pharma logistics based on returnable transport items enhanced with Industry 4.0 technologies. *Resources, Conservation and Recycling*, 206, 107615.
- Soba, M., & Akar, E. (2021). ENDÜSTRİ 4.0 UYGULAMALARININ ÜRETİM SÜREÇLERİNE ETKİSİ. *Dumlupınar Üniversitesi İİBF Dergisi*(8), 116-129.
- Sucu, İ. (2019). Sosyolojinin Doğuşuna Devrim Etkisi: Endüstri ve Fransız Devrimleri. *İçtimaiyat*, 3(1), 23-46.
- Sürmen, Y. E. (2019). *Endüstri 4.0 ve otomotiv endüstrisi: Bursa ili Swot analizi ile değerlendirilmesi* Bursa Uludag University (Turkey)].
- Taha, E., Tokur, İ., & VE AKAR, H. (2017). Endüstri 4.0 ve Geleceğin Lojistiği. *Lojistik Sektör Raporu, MUSIAD (Müstakil Sanayici Ve İşadamları Derneği). Kasım*.
- Taş, H. Y. (2018). Dördüncü sanayi devrimi'nin (endüstri 4.0) çalışma hayatına ve istihdama muhtemel etkileri. *OPUS International Journal of Society Researches*, 9(16), 1817-1836.
- Tekin, E. (2014). *E-Lojistik ve ilaç dağıtımında e-lojistik uygulamaları Sosyal Bilimler Enstitüsü*].
- Toker, K. (2018). Endüstri 4.0 ve sürdürülebilirliğe etkileri. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme İktisadi Enstitüsü Yönetim Dergisi*, 29(84), 51-64.
- Tonga, M. Y., & Tonga, M. (2022). ENDÜSTRİ 4.0'A GENEL BİR BAKIŞ: SANAYİNİN GELECEĞİ. *GÜ İslahiye İibf Uluslararası E-Dergi*, 6(6), 40-60.
- Tutar, A. (2024). *İlaç Dağıtımında E-Lojistik Uygulamaları: Karaman'da Bulunan Eczaneler Üzerine bir Araştırma* Necmettin Erbakan University (Turkey)].
- Ullah, M., Wahab, A., Khan, S. U., Naeem, M., ur Rehman, K., Ali, H., Ullah, A., Khan, A., Khan, N. R., & Rizg, W. Y. (2023). 3D printing technology: A new approach for the fabrication of personalized and customized pharmaceuticals. *European Polymer Journal*, 195, 112240.
- Uslu, Ş., & Akçadağ, M. (2012). İlaç sektöründe tersine lojistik ve dağıtımın rolü: Bir uygulama. *Niğde Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 5(1), 149-158.
- Von Tunzelmann, N. (2001). Historical co evolution of governance and technology. *The future of innovation studies*, 20-23.
- Wang, T., Cauchon, N. S., Kirwan, J. P., Joubert, M. K., Algorri, M., Bell, B., Soto, R. J., & Semin, D. J. (2024). "Advancing the Implementation of Innovative

Analytical Technologies in Pharmaceutical Manufacturing—Some Regulatory Considerations”. *Journal of Pharmaceutical Sciences*.

Wing, J. M. (2008). Cyber-physical systems research challenges. National Workshop on High-Confidence Automotive Cyber-Physical Systems, Troy, MI, USA,

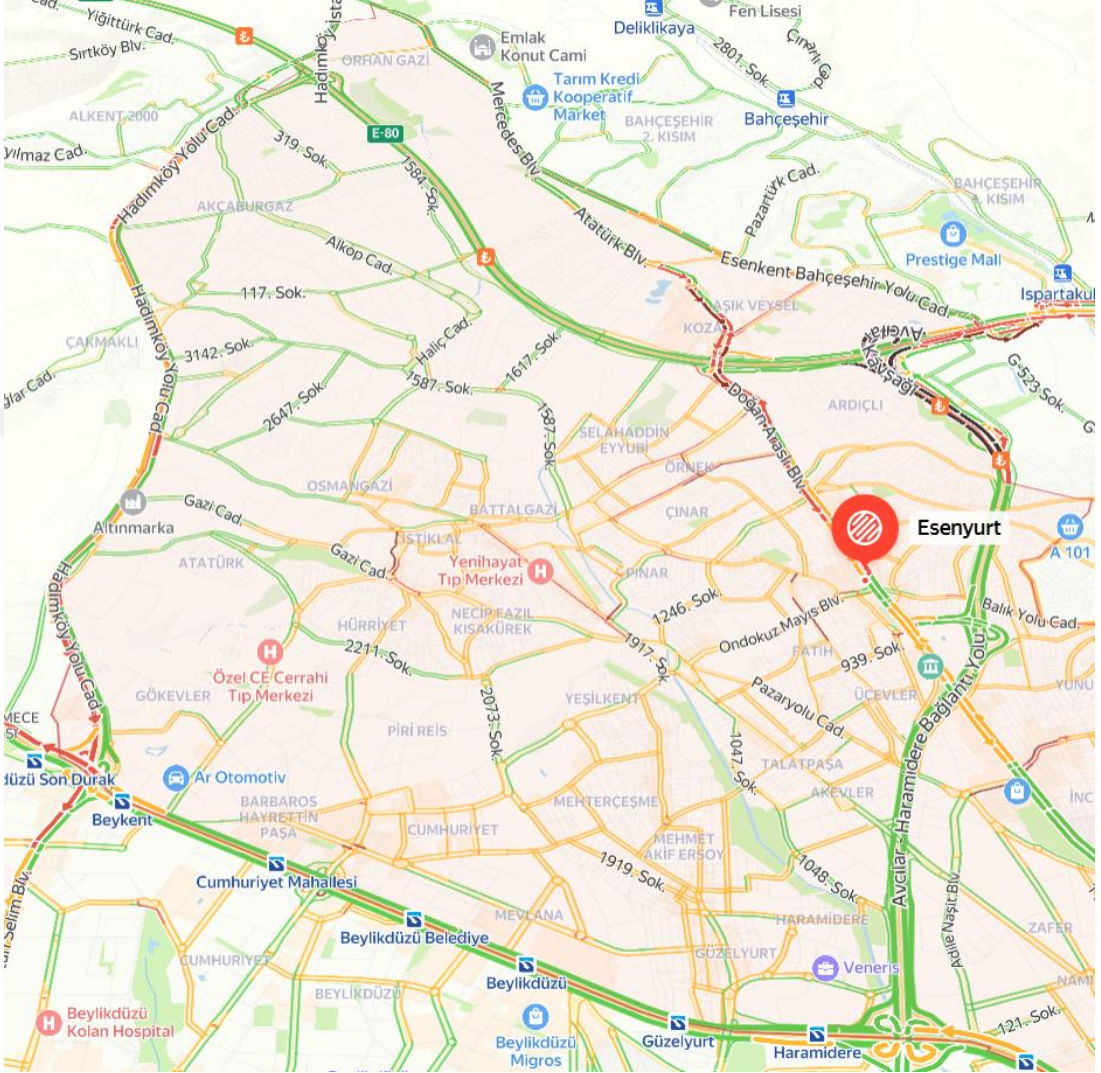
Xu, X., Li, F., Wu, T., Huang, X., Guan, X., Zheng, T., & Shen, L. (2025). Location-routing optimization problem of pharmaceutical cold chain logistics with oil-electric mixed fleets under uncertainties. *Computers & Industrial Engineering*, 201, 110932.

Yıldız, B., & Ağdeniz, Ş. (2019). DENETİM 4.0’IN TEKNOLOJİK ALTYAPISI. *Muhasebe ve Denetime Bakış*, 19(58), 83-102.

Zou, H., & Jiang, J. (2025). Pharmaceutical logistics network planning considering low-carbon policy and demand uncertainty. *Applied Mathematical Modelling*, 141, 115933.

EKLER

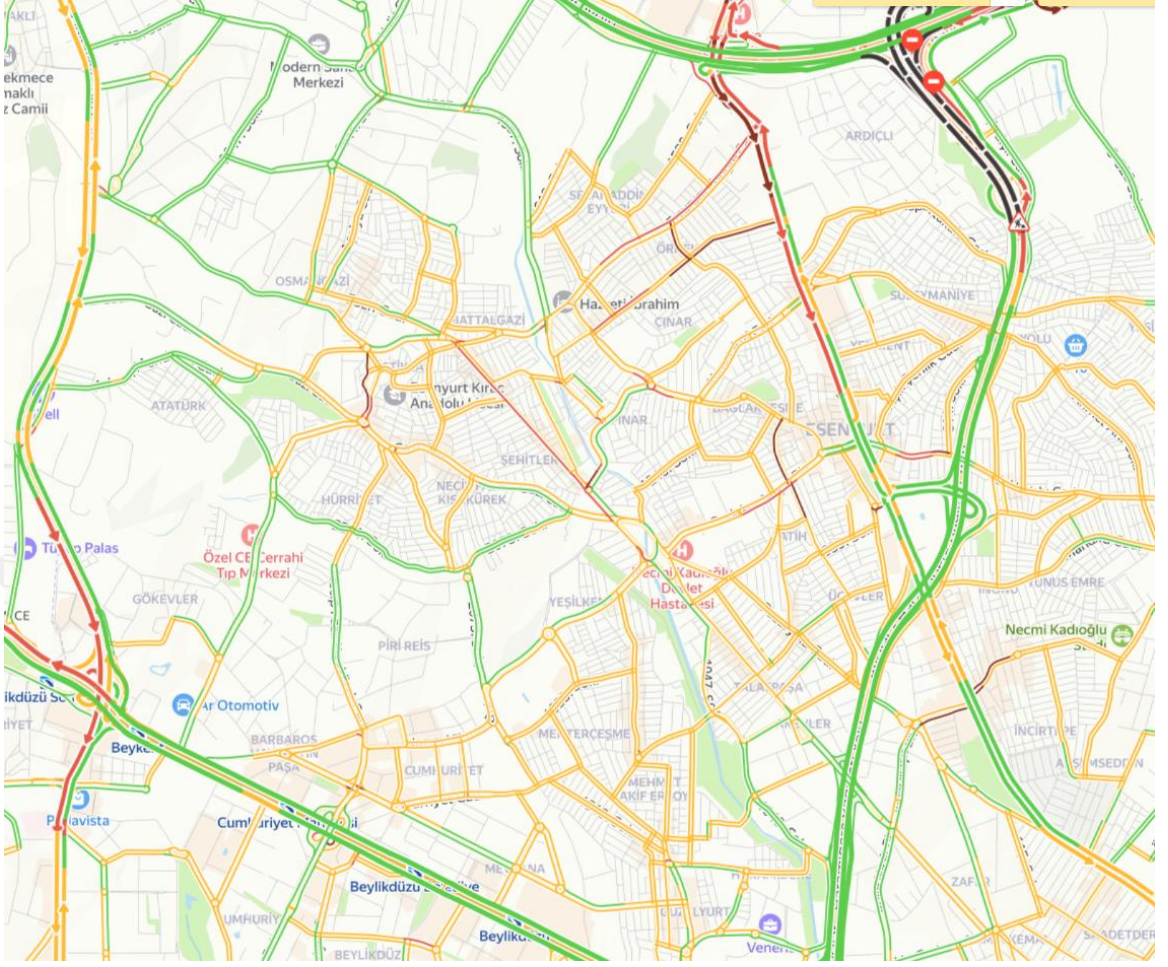
Ek-1: Esenyurt Bölgesinin Navigasyon Görüntüsü



Kaynak: Yandex Navigasyon

(<https://yandex.com.tr/harita/geo/esenyurt/2216045301/?l=trf&ll=28.672308%2C41.033099&tlt=0.8726646259971648&z=14.4>)

Ek-2: Esenyurt Bölgesinin Navigasyon Görüntüsü



Kaynak: Yandex Navigasyon

(<https://yandex.com.tr/harita/geo/esenyurt/2216045301/?l=trf&ll=28.672308%2C41.033099&tilt=0.8726646259971648&z=14.4>)

Ek-3: Visual Studio Code Programı İle Oluşturulan PySimpleGUI Kütüphanesinin Kullanımıyla Hazırlanan Python Kodu:

```
import PySimpleGUI as sg

import numpy as np

import itertools

import random

from datetime import datetime, timedelta, date

ARAC_SAYISI = 3

ARAC_KAPASITESI = 20

TESLIMAT_SURE_SINIRI = 15

KRITIK_STOK_ESIK = 10

lokasyonlar = ["Depo"] + [f"Eczane_{i+1}" for i in range(30)]

n = len(lokasyonlar)

mesafe_km = np.zeros((n, n))

sure_dk = np.zeros((n, n))

for i in range(n):

    for j in range(i + 1, n):

        mesafe = round(random.uniform(2, 10), 1)

        sure = int(mesafe * 2.5 + random.randint(-2, 2))

        mesafe_km[i][j] = mesafe_km[j][i] = mesafe

        sure_dk[i][j] = sure_dk[j][i] = max(sure, 1)

def knapsack(ilaclar, kapasite):

    ....

    dp[i][w] = max(dp[i-1][w], dp[i-1][w - ilac.agirlik] + ilac.fiyat)
```

```

        else:
            dp[i][w] = dp[i-1][w]

    secilenler = []

    w = kapasite

    for i in range(n, 0, -1):

        if dp[i][w] != dp[i-1][w]:

            ilac = ilaclar[i-1]

            secilenler.append(ilac)

            w -= ilac.agirlik

    return secilenler

def .....

    diger = [e for e in eczaneler if e != acil_eczane]

    min_sure = float('inf')

    en_ iyi_rota = []

.....

        i, j = lokasyonlar.index(rota[k]), lokasyonlar.index(rota[k+1])

        toplam_sure += sure_matris[i][j]

    if toplam_sure < min_sure:

        min_sure = toplam_sure

        en_ iyi_rota = rota

    return en_ iyi_rota, min_sure

class Ilac:

    def __init__(self, ad, fiyat, agirlik, hedef_eczane):

        self.ad = ad

```

```

self.fiyat = fiyat

self.agirlik = agirlik

self.eczane = hedef_eczane

sg.theme("LightGray")

layout = [

    [sg.Text("Eczane Adı:"), sg.Combo(values=lokasyonlar[1:], key="-ECZANE-",
size=(30,1)),

    sg.Text("İlaç Adı:"), sg.Combo(values=[f"İlac_{i+1}" for i in range(100)], key="-
ILAC-", size=(15,1)),
.....
    [sg.Text("Sonuçlar:"),

    [sg.Multiline(size=(80, 20), key="-SONUC-", disabled=True)]

]

window = sg.Window("İlaç Dağıtım Planlayıcı", layout)

eczane_talepleri = {}

acil_eczane = None

acil_ilac = None

while True:

    event, values = window.read()

    if event == sg.WIN_CLOSED:

        break

    if event == "-EKLE-":

        ecz = values["-ECZANE-"]

        ilac = values["-ILAC-"]

```

```

miktar_str = values["-MIKTAR-"]

if not ecz or not ilac or not miktar_str:

    sg.popup("Lütfen eczane, ilaç ve miktar giriniz!")

    continue

try:

    miktar = int(miktar_str)

except ValueError:

    sg.popup("Miktar bir sayı olmalıdır!")

    continue

if ecz not in eczane_talepleri:

    eczane_talepleri[ecz] = {}

    eczane_talepleri[ecz][ilac] = eczane_talepleri[ecz].get(ilac, 0) + miktar

if values["-ACIL-"]:

    acil_eczane = ecz

    acil_ilac = ilac

    acil_flag = " (Acil)" if values["-ACIL-"] else ""

    window["-TALEPLER-"].print(f"{ecz} - {ilac} x{miktar} {acil_flag}")

    window["-MIKTAR-"].update("")

if event == "-PLANLA-":

    if not eczane_talepleri:

        sg.popup("Önce en az bir talep ekleyiniz.")

        continue

    window["-SONUC-"].update("")

depo = {

```

```

f"İlac_{i+1}": [
    İlac(f"İlac_{i+1}",
        random.randint(10000, 30000),
        random.randint(1, 5),
        None)
    for _ in range(20)
] for i in range(100)
}

stok_onesi = {ilac_ad: len(ilacilar) for ilac_ad, ilacilar in depo.items()}

if acil_eczane and acil_ilac:
    window["-SONUC-"].print(f"!! ACİL ECZANE: {acil_eczane} →
{acil_ilac}")
else:
    window["-SONUC-"].print("!! Acil talep bulunmuyor.")

window["-SONUC-"].print("")

.....

bolunmus_eczaneler = [eczaneler_list[i::ARAC_SAYISI] for i in
range(ARAC_SAYISI)]

for i, arac_eczaneleri in enumerate(bolunmus_eczaneler, start=1):
    if not arac_eczaneleri:
        continue

    window["-SONUC-"].print(f"--- Araç {i} ---")

    tum_talepler = []

    arac_yuku = {}

```

```

for ecz in arac_eczaneleri:

    arac_yuku[ecz] = []

    talepler = eczane_talepleri.get(ecz, {})

.....

    for _ in range(miktar):

        if stok_list:

            .....

            yuklenecekler = knapsack(tum_talepler, ARAC_KAPASITESI)

            yuk_arac_yuku = {}

            toplam_agirlik = 0

            for ilac_nesne in yuklenecekler:

                ecz = ilac_nesne.eczane

                if ecz not in yuk_arac_yuku:

                    yuk_arac_yuku[ecz] = []

                    yuk_arac_yuku[ecz].append(ilac_nesne)

                    toplam_agirlik += ilac_nesne.agirlik

            if acil_eczane and acil_eczane in arac_eczaneleri:

                rota, toplam_sure = tsp_acilli(lokasyonlar, acil_eczane,
list(yuk_arac_yuku.keys()), sure_dk)

            else:

                if arac_eczaneleri:

                    rota, toplam_sure = tsp_acilli(lokasyonlar, arac_eczaneleri[0],
list(yuk_arac_yuku.keys()), sure_dk)

                else:

                    rota, toplam_sure = (["Depo", "Depo"], 0)

```

```

window["-SONUC-"].print("Rota: " + " → ".join(rota))

window["-SONUC-"].print(f"Toplam süre: {int(toplam_sure)} dk")

window["-SONUC-"].print(f"Toplam yük: {toplam_agirlik} kg")

window["-SONUC-"].print("")

if acil_eczane and acil_eczane in rota:

    depo_index = rota.index("Depo")

    acil_index = rota.index(acil_eczane)

    acil_sure = 0

    .....

    if acil_ilac_nesne:

        if acil_sure > TESLIMAT_SURE_SINIRI:

            ceza = 10000 + acil_ilac_nesne.fiyat

            toplam_ceza += ceza

            window["-SONUC-"].print(f" ACİL teslim süresi: {acil_sure:.2f} dk >
{TESLIMAT_SURE_SINIRI} dk → Ceza: {ceza} TL")

        else:

            window["-SONUC-"].print(f" Acil teslim süresi: {acil_sure:.2f} dk
(Ceza yok)")

        else:

            window["-SONUC-"].print(" Acil ilaç bu araca yüklenmemiş. (Ceza
hesaplanamadı)")

window["-SONUC-"].print("\nDağıtım Planı (Koli Bazlı):")

for ecz, ilac_listesi in yuk_arac_yuku.items():

    .....

```

```

window["-SONUC-"].print("")

window["-SONUC-"].print("--- Depo Stok Karşılaştırması ---")

stok_sonrasi = {ilac_ad: len(ilac_listesi) for ilac_ad, ilac_listesi in depo.items()}

for ilac_ad in depo.keys():

    onceki = stok_onesi.get(ilac_ad, 0)

    sonraki = stok_sonrasi.get(ilac_ad, 0)

    fark = onceki - sonraki

    if fark > 0:

        window["-SONUC-"].print(f"{ilac_ad}: Önceki: {onceki}, Sonraki:
{sonraki}, Gönderilen: {fark}")

        window["-SONUC-"].print("\n Kritik Stok Uyarıları (<= 10 adet) ---")

        for ilac_ad, adet in stok_sonrasi.items():

            if adet <= KRITIK_STOK_ESIK:

                window["-SONUC-"].print(f" {ilac_ad} stokta kritik seviyede: {adet}
adet")

        window["-SONUC-"].print(f"\n Toplam Ceza: {toplam_ceza} TL")

window.close()

```

ÖZGEÇMİŞ

1999 yılı doğumluyum. Lise eğitimimi Bahçeşehir Koleji Anadolu Lisesinde tamamladıktan sonra, İzmir Bakırçay Üniversitesinde Endüstri Mühendisliği bölümünden 2022 yılında mezun oldum. Lisans eğitimimde Veri Madenciliği, Veri Analitiği ve Optimizasyon Problemleri alanında çalışmalar gerçekleştirdim. Lisans Eğitiminin son senesinde iki tane bitirme tezi projesi çalışmasında bulundum. Birinci bitirme projem olan, İzmir'de bulunan bir metal firmasında Arena Simülasyon uygulaması kullanımıyla darboğaz analizi ve hat iyileştirme çalışması sayesinde üretimin simülasyonunu oluşturarak yaptığımız darboğaz analizinde Tampon Stok yöntemi kullanarak talep edilen ürünlerin vaktinde üretilmesini sağlayabilen simülasyon senaryoları oluşturulmuştur. İkinci bitirme projesinde ise WEKA Veri Madenciliği programının kullanımıyla sağlık alanında erken teşhis analizi yapılmıştır. Akciğer Kanseri, Diyabet ve COVID -19 sağlık alanlarında sınıflandırma ve kümeleme analizlerinin kullanımıyla hastalıkların erken teşhisi için analizler yapılmıştır.

Lisans eğitimimi bitirdikten sonra İstanbul Esenyurt Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalında Tezli Yüksek Lisans eğitimine başladım. Bölümümüzün değerli hocaları ile Endüstri 4.0, tedarik zinciri, Matematiksel Modelleme ve Optimizasyon alanlarında kendimi geliştirme fırsatında bulundum. Yüksek Lisans Tezimde de İlaç Dağıtım Lojistiğinde Endüstri 4.0 Uygulamaları başlığı altında çalışmamı yapmaktayım.

Aday: Bengisu KURTULUŞ

İL AÇ DAĞIYIM LOJİSTİĞİNDE ENDÜSTRİ 4.docx

ORJİNALLİK RAPORU

%6

BENZERLİK ENDEKSİ

%4

İNTERNET KAYNAKLARI

%4

YAYINLAR

%2

ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

TÜM KAYNAKLARI EŞLEŞTİR (SADECE SEÇİLİ OLAN KAYNAĞI YAZDIR)

%2

★ acikbilim.yok.gov.tr

İnternet Kaynağı

Alıntılarını çıkart

üzerinde

Eşleşmeleri çıkar

Kapat

Bibliyografyayı Çıkart

üzerinde