



T.C.

MALATYA TURGUT ÖZAL ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ENDÜSTRİ 4.0 SÜRECİNDE KARANLIK FABRİKA KAVRAMI VE ROBOT
KOLUN NESNELERİN İNTERNETİ (IOT) TABANLI UZAKTAN
KONTROLÜ**

KAMİL ERDEM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENFORMATİK ANA BİLİM DALI

OCAK 2025

ONUR SÖZÜ

Yüksek dönem projesi olarak sunduğum “Endüstri 4.0 Sürecinde Karanlık Fabrika Kavramı ve Robot Kolun Nesnelerin İnterneti (Iot) Tabanlı Uzaktan Kontrolü” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Kamil ERDEM

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ENDÜSTRİ 4.0 SÜRECİNDE KARANLIK FABRİKA KAVRAMI VE ROBOT KOLUN NESNELERİN İNTERNETİ (IOT) TABANLI UZAKTAN KONTROLÜ

Kamil ERDEM

Malatya Turgut Özal Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Enformatik Anabilim Dalı

89 + xiii sayfa
2025

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Serhat AKSUNGUR

Günümüzde Endüstri 4.0 süreci, üretim ve endüstriyel otomasyonun dijital dönüşümüyle birlikte, enerji verimliliği, operasyonel maliyetlerin azaltılması ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerini destekleyen yenilikçi teknolojiler sunmaktadır. Karanlık fabrika kavramı, insan müdahalesini minimize ederek Nesnelerin İnterneti (IoT), yapay zekâ, büyük veri ve siber fiziksel sistemler gibi teknolojilerin üretim ortamlarında kullanılmasını temel almaktadır. Bu yenilikçi yaklaşımlar, kaynakların etkin kullanılmasını ve çevresel etkilerin azaltılmasını hedeflemektedir.

Bu çalışma, ESP32 tabanlı bir robot kol prototipi geliştirerek IoT destekli uzaktan kontrol mekanizmalarını ele almaktadır. Robot kol, Wi-Fi bağlantısı ile komut alabilen, hassas servo motor kontrolü sağlayan bir sistem olarak tasarlanmıştır. Tasarlanan sistem, enerji verimliliğini optimize etmek, işletme maliyetlerini düşürmek ve üretim süreçlerini otomatikleştirmek için yenilikçi bir çözüm sunmaktadır. Akıllı fabrikalarda uygulama potansiyeline sahip olan bu prototip, üretim hatlarında esneklik, hız ve verimlilik sağlamaktadır.

Ayrıca, akıllı şehir yaklaşımı da bu çalışmanın önemli bir başlığını oluşturmaktadır. Akıllı şehirler, IoT teknolojileri ile donatılmış altyapıları sayesinde enerji verimliliğini artırırken sürdürülebilir kentsel dönüşümü desteklemektedir. Bu kapsamda, veri analitiği, büyük veri ve dijital sinyalizasyon sistemleri ile trafik yönetimi, enerji tüketimi ve çevresel etkiler kontrol altına alınmaktadır. Akıllı şehir politikaları, kentsel planlamadan altyapı yönetimine kadar farklı alanlarda dönüşüme olanak sağlayarak geleceğe yönelik çözümler sunmaktadır.

Bu çalışmanın temel amacı, Endüstri 4.0 ve akıllı şehir politikalarının etkileşiminde IoT destekli bir robot kol prototipinin teknik tasarım ve uygulama süreçlerini ortaya koymak ve bu teknolojilerin enerji verimliliği, maliyet azaltımı ve sürdürülebilirlik açısından etkilerini değerlendirmektir. Bu doğrultuda, proje, karanlık fabrikaların otomasyon seviyelerini artırmak ve modern endüstriyel uygulamalara ışık tutmak amacıyla önemli bir katkı sağlamaktadır.

ANAHTAR KELİMELEER: Endüstri 4.0, Karanlık Fabrika, Nesnelerin İnterneti (IoT), Enerji Verimliliği, Robot Kol, Akıllı Fabrikalar, Akıllı Şehir, Dijital Dönüşüm, Yapay Zekâ, Büyük Veri Analitiği.



ABSTRACT

Master's Term Project

LIGHTS-OUT MANUFACTURING CONCEPT IN INDUSTRY 4.0 PROCESS AND IOT-BASED REMOTE CONTROL OF ROBOT ARM

Kamil ERDEM

Malatya Turgut Özal University

Institute of Graduate Studies

Department of Informatics

89 + xiii pages

2025

Supervisor: Assist. Prof. Serhat AKSUNGUR

The Industry 4.0 process today introduces innovative technologies that support energy efficiency, reduction of operational costs, and sustainable development goals through the digital transformation of production and industrial automation. The concept of dark factories is based on minimizing human intervention by employing technologies such as the Internet of Things (IoT), artificial intelligence, big data, and cyber-physical systems in production environments. These innovative approaches aim to ensure efficient use of resources and reduce environmental impacts.

This study addresses IoT-supported remote control mechanisms by developing a robotic arm prototype based on ESP32. The robotic arm is designed as a system capable of receiving commands via Wi-Fi and providing precise servo motor control. The designed system offers an innovative solution to optimize energy efficiency, reduce operational costs, and automate production processes. This prototype, with potential applications in smart factories, provides flexibility, speed, and efficiency in production lines.

Additionally, the smart city approach constitutes a significant aspect of this study. Smart cities enhance energy efficiency and support sustainable urban transformation through infrastructures equipped with IoT technologies. In this context, traffic management, energy consumption, and environmental impacts are controlled through data analytics, big data, and digital signaling systems. Smart city policies enable transformations in various areas, from urban planning to infrastructure management, offering forward-looking solutions.

The main objective of this study is to present the technical design and implementation processes of an IoT-supported robotic arm prototype in the interaction of Industry 4.0 and smart city policies and to evaluate the impacts of these technologies in terms of energy efficiency, cost reduction, and sustainability. Accordingly, the project makes a significant contribution to increasing the automation levels of dark factories and sheds light on modern industrial applications.

KEYWORDS: Industry 4.0, Dark Factory, Internet of Things (IoT), Energy Efficiency, Robotic Arm, Smart Factories, Smart City, Digital Transformation, Artificial Intelligence, Big Data Analytics.



TEŐEKKÖR

Yüksek lisans öğrenimim boyunca, verdiği teknik destekten dolayı Mert ÇAY'a, sabırla ve ilgiyle bana yol gösteren, saygıdeğer danışman hocam, Dr. Öğretim Üyesi Serhat AKSUNGUR'a, yardımlarından ötürü ve hayatım boyunca desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen aileme teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

ONUR SÖZÜ	iii
ÖZET.....	iv
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	4
3. ENDÜSTRİ 4.0, IOT VE KARANLIK FABRİKA KAVRAMI.....	10
3.1. Akıllı Şehir.....	11
3.2.1. Avrupa Birliği'ne Göre Akıllı Şehirlerin Bileşenleri	17
3.2.2. Akıllı Şehir Sistemlerinde Kullanılan Araçlar	19
3.2.3. Dünyadaki Etkin Akıllı Kent Uygulamaları	20
3.2. Endüstri 4.0	24
3.2.1. Endüstri 4.0 Tarihsel Gelişimi	25
3.2.2. Endüstri 4.0 Teknolojisinde Yaşanan Örnekler	26
3.2.3. Endüstri 4.0 ile Ortaya Çıkan Kavramlar	28
3.2.4. Yapay Zekâ	38
3.2.4.1. Yapay Zekâ Algoritmaları	38
3.2.4.2. Üretken Yapay Zekâ	39
3.2.4.3. İşletmelerde Enerji Yönetiminde Yapay Zekâ Uygulamaları	41
4. AKILLI FABRİKA	46
4.1. Akıllı Fabrikalarda Endüstri 4.0 ve Akıllı Robotlar	47
4.2.3. Karanlık Üretim	47
4.2.4. Karanlık Fabrikaların Sağladığı Avantajlar	49
4.2. ESP32 ve IOT Teknolojisi	52
5.1.3. ESP32'nin Çalışma Prensipleri	53
5.1.4. ESP32'nin Avantajları	53
5.1.5. ESP32'nin Akademik Uygulamaları	54
5.1.6. Eğitim Araçları:	54
5. MATERYAL VE METOD	55
5.1. Mekanik Tasarım ve Prototipin Oluşturulması	58
5.2. Kullanılan Malzemeler.....	64
5.3. Elektronik Devre Tasarımı.....	64
5.4. Yazılım Geliştirme	65
5.5. Sistem Tasarımı ve IoT Entegrasyonu	65
5.6. Test Senaryoları	70
5.7. Performans Analizi	70
5.8. Sistem Avantajları ve Dezavantajları.....	71

6. ARAŞTIRMA BULGULAR.....	73
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	75
KAYNAKÇA.....	78
EK – 1. Arduino IDE Kodları	85



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Akıllı Şehir [27]	12
Şekil 3.2. Akıllı Hizmet Alanı örnekleri [29]	14
Şekil 3.3. Akıllı Şehir Bileşenleri [31]	17
Şekil 3.4. Akıllı şehirde sensör yardımı [37]	22
Şekil 3.5. Endüstrinin tarihsel gelişimi [41]	25
Şekil 3.6. Endüstri 4.0 temel 5 neden [44]	28
Şekil 3.7. Endüstri 4.0 Temel bileşenleri [46]	29
Şekil 3.8. Nesnelerin İnterneti kullanım alanları [48]	30
Şekil 3.9. Nesnelerin internet katmanı [49]	31
Şekil 3.10. Katmanlı imalat [28]	32
Şekil 3.11. Arttırılmış gerçeklik [52]	33
Şekil 3.12. Bulut Bilişim [53]	34
Şekil 3.13. Siber güvenlik [55]	35
Şekil 3.14. Büyük Veri 8V [56]	36
Şekil 3.15. Büyük Veri [57]	36
Şekil 3.16. Yatay ve Dikey Sistem Entegrasyonu [58]	37
Şekil 3.17. Derin Öğrenmenin Yapay zekâ içerisindeki yeri [60]	39
Şekil 3.18. Üretken Yapay Zeka Oluşumu [61]	41
Şekil 3.19. Teiaş yük tevzi kontrol merkezi [62]	42
Şekil 3.20. Önleyici Arıza Bakım Oluşumu [63]	44
Şekil 4.1. Akıllı Fabrika [55]	46
Şekil 4.2. 6 Serbestlik dereceli robot kol	51
Şekil 4.3. ESP32 modülleri [69].	52
Şekil 5.1. Manipulatörün yapısı [70]	56
Şekil 5.2. 4 Serbestlik dereceli seri robotun kinematik gösterimi [70]	57
Şekil 5.3. Elektronik bağlantı görünümü	59
Şekil 5.4. Tezde kullanılan robotun genel görünümü (1)	60
Şekil 5.5. Tezde kullanılan robotun genel görünümü (2)	60
Şekil 5.6. Tezde kullanılan robotun genel görünümü (3)	61
Şekil 5.7. Tezde kullanılan robotun genel görünümü (4)	61
Şekil 5.8. Tezde kullanılan robotun yandan görünümü (5)	62
Şekil 5.9. Tezde kullanılan robotun genel görünümü (6)	62
Şekil 5.10. Tezde kullanılan robotun üstten görünümü (7)	63
Şekil 5.11. Elektronik donanım montajı test aşaması	63
Şekil 5.12. Firebase Ekranı (Otomatik Modu)	67
Şekil 5.13. Firebase Ekranı (Manuel Joystick Kontrol Modu)	67
Şekil 5.14. Web üzerinden kontrol için Giriş Ekranı	68
Şekil 5.15. Web üzerinden otomatik kontrolü aktif etme ekranı	68
Şekil 5.16. Servo motorların açılarının kontrolü paneli	69
Şekil 5.17. Web üzerinden manuel kontrolü aktif etme ekranı	69

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 5.1. Robota ait Denavit- Hartenberg parametreleri.....	57
--	----



SİMGELER DİZİNİ

AI	: Yapay Zekâ (Artificial Intelligence)
AL	: Yapay öğrenme
API	: Uygulama Programlama Arayüzü
BaaS	: Hizmet Olarak Arka Uç
CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım
Cobots	: İnsanlar birlikte Çalışan Robotlar
ESP32	: Mikro Denetleyici Modeli
GANs	: Üretken Çekişmeli Ağlar
IoT	: Nesnelerin İnterneti
KF	: Karanlık Fabrika
M2M	: Makineden Makineye Haberleşme
MG995	: Yüksek Torklu Servo Motor Modeli
ML	: Makine Öğrenmesi
NoSQL	: İlişkisel Olmayan Veritabanı
PCB	: Baskılı Devre Kartı
PLC	: Programlanabilir Mantık Denetleyicisi
RFID	: Radyo Frekanslı Tanıma
SCADA	: Gözetleyici Kontrol ve Veri Toplama
SG90	: Başlangıç Seviye Servo Motor
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
VAEs	: Varyasyonel Otokodlayıcılar
Wi-Fi	: Kablosu Ağ Teknolojisi

1. GİRİŞ

Küreselleşme sürecinde artan nüfus, kentleşme ve tüketim alışkanlıkları, doğal kaynakların hızlı tükenmesine ve çevresel sorunların artmasına yol açmaktadır. Bu durum, kentlerin ve endüstriyel alanların ihtiyaçlarını karşılamak için geleneksel yöntemlerin ötesine geçilerek, yenilikçi teknolojik çözümler geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, akıllı şehirler ve akıllı fabrikalar, teknolojik gelişmelerin sunduğu imkanlarla enerji verimliliğini artırmak, sürdürülebilir kalkınmayı desteklemek ve maliyetleri düşürmek için ortaya çıkan iki kritik konsepttir.

Akıllı Şehirler: Akıllı şehir konsepti, sağlık, ulaşım, güvenlik, eğitim ve kamu hizmetleri gibi farklı alanlarda IoT, büyük veri ve yapay zekâ gibi teknolojilerle kentlerin ihtiyaçlarına yanıt veren yenilikçi çözümler sunmaktadır. IoT ile güçlendirilmiş altyapılar, veri analitiği ve dijital sinyalizasyon sistemleri sayesinde enerji tüketimi optimize edilmekte, karbon salınımı azaltılmakta ve sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlanmaktadır. Akıllı şehirler, aynı zamanda kaynakların verimli kullanımı ve çevresel etkilerin azaltılması açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bu konsept, teknolojik ve inovatif altyapılar ile trafik yönetimi, haberleşme ve diğer kentsel hizmetlerde daha hızlı ve etkili çözümler sunmaktadır.

Akıllı şehirlerin temelini oluşturan IoT tabanlı çözümler, sensörler ve cihazlar arasında sürekli veri akışı sağlayarak gerçek zamanlı analizlere olanak tanır. Bu durum, kaynak yönetiminin daha hassas yapılmasını ve enerji tüketiminin optimize edilmesini mümkün kılmaktadır. Ayrıca, akıllı şehir altyapıları yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırarak sürdürülebilir bir kalkınma için güçlü bir zemin hazırlar.

Endüstri Devrimleri ve Endüstri 4.0: Teknolojik ilerlemeler, endüstri devrimleriyle birlikte üretim süreçlerinde büyük dönüşümlere neden olmuştur. İlk endüstri devriminde mekanik sistemlerin ortaya çıkışı, buhar gücünden yararlanma; ikinci devrimde elektriğin seri üretim hatlarına entegrasyonu; üçüncü devrimde dijital teknolojilerin ve PLC'lerin (programlanabilir mantıksal denetleyiciler) kullanımına geçiş sağlanmıştır. Endüstri 4.0 ise IoT, yapay zekâ, büyük veri analitiği ve siber fiziksel sistemlerin entegrasyonu ile üretim süreçlerini bir üst seviyeye taşımaktadır.

Endüstri 4.0 konsepti, "karanlık fabrikalar" gibi yenilikçi üretim ortamlarını doğurmuştur. Karanlık fabrikalar, minimum insan müdahalesiyle çalışan otonom

sistemlere dayanmaktadır. Bu fabrikalarda, üretim süreçlerinin kontrolü ve optimizasyonu IoT cihazları, otonom robotlar, yapay zekâ ve siber fiziksel sistemlerle sağlanmaktadır. "Sıfır hata" ve "maksimum verimlilik" hedefleri doğrultusunda bu teknolojiler, üretim maliyetlerini düşürürken kaliteyi artırmayı mümkün kılmaktadır.

Karanlık Fabrikalar ve Robot Kolun Rolü: Karanlık fabrikalar, Endüstri 4.0'ın önemli bir uygulaması olarak öne çıkmaktadır. Bu fabrikalarda kullanılan robot kollar, üretim süreçlerinin otomasyonu ve uzaktan kontrol edilmesi açısından kritik bir öneme sahiptir. IoT destekli robot kollar, Wi-Fi ve sensör entegrasyonu ile donatılarak karmaşık üretim görevlerini yerine getirebilmektedir.

ESP32 tabanlı robot kollar, karanlık fabrikalarda enerji verimliliği sağlamak, süreçlerin gerçek zamanlı izlenebilirliğini artırmak ve insan müdahalesini en aza indirmek için geliştirilmiştir. Bu sistemler, yalnızca üretim hattındaki görevleri optimize etmekle kalmaz, aynı zamanda uzaktan erişim ve kontrol yetenekleri ile modern üretim süreçlerine esneklik kazandırır.

Akıllı şehirler ve Endüstri 4.0 bağlamında IoT destekli bir robot kol prototipinin geliştirilmesi ele alınmıştır. Robot kol, enerji tasarrufu sağlamak ve üretim süreçlerini optimize etmek amacıyla tasarlanmış yenilikçi bir sistemdir. Prototip, karanlık fabrikalarda yüksek hassasiyet ve verimlilikle çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu sistemin geliştirilmesi, Endüstri 4.0 ve akıllı şehirlerin gelecekteki entegrasyonu için önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir.

Robot teknolojilerinin bu kapsamda kullanımı, yalnızca endüstriyel süreçlerde değil, aynı zamanda sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda kaynak yönetimi ve çevresel sürdürülebilirlik için de büyük bir potansiyel sunmaktadır.

Bu çalışma, ESP Wi-Fi modülü kullanarak IoT tabanlı bir robot kol sisteminin tasarımını ve kontrol mekanizmasını detaylandırmayı amaçlamaktadır. Robot kol, servo motorlar aracılığıyla hareket ettirilecek ve mobil uygulama entegrasyonu sayesinde uzaktan kontrol edilecektir. Bu yaklaşım, karanlık fabrika konseptine uygun, enerji verimliliği yüksek ve esnek bir üretim sistemi oluşturmayı hedeflemektedir.

Literatürde, Endüstri 4.0 ve IoT tabanlı robotik sistemler üzerine yapılan çalışmalar, bu teknolojilerin üretim süreçlerine entegrasyonunun verimlilik ve esneklik sağladığını göstermektedir. Özellikle, uzaktan kontrol edilebilen robot kolların geliştirilmesi, üretim hatlarının daha esnek ve verimli olmasına katkı sağlamaktadır.

Bu bağlamda, ESP32 gibi düşük maliyetli ve güçlü Wi-Fi modüllerinin kullanımı, IoT projelerinde yaygınlaşmakta ve endüstriyel otomasyonda önemli bir rol oynamaktadır.

Bu çalışma, mevcut literatürü genişleterek, ESP32 tabanlı IoT kontrollü robot kol sistemlerinin tasarımı ve uygulanabilirliği konusunda detaylı bir inceleme sunmayı amaçlamaktadır. Bu sayede, Endüstri 4.0 sürecinde karanlık fabrika kavramına katkı sağlayacak yenilikçi çözümler geliştirilmesi hedeflenmektedir.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Tonga, Y. ve Tonga, M. (2022) Endüstri 4.0 teknolojileri bağlamında üç eksenli bir robotik kol tasarımını ele almıştır. Çalışmada, robot kolun uzaktan mobil cihazlar yardımıyla kontrolü sağlanmış ve görüntü işleme ile bilgisayar görme teknolojileri kullanılarak otonom görev tabanlı çalışma yeteneği geliştirilmiştir. Üç boyutlu yazıcıyla üretilen robot kol, Android cihaz üzerinden "Tutma/Bırakma", "Dönme" ve "Hareket Etme" gibi komutlarla yönetilmiştir. Ayrıca, farklı renklerdeki nesnelerin (kırmızı, yeşil, mavi) algılanması ve belirlenen hedeflere taşınması gerçekleştirilmiştir. Çalışma, robotik sistemlerin uzaktan kontrolü ve endüstriyel süreçlerde görev tabanlı uygulamalarda kullanımına yönelik önemli bir katkı sunmaktadır [1].

Kaygın, Zengin ve Topçuoğlu (2019), Endüstri 4.0'ın temel bileşenlerinden biri olan IoT teknolojilerinin üretim süreçlerinde verimliliği artırma ve enerji tüketimini azaltma konusundaki katkılarını ele almıştır. Çalışmada, IoT tabanlı sensörlerin üretim hatlarındaki verileri toplayarak makinelerin anlık iyileştirmeler yapmasına olanak tanıdığı vurgulanmıştır [2].

Yazıcı (2016), otonom robotların çevresel algılama, haritalama ve karar verme yetenekleri ile üretim sistemlerindeki dönüşümünü incelemiştir. Çalışmada, fabrikalarda kullanılan robotik taşıyıcıların iş gücü maliyetlerini azaltırken üretim hızını ve güvenliğini artırdığı ifade edilmiştir [3].

Fırat ve Fırat (2017), robotların otonom çalışmasını sağlayan yapay zekâ ve sensör teknolojilerinin Endüstri 4.0 içindeki önemine değinmiştir. Çalışmada, akıllı robotların üretim hatlarındaki yerini alarak maliyetleri düşürmesi ve verimliliği artırması ele alınmıştır [4].

Özdemir, Erkollar ve Oberer (2018), büyük veri teknolojisinin Endüstri 4.0 ile birlikte üretim süreçlerini nasıl optimize ettiğini araştırmıştır. Çalışma, verilerin hızlı işlenmesi sayesinde üretim hatlarının esnekliği ve müşteri odaklı üretim stratejilerinin nasıl geliştirildiğini ortaya koymuştur [5].

Sezer'in (2019) çalışmasında, Endüstri 4.0 teknolojileri açısından üç eksenli robotik bir kol tasarımı incelenmiştir. Çalışma kapsamında robot kolun uzaktan mobil cihazlarla kontrolü gerçekleştirilmiş, görüntü işleme ve bilgisayar görme teknolojileri sayesinde otonom bir şekilde görev tabanlı çalışma özelliği kazandırılmıştır. Üç

boyutlu yazıcı ile üretilen robotik kol, Android cihaz üzerinden kontrol edilerek "Tutma/Bırakma", "Sağa/Sola Dönme", "İleri/Geri Hareket Etme" gibi komutlarla yönetilmiştir. Aynı zamanda, belirli renkteki (kırmızı, yeşil, mavi) objelerin algılanıp hedef konuma taşınması sağlanmıştır. Bu çalışma, uzaktan kontrol ve robotik sistemlerin endüstriyel alanlarda görev tabanlı çalışabilmesi açısından önemli bir katkı sunmaktadır [6].

Çengelci ve Kuzu (2014) ise, bomba imha robotları için kablosuz bir kontrol sistemi geliştirmiştir. Çalışmada, mobil bir platforma yerleştirilen robot kol, uzaktan kontrol edilerek otonom bir şekilde çalışma yeteneği kazanmıştır. Bu sistemin özellikle tehlikeli iş ortamlarında güvenlik sağlamak için kullanıldığı belirtilmiştir [7].

Şekkeli ve Bakan (2018), Endüstri 4.0'ın üretim süreçlerine etkisini inceleyerek, akıllı fabrikaların otomasyon ve veri odaklı yapısıyla kendini optimize edebilen sistemler sunduğunu belirtmiştir. Çalışmada, nesnelerin interneti ve siber-fiziksel sistemlerin entegrasyonu ile fabrikaların daha esnek ve verimli hale geldiği vurgulanmıştır [8].

Aydın (2012) çalışmasında, bir robot kolun sesle kontrol edilebilen bir sistemini geliştirmiştir. Ses tanıma modülü (EasyVR) kullanılarak, kullanıcıdan alınan sesli komutlar işlenmiş ve robot kolun hareketleri bu komutlara göre yönlendirilmiştir. Bu sistem, insan-robot etkileşiminde yeni bir yaklaşım sunmaktadır [9].

Yüzgeç ve ark. (2017), kablosuz eldiven sistemi ile kontrol edilen bir robot kol tasarımı sunmuştur. Bu sistemde, kullanıcının el hareketleri algılanarak robot kolun uzaktan kontrolü sağlanmıştır. Robotik sistemlerin IoT tabanlı kontrol mekanizmaları ile entegrasyonu hem kullanıcı deneyimini iyileştirir hem de operasyona esneklik kazandırır [10].

Aktaş ve ark. (2018), Bluetooth ve Wi-Fi kontrollü bir mobil robot tasarlayarak uzaktan erişilebilir bir sistem geliştirmiştir. Robotun gövdesi 3D yazıcı ile üretilmiş ve kontrolü Wi-Fi (NodeMCU) ve Bluetooth (HC-05) üzerinden sağlanmıştır. Ayrıca robot, mesafe sensörü ile engelleri algılayabilmekte ve sıcaklık, nem, gaz gibi çevresel verileri ölçerek uzaktan erişilebilir hale getirmektedir. MQTT protokolü sayesinde robot, internet bağlantısı olan her yerden kontrol edilebilmektedir. Çalışmada, Li-Po pil kullanımı, kamera eklenmesi, GPS ve kablosuz şarj gibi geliştirme önerileri de sunulmuştur [11].

Karacı ve Erdemir (2017), Arduino ve Wi-Fi tabanlı çok sensörlü bir gezgin hizmet robotu geliştirmiştir. Bu robot, insanların erişemeyeceği tehlikeli alanlarda gaz, sıcaklık ve nem ölçümlerini yaparak bu verileri Wi-Fi üzerinden bir web modülüne aktarmaktadır. Robot, ultrasonik mesafe sensörleri yardımıyla engelleri algılayıp yön belirleyebilmekte ve kapalı alanlardan çıkış yolunu bulabilmektedir. Sistemin temel bileşenleri arasında Arduino Mega, Wi-Fi modülü (ESP8266), ultrasonik mesafe sensörleri, metan gaz sensörü ve sıcaklık-nem sensörü bulunmaktadır. Yapılan testlerde, robotun verileri başarılı bir şekilde web modülüne ilettiği ve kapalı alanlardan 3-4 denemede çıkış yolunu bulabildiği gözlemlenmiştir. Çalışma, uzaktan erişimle kontrol edilebilen akıllı robot sistemlerinin geliştirilmesine yönelik önemli katkılar sunmaktadır [12].

Çelebi ve arkadaşları (2019), 3D yazıcı ile 6 eksenli bir robot kol tasarımı ve üretimi üzerine bir araştırma gerçekleştirmiştir. Çalışmada, bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve eklemeli imalat yöntemleri kullanılarak robot kol parçaları tasarlanmış ve PLA filament ile 3D yazıcıda üretilmiştir. Mekanik ve elektronik sistemlerin entegrasyonu sağlanarak, servo motorlar ile hareket kontrolü gerçekleştirilmiştir. Robot kolun fonksiyonlarını yerine getirebilmesi için Arduino yazılım geliştirme kiti kullanılarak programlama yapılmış ve servo motorlar bu sisteme entegre edilmiştir. Gerçekleştirilen kinematik analizler ve matematiksel hesaplamalar sonucunda, robotun 5 kg yük kapasitesine sahip olduğu ve belirlenen görevleri başarıyla yerine getirdiği tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında geliştirilen 6 eksenli robot kol, endüstriyel raf düzenleme sistemleri ve konveyör bantlarında seçme-ayırma işlemleri için kullanılabilecek bir prototip olarak tasarlanmıştır. Bu çalışma, Endüstri 4.0 çerçevesinde robotik sistemlerin üretim süreçlerine entegrasyonu konusunda önemli bir katkı sunmaktadır [13].

Ercan ve Kutay (2016), Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojisinin endüstrideki uygulamalarını incelemiştir. Çalışmada, Endüstriyel IoT (IIoT) kavramının üretim süreçlerine entegrasyonu ele alınmış ve bu teknolojinin otomatik depolama, önleyici bakım ve madencilik gibi alanlardaki etkileri tartışılmıştır. IIoT'nin, gerçek zamanlı veri akışı, karar destek sistemlerine entegrasyon ve üretimde insan hatasını en aza indirme gibi avantajlar sunduğu belirtilmiştir. Çalışma ayrıca, veri yönetimi, güvenlik, kimlik doğrulama ve standartlaşma gibi IIoT'nin karşılaştığı temel zorlukları da değerlendirmektedir. Sonuç olarak, IIoT'nin verimlilik artışı, maliyet düşüşü ve üretim

kalitesinin iyileştirilmesi açısından önemli fırsatlar sunduğu vurgulanmıştır [14].

Süzen ve arkadaşları (2017), Arduino tabanlı bir çizim robotunun geliştirilmesini ele almıştır. Çalışmada, Arduino geliştirme kartı, step motorlar ve servo motorlar kullanılarak X-Y düzleminde çizim yapabilen bir robot sistemi tasarlanmıştır. Çizim sürecini kontrol etmek için "Dijital Ressam" isimli özel bir yazılım geliştirilmiş ve bu yazılım sayesinde çizilecek olan resimler Bluetooth üzerinden Arduino devresine aktarılmıştır. Robot, tutucu mekanizmasına yerleştirilen bir kalem aracılığıyla çizim işlemini gerçekleştirmektedir. Gerçekleştirilen sistemin hassas çizimler yapabilmesi ve hatasız prototip oluşturma süreçlerine katkı sağlaması hedeflenmiştir. Çalışma, devre tasarımının doğrudan plakete çizilmesi gibi teknik uygulamalarda da kullanılabilir. Gelecek çalışmalar için çizim sürecinin durumunu gösteren bir gösterge eklenmesi, titreşimlerin giderilmesi ve performans artırımı üzerine geliştirmeler planlanmaktadır [15].

Çirkin, E. ve Özdağoğlu, A. (2021) Endüstri 4.0 bünyesindeki otonom robotların sürdürülebilirlik perspektifleri açısından değerlendirilmesini ele almıştır. Çalışmada, Endüstri 4.0 teknolojilerinin çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik boyutları üzerindeki etkileri incelenmiş ve otonom robotların bu bağlamdaki rolü detaylandırılmıştır. Web tabanlı veri görselleştirme aracı kullanılarak yapılan analiz sonucunda, optimizasyon, standardizasyon, üretim, esneklik, özerklik, enerji verimliliği, inovasyon, işbirlikçilik ve hassasiyet gibi kavramların sürdürülebilir üretim açısından ön plana çıktığı belirlenmiştir. Ayrıca, otonom robotların iş gücü maliyetlerini düşürerek üretim süreçlerini optimize ettiği, insan-robot işbirliği sayesinde güvenliği artırdığı ve üretim esnekliğine katkı sağladığı tespit edilmiştir. Çalışma, Endüstri 4.0 teknolojilerinin sürdürülebilir üretim ekosistemleri üzerindeki etkilerini anlamaya yönelik önemli bir katkı sunmaktadır [16].

Miśkiewicz ve ark. (2021), Industry 4.0 döneminde enerji verimliliği ve teal organizasyonların özelliklerini incelemiştir. Çalışma, dijital dönüşümün işletmelerin enerji verimliliği üzerindeki etkisini ve teal organizasyonların bu süreçte nasıl bir rol oynadığını ele almaktadır. Industry 4.0, akıllı üretim sistemleri ve dijital teknolojiler ile enerji verimliliğini artırma potansiyeline sahiptir. Çalışmada, teal organizasyonların esneklik, yenilikçilik ve çalışan katılımını teşvik eden yapıları sayesinde enerji yönetiminde daha etkin oldukları vurgulanmaktadır. Ayrıca, dijital dönüşümün enerji verimliliği üzerindeki olumlu etkileri ve bu süreçte karşılaşılan

zorluklar da ele alınmıştır [17].

Gururajapathy ve ark. (2017) Robotik sistemler, Endüstri 4.0'ın temel bileşenlerinden biri olarak öne çıkmaktadır demiştir. Montaj, taşıma, paketleme ve kalite kontrol gibi çeşitli uygulamalarda robotik sistemlerin kullanılması hem üretim hızını artırmış hem de işgücü maliyetlerini azaltmıştır. IoT teknolojileri, bu sistemlerin uzaktan kontrol edilmesini ve gerçek zamanlı veri analizi ile optimize edilmesini sağlamaktadır [18].

Yoo ve ark. (2014), büyük veri analitiği için ölçeklenebilir sistemler üzerine bir inceleme yapmıştır. Çalışma, enerji yönetiminde büyük veri analitiğinin nasıl kullanılabileceğini ve bu teknolojilerin enerji tüketimini optimize etmedeki rolünü detaylı bir şekilde analiz etmektedir. Büyük veri analitiği, enerji tüketim verilerini analiz ederek, enerji tasarrufu ve maliyet azaltma stratejileri geliştirilmesine yardımcı olmaktadır. Çalışma, büyük veri analitiğinin enerji yönetim süreçlerine entegrasyonu ile elde edilebilecek avantajları ve bu süreçte karşılaşılan zorlukları ele almaktadır [19].

Emejeamara ve ark. (2020), yenilenebilir enerji entegrasyonu ve enerji yönetimi üzerindeki etkileri incelemiştir. Çalışma, yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunda dijital dönüşüm teknolojilerinin nasıl kullanılabileceğini ve bu teknolojilerin enerji yönetim süreçlerine olan katkılarını ele almaktadır. Dijital dönüşüm teknolojileri, yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunu kolaylaştırarak, enerji verimliliğini artırmakta ve karbon ayak izini azaltmaktadır. Çalışma, dijital dönüşümün yenilenebilir enerji entegrasyonundaki rolünü ve bu sürecin enerji yönetimi üzerindeki olumlu etkilerini detaylandırmaktadır [20].

Mocanu ve ark. (2016), akıllı şebeke ve akıllı bina uygulamaları için veri analitiği ve makine öğrenimi tekniklerini incelemiştir. Bu çalışma, enerji yönetiminde yapay zekâ ve makine öğrenimi tekniklerinin nasıl kullanılabileceğini ve bu tekniklerin enerji verimliliğini artırmada ne kadar etkili olduğunu göstermektedir. Yapay zekâ ve makine öğrenimi teknikleri, enerji tüketim verilerini analiz ederek, enerji tasarrufu ve maliyet azaltma stratejileri geliştirilmesine yardımcı olmaktadır. Çalışma, enerji yönetiminde yapay zekânın kullanım alanlarını ve bu teknolojilerin sunduğu avantajları ele almaktadır [21].

Wamba ve ark. (2015), büyük veri analitiğinin imalat çevikliğindeki rolünü

incelemiştir. Çalışma, enerji yönetiminde büyük veri analitiğinin nasıl kullanılabileceğini ve bu teknolojilerin enerji tüketimini optimize etmedeki rolünü detaylı bir şekilde ele almaktadır. Büyük veri analitiği, enerji tüketim verilerini analiz ederek, enerji tasarrufu ve maliyet azaltma stratejileri geliştirilmesine yardımcı olmaktadır. Çalışma, büyük veri analitiğinin enerji yönetim süreçlerine entegrasyonu ile elde edilebilecek avantajları ve karşılaşılan zorlukları ele almaktadır [22].

Del Vecchio ve ark. (2018), büyük veri analitiğinin enerji yönetimini teşvik etmedeki rolünü incelemiştir. Çalışma, enerji yönetiminde büyük veri analitiğinin nasıl kullanılabileceğini ve bu teknolojilerin enerji verimliliğini artırmada ne kadar etkili olduğunu göstermektedir. Büyük veri analitiği, enerji tüketim verilerini analiz ederek, enerji tasarrufu ve maliyet azaltma stratejileri geliştirilmesine yardımcı olmaktadır. Çalışma, büyük veri analitiğinin enerji yönetim süreçlerine entegrasyonu ile elde edilebilecek avantajları ve bu süreçte karşılaşılan zorlukları ele almaktadır [23].

Güngör ve ark. (2011), akıllı şebeke teknolojileri, iletişim teknolojileri ve standartlarını incelemiştir. Çalışma, enerji yönetiminde akıllı şebeke teknolojilerinin nasıl kullanılabileceğini ve bu teknolojilerin enerji tüketimini optimize etmedeki rolünü detaylı bir şekilde ele almaktadır. Akıllı şebeke teknolojileri, enerji tüketimini gerçek zamanlı olarak izlemeye ve yönetmeye olanak tanıyarak, enerji verimliliğini artırmakta ve enerji maliyetlerini düşürmektedir. Çalışma, akıllı şebeke teknolojilerinin enerji yönetim süreçlerine entegrasyonu ile elde edilebilecek avantajları ve bu süreçte karşılaşılan zorlukları ele almaktadır [24].

Yüzgeç ve ark. (2016) çalışmalarında, uzaktan kontrol edilebilen insansı bir robot kolu tasarlamışlardır. 3D yazıcı ile üretilen robot kolu, eğim sensörleri içeren özel bir eldiven aracılığıyla kablosuz olarak kontrol edilmiştir. Kullanıcının parmak hareketleri, XBee haberleşme modülü ile robot kola iletilmiş ve servo motorlar yardımıyla taklit edilmiştir. Çalışma, uzaktan kumandalı robot sistemlerinin insan-robot etkileşimi açısından önemini vurgulamakta ve gelecekte EMG sensörleri ile daha gelişmiş kontrol yöntemlerine geçiş yapılabileceğini önermektedir [25].

3. ENDÜSTRİ 4.0, IOT VE KARANLIK FABRİKA KAVRAMI

Endüstri 4.0, dijitalleşme ve otomasyonun sınırlarını genişleterek, geleneksel üretim yöntemlerini kökten değiştiren devrim niteliğinde bir yaklaşımı ifade eder. Bu konsept, Nesnelerin İnterneti (IoT), yapay zekâ, büyük veri analitiği ve siber fiziksel sistemler gibi ileri teknolojilerin üretim süreçlerine entegre edilmesine dayanır. Bu entegrasyon sayesinde fabrikalar daha akıllı, esnek ve verimli hale gelirken, süreçlerin gerçek zamanlı olarak izlenmesi ve yönetilmesi mümkün olmaktadır. Endüstri 4.0 yalnızca üretim süreçlerini değil, aynı zamanda lojistik, tedarik zinciri yönetimi ve müşteri ilişkileri gibi birçok iş alanını da dönüştürmektedir.

Endüstri 4.0'ın temel bileşenlerinden biri olan IoT (Nesnelerin İnterneti), cihazların ve sistemlerin birbiriyle bağlantılı bir şekilde çalışmasını sağlar. Bu teknoloji, üretim hatlarından veri toplayarak bu verileri büyük veri analitiği ile işlemekte ve optimize edilmiş kararlar alınmasını sağlamaktadır. Üretim ekipmanlarından elde edilen gerçek zamanlı veriler sayesinde, olası arızalar önceden tespit edilmekte, bakım süreçleri planlanmakta ve üretim kesintileri en aza indirilmektedir.

IoT'nin bu yetenekleri, enerji verimliliğinin artırılmasında, kaynak yönetiminin iyileştirilmesinde ve operasyonel maliyetlerin düşürülmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Bu işlevsellik, yalnızca işletmelerin rekabet gücünü artırmakla kalmaz, aynı zamanda sürdürülebilir üretim süreçlerinin oluşturulmasına da katkı sağlamaktadır.

IoT, üretim süreçlerine entegre edilen sensörler ve cihazlar aracılığıyla üretim hatlarının tüm unsurlarını bir araya getirir. Bu entegrasyon, yalnızca üretim süreçlerinin değil, aynı zamanda tedarik zinciri ve lojistik operasyonlarının da optimize edilmesini sağlar. IoT'nin en büyük katkılarından biri, üretimde tahmin edici bakım (predictive maintenance) uygulamalarına olanak tanımasıdır. Bu uygulamalar sayesinde, makine ve ekipmanların durumu gerçek zamanlı olarak izlenerek, arıza olasılıkları önceden tespit edilir ve olası kesintiler engellenir. Bu durum, üretim maliyetlerinin düşürülmesine ve üretim sürekliliğinin sağlanmasına önemli bir katkı sunmaktadır.

Karanlık fabrika kavramı, Endüstri 4.0'ın bir diğer önemli unsuru olarak öne çıkmaktadır. Karanlık fabrikalar, üretim süreçlerinin tamamen otomatikleştirildiği ve

insan müdahalesinin minimum düzeye indirildiği ileri seviye üretim tesisleridir. Bu fabrikalarda, otonom robotlar, yapay zekâ ve siber fiziksel sistemler entegre bir şekilde çalışarak, üretim süreçlerini hızlı, verimli ve hatasız bir şekilde gerçekleştirmektedir. Karanlık fabrikalar, enerji verimliliğini artırmak, üretim maliyetlerini düşürmek ve sıfır hata ile üretim gerçekleştirmek gibi avantajlar sunmaktadır.

Karanlık fabrikalarda IoT teknolojileri, tüm süreçlerin uzaktan izlenebilmesi ve yönetilebilmesi için kritik bir rol oynamaktadır. Örneğin, bir üretim tesisinde IoT sensörleri aracılığıyla üretim sürecinden alınan veriler, bulut sistemlerinde analiz edilerek üretim hatlarının verimliliği artırılabilir. Bu fabrikalarda kullanılan siber fiziksel sistemler, fiziksel süreçlerin sanal bir ortamda modellenmesine olanak tanıyarak, üretim hatalarının önlenmesi ve süreç optimizasyonunun sağlanması için önemli bir altyapı sunmaktadır.

Robot kollar, karanlık fabrikaların işleyişinde kritik bir rol oynamaktadır. IoT destekli robot kollar, üretim hattındaki görevleri hassasiyetle yerine getirir ve uzaktan kontrol edilebilirliği ile süreçlere esneklik kazandırır. Bu robot kollar, servo motorlar ve entegre sensörler sayesinde karmaşık görevleri yerine getirebilmekte, enerji tüketimini optimize ederek sürdürülebilirlik hedeflerine katkıda bulunmaktadır.

Endüstri 4.0 ve IoT'nin sağladığı bu avantajlar, yalnızca üretim süreçlerinde değil, aynı zamanda lojistik, tedarik zinciri yönetimi ve müşteri ilişkilerinde de yeni fırsatlar sunmaktadır. Örneğin, üretim sırasında elde edilen veriler, lojistik süreçlere entegre edilerek müşteri taleplerinin daha hızlı ve doğru bir şekilde karşılanmasını sağlayabilmektedir. Ayrıca, IoT'nin sunduğu gerçek zamanlı veri analitiği, üretim süreçlerinin sürekli iyileştirilmesine ve işletmelerin rekabet avantajı kazanmasına olanak tanır.

Karanlık fabrikalar, Endüstri 4.0 ve akıllı şehir konseptlerinin sürdürülebilir kalkınma hedeflerini destekleyen kilit unsurlardan biri haline gelmiştir. Bu fabrikalar, üretim süreçlerini daha verimli ve esnek bir yapıya kavuşturmanın yanı sıra çevresel sürdürülebilirliği artırarak modern üretim ortamlarının vazgeçilmez bir parçası olarak görülmektedir.

3.1. Akıllı Şehir

Abraham Maslow'un ihtiyaçlar hiyerarşisine göre bireylerin temel ihtiyaçları

karşılandıktan sonra daha üst düzey gereksinimlere yönelim gösterdiği savunulmaktadır. Bu teori, akıllı şehir kavramına uyarlanarak bireylerin yaşam kalitesini artıracak çözümler geliştirme fikrinin temelini oluşturmuştur. Akıllı şehirler, kentlerde yaşayan bireylerin refahını artırmak ve sürdürülebilir kalkınmayı desteklemek amacıyla yenilikçi teknolojileri kullanmaktadır. IoT, büyük veri analitiği ve yapay zekâ gibi teknolojilerin kullanımıyla, akıllı şehirler, kentlerdeki kaynakların daha verimli bir şekilde yönetilmesine ve çevresel etkilerin azaltılmasına olanak tanımaktadır.

Günümüzde şehirler, küreselleşmenin etkisiyle sürekli bir etkileşim ve değişim içerisinde. Bu süreç, şehirlerin rekabetçi olmasını ve bireylerin yaşam kalitesini artırmasını gerektirmektedir. Ancak bu durum, geleneksel çözüm yöntemlerinin yetersiz kalmasına ve daha karmaşık sorunlarla karşılaşılmasına neden olmaktadır. Akıllı şehir yaklaşımı, yenilikçi teknolojilerin entegrasyonu ile bu sorunlara çözüm sunmakta ve süreçlerin daha öngörülür bir şekilde yönetilmesini sağlamaktadır. Bu yaklaşım, kentlerdeki enerji yönetimi, trafik optimizasyonu, güvenlik ve kamu hizmetleri gibi alanlarda etkili çözümler sunarak bireylerin yaşam kalitesini artırmayı hedeflemektedir.

Akıllı şehirler (Şekil 3.1), IoT ile donatılmış altyapılar sayesinde sensörler ve cihazlar arasında sürekli bir veri akışı sağlayarak, gerçek zamanlı analizler yapabilmektedir. Bu durum, enerji verimliliği, karbon salınımının azaltılması ve kaynak yönetimi açısından kritik avantajlar sunmaktadır. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, akıllı şehirlerin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmasında önemli bir rol oynamaktadır [1].



Şekil 3.1. Akıllı Şehir [27]

Ekosistemde yer alan tüm varlıklara, sürdürülebilir ve dengeli bir refah seviyesi sağlayacak bir gelecek sunmayı hedefleyen şehirler, dijital, insani ve fiziksel yardımların çevre entegrasyonu ile geliştirilmiş olup, bu tür yerleşimlere "akıllı şehir" adı verilmektedir.

Bir başka deyişle, paydaşların iş birliğiyle modern teknolojilerin entegre edilerek günlük yaşam verilerinin toplanması ve analiz edilmesi ile, daha verimli, pratik ve sürdürülebilir bir yaşam ortamı oluşturmayı amaçlayan bir yapıdır [28].

Akıllı şehir yaklaşımı, kentleşmenin yol açtığı olumsuz ekonomik etkileri en aza indirmeyi hedefler. Bu yaklaşım, ekosistemdeki bilgi ve iletişim teknolojisi altyapısını kullanarak düzenli veri toplanmasını ve bu verilerin etkili bir şekilde değerlendirilmesini sağlamaya yönelik bir organizasyon modelidir. “Zeki Şehir” ve “Dijital Şehir” kavramları ile de ifade edilen bu yapı, çevresel ve sosyal sürdürülebilirliğin yanı sıra bilgi temelli bir işleyişle tanımlanan bir şehir modeli sunmaktadır.

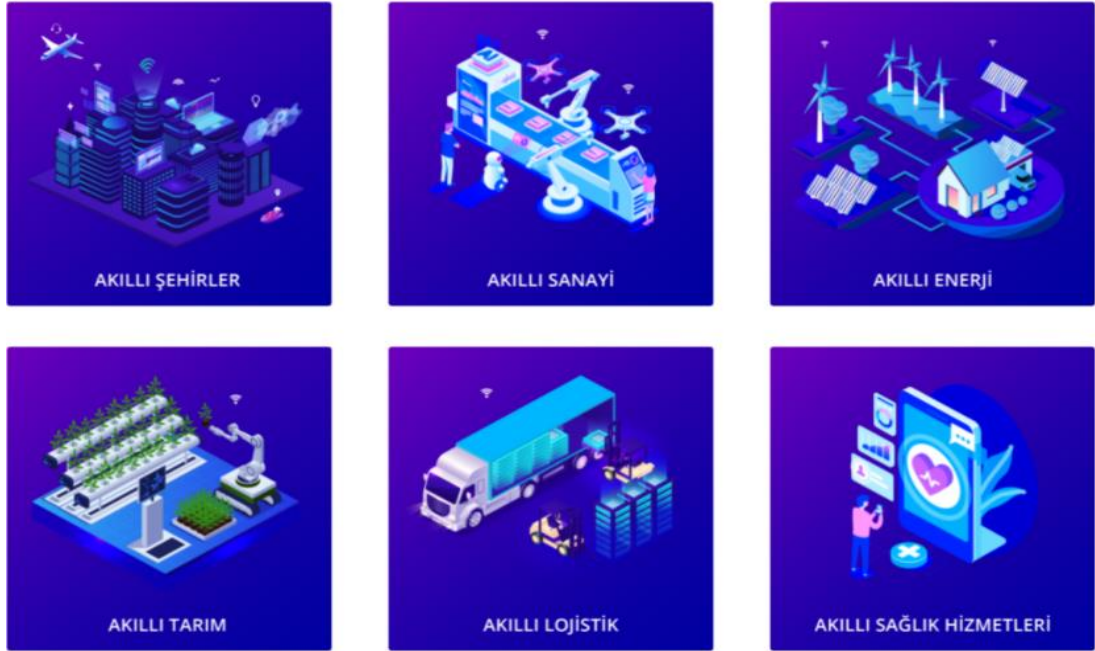
Akıllı şehirler iki temel özelliğe dayanır. İlk olarak, "sürdürülebilirlik" kavramı ön plandadır; bu, kaynakların bilinçli kullanımı, karbondioksit emisyonlarının azaltılması ve çevresel etkilerin minimize edilmesiyle yaşam kalitesinin artırılmasını içerir. İkinci temel özellik ise "iletişimdir"; uzman ekipler tarafından toplanan verilerin süreçlere entegre edilmesi ve bu süreçlerin planlı bir şekilde uygulanması için uygun ortamların sağlanması anlamına gelmektedir. Bir şehrin "akıllı" olarak nitelendirilebilmesi, belirli kriterlerin yerine getirilmesi gerektiğini ortaya koyan akademik araştırmalar, bu konuya yönelik önemli bir çerçeve sunmaktadır [28].

Ulaşım sistemlerinin, iletişim ağlarının ve enerji dağıtım altyapılarının modern teknoloji ve dijital sistemlerle birleştirilmesi, şehirlerin daha etkin ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesine olanak tanımaktadır. Bu entegrasyon, hem kamu hizmetlerinin verimliliğini artırmakta hem de kaynakların daha akıllıca kullanılmasını sağlamaktadır (Şekil 3.2).

- Olası Yangın durumunda hızlı algılama ve müdahale sağlayan baskılama sistemlerinin devreye alınması,
- Bireylerin günlük yaşam ve iş süreçlerine ilişkin bilgileri bilgi işlem sistemleri aracılığıyla kolayca erişebilmesi,
- Sağlık hizmetlerinin, ihtiyaç sahiplerine en kısa sürede ulaştırılabilmesi,

- Şehir planlamalarında sokak, konut, altyapı ve yerleşim alanlarının bütüncül bir yaklaşımla ele alınması,
- Enerji kullanımında verimliliği artırarak, akıllı şehir yönetimi ile kaynakların etkin şekilde değerlendirilmesi,
- Su dağıtım şebekelerinin yanı sıra atık suyun toplanması, arıtılması ve yeniden kullanıma sunulmasında akıllı yöntemlerin uygulanması,
- Akıllı bina standartlarına uygun yapıların inşa edilmesi,
- Güvenliğin kesintisiz gözlenmesi ve rutin kontrollerin sağlanabilmesi için güvenlik tabanlı sistemlerin kullanılması,
- İletişim teknolojilerinin eğitim sistemlerinde daha geniş kapsamda değerlendirilmesi,

gibi kriterler, akıllı şehir yaklaşımlarının verimliliği en üst düzeye çıkarmayı amaçladığını ifade etmektedir [30].



Şekil 3.2. Akıllı Hizmet Alanı örnekleri [29]

Boyd Cohen tarafından ortaya konulan "Akıllı Şehirler Çarkı" (Şekil 3.3), akıllı şehir konseptini oluşturan altı temel unsuru sistematik bir şekilde açıklamaktadır. Bu model, şehirlerin sürdürülebilirlik, yenilikçilik ve yaşam kalitesini artırma hedeflerine yönelik bütünsel bir çerçeve sunmaktadır [31].

Akıllı İnsan: Yaşam boyunca öğrenmeye açık, farkındalıkları yüksek, katılımcı ve yaratıcı bireyler, akıllı insan kavramının temelini oluşturur. Bu bireyler, bilişim teknolojilerini yaşamlarına entegre ederek sosyal ve beşeri sermayenin odak noktası haline gelirler. Akıllı İnsan bileşeni kapsamında, sosyal altyapının güçlendirilmesi, kültürel etkileşimlerin teşvik edilmesi ve bireylerin toplum içerisindeki bağımsızlıklarının desteklenmesi gibi unsurlar ön planda yer almaktadır. Bu bileşen, bireylerin bilgiye erişim, katılımcılık ve yenilikçilik gibi özelliklerini geliştirmeye odaklanarak, toplumsal gelişimi hızlandırmayı amaçlamaktadır [32].

Akıllı Güvenlik: İleri teknolojiye dayalı akıllı güvenlik sistemleri, vatandaşların suç oranlarının azaltılması ve güvenli bir yaşam ortamının sağlanması için kullanılmaktadır. Bu sistemler, kriz yönetiminde hızlı ve etkili çözümler sunarak, güvenlik açıklarının minimum düzeye indirilmesini sağlamaktadır.

Akıllı Sağlık: Sağlık hizmetlerini iyileştirmeyi, bireylerin sağlık bilincini artırmayı ve sağlık verilerinin akıllı yöntemlerle analiz edilmesini hedefleyen uygulama ve sistemlerden oluşur. Akıllı Sağlık, yaşam standartlarını yükseltmek için teknolojik yeniliklerden faydalanır.

Akıllı Ekonomi: Bir şehrin ekonomik faaliyetlerinin, mikro ve makro ölçekte, akıllı endüstriler çerçevesinde ele alınmasıdır. Akıllı Ekonomi, mevcut kaynakların verimli kullanılmasını, artan tüketim ihtiyacına yönelik çözümler üretilmesini ve yaşam standartlarının yükseltilmesini amaçlar. Bu bileşende rekabet gücü, marka değeri ve paylaşım ekonomisi ön plana çıkmaktadır.

Akıllı Çevre: Doğal kaynakların, kent yaşamının sürdürülebilirliğini sağlamak için akıllıca yönetilmesini ifade eder. Su, toprak, hava ve atık yönetimi gibi çevresel unsurlar, doğa ile uyumlu bir yaklaşımla ele alınarak çevre koruma ve sürdürülebilirlik hedeflenir.

Akıllı Yapılar: Yaşam kalitesini artırmak, yapıların güvenliğini en üst düzeye çıkarmak ve enerji kaynaklarını daha verimli kullanmak için tasarlanmış, yenilikçi ve teknoloji odaklı çözümler içeren yapısal sistemlerdir. Bu yapılar, sürdürülebilirlik ilkelerine uygun olarak enerji tasarrufu sağlayan otomasyon sistemlerini, çevre dostu malzemeleri ve akıllı sensör teknolojilerini entegre eder. Akıllı Yapılar, yaşam kalitesini yükseltmeye yönelik çözümler sunmaktadır.

Akıllı Yönetişim: Şeffaflık ve açıklık esasına dayalı bir yönetim modeli

sunmaktadır. Planlama, politika geliştirme, analiz ve uygulama süreçlerinde bütüncül bir yaklaşımı benimseyerek doğru kararlar alınmasını sağlar. Bu bileşen, katılımcı bir yönetim anlayışını destekler.

Bilgi Teknolojileri (BT): İnternet ve dijital teknolojilerin kullanımıyla bilgi üretimini, depolanmasını, işlenmesini ve paylaşılmasını sağlayan sistemlerdir. Bilgi Teknolojileri, diğer akıllı şehir bileşenlerine yatay destek sağlayarak entegrasyonu kolaylaştırır.

Akıllı Mekan Yönetimi: Doğal afetler gibi olaylara karşı simülasyon yöntemleriyle dayanıklılık odaklı çözümler sunmaktadır. Akıllı Mekan Yönetimi, fiziksel altyapının korunmasını ve sürdürülebilirlik ilkesine uygun yönetimi hedefler.

Yönetişim Mekanizması: Katılımcı ve reaksiyoner bir yapıya sahip olan bu mekanizma, politik süreçlerin daha etkin bir şekilde yürütülmesini sağlar. Kurumlar arasındaki iş birliği ve bütünlük, bu mekanizmanın temel amaçları arasında yer almaktadır.

Akıllı Ulaşım: Bilgi teknolojileri altyapısına dayalı, entegre bir ulaşım sistemi olarak tanımlanır. Bu sistem, şehir içindeki ulaşım ağlarını (örneğin bisiklet, otomobil, tren gibi) birbiriyle bağlantılı şekilde planlayarak, tehlikeleri önceden tespit eden ve kullanıcıları uyaran uygulamaları içerir.

Akıllı Enerji: Yenilenebilir enerji kaynaklarının verimli ve uyumlu bir şekilde kullanılmasını hedefleyen enerji sistemleridir. Örneğin, rüzgâr ve güneş enerjisini bir arada kullanarak hem çevre dostu hem de sürdürülebilir enerji üretimi sağlayan sistemler, akıllı enerji uygulamalarına örnek teşkil eder.

İletişim Teknolojileri (İT): Bilginin aktarımıyla ilgili tüm donanım, teknolojik yenilikler ve standartları kapsayan bir sistemdir. İletişim teknolojileri, akıllı şehir bileşenlerinin çoğuna yatay bir destek sağlayarak işlevselliği artırır.

Bilgi Güvenliği: Bilginin gizliliğini, bütünlüğünü ve erişilebilirliğini koruma amacıyla oluşturulan sistemlerdir. Risk analizine dayalı güvenlik önlemleri almayı, veri sızıntılarını önlemeyi ve antivirüs teknolojilerini içeren planlamaları kapsar.

Afet ve Acil Durum Yönetimi: Doğal afetler, insan kaynaklı krizler ve beklenmedik acil durumlarda meydana gelebilecek maddi ve manevi kayıpları en aza indirmeyi amaçlayan bütünleşik sistemlerdir. Bu sistemler, olaylara hızlı müdahale,

etkili koordinasyon ve kaynak yönetimi sağlayarak, afet öncesi hazırlık, afet anındaki müdahale ve afet sonrası iyileştirme süreçlerinde önemli bir rol oynar. Ayrıca, gelişmiş iletişim teknolojileri, yapay zekâ tabanlı analiz araçları ve coğrafi bilgi sistemleri gibi yenilikçi yöntemlerle desteklenerek, kriz yönetiminde proaktif bir yaklaşım sunmaktadır.

Akıllı Altyapı: Farklı alt sistemlerden elde edilen verilerin bir araya getirilerek ihtiyaç odaklı çözümler üretilmesini sağlayan bir yapıdır. Bu altyapı, çözüm odaklı yaklaşımlar sunarak yönetsel süreçlerde hız, erişilebilirlik ve sürdürülebilirlik sağlar.

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS): Coğrafi bölgelerin koşulları dikkate alınarak veri toplama, analiz etme, depolama ve yönetme süreçlerini kapsayan bir sistemdir. Bu veriler, iletişim, insan kaynakları ve kaynak yönetimi gibi birçok alanda kullanılabilir ve akıllı şehirlerin temel yapı taşlarından biri olarak zincirleme bir işleyiş sağlar [32].



Şekil 3.3. Akıllı Şehir Bileşenleri [31]

3.2.1. Avrupa Birliği'ne Göre Akıllı Şehirlerin Bileşenleri

Gelişen teknolojiyle, bilgiye dayalı akıllı şehir projelerine yönelik geçiş süreçleri giderek artan bir şekilde önem kazanmıştır. Bu dönüşüm ve stratejik planlama süreçlerini inceleyen araştırmalar, akademik alanda olduğu kadar pratik uygulamalarda da değerli bir konumda yer almaktadır. Akıllı şehirlerin değerlendirilmesi ve geliştirilmesi açısından Dr. Boyd Cohen tarafından önerilen "Akıllı Şehirler Çarkı (Smart Cities Wheel – SCW)" metodolojisi, Avrupa Birliği

tarafından benimsenen önemli yaklaşımlar arasında bulunmaktadır. Bu yönetime göre, akıllı şehirler altı temel bileşenden oluşmaktadır: Akıllı Ekonomi, Akıllı İnsan, Akıllı Yönetişim, Akıllı Mobilite, Akıllı Çevre ve Akıllı Yaşam. Bu bileşenler, akıllı şehirlerin hem teorik hem de pratik düzeyde daha etkin bir şekilde incelenmesini ve hayata geçirilmesini sağlamaktadır [30].

1. **Akıllı Hareketlilik/Ulaşım (Smart Mobility):** Bilgi ve iletişim teknolojilerinin entegrasyonu ile çevreci ve kapsayıcı bir ulaşım altyapısı oluşturmayı hedefler. Bu sistem, trafik yoğunluğu gibi olayları gerçek zamanlı olarak takip eder ve araç sürücülerine gerekli bilgilendirmeleri sağlayarak çözüm odaklı bir yaklaşım sunmaktadır. Aynı zamanda sürdürülebilir ulaşım çözümleri geliştirilmesine olanak tanır.
2. **Akıllı Yaşam (Smart Living):** Kent sakinlerine daha sağlıklı ve yaşanabilir bir ortam sunmayı amaçlar. İletişim ve bilgi aktarım teknolojilerinin eş zamanlı entegrasyonu ile kolay, hızlı ve yenilikçi çözümler geliştirir. Akıllı yaşam, kentsel yaşam kalitesini artırmayı hedefleyen uygulamaları içerir.
3. **Akıllı Yönetişim (Smart Governance):** Kamu yönetiminde şeffaflık ve katılımı teşvik eden bir sistemdir. Bu sistem, vatandaşların karar alma süreçlerine etkin bir şekilde dahil olmasını sağlarken, hesap verebilirliği ve açık yönetim ilkelerini ön planda tutar. Her seviyedeki birey ve paydaşlar için etkili iletişim ortamları sağlar. Açık veri politikası ile kamu sektöründe üretilen verilerin herkes tarafından erişilebilir hale getirilmesini hedefler. Bu yaklaşım, şeffaflık, adalet ve katılımcı bir yönetim anlayışını güçlendirmektedir.
4. **Akıllı Çevre (Smart Environment):** Doğal kaynakların sürdürülebilir şekilde yönetilmesini sağlar. Su, toprak, hava, iklim ve atık gibi çevresel unsurların bütüncül bir yaklaşımla ele alınması, çevre dostu bir yaşam tarzını destekler. Kentlerin devamlılığını sağlamak için doğayla uyumlu çözümler sunmaktadır.
5. **Akıllı Ekonomi (Smart Economy):** İletişim ve bilgi teknolojileri kullanılarak verimliliğin artırılmasını amaçlar. Gelişmiş üretim, tedarik zinciri ve e-ticaret uygulamaları gibi alanlarda yenilikçi yaklaşımlar geliştirir. Akıllı kümelenmeler ve iş ekosistemlerini desteklerken, üretim süreçlerinin optimizasyonuna yönelik teknolojik çözümler sunmaktadır.
6. **Akıllı İnsanlar (Smart People):** Yaratıcılık ve yenilikçiliği teşvik eden, toplumun her kesimini kapsayan bir yapı oluşturmayı amaçlar. Bu bileşen, bireylerin dijital

yetkinliklerini ve bilgi teknolojilerini etkin bir şekilde kullanma becerilerini geliştirmeye odaklanır. Ayrıca, toplumsal katılımı artırarak bireylerin şehir yönetimine ve sosyal süreçlere aktif olarak dahil olmasını sağlar. Bu bileşen, bireylerin kentsel yaşamın bir parçası olarak inovasyon süreçlerine katkı sunmasını teşvik eder [30].

Bu bileşenler, birbiriyle etkileşim halinde çalışan ve geliştirilmeye açık sistemlerdir. Akıllı şehir tasarımlarında, bu bileşenlerin kapsayıcı ve entegre bir yaklaşımla ele alınması, şehrin verimliliğini artırmakla kalmayıp sürekli güncellenen çözümler geliştirilmesine de olanak tanır.

3.2.2. Akıllı Şehir Sistemlerinde Kullanılan Araçlar

“Modern ve geleneksel iletişim yöntemlerinin bir arada kullanıldığı altyapılar, insan ve sosyal sermayenin katkısıyla ve doğal kaynakların akıllı yönetimi aracılığıyla sürdürülebilir ekonomik büyümeyi desteklediğinde ve yaşam kalitesini artırmayı hedeflediğinde bir şehre ‘akıllı şehir’ denilebilmektedir” [33].

Mobil cihazlar; akıllı telefonlar, tabletler, e-kitap okuyucular, müzik çalarlar ve cep bilgisayarları gibi taşınabilir ve kablosuz ağlar üzerinden sesli, yazılı ve veri tabanlı hizmetler sunan teknolojik araçlardır. Günümüzde bu cihazların kullanıcı sayısı hızla artmaktadır. Örneğin, 2014 yılında 7,7 milyar olan mobil cihaz sayısının, 2018 yılı sonunda 12,1 milyara ulaşacağı öngörülmektedir.

Mobil cihazlar, akıllı hizmetlerin kullanımını artırmış ve özellikle eğlence, alışveriş, ulaşım, eğitim, finans ve turizm gibi alanlarda mobil uygulamaların yaygınlaşmasına katkı sağlamıştır. Kullanıcılar bu uygulamalarla hava durumunu kontrol edebilir, borsa verilerine ulaşabilir, en yakın park veya eczaneyi bulabilir; ayrıca müzik dinlemek veya oyun oynamak gibi eğlence ihtiyaçlarını karşılayabilir.

Mobil uygulamalar, aynı zamanda şehir yönetimlerinde de etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle belediyeler, şehir trafiğini izlemek, kent sakinlerinin zaman yönetimini iyileştirmek ve yoğun kentleşmenin olumsuz etkilerini azaltmak için çeşitli mobil çözümler geliştirmektedir [34].

Dijital Platformlar: Akıllı kentlerde kullanılan fiziksel sensörler, gerçek zamanlı veri toplamak ve bu veriler üzerinden kent aksiyonlarına yönelik analizler

yapmak için kritik bir rol oynar. Ancak, bu sensörlerin bazı kısıtlamaları bulunmaktadır. Örneğin, vatandaşların duygusal ihtiyaçlarını veya fikirlerini fiziksel sensörlerle algılamak mümkün değildir.

Bu noktada, sosyal medya gibi dijital platformlar devreye girmektedir. Sosyal medya, kent sakinlerinin gözlemlerini, deneyimlerini ve düşüncelerini paylaşabileceği bir iletişim ortamı sunmaktadır. Bu platformlar, fiziksel sensörlerden elde edilemeyen verilerin tamamlanmasına ve anlamlandırılmasına yardımcı olur. Yoğun etkileşimlerin yaşandığı mekânların tespit edilmesiyle akıllı çözümler geliştirilmesi mümkün hale gelmektedir.

Açık veri: Herhangi bir telif hakkı veya patent gibi kısıtlamalara tabi olmayan, herkesin serbestçe erişip kullanabileceği veri türü olarak tanımlanır. Bu verilerin bilgisayarlar tarafından okunabilir olması ve ücretsiz erişim sunması, kamu sektörü dahil birçok alanda iş kalitesini ve rekabeti artırır. Açık veri yaklaşımı, akıllı şehir uygulamalarında yenilikçi çözümlerin geliştirilmesine olanak sağlar [34].

3.2.3. Dünyadaki Etkin Akıllı Kent Uygulamaları

21.yüzyılda küreselleşmenin hızlanmasıyla birlikte, kent yaşamında büyük değişimler yaşanmıştır. Bu süreç, ülkelerin kentler arasında ekonomik, sosyal, kültürel ve yönetsel bağlamlarda iş birliği yapmasını ve aynı zamanda rekabet etmesini beraberinde getirmiştir [35].

Bilgi iletişim teknolojilerinin hızla geliştiği bu dönem, "bilgi çağı" olarak adlandırılmakta ve yeni bir kültürel yapının ortaya çıkmasına zemin hazırlamaktadır. Akıllı kent kavramının benimsenmesinde en etkili faktörlerden biri, kentsel yapılaşma, üretim, ulaşım ve iletişim gibi alanlarda sağladığı kolaylıklar ve çözüm odaklı yaklaşımlardır. Bu sistemler, yaşamı kolaylaştırmanın yanı sıra zamandan tasarruf sağlamayı da mümkün kılmaktadır.

Günümüzde akıllı kent uygulamaları, dünya genelinde hızla yaygınlaşarak teknoloji ve kentsel yaşamı entegre etmek suretiyle yaşam kalitesini artırmayı hedeflemektedir. Bu uygulamalar, daha sürdürülebilir bir şehir yaşamı sağlamak adına çeşitli yenilikçi çözümleri hayata geçirmektedir. IESE Cities dergisinin 2018 Motion Index sıralaması da bu kapsamda önemli bir referans sunmaktadır. Söz konusu sıralama, akıllı kentleri sürdürülebilirlik ve yaşam kalitesi gibi 10 ana kategori altında,

toplam 83 gösterge üzerinden değerlendirmiştir. Bu analizde Londra, New York ve Paris ilk üç sırayı alırken; Tokyo, Reykjavik, Kopenhag, Berlin, Amsterdam, Singapur ve Hong Kong gibi şehirler de dikkat çekici performanslarıyla sıralamada yer bulmuştur. Bu sonuçlar, akıllı kent uygulamalarının, küresel çapta farklı coğrafyalarda çeşitli başarı hikayeleri yarattığını göstermektedir [35].

Akıllı şehir uygulamaları, teknoloji ile kentsel yaşamı birleştirerek farklı alanlarda inovatif çözümler sunmaktadır. Bu çözümler, trafik yönetiminden su kaynaklarının verimli kullanılmasına kadar birçok alanda kentsel yaşam kalitesini artırmaktadır. Öne çıkan uygulamalardan bazıları şunlardır:

Los Angeles: Şehrin otomatik trafik kontrol ve takip sistemi sayesinde, duraklama sürelerinde %35, kavşaklardaki gecikmelerde %20, seyahat süresinde %13, yakıt tüketiminde %12,5 ve hava kirliliğinde %10 oranında azalma sağlanmıştır. Bu sistemin fayda-maliyet oranı 9,8/1 olarak hesaplanmış ve yapılan yatırım bir yıl içinde kendini amorti etmiştir.

Londra: Toplu taşımada kullanılan "Oyster" kartlar, kredi kartlarıyla eşleştirilerek temassız ödeme imkanı sunmaktadır. Bu yenilik, kullanıcı deneyimini iyileştirirken bilet yükleme noktalarındaki yoğunluğu azaltarak şehirdeki ulaşım sisteminin verimliliğini artırmıştır.

Tokyo: Şehir, su tedarik sistemini yenileyip elektronik sızıntı dedektörlerini devreye alarak su kaybını %3,7 oranında azaltmıştır. Bu iyileştirme, toplamda 172,4 milyon ABD doları tasarruf sağlamıştır. Benzer şekilde, İsrail'in deniz suyu arıtma tesisleri, ülkenin su ihtiyacının %85'ini karşılamaktadır ve bu oranı %100'e çıkarma hedefi bulunmaktadır.

Portekiz: Kuzey Portekiz'de, dört okulda simülasyon yöntemleriyle eğitim verilmiştir. Bu yöntemi kullanan öğrencilerin akademik başarılarının %20 oranında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu uygulama, eğitimde teknolojinin etkin kullanımı için örnek teşkil etmektedir.

Amsterdam: Şehir genelinde yerleştirilen bluetooth tabanlı beacon cihazları, turistlere çeviri hizmeti sunarak kalabalık yönetimini kolaylaştırmıştır. Bu teknoloji, şehrin turist yoğunluğu yönetiminde etkin bir çözüm sağlamış ve aynı zamanda kullanıcı deneyimini iyileştirmiştir [36].

Bu örnekler, akıllı şehirlerin farklı alanlarda nasıl yenilikçi ve sürdürülebilir

özmler geliştirebildiğini göstermektedir. Teknolojinin etkin kullanımı, bu şehirlerde yaşam kalitesini artırarak sürdürülebilir bir geleceğin kapılarını aralamaktadır.

Bu rnekler, akıllı kent uygulamalarının yalnızca teknolojiyi entegre etmekle kalmayıp, sürdürülebilirlik, verimlilik ve yaşam kalitesini artırma yönünde önemli faydalar sağladığını göstermektedir (şekil 3.4).



şekil 3.4. Akıllı şehirde sensör yardımı [37]

Teknolojinin gelişimiyle birlikte, veri analitiği kullanılarak insan davranışlarına yönelik yenilikçi zmler geliştirilmektedir. şehir içinde trafik kurallarını ihlal edenlerin tespit edilmesi veya yalnız yaşayan yaşlı bireylerin güvenliğini sağlamak amacıyla harekete duyarlı sensörler kullanılmaktadır. Örneğin, hareketsizlik algılandığında sensörler, yaşlı bireylerin durumlarının kontrol edilmesi amacıyla ilgili sağlık birimlerine otomatik olarak bilgi iletebilmektedir. Bu tür teknolojik yenilikler, yaşlı bireylerin yaşam kalitesini artırmaya yönelik önemli adımlardır. Singapur, bu alandaki nc uygulamalarıyla dikkat çekmektedir. Örneğin, yaşlı bireylere verilen özel tanımlı kartlar, yaya geçitlerinde daha uzun süreli yeşil ışık süresi sağlayarak onların güvenli ve rahat bir şekilde karşıdan karşıya geçmelerine olanak tanımaktadır. Bu tür zmler, toplumun tüm kesimlerine hitap eden kapsayıcı akıllı şehir uygulamalarının başarılı örneklerindendir.

Singapur'un Smart Nation programı kapsamında, halkın yaşam alanlarının temizliğinden trafik ihlallerine, toplumsal krizlerde davranış analizlerinden bulaşıcı hastalıkların yayılma süreçlerine kadar birçok konuda veri toplanmaktadır. Bu veriler,

şehrin farklı noktalarına yerleştirilen sensörler ve kameralar aracılığıyla elde edilmektedir. Toplanan veriler, devlet tarafından oluşturulan "Virtual Singapore" platformunda saklanmakta ve gerektiğinde özel sektörle paylaşılabilir [35].

Dünyanın en düşük karbon salınımına sahip kentlerinden biri olan Kopenhag, 2025 yılına kadar karbon nötr olma hedefiyle sürdürülebilirlik alanında öncü bir rol üstlenmektedir [38]. Kentte, bisiklet kullanımını teşvik etmek amacıyla geliştirilen E-bisiklet programı, sadece çevre dostu ulaşımı desteklemekle kalmayıp, aynı zamanda trafik akışı ve hava kalitesi gibi önemli göstergeler hakkında gerçek zamanlı veri toplanmasını ve analiz edilmesini sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, "City WiFi" projesi ile şehrin tamamında ücretsiz ve kesintisiz kablosuz internet erişimi sunularak hem yerel halkın hem de turistlerin dijital bağlantıya kolay erişimi sağlanmıştır. Bu yenilikçi yaklaşımlar, Kopenhag'ın sürdürülebilir ve teknolojik altyapısını güçlendiren örneklerden bazılarıdır.

Kopenhag, sürdürülebilirlik vizyonu doğrultusunda çevresel sorunlara yenilikçi çözümler getiren projeler geliştirmiştir. Sel baskınlarını önlemek amacıyla tasarlanan "Smart Water" projesi, su yönetim sistemlerini optimize ederek hem çevreyi korumayı hem de altyapı maliyetlerini azaltmayı hedeflemektedir. Benzer şekilde, "Smart Waste" projesi kapsamında çöp konteynerlerine yerleştirilen sensörler aracılığıyla doluluk oranları izlenmekte, bu sayede atık toplama süreçleri daha verimli hale getirilmektedir. Ayrıca, "Smart Parking" projesi, park alanlarına yerleştirilen sensörler ve mobil uygulamalarla sürücülerin uygun park yerlerini hızla bulmasını sağlayarak trafik yoğunluğunu azaltmayı amaçlamaktadır.

Akıllı kent projelerinin finansmanında Avrupa Birliği'nin katkısı oldukça büyüktür. AB, 43, 44 ve 45 numaralı eylem planları ile 7. Çerçeve Programı kapsamında akıllı kent yatırımlarını teşvik etmektedir. EURO CITIES platformu gibi girişimler, Avrupa'nın önde gelen şehirlerini bir araya getirerek sürdürülebilirlik hedeflerini destekleyen önemli bir iş birliği ağı oluşturmuştur. Bu platform, enerji tüketimini minimize ederek çevreyi korumayı ve yaşam kalitesini artırmayı amaçlamaktadır.

Özellikle akıllı binalar ve akıllı elektrik şebekeleri, Avrupa'daki akıllı kent projelerinin en dikkat çekici bileşenlerinden biridir. Pilot projeler kapsamında, akıllı bina teknolojilerinin benimsenmesiyle enerji tüketiminde %20'ye varan tasarruflar elde edilmiştir. Avrupa'daki toplam elektrik tüketiminin %40'tan fazlasının binaların

aydınlatma, ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarına harcandığı göz önüne alındığında, bu tür projelerin enerji verimliliğine sağladığı katkılar oldukça kritiktir. Bu gelişmeler, Kopenhag gibi şehirlerin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmasında önemli bir rol oynamaktadır [39].

3.2. Endüstri 4.0

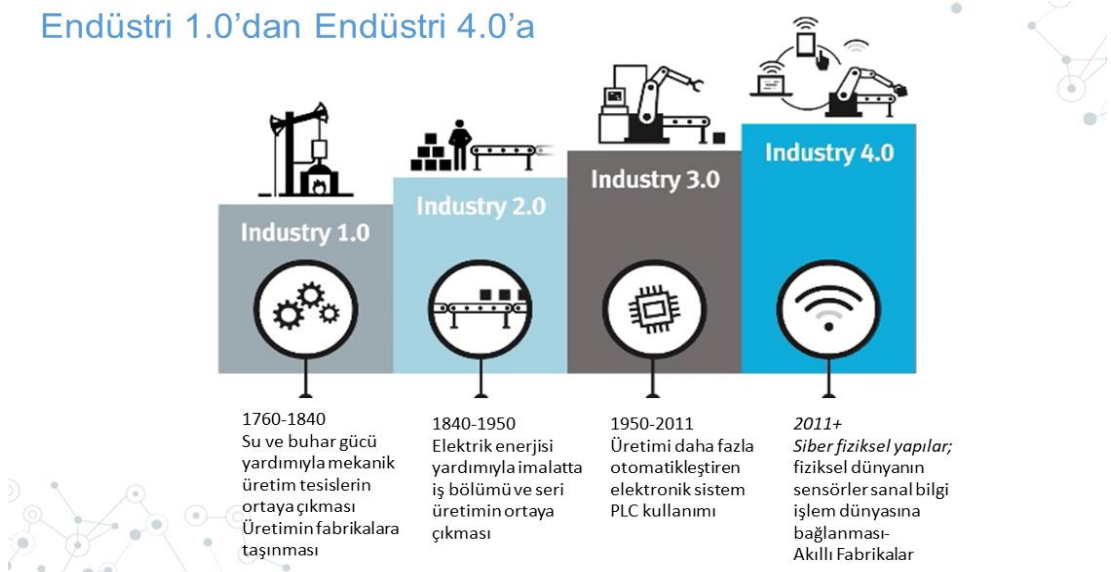
Gelişmekte olan teknolojik faaliyetlerle beraber sosyal, çevresel ve ekonomik değişmelerle birlikte ülkelerin şehirlerin ve ticarethanelerin değişime oryantasyon süreci zor bir hal almaktadır. Değişen hızlı gelişim hem rekabeti arttırmış hemde rekabet piyasasında üstünlük ve devamlılık sağlama oluşumu için zorunlu stratejik politika sürecini geliştirmeyi devamlı hale getirmiştir. Endüstri 4.0, Almanya’da düzenlenen en önemli endüstri fuarı olan 2011 Hannover fuarında tanıtılmıştır. Endüstri 4.0 günümüze gelene kadar 3 kademe endüstri devrim süreci daha yaşayıp deneyimlerden yola çıkılarak oluşumu sağlanmıştır. Bu devrimlerin bir tanesi tarım alanında diğer üç tanesi sanayi devrimleridir. İlk gerçekleşen endüstri devrimi 18.yy sonlarında gerçekleşmiş bu devrimde su gücünden fayda sağlanarak mekanik mekanizmalar oluşturulmuş ve buhar gücünden yararlanılarak çalışan çeşitli icatlar ortaya çıkmıştır. İkinci gerçekleşen endüstri devrimi ise 20.yy da gerçekleşmiş olup elektrik yardımıyla seri üretime geçiş sağlanmıştır. Bu devirle birlikte elektrikle çalışmakta olan ilk üretim bandı ortaya çıkmıştır. Üçüncü endüstri devrimiyse 1970 yıllarında başlangıcında meydana gelmiş, analog verinin yerini dijital veri sistemleri almış ve ilk PLC (Programlanabilir Mantıksal Denetleyici) icadı bu devrimde meydana gelmiştir. Gerçekleşmiş olan bu üç devrimin ortaklaşa özelliğiye verimlilik arttırımı vizyon edinmesidir.

Endüstri 4.0 ile birlikte görselleştirme, kişiselleştirme, hibrit sistemlerin kullanımı ve süreçlerde mükemmellik sağlama gibi unsurlar ön plana çıkmıştır. Bu yeni sanayi devrimi, endüstriyel süreçlerin bilgisayarlarla desteklenmesini ve ileri teknoloji ile donatılmasını öngörmektedir. Bu yaklaşım sayesinde makineler, çevrelerini algılama yeteneği kazanacak ve internet üzerinden birbiriyle iletişim kurarak entegre bir şekilde çalışabilecektir [40].

3.2.1. Endüstri 4.0 Tarihsel Gelişimi

Rönesans döneminde geçmişe dönük çalışmalar göz önünde bulundurularak mühendisler işlerin nasıl daha iyi modernize çalışacağını araştırdılar. Ancak Sanayi Devrimi, işlerin gerçekten değişmeye başladığı zamandı olarak başlamıştır. İnsanlar makinelerle bir şeyler yapmaya başladılar ve bu da modern mühendislik biliminin gelişmesine yardımcı oldu. Bunun bir örneği olan mühendis James Watt'ın 1763'te buhar makinesini icat etmesidir. Bu, endüstriyi makineleştirmeyi ve yeni şeyler yapmanın yollarını yaratmayı mümkün kıldı. Daha sonra 1876 yılında mucit Graham Bell telefonu icat etti. Bu, teknolojinin gelişmeye ve değişmeye devam ettiği modern çağın yani sanayi devrinin başlangıcı olarak geçmektedir.

Mühendislik bilimiyle birlikte hem devlet hem de bireysel çalışmaların rol oynamasıyla zaman içinde gelişimler devam etmiştir. Bu, mikroişlemcilerin ve bilgisayarın icadına yol açmış ve böylece bilgisayar ve yeni mühendislik dallarında yazılım mühendisliğine benzer yeni alanlar ortaya çıkmıştır. Günümüzde sürücüsüz makineler ve karanlık endüstriye sahip ortam şartlarıyla sektörde yeni bir devrim gelişmeye devam etmektedir (Şekil 3.5). Bu yaklaşım Endüstri 4.0 olarak tabir edilmektedir.



Şekil 3.5. Endüstrinin tarihsel gelişimi [41]

Endüstri 1.0, 18. yüzyılda mühendisler gücü yönetmeyi başarmak amacıyla buhar kullanımlı makineler icat ettiler. Bu devrimde lokomotif ve değirmen gibi şeyleri üretmek için kullanılmaktadır [42].

Endüstri 2.0, 19. yüzyılda makinelerden elde edilen verimle oluşan teknolojiadaki ilerlemeler, iş bölümüne dayalı daha verimli makinelerin üretilmesine olanak sağlamış, telgraf ve telefon gibi icatlara yol açmıştır. 1920'lerde bilimsel yönetim teknikleri tanıtılmıştır.

Endüstri 3.0, bu devrim daha hızlı ve daha doğru üretim için geliştirmelere yol açmış, üretim süreçlerinin otomasyonu, 1970'lerde ilk mikro bilgisayarın piyasaya sürülmesiyle başlamış, sonrasında Steve Jobs tarafından Apple firmasının kuruluşu gerçekleşmiştir.

Endüstri 4.0, 1988'de bir laboratuvar, makinelerin kendilerini tanımlamasına izin veren AutoID sistemini geliştirdi. 2000 yılında internet doğdu. Bu, sanal ortamların ve otonom makinelerin geliştirilmesine yol açtı. 2010 yılına gelindiğinde, dünyanın herhangi bir yerine bilgi gönderebilen hücresel ulaşım sistemlerimiz vardı. 2020'de sanal ve otonom etkileşimlerin yükselişini robotik süreçler, insansız endüstriyel üretim yönetimi gibi otonom teknolojileriyle süreç devam etmektedir.

Özetle Birinci sanayi devrimi, buhar motorlarının kullanılmasını sağladı. İkinci sanayi devrimi, elektrik sistemlerinin kullanılmasını mümkün kıldı. Üçüncü sanayi devrimi, dijital teknolojinin kullanılmasını sağladı. Dördüncü sanayi devrimi, yeni otonom sistemlerin geliştirilmesi sayesinde devam etmektedir.

Endüstri 4.0, şirketlerin akıllı bir fabrika oluşturmaya yardımcı olan bir dizi teknoloji ve kavramdır. Buna siber-fiziksel sistemlerin kullanımı, Nesnelerin İnterneti ve big data dahildir. Böyle bir yapı ile şirketler, fabrikaların yerini robotların ve yapay zekanın aldığı, üretimin evde 3D yazıcılarla gerçekleştiği, birçok bilginin veri analiz yöntemleri kullanılarak sınıflandırılıp değerlendirildiği bir gelecek vizyonu oluşturabilmektedir [8].

3.2.2. Endüstri 4.0 Teknolojisinde Yaşanan Örnekler

Nesnelerin interneti, Nesnelerin İnterneti sadece insanların birbirleriyle iletişim kurmasına değil, aynı zamanda malzemeler, ürünler ve makineler gibi "her şeyin" İnterneti aracılığıyla da iletişim kurmasını sağlamaktadır [44].

CPS'ler (Siberfiziksel sistemler), internet üzerinden birbirleriyle ve diğer materyallerle iletişim kurabilen yazılım tabanlı üretim sistemleridir. Akıllı

malzemeler, kalite ve üretim süreci hakkında bilgi içeren malzemeler olarak tanımlanır.

Radyo frekansı tanımlama teknolojileri (RFID) sayesinde bu malzemeler üretim süreçlerinde bağımsız olarak davranış sergileyebilmektedir. CPS malzeme ve sistemleri, sanal bir talep ve arz piyasası benzerinde ortamın oluşma aracılığıyla kapasitenin ihtiyaçları ve taleplerini koordine eder. Örneğin; CPS'lerden biri arızalanırsa, diğer sistem otomatik olarak çalışarak sistemin malzeme akışınında ki bağımsızlığının yönetimini sağlamaktadır.

"Bellek" teknolojisi, "büyük veri kümesi" teknolojisinden daha gelişmiş ve önemlidir ve büyük veri bloklarının üretim sürecini harici bir depolama kaynağı kullanmadan kaydetmeye yardımcı olmaktadır. Bu, sensörlerin makinelerin, malzemelerin ve üretim ortamlarının durumunu gerçek zamanlı olarak ölçebildiği ve büyük veri ve analitik değerlendirme süreçleri yardımıyla geçmişin de açıklanabileceği, sistemin gelecekteki performansının tahmin edilebileceği ve performansının tahmin edilebileceği anlamına gelir. Mevcut duruma göre hemen alınabilmektedir.

3D Baskı (3D Printing) gibi yeni teknolojiler, parçaları daha hızlı oluşturmamızı yedek parça oluşturmada kolaylıkları da sağlamaktadır.

Endüstri 4.0, fiziksel süreçleri izlemek ve fiziksel dünyayı sanal ortamda aynı koşullarla modellemek için siber-fiziksel sistemleri kullanan yenilikçi bir iş yapma yaklaşımıdır. Bu sistemler, modüler yapıya sahip akıllı fabrikalarda merkezi olmayan karar verme süreçlerini mümkün kılar.

Nesnelerin İnterneti (IoT), siber-fiziksel sistemlerin birbiriyle ve insanlarla gerçek zamanlı iletişim kurmasını ve iş birliği yapmasını sağlar. Ayrıca, Hizmetlerin İnterneti (IoS), kullanıcıların değerlendirilmesi için kurum içi ve kurumlar arası çeşitli hizmetlerin sunulmasına olanak tanır.

Endüstri 4.0, çalışma ve yaşama şeklimizi iyileştirmek için teknolojileri yönetmenin ve kullanmanın bir yoludur. Her biri işleri farklı şekilde yapmamıza yardımcı olacak dört Endüstri 4.0 düzeyi vardır. Birinci seviye, cihazların bulunduğu fiziksel alandır. Bu cihazlar, birlikte çalışmalarına yardımcı olmak için iletişim ağlarını kullanır. İkinci seviye, iletişim ağlarının kendisidir. Cihazların birbirleriyle konuşmasına ve bilgi paylaşmasına izin verirler. Üçüncü seviye büyük veridir. Bu,

cihazlar ve bağılı oldukları sistemler tarafından toplanan tüm verilerdir. Dördüncü seviye, bulut sistemine gömülü sunucu sistemleridir. Bu sistemler, cihazların birlikte çalışmasına ve bilgi paylaşmasına yardımcı olmaktadır. Son olarak akıllı fabrikalar, şehirler, kullanıcılar ve hizmetler bulunmaktadır. Bu seviyelerin her biri, işlerin farklı şekilde yürütülmesine olanak tanımaktadır [43].

Endüstri 4.0 için 5 temel neden Şekil 3.6’da görülmektedir.



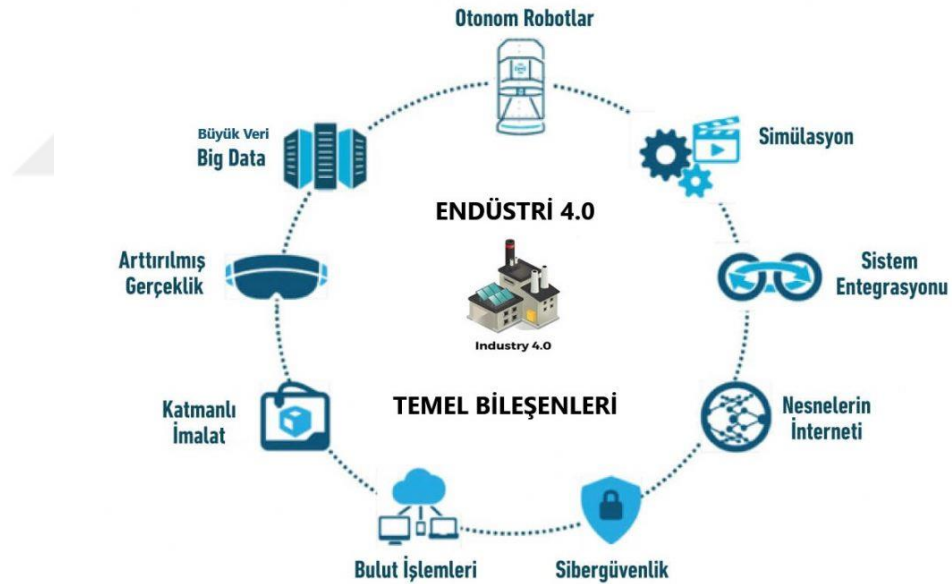
Şekil 3.6. Endüstri 4.0 temel 5 neden [44]

3.2.3. Endüstri 4.0 ile Ortaya Çıkan Kavramlar

Endüstri 4.0'ın yapı taşları (Şekil 3.7) veya bu dönüşümü tetikleyen unsurlar şunlardır [45]:

- Nesnelerin İnterneti (IoT): Fiziksel cihazların, internet üzerinden birbiriyle iletişim kurarak veri paylaşmasını ve süreçlerin optimize edilmesini sağlayan bir teknoloji.
- Simülasyon (Simulation): Üretim süreçlerini sanal ortamlarda modelleyerek test etmeyi ve analiz etmeyi mümkün kılan yöntem.
- Otonom Robotlar (Autonomous Robots): İnsan müdahalesine ihtiyaç duymadan belirli görevleri yerine getirebilen, öğrenme ve adaptasyon kabiliyetine sahip akıllı robotlar.
- Katmanlı Üretim (Additive Manufacturing): 3D yazıcı teknolojileri ile katman katman üretim yaparak, hızlı prototipleme ve özelleştirilmiş üretim süreçlerini destekleyen yenilikçi bir üretim yöntemi.

- Arttırılmış Gerçeklik (Augmented Reality): Gerçek dünyaya dijital bilgi ve görseller ekleyerek üretim, eğitim ve bakım gibi alanlarda etkileşimli çözümler sunan teknoloji.
- Bulut Bilişim (Cloud Computing): Veri depolama, işleme ve paylaşım süreçlerinin internet tabanlı bir altyapı üzerinden gerçekleştirilmesini sağlayan sistem.
- Siber Güvenlik (Cyber Security): Endüstriyel süreçlerde kullanılan dijital sistemlerin güvenliğini sağlamak için alınan önlemler ve uygulamalar.
- Büyük Veri ve Analizi (Big Data and Analytics): Üretim süreçlerinden toplanan büyük miktarda verinin analiz edilerek daha verimli kararlar alınmasını sağlayan yöntem.
- Yatay ve Dikey Sistem Entegrasyonu (Horizontal & Vertical System Integration): Üretim süreçlerinde farklı sistemlerin birbirine entegre edilerek bilgi akışının hem yatay hem de dikey olarak sağlanması [45].



Şekil 3.7. Endüstri 4.0 Temel bileşenleri [46]

Nesnelerin interneti IoT: İnternet bağlantısı aracılığıyla cihazların insan müdahalesine gerek kalmadan veri paylaşımı yapmasını sağlayan bir sistemdir (Şekil 3.8). Bu sistem, nesnelerin birbirleriyle iletişim kurarak insan ihtiyaçlarını karşılamasına olanak tanır [47].

Akıllı şehir planlamacıları, şehirleri daha yaşanabilir, sürdürülebilir ve etkin bir

şekilde yönetilebilecek hale getirmek için kapsamlı çözümler sunmayı hedeflemektedir. Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojisi ile entegre edilen akıllı şehir sistemleri, kentsel altyapının performansını izlemeye yönelik gerçek zamanlı veri sağlayarak bu hedeflere ulaşmada önemli bir rol oynamaktadır. IoT'nin sağladığı bu veriler, enerji yönetiminden trafik düzenlemesine, atık yönetiminden altyapı bakımı ve temizlik hizmetlerine kadar birçok alanda iyileştirme yapılmasını mümkün kılmaktadır.

Şehir yöneticileri, IoT teknolojilerinin sunduğu analitik araçları kullanarak enerji tüketimini optimize edebilir, trafik akışını daha etkin bir şekilde düzenleyebilir ve çevresel sürdürülebilirlik için yeni stratejiler geliştirebilir. Örneğin, akıllı sensörler aracılığıyla trafik yoğunluğu verileri toplanarak, trafik ışıkları dinamik bir şekilde yönetilebilir ve böylece seyahat süreleri kısaltılabilmektedir. Benzer şekilde, atık toplama süreçleri, çöp konteynerlerinin doluluk oranlarını tespit eden sensörlerle daha verimli hale getirilebilir, bu da hem maliyetleri düşürür hem de çevresel etkileri azaltır.

IoT tabanlı akıllı şehir uygulamaları, yalnızca şehirlerin verimliliğini artırmakla kalmayıp, aynı zamanda vatandaşların yaşam kalitesini de yükselterek daha sürdürülebilir bir gelecek inşa etmeyi hedefleyen önemli bir araçtır. Bu teknolojilerin şehir yönetiminde daha yaygın bir şekilde benimsenmesi, kentsel sorunlara yenilikçi çözümler sunma potansiyelini artırmaktadır [47].



Şekil 3.8. Nesnelerin İnterneti kullanım alanları [48]

Akıllı şehirlerin sunduğu potansiyel neredeyse sınırsızdır ve bu şehirlerin

gelişimi önümüzdeki yıllarda daha da hız kazanacaktır. Bununla birlikte, IoT'nin etkisinin yalnızca akıllı şehirlerle sınırlı kalmayacağı ve yakın gelecekte farklı alanlarda da köklü değişimlere yol açacağı öngörülmektedir. Nesnelerin İnterneti (IoT), insandan insana veya insandan bilgisayara etkileşime ihtiyaç duymadan nesneler ve canlılar arasında bilgi iletebilen katmanlı (Şekil 3.9) bir sistemdir. Bir yerel alan ağına veya internete bağlı fiziksel cihazlardan oluşan bir ağıdır. IoT ayrıca belirli bir protokolle bağlanan küresel bir nesne ağıdır. Nesnelerin interneti kullanımı arttıkça üretim sorunları daha hızlı çözülebilmektedir. Nesnelerin İnterneti'nin bir diğer yeniliği de iş veya yaşam alanının herhangi bir noktasında veri toplanmasını sağlamasıdır. Ağdaki fiziksel nesneler, bir veya daha fazla sensörle veri toplayabilir ve diğer nesnelerle paylaşabilmektedir. Bu sayede cihazlar akıllı telefonlardan, tabletlerden, dizüstü bilgisayarlardan, kontrol panellerinden veya taşınabilir teknoloji cihazlarından yön alabilmektedir [49].



Şekil 3.9. Nesnelerin internet katmanı [49]

Endüstride Nesnelerin İnterneti (IoT), işleri daha akıllı, daha hızlı ve daha verimli hale getirmek için teknolojiyi kullanmanın bir yoludur. Cihazları ve sistemleri birbirine bağlayarak onları gerçek zamanlı olarak izleyebilir ve kontrol edebiliriz. Bu, işimizi daha verimli bir şekilde yürütmemize ve süreçlerimizi sorunsuz bir şekilde yürütmemize yardımcı olmaktadır [50].

Simülasyon: Malzeme ve ürünlerin üretim süreçlerinde 3D simülasyonları günümüzde tasarım aşamasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak simülasyon teknolojisinin gelecekte fabrika ortamlarında daha geniş bir kullanım alanı bulması beklenmektedir. Gerçek zamanlı verilerden yararlanılarak oluşturulan bu sanal modeller, makineler, ürünler ve insanlar arasında bir etkileşim sağlayarak fiziksel

dünyayı sanal bir gerçeklik ortamına dönüştürür [46].

Bu teknoloji, kullanıcıların fiziksel değişikliklerden önce yeni bir ürünün ayarlarını sanal ortamda test edip optimize etmesine olanak tanır. Bu sayede makine kurulum süreleri önemli ölçüde kısalırken, üretim süreçlerinin kalitesi artırılmaktadır.

Otonom Robotlar: Otomasyon, insan yardımı olmadan işleri kendi kendine yapan makineler olduğu anlamına gelmektedir. Bunlar, örneğin, bağımsız olarak hareket edebilen ve görevleri gerçekleştirebilen makineler olan robotları veya robotlar tarafından kontrol edilen işletmeler olan otomatikleştirilmiş işletmeleri içermektedir. Robotların etki yaratmaya başladığı bir diğer alan da Nesnelerin İnterneti (IoT)'dir. Burada makineler internete bağlı ve uzaktan kontrol edilebilmektedir. Böylece makinelerin yönetimi ve izlenmesi kolaylaşmakta, tasarruf ve üretkenliğin artması sağlanmaktadır. Otomasyon hakkında konuşurken sıklıkla konuşulan şeylerden biri de robotiğin geleceğidir. Bunun nedeni, robotların hala birçok üretim sürecinde kullanılması ve gelecekte teknoloji ilerledikçe etkilerinin artması beklenmektedir. Bunun bir örneği, robotların birbirini tanıdığı ve görevleri daha hızlı ve verimli bir şekilde tamamlamak için birlikte çalıştığı akıllı fabrikalardır [51].

Katmanlı Üretim: 3D baskı, teknolojinin endüstriyel ölçekte kullanılması olduğundan "imalat" olarak adlandırılmaktadır. 3D baskı, CAD (Bilgisayar Destekli Tasarım), makine donanımı ve katmanlı malzeme gibi süreçler gerektirir. Günümüzde prototipler ve özel bileşenler üretmek için 3D yazıcı teknolojileri kullanılmaktadır. Ayrıca gelişmiş eklemeli imalat yöntemleri, karmaşık ve hafif yapılar üretme konusundaki yapısal avantajları sayesinde küçük ölçekli üretimde önemli bir potansiyel sunmaktadır. Sağladığı esneklik, hız ve kesinlik ile Sanayi 4.0 konseptinde önemli bir rol oynamaktadır. İstenen bileşenlerin hızlı, verimli ve yüksek hassasiyetle üretilmesine olanak tanıyarak üretim süreçlerine katma değer sağlamaktadır [51].



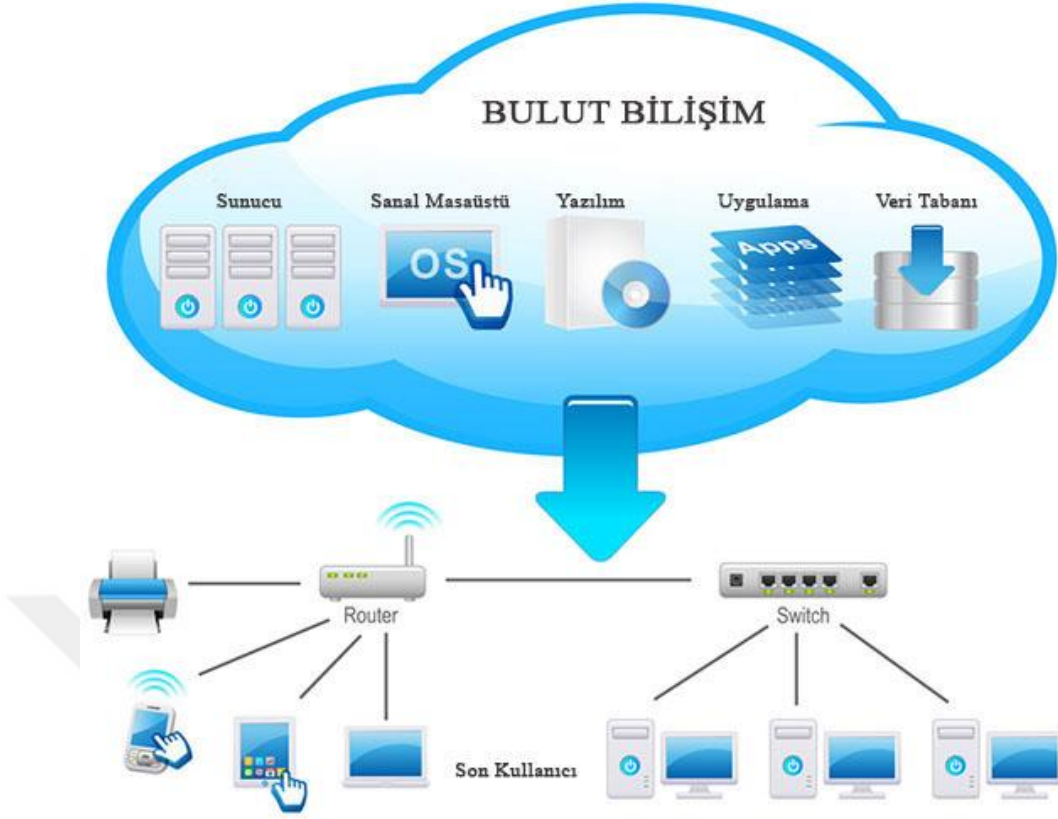
Şekil 3.10. Katmanlı imalat [28]

Arttırılmış Gerçeklik, Sanal gerçeklik (VR), insanların gerçek dünyadan kopmasını sağlayan bir teknolojiyken, artırılmış gerçeklik (AR) teknolojisi, gerçek dünyayı bilgisayar ortamında zenginleştirmektedir (Şekil 3.11). Bu sayede, sanal ve gerçek dünyaların birleştiği ve insanların gerçek dünyadaki nesnelerin sanal temsillerini görmelerine izin verdiği bur ortam oluşmaktadır. AR teknolojisi, sanal sonuçlar oluşturmak için kullanılan kameralar, GPS ve diğer sensörler gibi bileşenleri içerir. Çıktılar gerçek görüntülerle birleştirilerek kullanıcı için somut bir ortam oluşturulmaktadır. Örneğin, birisi bir araba kazasının sanal görüntüsünü gerçeklikten kopmak zorunda kalmadan bilgisayar ekranında görebilmektedir [52].



Şekil 3.11. Arttırılmış gerçeklik [52]

Bulut bilişim: insanların ofiste olmasalar bile her yerden erişebilmeleri için bilgileri depolamanın bir yoludur (Şekil 3.12). Bu önemlidir çünkü şirketlerin verileri yönetmesini ve paradan tasarruf etmesini kolaylaştırır. Endüstriyel üretimi iyileştirmeye yönelik teknolojiyi temsil eden Endüstri 4.0 hareketinde de önemlidir. Bulut hizmeti ile şirketler, bilgisayar sistemlerinin ve veri merkezlerinin bakım ve işletiminin bir kısmını dışarıdan temin edebilir ve bu da kendi işlerine odaklanmak için kaynakları serbest bırakır. Bulut bilgi işlem, tüm verileri çevrimiçi depolamanın bir yoludur, internete her zaman erişmeyi kolaylaştırır kaynaklardan tasarruf sağlar. Ayrıca büyük miktarda veri depolama yeteneği bulut bilişimi endüstriyel üretim için güçlü bir araç haline getirmektedir [54].



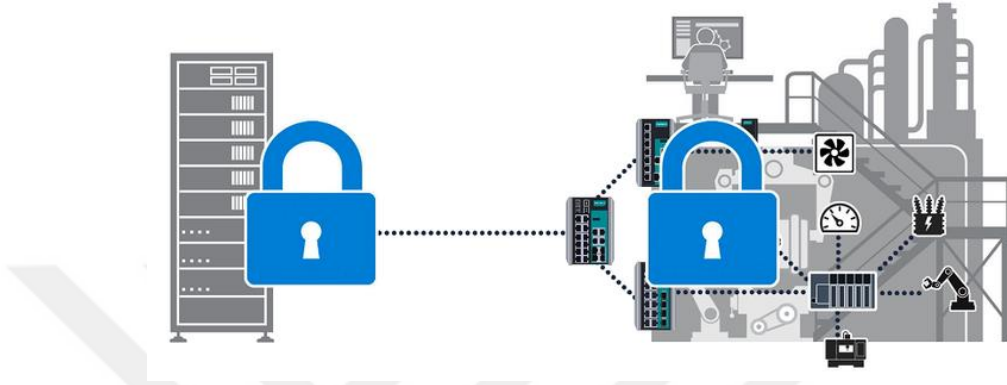
Şekil 3.12. Bulut Bilişim [53]

Bulut teknolojisinin temel avantajlarından biri, kullanıcıların yüksek performanslı cihazlara ihtiyaç duymadan, internet bağlantısı aracılığıyla istedikleri verilere ulaşabilmeleridir. Bu sayede, bireyler ve kurumlar, düşük maliyetli cihazlarla bile kapsamlı işlemleri gerçekleştirebilir.

Bulut teknolojisi, internet tabanlı sanal bir altyapı kullanarak birden fazla sunucunun entegrasyonunu sağlar ve kullanıcıların, cihazlarının teknik kapasitelerinden bağımsız olarak her yerden ve her zaman verilere erişimini mümkün hale getirir. Bu teknoloji, donanım ve yazılım kaynaklarının merkezi bir ağ üzerinde paylaşılmasını sağlayarak, depolama, işlem gücü ve veri yönetimi gibi ihtiyaçları dinamik bir şekilde karşılar [35].

Siber Güvenlik: Bilgi güvenliği veya siber güvenlik olarak da bilinen bilgi güvenliği, bilgisayar sistemlerini ve verilerini, yazılımlarının veya verilerinin zarar görmesine veya sağladıkları hizmetlerin aksamasına karşı korumadır (Şekil 3.13). Endüstri 4.0 teknolojileri, şirketlerin çok fazla değer yaratmasına olanak tanırken aynı zamanda veri koruma ve bilgi güvenliği gibi sorunları da beraberinde getirmektedir.

Bunu çözenin bir yolu, şirketlerin yeni teknolojilerden yararlanmalarını sağlayan dijital dönüşümden geçmektedir. Buna, diğer şeylerin yanı sıra, hızla değişen üretim altyapısı ve üretim yöntemleri de dahildir. Bu zorlukların üstesinden gelmek için iyi bir siber güvenlik ağına sahip olmak gerekmektedir. Bu ağ, kullanılan sistemleri saldırılara karşı korumakla beraber sistemlerin her zaman kullanıma hazır ve kesintisiz çalışmasını sağlamaktadır [55].

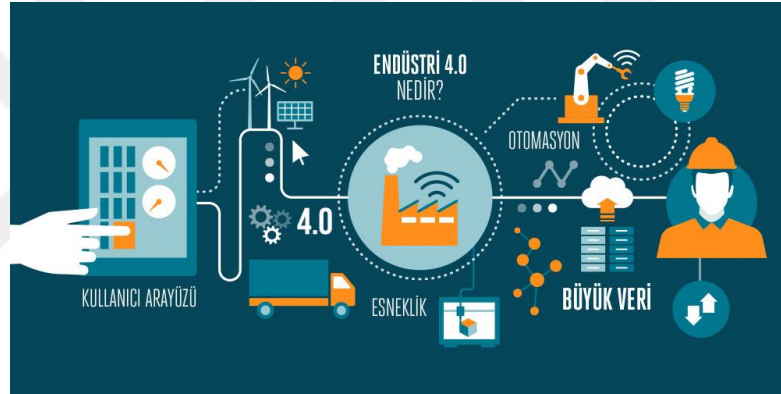


Şekil 3.13. Siber güvenlik [55]

Büyük Veri ve Analizi: "Büyük veri, büyük miktarda verinin toplanmasını ve depolanmasını ifade eden bir terimdir (Şekil 3.15 ve Şekil 3.14). Bu veriler daha önce toplanamayan bilgileri elde etmek için analiz edilebilir. Büyük veri analizi sayesinde çok sayıda veriyi hızlı bir şekilde toplamak ve depolamak mümkün hale gelmektedir ve analizi kolaylaştırmaktadır. Büyük veri, geleneksel bilgisayar sistemleri için çok büyük olan ve bloglar, internet istatistikleri, arama günlükleri ve akıllı telefonlar gibi sensörlerden gelen veriler gibi çeşitli kaynaklardan gelen bilgileri içermektedir. Her gün dünya çapında yaklaşık 2,5 kentilyon bayt veri değiş tokuşu yapılmaktadır. Önümüzdeki 10 yılın sonunda bu sayının bugünkünün 50 katına çıkacağı tahmin edilmektedir. Bu büyük miktardaki veriden iş değeri yaratmak için istatistikler ve modern sayısal hesaplama yöntemleri kullanılmaktadır. Şirketler bu potansiyeli, fırsatları belirleyerek ve üretim maliyetlerini düşürerek ve hizmet bakım süreçlerini kolaylaştırarak operasyonlarını iyileştirmek için kullanılmaktadır. Büyük veri teknolojisi, akıllı şehirler ve Endüstri 4.0 uygulamalarında stratejik bir öneme sahiptir. Bu teknoloji, akıllı şehirlerde hizmetlerin dönüşümüne katkı sağlayabilecek bilgiye dayalı yeni veri kaynaklarının oluşturulmasını mümkün kılar. Büyük veri yalnızca veri toplama ve depolama süreçlerini değil, aynı zamanda bu verilerin analiz edilerek kullanılabilir bilgilere dönüştürülmesini de içerir [56].



Şekil 3.14. Büyük Veri 8V [56]



Şekil 3.15. Büyük Veri [57]

Ayrıca, büyük veri tabanlı planlamalar, şehir yöneticileri ve karar vericilere hizmetlerin genişletilmesi ve kaynakların daha verimli kullanılması konusunda somut bir temel sağlar. Örneğin, elde edilen veri analizleri sayesinde şehirlerin enerji tüketim modelleri optimize edilebilir, trafik yoğunluğu azaltılabilir veya atık yönetimi süreçleri iyileştirilebilmektedir.

Bu bağlamda, büyük veri teknolojisi, kent yaşamında daha etkin ve kullanıcı odaklı hizmetlerin sunulması için kilit bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır. Aynı zamanda sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada ve akıllı kaynak yönetimi stratejileri geliştirmede önemli bir destek sağlar. Büyük verinin yaygınlaşmasıyla, şehirlerin daha yenilikçi ve yaşam kalitesini artıran sistemlere sahip olması hedeflenmektedir.

Akıllı şehirlerde büyük verinin hedeflerine ulaşabilmesi ve hizmetlerini daha ileriye taşıyabilmesi için doğru araçlar ve yöntemlerle verimli bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir. Bu araçlar ve yöntemler, kurumlar arası iş birliğini ve iletişimi destekleyerek birçok sektöre entegre çözümler sunabilmektedir.

Yatay ve Dikey Sistem Entegrasyonu (Horizontal and Vertical System Integration): Endüstri 4.0, şirketlerin evrensel bir veri entegrasyon ağı aracılığıyla birlikte çalışmasını sağlayan yeni bir iş yapma biçimidir (Şekil 3.16). Bu, işi yürütmek için ihtiyaç duyulan farklı bilgilerin, herhangi bir bilgi alışverişi olmadan işletmeler arasında otomatik olarak paylaşılabileceği anlamına gelmektedir. Böylece sürecin yürütülmesi ve ucuz hammaddeye erişim kolaylaşmaktadır. Şirketler rekabetçi pazarlarda ayakta kalabilmek için yatay olarak birleşmektedir. Dikey entegrasyon, bir şirketin farklı bölümlerini bir araya getirmekle ilgilidir, böylece birlikte daha iyi çalışırlar. Bu, bir kuruluş içindeki sistemlerin iletişiminden ve entegrasyonundan, nesnelere yazılım veya RFID çiplerinin yerleştirilmesine kadar çeşitli şekillerde yapılabilmektedir [58].

Endüstri 4.0, dikey ve yatay entegrasyonu kolaylaştırarak daha hızlı problem çözme ve kişiselleştirilmiş üretim sağlar. Basit bir arayüz güncellemesi ile bile değişiklik yapabilen, üretim sürecini destekleyen bir üretim sistemidir. SCADA, yöneticilerin fabrikada neler olup bittiğini takip etmesine yardımcı olan bir uzaktan kontrol ve izleme sistemidir [59].



Şekil 3.16. Yatay ve Dikey Sistem Entegrasyonu [58]

3.2.4. Yapay Zekâ

Yapay Zekâ (AI), insanların düşünme ve problem çözme yeteneklerini taklit eden bilgisayar sistemlerinin geliştirilmesi üzerine yoğunlaşan bir alandır. AI'nin kapsamı, tarih boyunca farklı yaklaşımlar ve perspektiflerle genişlemiştir. Genel anlamda AI, makinelerin insanlara benzer şekilde düşünmesini, öğrenmesini ve karar vermesini mümkün kılmayı amaçlamaktadır [60].

Akıl yürütme süreçlerini yapılandırarak, bu süreçlerin bilgisayarlarda uygulanabilir hale getirilmesi sağlanır. Mantık, matematik ve mühendislik prensiplerinin bir araya geldiği bu yöntem, yapay zekâ sistemlerinde karar süreçlerinin tutarlılık ve doğruluk temelinde işlemesine katkı sağlar. Bu yöntem, özellikle yapay zekânın karmaşık problemleri çözme ve doğru kararlar alma kapasitesini geliştirmek için kullanılmaktadır. Günümüzde bu yaklaşım, otonom araçlar, robotlar ve akıllı sistemler gibi birçok yapay zekâ uygulamasında kullanılmaktadır.

Yapay zekâ, günümüzde insan benzeri düşünme süreçlerini ve rasyonel karar alma yeteneklerini birleştirerek teknoloji dünyasında önemli atılımlar gerçekleştirmektedir. Bu çeşitli yaklaşımlar, yapay zekânın daha güçlü, esnek ve etkili sistemler geliştirilmesinde kilit rol oynamaktadır.

AI'nin temelleri, çeşitli disiplinlerin katkılarıyla şekillenmiş ve bu katkılar, modern AI sistemlerinin tasarımında ve uygulanmasında kritik rol oynamıştır. AI, insan benzeri zekâyı modelleme çabaları ve karmaşık problemleri çözme yeteneği ile gelecekte de önemli bir araştırma alanı olmaya devam edecektir.

3.2.4.1. Yapay Zekâ Algoritmaları

Yapay zekâ algoritmaları, farklı veri işleme ve modelleme yöntemleri kullanarak karmaşık problemlere çözüm sunma kapasitesine sahiptir. Bu algoritmalar, enerji yönetimi, sağlık, finans ve üretim gibi çok çeşitli sektörlerde yaygın bir şekilde uygulanmaktadır. Yapay zekâ algoritmalarının temel hedefi, büyük veri setlerinden anlamlı bilgiler elde ederek, bu bilgileri karar verme süreçlerini geliştirmek ve optimize etmek için kullanmaktır.

Yapay zekâ, makine öğrenimi ve derin öğrenme teknikleriyle yakından ilişkilidir. Bu ilişki, yapay zekânın farklı seviyelerde karmaşıklığa sahip uygulamaları

için güçlü bir temel sağlar. Örneğin, enerji verimliliğini artırmaya yönelik çalışmalarda, büyük veri setlerinden öğrenen modeller kullanılmaktadır. Şekil 3.17, yapay zekâ, makine öğrenimi ve derin öğrenme arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



Şekil 3.17. Derin Öğrenmenin Yapay zekâ içerisindeki yeri [60]

3.2.4.2. Üretken Yapay Zekâ

Üretken yapay zekâ, mevcut veri setlerinden yararlanarak yeni ve özgün içerikler üretebilen ileri düzey bir yapay zekâ yaklaşımıdır. Bu teknoloji, öğrenme süreçlerinde büyük veri setlerinden desenler ve özellikler çıkararak, bu bilgileri yeni veri üretmek için kullanır. Üretken yapay zekânın temel mekanizması, iki sinir ağı olan üretici (generator) ve ayırt edici (discriminator) ağlar arasındaki rekabet üzerine kuruludur. Üretici ağ sahte veriler oluştururken, ayırt edici ağ bu verilerin gerçek olup olmadığını belirlemeye çalışır. Bu süreçteki rekabet, üretici ağın giderek daha gerçekçi veriler üretmesine olanak tanır.

Enerji sektörü, dijital dönüşümün etkisiyle verimlilik artışı, yeni değer yaratma ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına geçiş hedefleri doğrultusunda önemli adımlar atmaktadır. Akıllı teknolojiler, enerji üretiminden dağıtımına kadar tüm değer zincirinde kritik bir rol oynamaktadır. Bu süreç, enerji depolama ve mobilite gibi alanları da kapsamaktadır.

Generative Adversarial Networks (GANs) ve varyasyonel otokodlayıcılar

(VAEs) gibi algoritmalar, üretken yapay zekânın temel taşlarını oluşturur. GANs, üretici ve ayırt edici ağların rekabeti üzerine kurulu bir sistemdir. Üretici ağ, sahte veri oluştururken, ayırt edici ağ bu verilerin gerçekliğini değerlendirir. VAEs ise verilerin olasılık dağılımlarını öğrenerek, bu dağılımlardan yeni veri örnekleri oluşturur.

Enerji sektöründe üretken yapay zekâ, veri analitiği, enerji tüketimi tahminleri, enerji yönetimi ve yenilenebilir enerji entegrasyonu gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Büyük veri setlerinden öğrenme ve yeni veri oluşturma becerisi, enerji yönetimi süreçlerinin daha verimli hale gelmesini sağlamaktadır. Üretken yapay zekâ, enerji tüketim verilerini analiz ederek gelecekteki enerji talep tahminlerini oluşturur ve bu öngörülere dayalı stratejiler geliştirir. Ayrıca, enerji üretim ve dağıtım sistemleri için yapılan simülasyonlarda, sistem performansını değerlendirme ve sorunları önceden tespit etme imkânı sunmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu sırasında ortaya çıkabilecek dengesizlikler, üretken yapay zekâ tarafından gerçekleştirilen simülasyonlarla öngörülebilir ve bu sorunlara yönelik gerekli önlemler alınabilmektedir. Akıllı şebeke sistemlerinin geliştirilmesinde de üretken yapay zekâ önemli bir rol oynamaktadır. Akıllı şebekeler, gerçek zamanlı veri analitiği ile enerji dağıtımını optimize eder ve enerji kayıplarını minimize eder. Bu sistemler, enerji tüketim verilerini analiz ederek enerji talep tahminleri yapar ve bu tahminlere göre enerji arzını dengeleme stratejileri oluşturur.

Üretken yapay zekâ, enerji sektöründe sürdürülebilirlik ve verimlilik açısından büyük katkılar sağlamaktadır. Enerji tüketim verilerinden yola çıkarak enerji tasarruf önlemleri geliştirir ve yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin kullanımını optimize eder. Ayrıca, karbon ayak izini azaltmak için yeni yöntemler sunmaktadır. Enerji depolama sistemlerinin performansını artırmak için üretken yapay zekâ algoritmaları kullanılabilmektedir. Bu algoritmalar, enerji depolama verilerini analiz ederek depolama kapasitesini ve verimliliği artıracak stratejiler geliştirebilmektedir.

Sonuç olarak, üretken yapay zekâ enerji sektöründe inovasyonu destekleyen, verimliliği artıran ve sürdürülebilirliği teşvik eden güçlü bir teknolojidir (Şekil 3.18). Enerji yönetimi ve yenilenebilir enerji entegrasyonu alanlarında giderek daha fazla kullanılan bu teknoloji, enerji sektöründe dönüşüm yaratarak daha yenilikçi bir geleceğin kapılarını aralamaktadır [61].

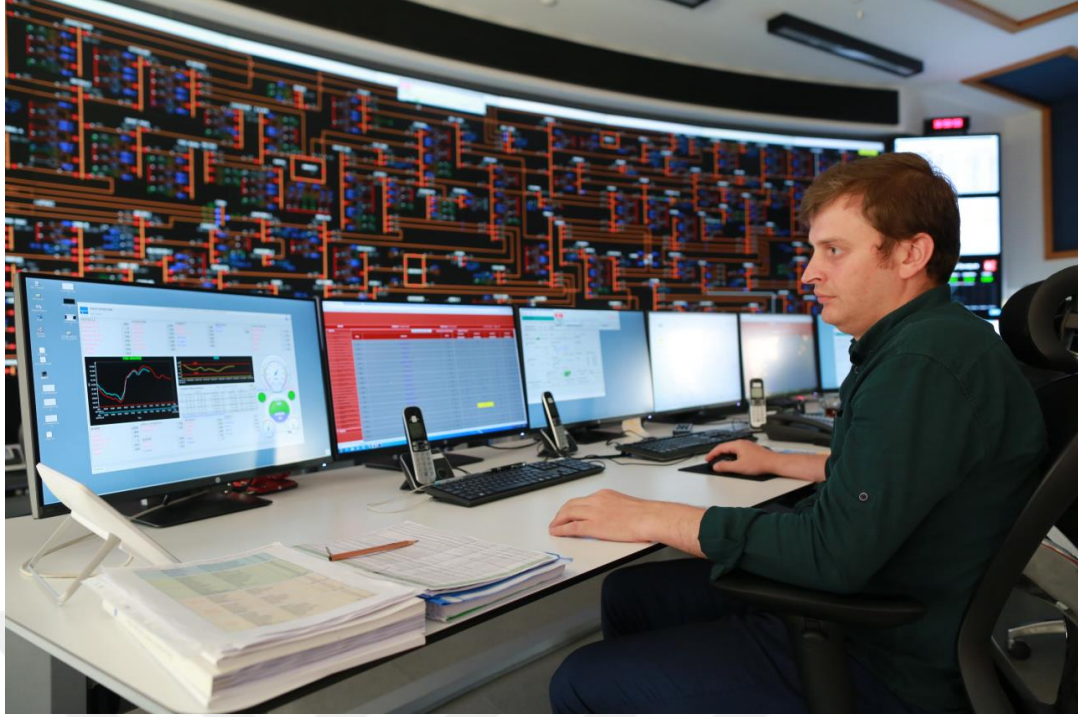


Şekil 3.18. Üretken Yapay Zeka Oluşumu [61]

3.2.4.3. İşletmelerde Enerji Yönetiminde Yapay Zekâ Uygulamaları

Yapay zekâ, enerji yönetiminde stratejik bir araç olarak ön plana çıkmaktadır. Enerji tüketim tahmininden optimizasyona, arıza tespitinden talep yönetimine ve enerji depolamaya kadar geniş bir uygulama yelpazesi sunmaktadır. Ayrıca, robotik sistemlerin enerji verimli kontrolü için de yapay zekâ kritik bir rol üstlenmektedir. Bu bölümde, yapay zekânın enerji yönetimindeki çeşitli uygulamaları detaylı olarak ele alınacaktır [62].

Enerji Tüketim Tahmini: Yapay zekâ, enerji tüketim tahminlerinde önemli başarılar sağlamıştır. Gelişmiş makine öğrenme algoritmaları ve derin öğrenme teknikleri sayesinde, enerji tüketimi kısa, orta ve uzun vadeli olarak tahmin edilebilmektedir. Bu tahminler, enerji arz ve talep dengesinin sağlanmasında kritik bir rol oynamaktadır. Akıllı şebekeler ve akıllı binalar gibi sistemler, enerji tüketim verilerini analiz ederek gelecekteki enerji talebini öngörmekte ve bu öngörülere dayanarak enerji kaynaklarını daha verimli kullanmaktadır (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. Teiaş yük tevzi kontrol merkezi [62]

Enerji tüketim tahmini, enerji kaynaklarının etkin bir şekilde yönetilmesine olanak tanır ve enerji maliyetlerini düşürür. Yapay zekâ algoritmaları, geçmiş enerji tüketim verilerini analiz ederek gelecekteki tüketim eğilimlerini tahmin eder. Böylece, enerji üretim ve dağıtım süreçleri optimize edilir ve enerji kayıpları minimuma indirilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunu kolaylaştıran bu tahminler, enerji arz güvenliğini artırmaktadır.

Enerji Optimizasyonu: Yapay zekâ, enerji optimizasyonunda önemli bir role sahiptir. Enerji üretim ve dağıtım sistemlerinin simülasyonları, yapay zekâ algoritmaları ile optimize edilmektedir. Bu simülasyonlar, enerji sistemlerinin performansını değerlendirir ve olası sorunları önceden tespit eder. Yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu sırasında oluşabilecek dengesizlikler, yapay zekâ ile yapılan simülasyonlar sayesinde öngörülebilir ve gerekli önlemler alınabilmektedir.

Enerji optimizasyonu, enerji maliyetlerini düşürürken enerji verimliliğini artırır. Yapay zekâ algoritmaları, enerji üretim ve dağıtım süreçlerini sürekli olarak izler ve optimize eder. Bu süreçler, enerji kayıplarını en aza indirirken enerji kaynaklarının daha sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasını sağlar. Ayrıca, karbon ayak izinin azaltılmasında da etkili rol oynar.

Enerji Depolama ve Yenilenebilir Enerji Entegrasyonu: Yapay zekâ, enerji depolama sistemlerinin performansını artırmak ve yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunu optimize etmek için kullanılmaktadır. Sensör verilerini analiz eden yapay zekâ algoritmaları, enerji depolama kapasitesini ve verimliliğini artırmaya yönelik stratejiler geliştirmektedir. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarının daha etkin bir şekilde kullanılmasını sağlayarak karbon ayak izini azaltmaktadır.

Enerji depolama, enerji verimliliğini artırmanın ve enerji arz güvenliğini sağlamanın önemli bir yoludur. Yapay zekâ algoritmaları, enerji depolama sistemlerini analiz ederek, depolama süreçlerini daha verimli hale getirir. Bu durum, yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunu kolaylaştırırken enerji kayıplarını minimize eder ve enerji arz güvenliğini artırır.

Robotik Kolların Enerji Yönetimine Katkıları: Robotik kollar, enerji yönetiminde yapay zekâ algoritmalarının etkin bir şekilde kullanıldığı alanlardan biridir. Robotik sistemlerde yapay zekâ, servo motorların enerji tüketimini optimize etmek, hareket planlamasını geliştirmek ve sistem verimliliğini artırmak için uygulanmaktadır. Örneğin, üretim hatlarında çalışan robot kollar, enerji tasarrufu sağlayan dinamik kontrol algoritmaları ile donatılmıştır. Ayrıca, robot kolların arıza tespiti ve bakım süreçleri, kestirimci analizler kullanılarak iyileştirilmekte ve üretim kesintileri minimuma indirilmektedir.

Sonuç olarak, yapay zekâ, enerji yönetimi ve yenilenebilir enerji entegrasyonunda kritik bir rol oynamaktadır. Enerji tüketim tahmini, enerji optimizasyonu, arıza tespiti, talep yönetimi ve robotik sistem entegrasyonu gibi alanlarda yapay zekâ uygulamaları, enerji verimliliğini artıran, maliyetleri düşüren ve sürdürülebilir enerji kullanımını teşvik eden çözümler sunmaktadır (Şekil 3.20). Bu teknolojiler, enerji sektöründe dönüşüm yaratarak daha verimli, sürdürülebilir ve yenilikçi bir geleceğe katkı sağlamaktadır.



Şekil 3.20. Önleyici Arıza Bakım Oluşumu [63]

Motor sistemleri, dünya enerji tüketiminin %47'sini oluşturmaktadır ve bu tüketimin büyük bir kısmı endüstride gerçekleşir. Enerji verimliliği odaklı bakım teknikleri, bu motorların enerji tüketiminde %20 tasarruf sağlayabilmektedir.

- Arıza Temelli Bakım: Hata oluşana kadar kullanmak
- Önleyici Bakım: Düzenli ve planlanmış bakım
- Kestirimci Bakım: Takip ve analiz ile arızayı önceden tespit etmek

Kestirimci bakım, arızaları %70, bakım maliyetlerini %30 ve duruş sürelerini %35 oranında azaltır, üretim verimliliğini %25 artırır [63].

Arıza tespiti ve önleyici bakım, enerji sistemlerinin güvenilirliğini artırır ve bakım maliyetlerini düşürür. Yapay zekâ algoritmaları, sensör verilerini analiz ederek, enerji sistemlerindeki olası arızaları önceden tespit eder ve gerekli bakım işlemlerini zamanında gerçekleştirir. Bu sayede, enerji sistemlerinde beklenmedik arızaların önüne geçilir ve kesintisiz bir enerji arzı sağlanır. Ayrıca, önleyici bakım uygulamaları, enerji sistemlerinin ömrünü uzatır ve uzun vadede maliyet tasarrufu sağlar.

Talep yönetimi üzerine yapay zekâ, enerji talep yönetiminde de etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Akıllı şebekeler, gerçek zamanlı veri analizi yaparak enerji dağıtımını optimize eder ve enerji kayıplarını minimize eder. Yapay zekâ algoritmaları, enerji tüketim verilerini analiz ederek enerji talebini tahmin eder ve bu tahminlere dayalı stratejiler geliştirir. Bu stratejiler, enerji arzını dengelemek ve şebeke güvenliğini sağlamak için kullanılmaktadır.

Talep yönetimi, enerji maliyetlerini düşürmenin yanı sıra enerji verimliliğini artırır. Yapay zekâ algoritmaları, enerji tüketim verilerini analiz ederek, enerji talebini tahmin eder ve bu tahminlere dayalı stratejiler geliştirir. Bu stratejiler, enerji kaynaklarının verimli kullanılmasını sağlar ve enerji israfını önler. Ayrıca, talep yönetimi, enerji arz güvenliğini artırır ve enerji sistemlerinin sürdürülebilirliğini sağlar.

Enerji depolama ve yenilenebilir enerji entegrasyonu üzerine yapay zekâ, enerji depolama sistemlerinin performansını artırmak ve yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunu optimize etmek için de kullanılabilmektedir. Enerji depolama verilerini analiz eden yapay zekâ algoritmaları, enerji depolama kapasitesini ve verimliliğini artırmak için yeni stratejiler geliştirir. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin kullanımını optimize eder ve karbon ayak izini azaltır.

Enerji depolama, enerji verimliliğini artırmanın ve enerji arz güvenliğini sağlamanın önemli bir yoludur. Yapay zekâ algoritmaları, enerji depolama sistemlerinin verilerini analiz ederek, depolama kapasitesini ve verimliliğini artırmak için yeni stratejiler geliştirir. Bu sayede, enerji depolama sistemleri daha verimli çalışır ve enerji kayıpları minimize edilmektedir. Ayrıca, enerji depolama, yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunu kolaylaştırır ve enerji arz güvenliğini artırmaktadır.

Yapay zekâ, enerji yönetimi ve yenilenebilir enerji entegrasyonunda kritik bir rol oynamaktadır. Enerji tüketim tahmini, enerji optimizasyonu, arıza tespiti, talep yönetimi ve enerji depolama gibi alanlarda yapay zekâ uygulamaları, enerji verimliliğini artıran, maliyetleri düşüren ve sürdürülebilir enerji kullanımını teşvik eden çözümler sunmaktadır. Bu teknolojiler, enerji sektöründe dönüşüm yaratmakta ve daha verimli, sürdürülebilir ve yenilikçi bir geleceğe katkı sağlamaktadır.

4. AKILLI FABRİKA

“Endüstri 4.0” çağında fabrikalar, makinelerin ve insanların birbiriyle etkileşime girdiği karanlık yeni üretim ortamları haline gelmektedir. Bu fabrikalarda üretim, otonom robotlar (cobots) tarafından, sistemden insanı çekerek, siber-fiziksel sistemler ve sanal gerçeklik teknolojisi kullanılarak yapılmaktadır. Bu çağın amacı, yüksek verimlilik ve kalite standartlarını karşılarken maliyetleri en aza indirmeyi gerektiren “sıfır hatalı üretim”dir.

Akıllı fabrika, süreç otomasyonu ve kendi kendini iyileştirme yetenekleriyle donatılmış, makine ve cihaz tabanlı bir üretim ortamı olarak tanımlanır (Şekil 4.1). Bu tür fabrikalar, nesnelerin birbiriyle iletişim kurmasına ve bir bilgisayar tarafından kontrol edilmesine olanak tanıyan teknolojilere dayanır.



Şekil 4.1. Akıllı Fabrika [55]

Akıllı fabrikalar, geleneksel üretim yöntemlerine kıyasla ürünleri daha verimli bir şekilde üretmek için tasarlanmıştır. Küresel pazarda rekabet gücünü koruyabilmek adına birçok ülke, bu teknolojiye önemli yatırımlar yapmaktadır. Akıllı fabrika teknolojileri, yalnızca üretim süreçlerinde değil, ev ve iş yaşamı gibi birçok alanda da kullanılmaktadır.

Bu teknolojinin en dikkat çekici yönü, üretim süreçlerinin tamamen dijitalleştirilmesi ve insan müdahalesine ihtiyaç duyulmadan gerçekleştirilebilmesidir. Böylece verimlilik artırılırken, hata oranları da minimum seviyeye indirilmektedir.

Akıllı fabrika, verimli ve sürdürülebilir olacak şekilde tasarlanmış bir fabrika

türüdür. Bu fabrikaların sorunları erkenden tespit etmesi ve uygun önlemi alması çok önemlidir. Bu mümkün çünkü akıllı fabrikalar esnek ve değişen koşullara uyum sağlayabilmektedir. Ayrıca kendi kararlarını verir ve ürünlerinin olabildiğince doğru üretilmesini sağlamak için risk almaktadır. Ayrıca kaliteli ürünleri hızlı ve az hatayla üretebilmeleri gerekecek. "Akıllı fabrika" terimi, bu tür bir ortamı tanımlamanın bir yoludur [43].

4.1. Akıllı Fabrikalarda Endüstri 4.0 ve Akıllı Robotlar

Endüstri 4.0, genel olarak Makine-Makine Haberleşmesi (M2M) ve Nesnelerin İnterneti (IoT) gibi ileri düzey teknolojilere odaklanmaktadır. Bu sürecin temel amacı, otomasyon seviyesini ve makinelerin kendi kendine teşhis yapma kapasitesini artırarak, insan müdahalesi olmaksızın üretimi sürdürebilen ve olası sorunları çözebilen akıllı makineler geliştirmektir.

Geçmişte, endüstriyel robotlar düşük bir zeka seviyesine sahipken, gelişen algoritmalar ve yazılımlar sayesinde daha akıllı hale gelmişlerdir. Ancak, robotların zeka kazanımı yalnızca yazılımlarla sınırlı değildir. İnsanlar yalnızca beyinle değil, aynı zamanda duyular ve uzuvlarla işlev gösterdiği gibi, endüstriyel robotlar da bu prensipte değerlendirilebilmektedir.

Bir endüstriyel robot, kutusundan çıkarıldığında yalnızca hareket edebilen, ancak tek başına bir görev yerine getiremeyen elektromekanik bir cihazdır. Bu robotların işlevsel hale gelebilmesi ve hem önceden planlanmış hem de beklenmedik görevleri yerine getirebilmesi için entegrasyon süreçlerinden geçirilmesi gerekmektedir [59].

4.2.3. Karanlık Üretim

Montaj hatlarında insan yardımı olmadan çalışan fabrikalarda, makineler dışarıdan yardım almadan bağımsız olarak çalışmaya devam edebilmektedir. Bazı kaynaklar "karanlık fabrika" (KF) ifadesi kullanır. KF ilk kez 1980'lerin başında popüler oldu ve ilk örnekleri 1980'lerde Japonya'da ortaya çıktı. Yaşanan süreçte ekonomik analistler, teknoloji geliştikçe ve vasıflı işçi bulmanın zorlaştıkça KF'nin dünya çapında daha yaygın hale geleceğini tahminde bulunulmaktaydı ancak işgücü

maliyetlerinin düşük olduğu gelişmekte olan ülkelerde üretimin yaygınlaşmasının KF artışını geçici olarak engellediği söylenebilmektedir. Ayrıca, General Motors'un 1980'lerde KF'nin fabrikaları etkilediği otomatik üretim uygulamalarındaki başarısızlıkları ve bunun sonucunda kalite ve satışlardaki düşüş hiç bitmeyen bir deneyimdir. Ancak piyasa farkında olmadan piyasada farklı uygulamalar olabilmektedir. KF'lere bir örnek, Çin merkezli bir cep telefonu bileşenleri üreticisidir. Yaklaşık 6-8 çalışanı olan bir fabrikada robotların performansını karşılaştırsak, fabrikanın başlangıçta 650 çalışanı varken KU'ya geçişten sonra çalışan sayısı 60'a düşmüş ve çalışan sayısı azalmıştır. %25'ten %5'e düşürüldü. Hala tamamen insansız üretime yönelik eleştiriler olsa da, şirketler artık hem otomatikleştirilmiş hem de insan tarafından çalıştırılan fabrikaları içeren karma modelleri değerlendirmektedir [64].

Karanlık bir üretim ortamında çalışmanın çeşitli avantajları vardır. Örneğin, bir makineyi karanlık bir üretim ortamında çalıştırmak daha ucuzdur. Bu, özellikle bir makineye yatırım yaptıysanız doğrudur. Ayrıca makineler gece boyunca çalışarak şirketlerin enerji maliyetlerinden tasarruf edebilmektedir. Ayrıca karanlık imalat, şirketlerin yeni ürünleri hızlı bir şekilde oluşturmaya olanak tanıdığı için rekabet avantajına sahiptir. Ancak, karanlık bir üretim ortamında çalışmanın bazı sakıncaları vardır. Birincisi, makineleri çalışır durumda tutmak ve kalite kontrolünü sağlamak için iyi eğitilmiş bir iş gücüne sahip olmak önemlidir. Ayrıca firmaların hızlı ürün üretimi sırasında ortaya çıkabilecek yeni problemlerden sürekli haberdar olmaları gerekmektedir.

Tahmin sistemleri, üretim araçlarıyla neler olabileceğini hayal ederek ve ardından gerçek dünya deneyimlerinden elde edilen verilerle modelleyerek kurulmalıdır. Üretim araçlarında hata veya sorun oluşursa, bu bilgi otomatik olarak bilmesi gereken kişilere gönderilmelidir.

Karanlık fabrikalar, işletmelere rekabet avantajı sunarak iş gücü maliyetlerini düşürmekte ve verimliliği artırmaktadır. Bu tür fabrikalarda robotik sistemler ve makine otomasyonu, iş kazalarını önemli ölçüde azaltırken, minimum insan gücü gereksinimi ile sürekli üretim yapılmasını mümkün kılar. Uzaktan kontrol edilebilen bu fabrikalar, robotların gece boyunca kesintisiz üretim yapabilmesini sağlayarak maksimum verimlilik sunmaktadır.

Karanlık fabrika konsepti, programlanabilir kontrol cihazları, robot teknolojileri, sensörler, görsel tanıma sistemleri (vision sistemleri), kuvvet kontrol

teknolojisi (force control), ve uzaktan kontrol sağlayan analiz sistemleri gibi çoklu teknolojilerin bir araya gelmesiyle çalışır. Tüm bu teknolojiler entegre edildiğinde ve veriler bir merkezde toplanarak analiz edildiğinde, etkili bir karanlık fabrika yönetimi sağlanır [65].

Endüstri 4.0, makineler arası üst düzey iletişim, problemleri otomatik olarak belirleme ve çözme kabiliyetiyle karanlık fabrikaların yaygınlaşmasının önünü açmaktadır. Öne çıkan bir örnek, Japon robot üreticisi Fanuc'un fabrikasıdır. 2001 yılından beri insansız üretim yapan bu fabrika, insan müdahalesi olmadan 30 gün boyunca çalışabilmektedir. Bir diğer örnek ise Philips'in elektrikli tıraş makineleri ürettiği fabrikadır. Bu fabrikada, 128 robot üretim süreçlerini yürütürken, yalnızca dokuz operatör kalite kontrol adımıyla görev yapmaktadır.

Karanlık fabrikalara geçişte yalnızca robot teknolojileri değil, bilgi akış süreçlerinin de otomatikleştirilmesi önem taşır. Örneğin, Japon otomotiv parça üreticisi Hirotec, üretim hatlarındaki duruş sürelerini minimize etmek amacıyla IoT, bulut teknolojileri ve dağıtılmış sunucular kullanmıştır. Bu yenilikler sayesinde, insan gücü ile yapılan hat kontrolleri tamamen otomatik hale getirilmiş ve verimlilik artırılmıştır [59].

4.2.4. Karanlık Fabrikaların Sağladığı Avantajlar

Günümüzde çoğu fabrika, çok sayıda işçiye ihtiyaç duymadan işin çoğunu kendilerinin yapmasına izin veren teknolojiyi kullanmaktadır. Bunun nedeni, makineler kullanılarak hızlı ve kolay bir şekilde yapılabilecek ürünlere talep çok olması ve fabrikaların bunu çok iyi yapabilmesidir.

Yeni üretim sisteminin birçok faydası var. Örneğin, birçok ürünü yüksek kalitede ve geleneksel üretim yöntemlerine göre daha düşük maliyetle üretir. Özellikle çok sayıda mal üretme gücüne sahip ve doğru teknolojiye sahip şirketler için iyidir.

Otomasyon sistemlerinin gelişimi, zaman alan bir süreç olmakla birlikte üretim şekillerimizi köklü bir biçimde dönüştürmektedir. Universal Robots'tan Douglas Peterson'a göre, robotlar üretimde tehlikeli ve zorlu görevler için ideal bir çözüm sunmaktadır. Tehlikeli koşullarda çalışan işçilerin yerine robotların kullanılması, iş kazalarının önlenmesine katkı sağlayacaktır. Akıllı fabrikalarda makineler kesintisiz üretim yapabilir ve bu durum işçilerin çalışma şeklini değiştirebilmektedir.

Karanlık fabrikalar, vardiyalı çalışma sistemine alternatif sunarak üretimde fazladan mesaiye olan ihtiyacı ortadan kaldırmayı hedefler. Bu fabrikalar, üretimi maksimize ederken maliyetleri en aza indirme amacı taşır. Aynı zamanda artan verimlilik, rekabetçi piyasa koşullarını destekler ve kaliteli ürünlerin pazar döngüsünü güçlendirir.

Endüstri 4.0 devrimi ve karanlık fabrikaların ortaya çıkışı, çalışan profillerinde değişikliklere yol açacaktır. Özellikle mavi yakalılar ve düşük katma değerli beyaz yakalılar üzerinde olumsuz etkiler beklenmektedir. Algoritmaların ve robotların iş süreçlerine entegre edilmesi, bu alanlarda çalışan kişilerin hayatında köklü değişimlere neden olacaktır. İnsan gücünün yerini teknolojinin alması, işgücüne yönelik yeni beceri ve uzmanlık gereksinimlerini artıracaktır. Devrimin bir sonucu olarak, işlerin yapılma biçiminde değişiklikler olacak. Bazı şeyler değişecek ve diğer şeyler aynı kalacak. Ancak kesinlikle değişecek olan bir şey de fabrikaların işleyiş şekli olacaktır. Üretim hattında çok sayıda işçinin çalışması yerine, daha az işçi olacak, ancak bu işçilerin fabrikanın sorunsuz çalışmasını sağlamak için çok daha fazla bilgi ve beceriye sahip donanımlı kişilerden olacaktır.

Yeni teknoloji, farklı türde bir üretim sistemi kullanan birçok fabrikaya sahiptir. Bu sistem, üretim alanındaki çalışma koşullarına bakış açımızı değiştirebilmektedir. Bu fabrikalar sayesinde, çoğunlukla manuel olan üretim şeklimizi, donanım tabanlı ve bilgiyle otomatikleştirilmiş bir üretim şekliyle değiştirebilmektedir [65].

Bu devrim, enerjiden tasarruf etmemize, kaynak verimliliğini artırmamıza, yeni fikirlerin ortaya çıkması için gereken süreyi kısaltmamıza ve ürünlerimizin mümkün olan en verimli yöntemlerle üretilmesini sağlamamıza yardımcı olacaktır. Ayrıca, daha geleneksel enerji biçimlerini daha çevre dostu olanlarla değiştirmemize yardımcı olması bekleniyor ve bu, işletmelerin rekabet gücünü korumak için gerekli değişiklikleri yapması için motive edici bir faktör olacaktır [66].

Makinaların Otomatikleşmesi Üretim sistemleri, Üretim sistemlerinde, operatörlerin sürekli varlığına duyulan ihtiyaç azaldıkça, üretim hatları daha kesintisiz ve verimli bir hale gelmektedir. Bu süreçte en kritik bileşenlerden biri, endüstriyel robotlardır. Ancak, endüstriyel robotlar kendi başlarına çok yönlü ve bağımsız makineler değildir. Verimliliği artırmak ve robotların üretimde etkili bir şekilde kullanılmasını sağlamak, operatörler ve uzmanların koordinasyonunu gerektirir [67].

Başarılı bir otomasyon sistemi, sistem tasarımcıları, robot programcıları, mekanik tasarım uzmanları ve yazılım geliştiricileri gibi çeşitli meslek gruplarının birlikte çalışmasıyla oluşturulabilmektedir. Bu iş birliği, karanlık fabrikalara geçişte kritik bir başarı faktörüdür [68].

Robot, bir yerden başka bir yere gitmek veya konumunu değiştirmek gibi şeyler yapmak üzere programlanabilen bir makinedir (Şekil 4.2). Taşıma görevi, bir robotun boyutuna göre uzun bir mesafe kat etmesidir. Robotun kolları ve eklemleri, onlara bağlı motorlarla birbirine bağlıdır, böylece robot belirli bir görevi yapmak üzere kontrol edilebilmektedir.



Şekil 4.2. 6 Serbestlik dereceli robot kol

Endüstriyel robot, bir bilgisayar tarafından kontrol edilebilen bir makinedir ve bir çalışma alanında belirli bir noktaya ulaşmak gibi uygulama yapmak için kullanılmaktadır. Birbirine bağlı parçalardan yapılmış anlamına gelen sert bir gövdeye sahiptir ve farklı yönlerde hareket etmesini sağlayan eklemlere sahiptir. Robot kolunun üç serbestlik derecesi vardır, yani üç yönde hareket edebilir: yukarı, aşağı ve soldan sağa. Robot kolundaki bilek de üç serbestlik derecesine sahiptir. Endüstriyel robotların uzaktan kontrolü hem enerji hem de işçilik açısından önemli yere sahiptir. Robotik teknolojiler, birçok iş alanında insan emeğini azaltarak, daha kısa sürede düşük maliyetle yüksek performans elde edilmesini mümkün kılmaktadır. Bu teknolojiler,

Üretim süreçlerinde verimliliği artırırken, iş gücü gereksinimini de minimize etmektedir.

Aynı zamanda internet teknolojileri, uzak mesafeler arasında bilgi transferi ve sistemlerin kontrolünü sağlayarak insan hayatını kolaylaştırmaktadır. Bu iki teknolojinin entegrasyonu hem günlük yaşamda hem de endüstriyel alanlarda etkin çözümler sunmaktadır [68].

4.2. ESP32 ve IOT Teknolojisi

ESP32, elektronik projeler geliştirmek için kullanılan, açık kaynaklı bir elektronik prototipleme platformudur (şekil 4.3). Hem donanım hem de yazılım açısından esnek bir yapıya sahip olan bu platform, farklı seviyelerdeki kullanıcılar için uygundur. ESP32, elektronik cihazların kontrol edilmesi, çeşitli sensörlerden veri toplanması ve bu verilerin işlenmesi için kullanılmaktadır. Akademik çalışmalarda, özellikle robotik, otomasyon, IoT (Nesnelerin İnterneti) ve kontrol sistemleri alanlarında geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir.



şekil 4.3. ESP32 modülleri [69].

ESP32 platformu iki ana bileşenden oluşur:

Donanım (Hardware): ESP32 donanımı, genellikle üzerinde bir mikrodenetleyici, giriş/çıkış pinleri ve diğer destekleyici devre elemanlarını barındıran bir baskılı devre kartından (PCB) oluşur. En yaygın kullanılan modelleri şunlardır:

- Arduino Uno: Eğitim projeleri için ideal olan temel modeldir. ATmega328 mikrodnetleyicisine sahiptir.
- Arduino Mega: Daha fazla giriş/çıkış pini ve bellek kapasitesi gerektiren projeler için uygundur.
- Arduino Nano ve Mini: Kompakt tasarımı sayesinde yer sınırlaması olan projelerde tercih edilmektedir.
- Arduino Due: Daha yüksek işlem gücü gerektiren projeler için ARM tabanlı mikrodnetleyici içerir.

Yazılım (Software): ESP32 yazılımı, açık kaynaklı bir geliştirme ortamı (IDE) ile desteklenir. Arduino IDE, kullanıcıların kod yazmasını, derlemesini ve mikrodnetleyiciye yüklemesini sağlar. C++ diline dayalı basitleştirilmiş bir sözdizimi sunmaktadır.

5.1.3. ESP32'nin Çalışma Prensibi

- ESP32, temel olarak aşağıdaki adımlar üzerinden çalışır:
- Sensörler veya diğer giriş birimleri aracılığıyla veri toplar.
- Mikrodnetleyici, toplanan verileri işleyerek belirli algoritmalar veya programlar doğrultusunda kararlar almaktadır.
- Karar doğrultusunda motor, LED, röle gibi çıkış birimlerini kontrol eder.
- ESP32'nin bu modüler yapısı, kullanıcının farklı bileşenleri kolayca entegre ederek kendi özel sistemlerini geliştirmesine olanak tanır.

5.1.4. ESP32'nin Avantajları

ESP32 platformunun öne çıkan avantajları şunlardır:

- Kolay Öğrenilebilirlik: Geniş bir topluluk desteği ve bol miktarda açık kaynaklı kaynak bulunmaktadır.
- Düşük Maliyet: Eğitim ve prototipleme süreçleri için uygun fiyatlı bir seçenektir.
- Açık Kaynaklı Ekosistem: Hem donanım hem de yazılım açık kaynaklıdır, bu da kullanıcıların kendi kartlarını tasarlayıp geliştirmesine olanak tanır.
- Modülerlik: Sensörler, motorlar, ekranlar gibi farklı modüller kolayca bağlanabilir ve entegre edilebilmektedir.
- Çapraz Platform Desteği: Windows, macOS ve Linux işletim sistemleri üzerinde çalışabilmektedir.

5.1.5. ESP32'nin Akademik Uygulamaları

ESP32, akademik dünyada hem eğitim hem de araştırma projelerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Aşağıda bazı örnek kullanım alanları verilmiştir:

- Robotik Sistemler: ESP32, insansı robotlardan otonom araçlara kadar geniş bir robotik uygulama alanına sahiptir. Servo motorlar ve step motorların kontrolü, bu platformun robotikteki temel işlevlerinden biridir.
- IoT Uygulamaları: ESP32, IoT projelerinde veri toplama, aktarma ve kontrol süreçlerinde sıkça kullanılmaktadır. Özellikle Wi-Fi modülleri ve bulut tabanlı sistemlerle entegre çalışabilmektedir.
- Otomasyon Sistemleri: Akıllı evler, tarım otomasyonu ve endüstriyel otomasyon gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Sensörlerden gelen verilerle cihazların otomatik olarak kontrol edilmesi sağlanabilmektedir.

5.1.6. Eğitim Araçları:

ESP32, basit elektronik devrelerden karmaşık sistemlere kadar geniş bir yelpazede uygulama geliştirme imkanı sunan esnek ve güçlü bir platformdur. Açık kaynaklı yapısı ve kolay erişilebilirliği sayesinde akademik çalışmalarda ve endüstriyel uygulamalarda önemli bir yer tutmaktadır. Bu nedenle, tez çalışmalarında ESP32'nin kapsamlı bir şekilde ele alınması, teknolojinin potansiyelini anlamak ve gelecekteki uygulamaları geliştirmek için önemlidir.

- Elektrik-elektronik, mekatronik ve bilgisayar mühendisliği gibi disiplinlerde temel devre tasarımı ve programlama eğitimi için bir araç olarak kullanılmaktadır.
- Bilimsel Araştırmalar: Deneysel çalışmalar ve veri toplama süreçlerinde ESP32, sensörlerden gelen verilerin işlenmesi ve kaydedilmesi için kullanılmaktadır.
- ESP32 Kullanılarak Geliştirilebilecek Projeler
- Akıllı şehirlerde trafik ışıklarının otomasyonu.
- Robot kollarının kontrolü ve programlanması.
- Kablosuz ortam izleme sistemleri.
- Karanlık fabrika (lights-out factory) sistemlerinde otomatik süreç kontrolü.
- Uzaktan cihaz yönetimi ve veri izleme sistemleri.

5. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada, karanlık fabrika konsepti ve robotik sistemlerin uzaktan kontrolü amaçlanmıştır. Karanlık fabrikalar, insan müdahalesinin minimuma indirildiği ve üretim süreçlerinin otomasyon sistemleri tarafından yönetildiği bir endüstri modeli olarak ele alınmıştır. Çalışmanın temel materyallerinden biri, üretim hattında kullanılan endüstriyel robot koldur. Robot kola uzaktan kontrol teknolojileri entegre edilerek gerçek zamanlı veri aktarımı ve yönetim süreçlerinde esneklik sağlanmıştır.

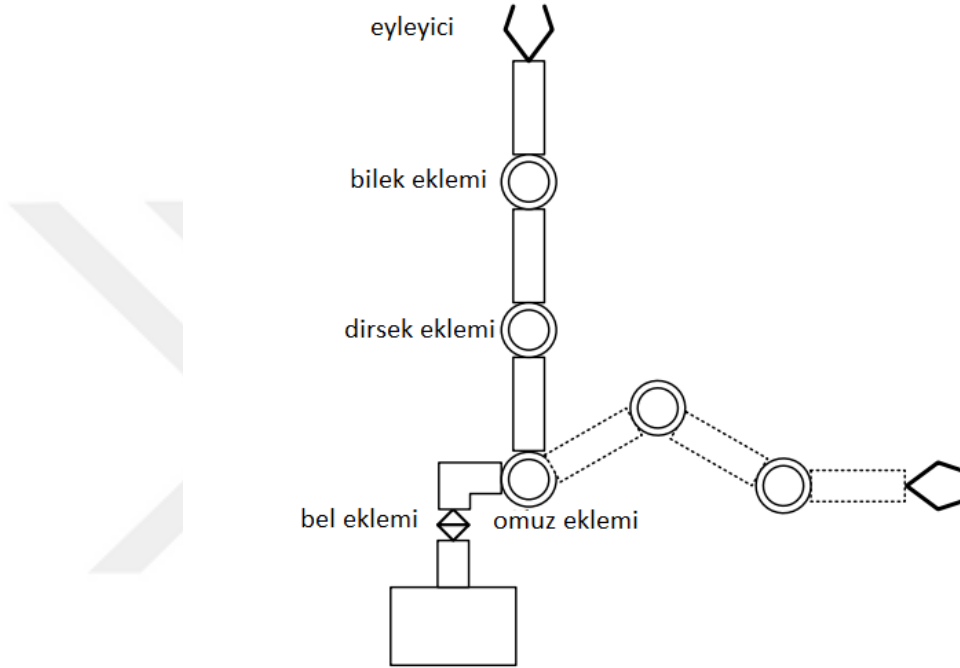
Bu çalışmada, robot kolların Endüstri 4.0 bağlamında kullanım alanları ve uzaktan kontrol mekanizmaları detaylı bir şekilde incelenmiştir. Akıllı şehir kavramı ve örneklerinden yola çıkılarak, robot kolların modern üretim süreçlerindeki yeri analiz edilmiştir. Robotik sistemlerin, özellikle nesnelerin interneti (IoT) ile entegrasyonu ele alınmış ve bu sistemlerin sanayi devrimlerinin evrimi içerisindeki rolü değerlendirilmiştir. Bu bağlamda, ESP32 tabanlı robot kol prototipleri incelenmiş, bunların enerji verimliliği ve üretim süreçlerindeki etkileri araştırılmıştır.

Endüstri 4.0 ile birlikte, robot kolların uzaktan kontrolü, insan iş gücünü azaltırken üretim süreçlerinin hızlanmasını ve hatasız sonuçlar elde edilmesini mümkün kılmıştır. Bu çalışmada, robot kolların hassas servo motor kontrolü, Wi-Fi bağlantısı üzerinden veri alışverişi ve gerçek zamanlı izleme kabiliyetleri incelenmiştir. Robot kolların, üretim hatlarındaki esnekliği ve verimliliği artırma potansiyeli, bu araştırmanın ana odak noktası olmuştur. Bu bağlamda, robot kolların programlanabilir hareket kabiliyeti, çevresel sensörlerle entegrasyonu ve nesnelerin interneti (IoT) tabanlı iletişim yetenekleri araştırılmıştır. Elde edilen materyal, hem literatürde yer alan teorik bilgilerden hem de deneysel çalışmalardan oluşmaktadır.

Robot kolların ESP32 ile kontrol edilmesi, özellikle uzaktan kontrol sırasında oluşabilecek hataların tespit edilmesini ve yazılımsal müdahaleleri kolaylaştırmaktadır. Bu amaçla uygulama geliştirilmiş ve sistemle entegre edilmiş olup robot kolun gerçek zamanlı izlenmesine, kontrol edilmesine ve anlık hataların giderilmesi sağlanmıştır. Olası bir sistem hatası/arızası durumunda, kullanıcılar uygulama aracılığıyla robot kolun hareketlerini uzaktan düzenleyebilmektedir, kontrol sinyallerini yeniden yapılandırabilir ve sistemde gerekli yazılımsal güncellemeleri gerçekleştirebilmektedir. Bu sayede üretim süreçlerinde sürekliliğin sağlanması ve kesintilerin önlenmesi ve enerji verimliliği açısından avantaj sunmaktadır.

Bu bölümde, tez çalışmasının gerçekleştirilmesinde kullanılan malzemeler, tasarım adımları, yazılım ve donanım bölümleri ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır. Çalışmanın temel amacı olan IoT tabanlı bir robot kolun ESP32 modülü kullanılarak kontrol edilmesi hedefi hem malzeme seçimi hem de yazılım ile desteklenmiştir.

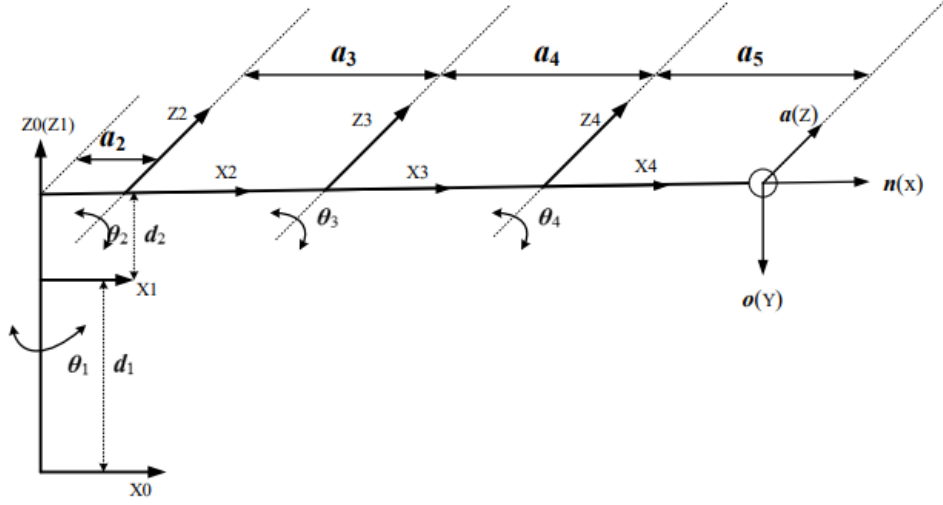
Bu çalışmada kullanılan robota ait şematik gösterim Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de görülmektedir. Kullanılan robot 4 serbestlik derecesine sahiptir ve 4 dönel mafsala sahip PLANAR tipi bir robottur.



Şekil 5.1. Manipülatörün yapısı [70]

Birinci eklem, taban ile bağlantılı olduğundan, hesaplamayı basitleştirmek amacıyla birinci eklem ve tabanı bir bütün olarak ele alınır ve bu eklemin koordinat sistemi manipülatörün taban koordinat sistemi olarak kabul edilmektedir.

Tüm eklemler döner eklem (revolute joint) olup, ikinci, üçüncü ve dördüncü eklemlerin eksenleri paraleldir. Manipülatörün uç efektörü beşinci eklemdir.



Şekil 5.2. 4 Serbestlik dereceli seri robotun kinematik gösterimi [70]

Manipülâtörün yapısı ve kinematik koordinat sistemine göre, her ekleme ait Denavit-Hartenberg parametreleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Robota ait Denavit- Hartenberg parametreleri

Eklem (i)	θ_i (°)	α_{i-1} (°)	a_{i-1} (mm)	d	Aralık (θ_i)
1	θ_1	0	0	0	-90 ~ 90
2	θ_2	-90	90	145	95 ~ 180
3	θ_3	0	90	0	125 ~ 180
4	θ_4	0	270	0	-90 ~ 90

Her eklem için Genelleştirilmiş Denavit-Hartenberg (D-H) dönüşüm matrisi Denklem 5.1’de ifade edilmektedir:

$$T_i^{i-1} = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i \cos\alpha_{i-1} & \sin\theta_i \sin\alpha_{i-1} & \alpha_{i-1} \cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\theta_i \cos\alpha_{i-1} & -\cos\theta_i \sin\alpha_{i-1} & \alpha_{i-1} \sin\theta_i \\ 0 & \sin\alpha_{i-1} & \cos\alpha_{i-1} & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

1. Eklem için dönüşüm Matrisi T_1^0

$$T_1^0 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & -\sin\theta_1 & 0 & 0 \\ \sin\theta_1 & \cos\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

2. Eklem için dönüşüm Matrisi (T_2^1)

$$T_2^1 = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & 0 & -\sin\theta_2 & 95\cos\theta_2 \\ \sin\theta_2 & 0 & \cos\theta_2 & 95\sin\theta_2 \\ 0 & -1 & 0 & 145 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.3)$$

3. Eklem için dönüşüm Matrisi (T_3^2)

$$T_3^2 = \begin{bmatrix} \cos\theta_3 & \sin\theta_3 & 0 & 95\cos\theta_3 \\ \sin\theta_3 & \cos\theta_3 & 0 & 95\sin\theta_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

4. Eklem için dönüşüm Matrisi (T_4^3)

$$T_4^3 = \begin{bmatrix} \cos\theta_4 & -\sin\theta_4 & 0 & 270\cos\theta_4 \\ \sin\theta_4 & \cos\theta_4 & 0 & 270\sin\theta_4 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.5)$$

Manipülâtörün uç efektörünün taban koordinat sistemindeki nihai konum ve yönünü bulmak için, tüm dönüşüm matrisleri çarpılmaktadır:

$$T_{end-effector}^0 = T_1^0 \cdot T_2^1 \cdot T_3^2 \cdot T_4^3 \quad (5.6)$$

Bu denklemlerle manipülâtörün uç işlevcisinin taban koordinat eksen takımına göre, nihai konum ve yönelimi bulunmaktadır.

5.1. Mekanik Tasarım ve Prototipin Oluşturulması

Bu çalışmada kullanılan robota ait montaj görünüşleri Şekil 5.3– Şekil 5.11’de gösterilmiştir. Başlangıçta hazır bir prototip kullanılmış olup sonrasında ihtiyaç duyulan parçalar bilgisayar ortamında tasarlanmış, 3D yazıcı ile üretilmiş ve robotta gerekli değişiklikler yapılarak prototip son haline getirilmiştir. Robot kol, 4 serbestlik dereceli bir yapıya sahiptir ve şu bileşenlerden oluşmaktadır:

1. Taban: Robot kolun dengeli çalışmasını sağlayan ana platformdur. Taban, hareketlerin sırasında stabiliteyi koruyacak şekilde tasarlanmıştır.

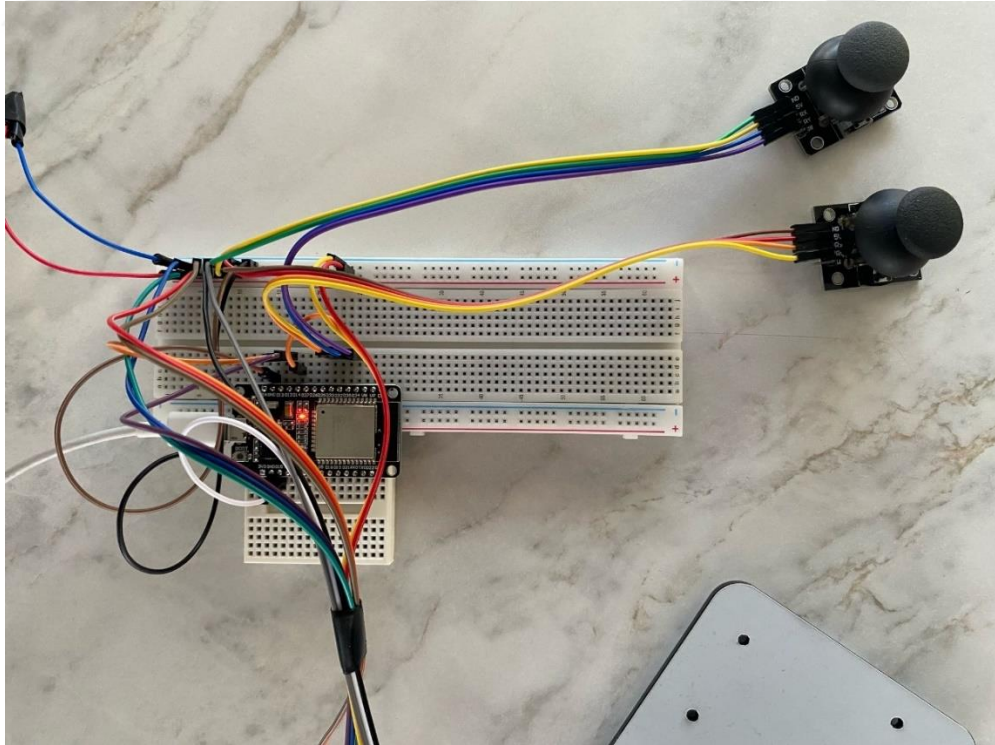
2. Dirsek ve Bilek Eklemleri: Servo motorlar yardımıyla çalışan bu eklemler, robot kolun çok yönlü hareket kabiliyetini sağlar.

3. Tutucu (Gripper): Nesneleri kavramak ve taşımak için kullanılan bu bileşen, servo

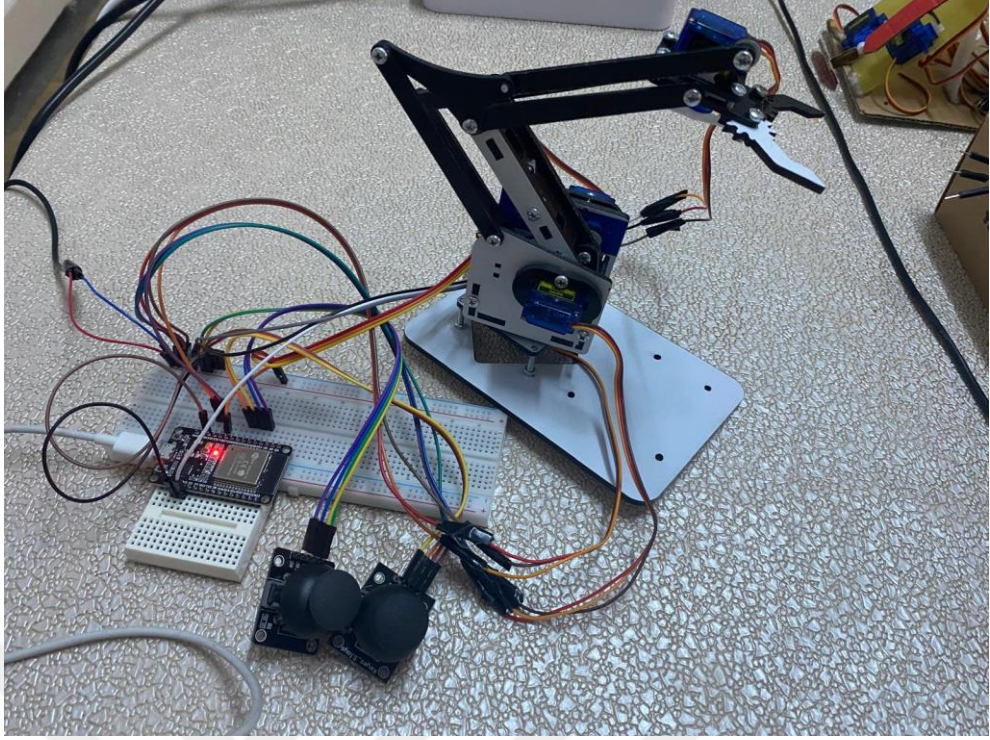
motorla kontrol edilmektedir. Tutucu, hassas kavrama hareketleri yapacak şekilde tasarlanmıştır.

Robot kolun prototipini oluşturma aşaması, şu şekildedir:

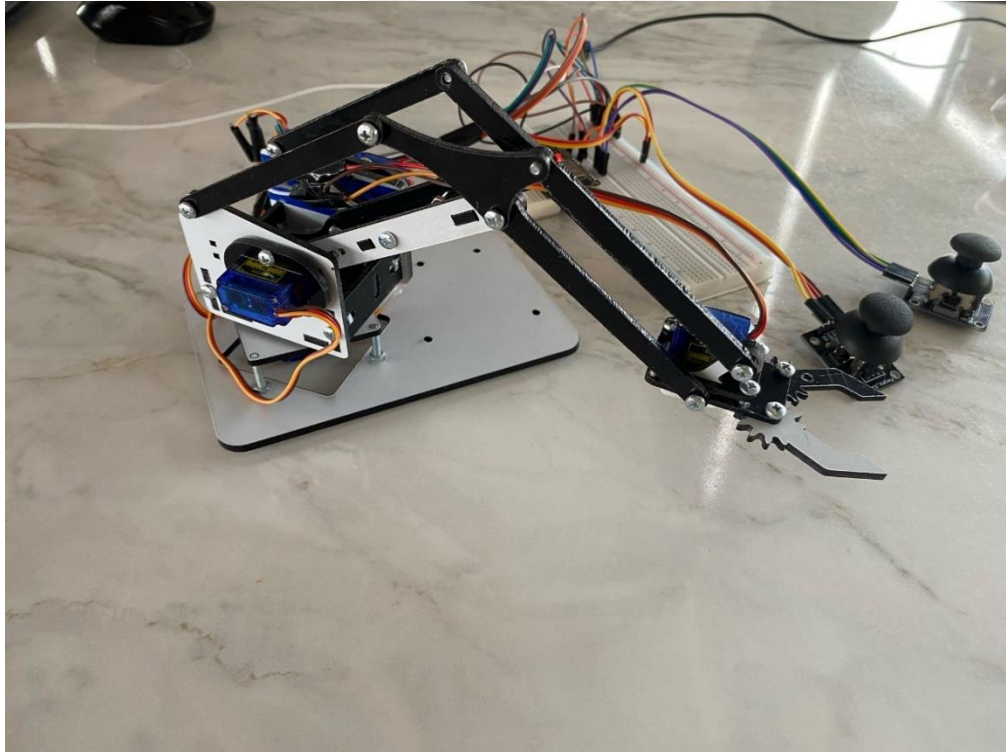
- Servo motorların tabana, eklem noktalarına ve tutucu bölümüne montajı sağlanmıştır.
- 3D yazıcı ile basılan parçalar, mekanik dayanıklılık ve esneklik açısından test edilmiştir.
- Servo motorlar, ESP32'nin PWM pinlerine bağlanmıştır.
- Joystick, manuel kontrol ve kalibrasyon için devreye eklenmiştir.
- Güç kaynağı ile ESP32 ve motorlara stabil enerji sağlanmıştır.
- Arduino IDE kullanılarak geliştirilen yazılım, ESP32 kartına yüklenmiştir.
- Web uygulaması ile entegrasyon sağlanarak bağlantı aktif hale getirilmiştir.
- Mekanik ve elektronik bağlantılar kontrol edilmiş, tüm bileşenlerin uyumlu çalışması sağlanmıştır.
- Robot kol, temel hareketler için test edilerek kalibrasyon işlemleri tamamlanmıştır.



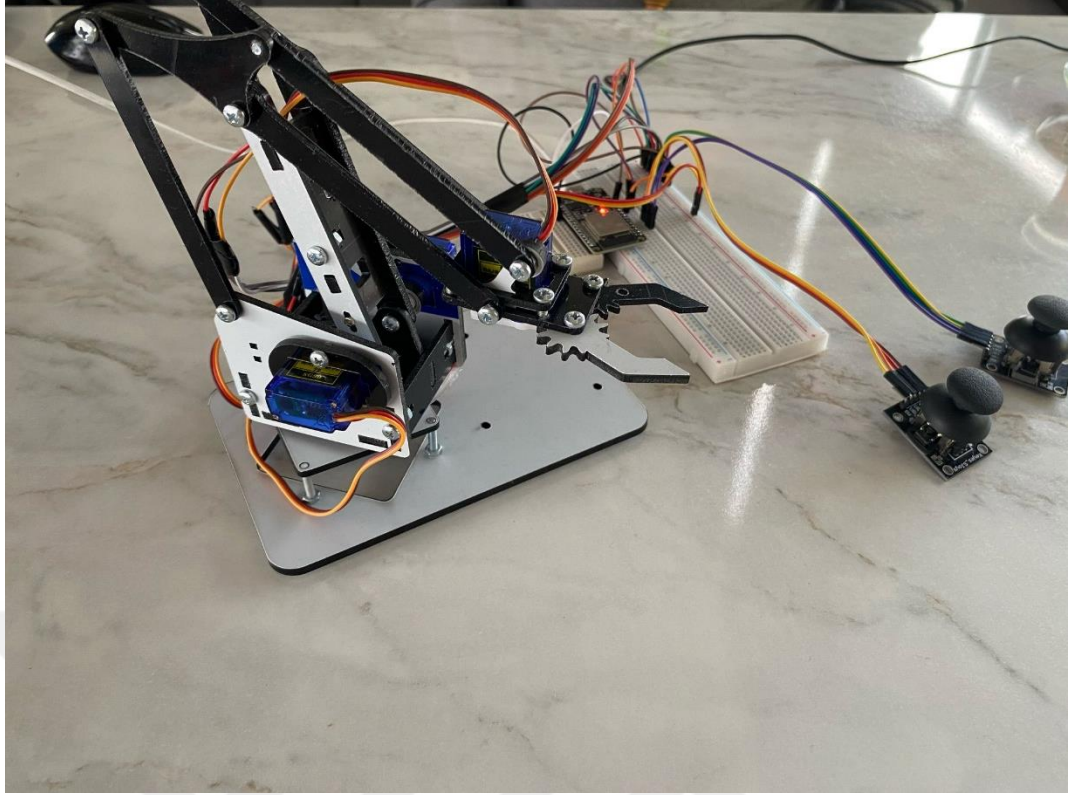
Şekil 5.3. Elektronik bağlantı görünümü



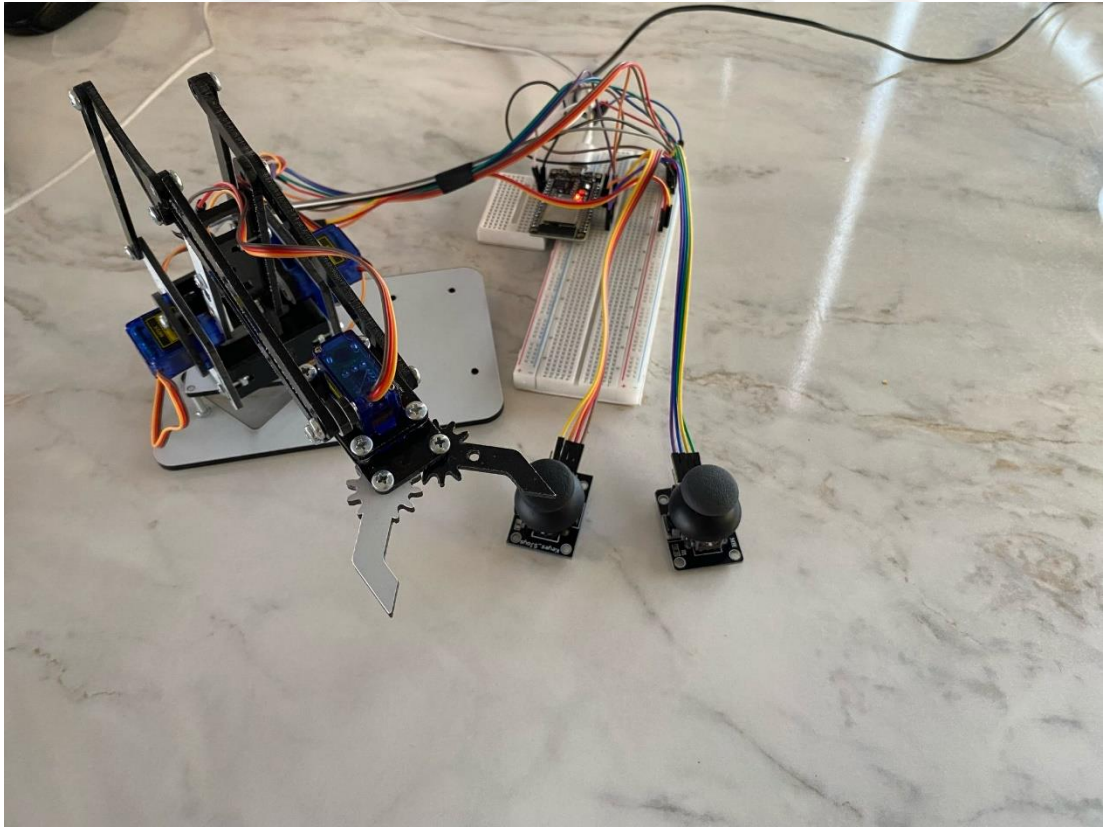
Şekil 5.4. Tezde kullanılan robotun genel görünümü (1)



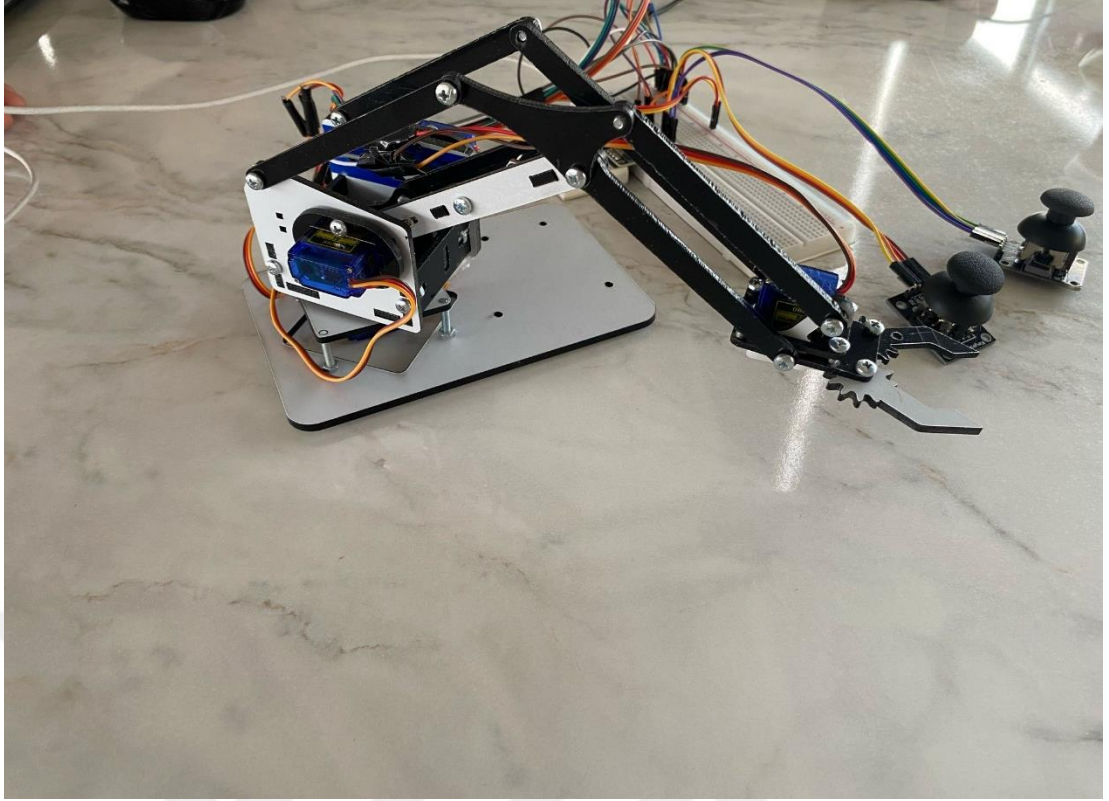
Şekil 5.5. Tezde kullanılan robotun genel görünümü (2)



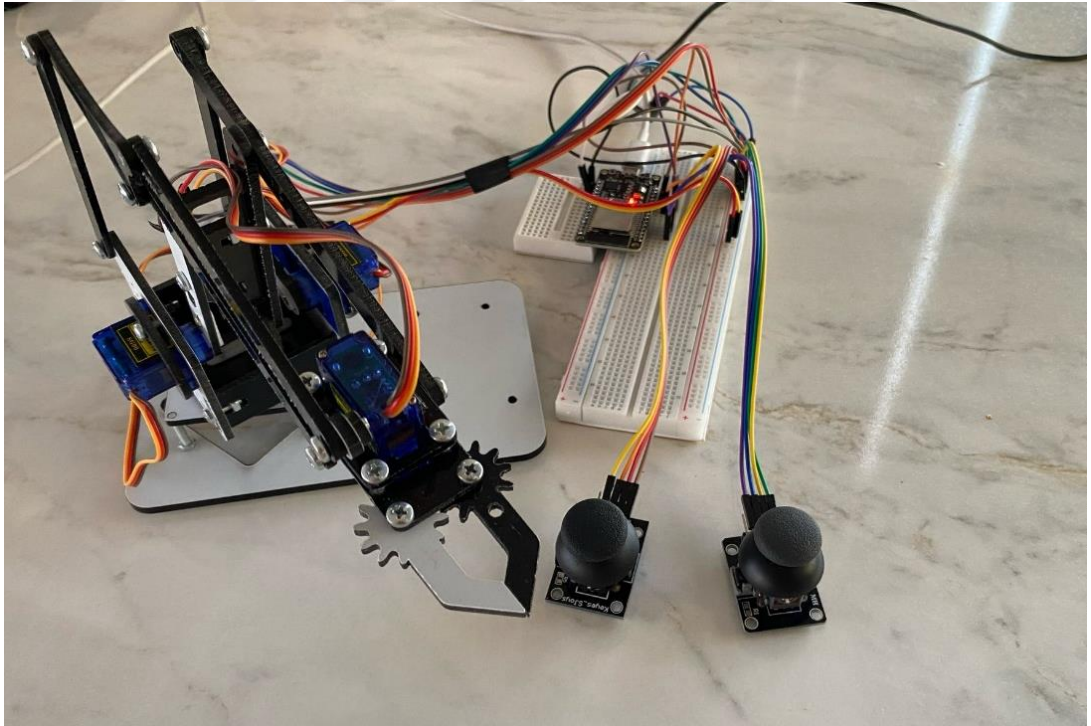
Şekil 5.6. Tezde kullanılan robotun genel görünümü (3)



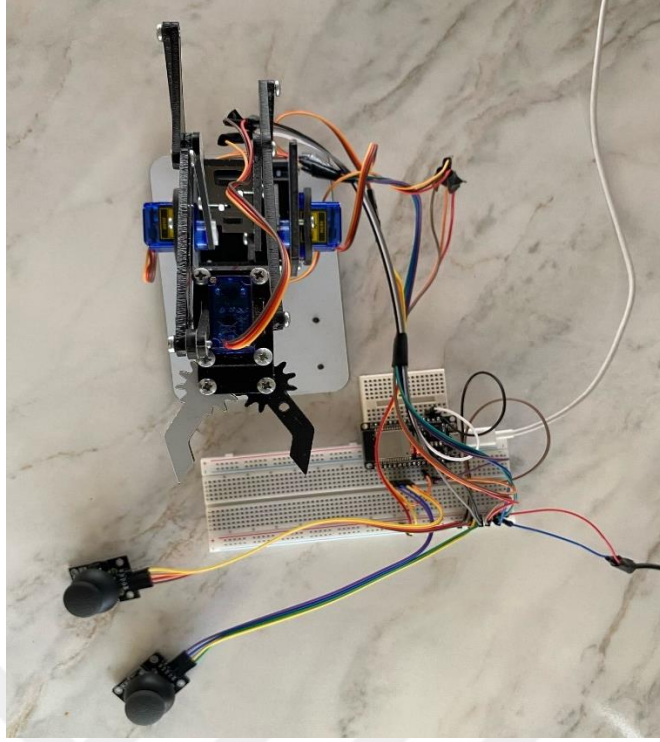
Şekil 5.7. Tezde kullanılan robotun genel görünümü (4)



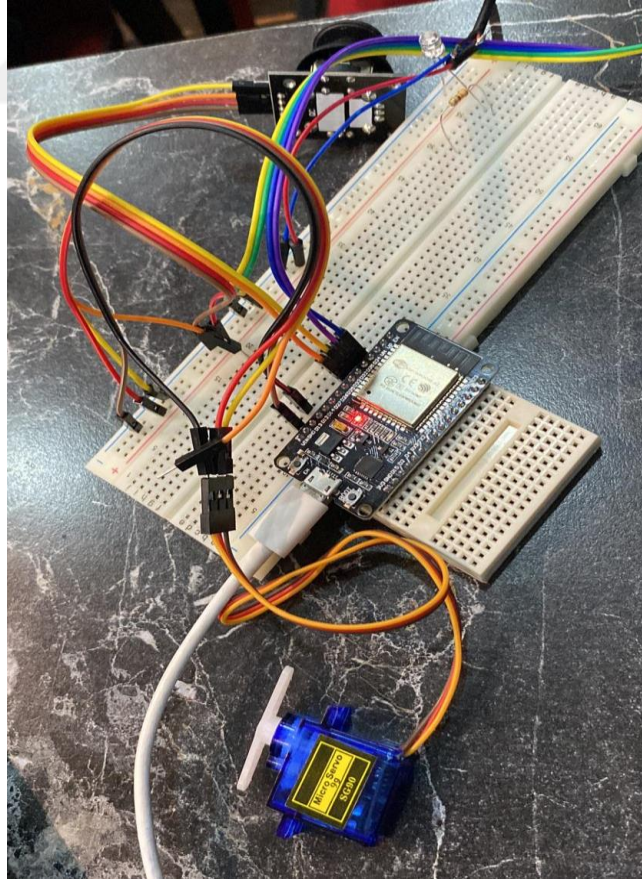
Şekil 5.8. Tezde kullanılan robotun yandan görünümü (5)



Şekil 5.9. Tezde kullanılan robotun genel görünümü (6)



Şekil 5.10. Tezde kullanılan robotun üstten görünümü (7)



Şekil 5.11. Elektronik donanım montajı test aşaması

5.2. Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada, IoT tabanlı bir robot kol sistemi tasarlamak için aşağıdaki elektronik donanımlar kullanılmıştır:

1. ESP32 Geliştirme Kartı: Sistemin merkezi kontrol ünitesi olarak tercih edilmiştir. Dahili Wi-Fi modülü sayesinde IoT entegrasyonu sağlanmıştır. Kolay programlanabilmektedir olması ve düşük enerji tüketimi nedeniyle uygun bir seçenek sunmaktadır. ESP32, kablosuz bağlantı özellikleri, yüksek işlem kapasitesi ve enerji verimliliği sayesinde IoT tabanlı projelerde yaygın olarak kullanılan bir mikrodenetleyicidir. Robot kolun internet üzerinden yönetilmesi için ESP32'nin sunduğu Wi-Fi bağlantısı ve bulut tabanlı veri işleme imkanları kullanılmıştır.

ESP32, robot kolun hareketlerini yönetmek için servo motorlara PWM sinyalleri göndermektedir. Kullanıcı komutları, joystick modülleri veya Firebase aracılığıyla ESP32'ye aktarılmakta ve uygun motor kontrolleri sağlanmaktadır.

2. Servo Motorlar (4 Adet): Robot kolun hareket kabiliyeti, her bir eklemden bulunan SG90 servo motorlar ile sağlanmıştır. Bu motorlar, hızlı yanıt verme ve hassas kontrol imkânı sunmaktadır.

3. Joystick (2 Adet): Servo motorların manuel kontrolü ve kalibrasyonu için kullanılmıştır. Manuel kontrol mekanizması için iki adet joystick modülü kullanılmıştır. Joysticklerden alınan analog sinyaller, ESP32 tarafından işlenerek servo motorlara uygun açısal hareket komutları gönderilmektedir. Bu kontrol sistemi, aşağıdaki bileşenleri içermektedir:

4. Breadboard ve Bağlantı Kabloları: Devre elemanlarının bağlantılarını yapmak ve ESP32 modülü ile servo motorların entegrasyonunu sağlamak için kullanılmıştır.

5. Güç Kaynağı: 5V adaptör ve harici batarya kullanılmıştır. Servo motorların stabil bir şekilde çalışması için ayrı bir güç kaynağı tercih edilmiştir.

6. 3D Yazıcı: Robot kolun mekanik parçalarını oluşturmak için kullanılmıştır. Kolun eklem yapısı, CAD yazılımlarında tasarlanmış ve 3D yazıcıda üretilmiştir.

5.3. Elektronik Devre Tasarımı

ESP32 geliştirme kartı, sistemin merkezi kontrol birimi olarak kullanılmıştır. Servo motorlar, PWM (Pulse Width Modulation) sinyalleri aracılığıyla kontrol edilmektedir. Bağlantıların güvenliği ve stabilitesi için breadboard ve kablo düzenekleri kullanılmıştır. Joystick, manuel kontrol ve kalibrasyon için devreye entegre edilmiştir.

Devre Bileşenleri aşağıdaki gibidir:

- Servo motorlar ESP32'ye bağlanmış ve PWM pinlerinden sinyal almaktadır.
- Joystick, robot kolun durumunu izlemek ve analog veri sağlayarak servo motor hareketlerini manuel olarak ayarlamak için kullanılmıştır.
- Wi-Fi modülü, uzaktan kontrol için bir IoT platformuna bağlanmıştır.

Arduino IDE ile ESP32 programlama aşağıdaki gibidir:

- 1. PWM Kontrolü:** Servo motorların hassas hareketlerini sağlamak için PWM sinyalleri üretilmektedir.
- 2. Wi-Fi Bağlantısı:** ESP32, yerel Wi-Fi ağına bağlanır ve mobil uygulamadan gelen komutları almaktadır.
- 3. Komut Yürütme:** Uygulamadan gelen veriler parse edilerek ilgili servo motorlara hareket komutları gönderilmektedir.

5.4. Yazılım Geliştirme

ESP32 yazılımı, Arduino IDE kullanılarak geliştirilmiştir. Robotun kaynak kodları EK-1'de verilmiştir. Yazılım, aşağıdaki temel fonksiyonları içermektedir:

- 1. Motor Kontrolü:** PWM sinyalleri oluşturularak servo motor hareketleri kontrol edilmektedir.
- 2. Wi-Fi Bağlantısı:** ESP32, bir veri tabanına bağlanarak uzaktan kontrol komutlarını almaktadır.
- 3. Uygulama Entegrasyonu:** Web tabanlı uygulama geliştirilerek kullanıcıların robot kolu kontrol etmesine olanak tanınmıştır.

5.5. Sistem Tasarımı ve IoT Entegrasyonu

Robot kol sistemi, IoT destekli bir kontrol altyapısı ile çalışmaktadır. Kullanıcılar, mobil cihazlarından veya bilgisayarlarından Wi-Fi bağlantısı aracılığıyla robot kolu kontrol edebilmektedir. Geliştirilen uygulama, kullanıcı dostu bir arayüz sunarak gerçek zamanlı veri görüntüleme ve kontrol imkânı sağlamıştır.

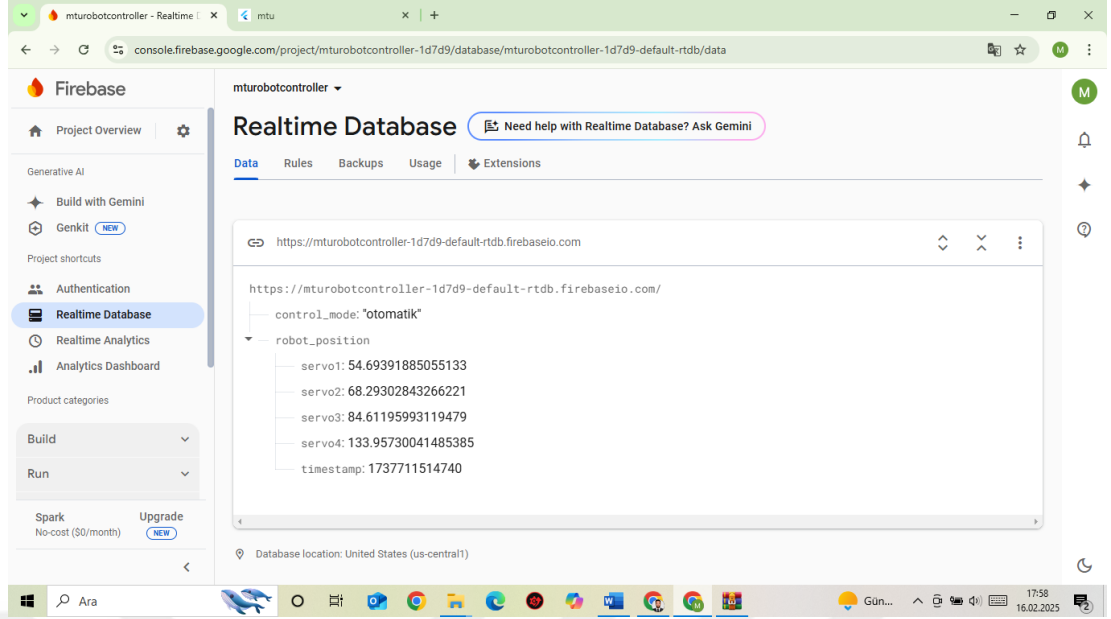
IoT entegrasyonu, sistemin güvenilirliğini ve esnekliğini artırmış, kullanıcıların robot kolu uzaktan kontrol ederek sistemin hareketlerini optimize etmelerine olanak tanımıştır. ESP32, Firebase Realtime Database ile haberleşerek, kullanıcı komutlarını alır ve robot kolun hareketlerini yönetir. Sistemin çalışma prensibi şu şekildedir:

1. Kullanıcı, web tabanlı arayüz üzerinden komutları girer.
2. Firebase veritabanı bu komutları ESP32'ye iletir.
3. ESP32, alınan verileri işleyerek uygun motor hareketlerini başlatır.
4. Hareket tamamlandığında, sistem Firebase'e geri bildirim gönderir.

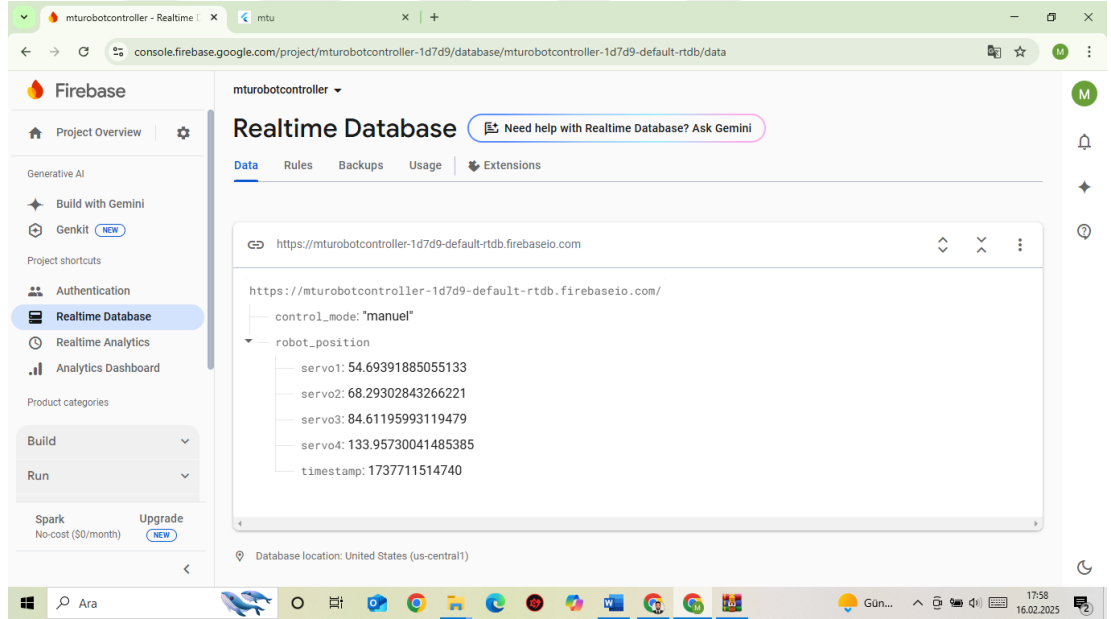
Firebase, Google tarafından sağlanan bir Backend-as-a-Service (BaaS) platformu olup, özellikle Firebase Realtime Database bileşeni sayesinde verilerin gerçek zamanlı senkronizasyonunu sağlayan NoSQL tabanlı bir veritabanı hizmeti sunmaktadır. Bu sistem, istemci ve sunucu arasında sürekli bir veri akışı sağlayarak kullanıcıların uzak cihazları anlık olarak kontrol etmesine imkân tanımaktadır.

Bu çalışma kapsamında, Firebase Realtime Database; geliştirilen web uygulaması ile ESP32 mikrodenetleyicisi arasında bir köprü vazifesi görmektedir. Kullanıcılar, web uygulaması aracılığıyla servo motorlara ait belirli açı değerlerini tanımlamakta ve bu veriler doğrudan Firebase Realtime Database'e aktarılmaktadır. Verinin bulut ortamına kaydedilmesiyle birlikte, sistemin kontrol bileşeni olan ESP32, Firebase veritabanındaki ilgili referansı (örneğin: /servo1_angle) sürekli olarak izlemekte ve veri değişimlerini anlık olarak tespit etmektedir.

ESP32 mikrodenetleyicisi, Firebase üzerinde gerçekleşen herhangi bir güncellemeyi algıladığında, alınan yeni açı değerlerini servo motorlara ileterek fiziksel hareketin gerçekleşmesini sağlamaktadır. Bu süreçte, ESP32 ile servo motorlar arasındaki etkileşim doğrudan gerçekleştirilmekte ve motorlar, alınan talimatlar doğrultusunda belirlenen açılara yönlendirilmektedir (Şekil 5.12 ve Şekil 5.13).

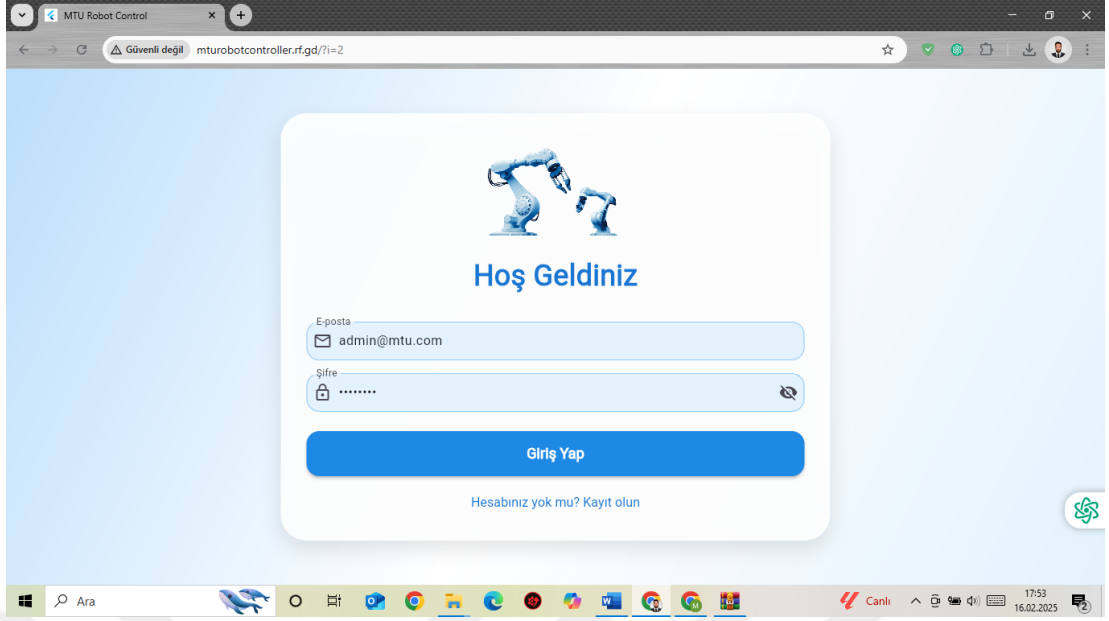


Şekil 5.12. Firebase Ekranı (Otomatik Modu)



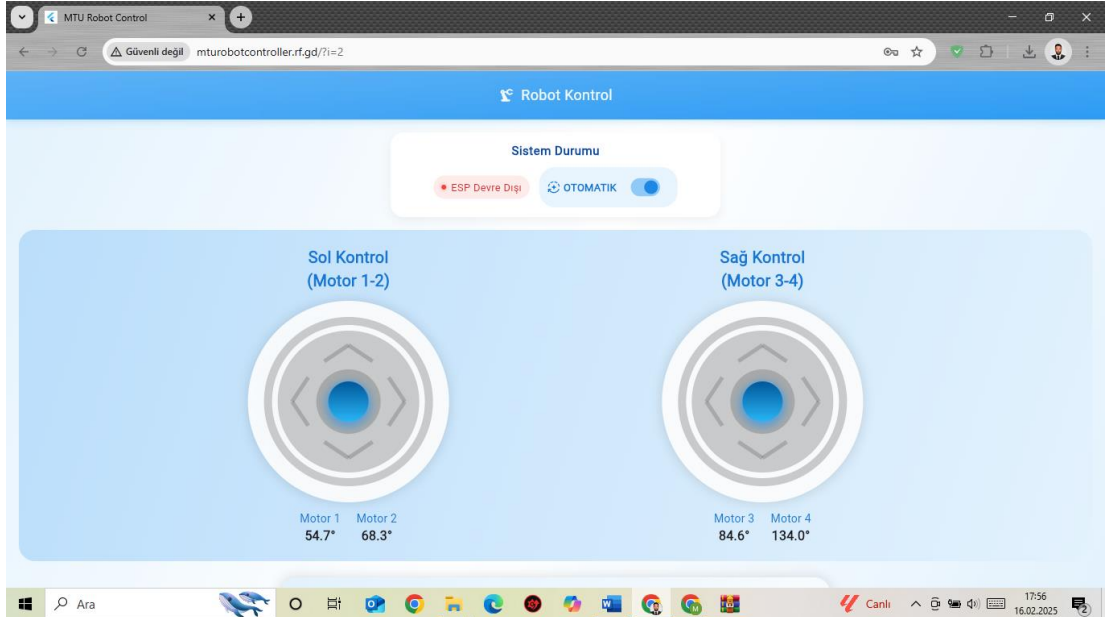
Şekil 5.13. Firebase Ekranı (Manuel Joystick Kontrol Modu)

Robot kontrolü için geliştirilen web arayüzü Giriş Ekranı Şekil 5.14’de görülmektedir.

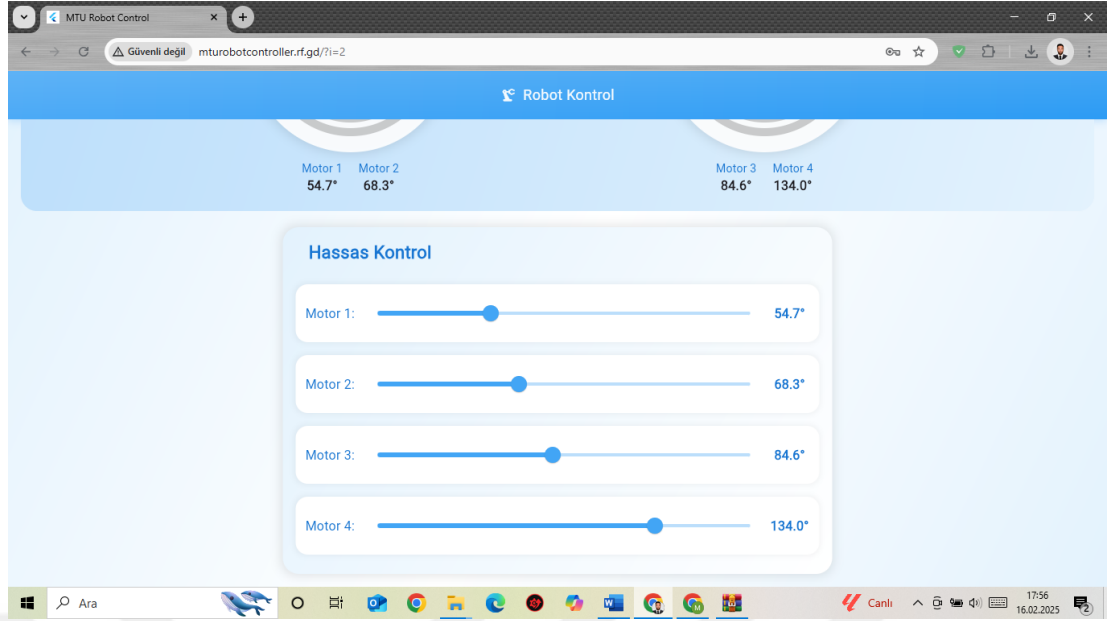


Şekil 5.14. Web üzerinden kontrol için Giriş Ekranı

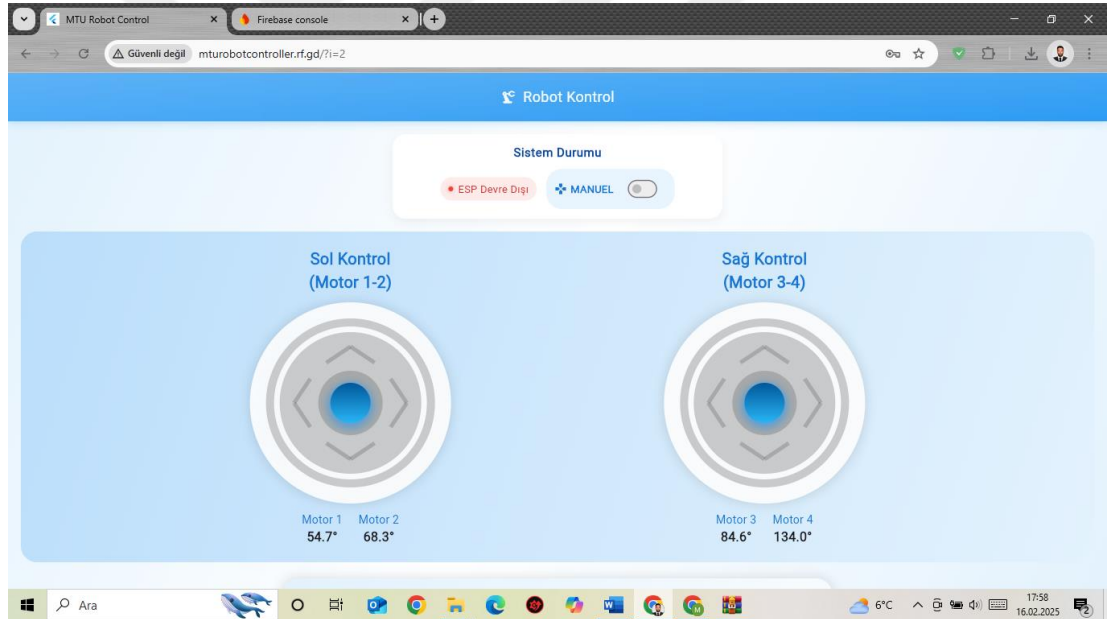
Robot kol, web üzerinden hem manuel hem de otomatik olarak kontrol edilebilmektedir. Otomatik kontrolde (Şekil 5.15), web üzerinde tasarlanmış olan joystick ve sürgü fonksiyonları (Şekil 5.15 ve Şekil 5.16) kullanılırken manuel kontrol aktif edildiğinde (Şekil 5.17), web üzerinden kontrol devre dışı kalmakta, robota bağlı olan fiziksel joystickler aktif olmakta ve robot bu fiziksel joystickler ile kontrol edilmektedir.



Şekil 5.15. Web üzerinden otomatik kontrolü aktif etme ekranı



Şekil 5.16. Servo motorların açılarının kontrolü paneli



Şekil 5.17. Web üzerinden manuel kontrolü aktif etme ekranı

Wi-Fi Modülü: ESP32'nin dahili Wi-Fi modülü ile haberleşme sağlamıştır.

Gerçek Zamanlı Veri Akışı: web uygulaması ve ESP32 entegrasyonu, kullanıcı komutlarının anında servo motorlara iletilmesini sağlamıştır. Bu sayede, robot kolun hareketleri hızlı ve kesin bir şekilde gerçekleştirilebilmiştir.

Bağlantı Testleri: IoT entegrasyonunun stabilitesi ve bağlantı performansı, farklı mesafelerde test edilmiştir. Sistemin Wi-Fi menzili ve mobil uygulama ile etkileşim süresi, yeterli performans sunmaktadır.

Mobil Uygulama Entegrasyonu: firebase uygulaması ile gerçek zamanlı kontrol sağlanmıştır. Uygulama, servo motor hareketlerini kontrol etmek için kaydırma çubukları ve butonlar gibi basit arayüz bileşenleri sunmaktadır. Uygulama ile kullanıcıların robot kolu ileri, geri, yukarı, aşağı ve kavrama hareketleriyle kolayca kontrol etmesi sağlanmaktadır.

5.6. Test Senaryoları

ESP32 tabanlı IoT kontrollü robot kol sisteminin uygulama ve test süreçlerini ayrıntılı bir şekilde ele almaktadır. Sistem tasarımı tamamlandıktan sonra, gerçekleştirilen prototip oluşturma aşamaları ve çeşitli test senaryoları üzerinden performans analizi yapılmıştır. Bu bölümde, prototipin çalışma prensipleri, test verileri ve bu verilerin analizi yer almaktadır.

Test senaryoları ile sistem performansı ve çalışma kararlılığı değerlendirilmiştir. Her bir test ile robot kolun farklı koşullardaki davranışı incelenmiştir.

1. Hassasiyet Testleri:

- Servo motor hareketlerinin hassasiyeti ve tekrarlanabilirliği ölçülmüştür.
- Robot kolun, belirli bir koordinata ulaşma doğruluğu incelenmiştir.

2. Yük Taşıma Testleri:

- Farklı ağırlıklardaki nesneler, robot kol ile taşınarak motor performansı değerlendirilmiştir.
- Yük altında servo motorların görülen enerji tüketimi kaydedilmiştir.

3. Wi-Fi Bağlantı ve Gecikme Testleri:

- Web uygulaması ile ESP32 arasındaki veri iletim gecikmeleri analiz edilmiştir.
- Farklı mesafelerdeki bağlantı stabilitesi test edilmiştir.

4. Dayanıklılık Testleri:

- Robot kol, uzun süreli çalışma koşulları altında test edilmiştir.
- Servo motorların sıcaklık ve performans değişimleri incelenmiştir.

5.7. Performans Analizi

Testlerden elde edilen veriler, sistem performansının değerlendirilmesi için analiz edilmiştir:

Hassasiyet Analizi: Servo motor hareketlerinin, verilen komutlara uygun çalışma oranı %95 olarak kaydedilmiştir.

Enerji Verimliliği: Ortalama enerji tüketimi, servo motor başına 200 mA olarak kayıt altına alınmıştır.

Bağlantı Stabilitesi: Wi-Fi bağlantı gecikme süreleri, ortalama 200 ms olarak ölçülmüştür.

Dayanıklılık Performansı: Robot kol, 1 saatlik kesintisiz çalışma koşulları altında stabil performans göstermiş olup kullanılan servo motorlardan kaynaklanan titreşimler gözlemlenmiştir.

5.8. Sistem Avantajları ve Dezavantajları

Avantajlar:

Uzaktan Kontrol: Kullanıcıların, robot kolu herhangi bir fiziksel temas olmaksızın kontrol edebilmesine olanak tanır. Mobil uygulama entegrasyonu sayesinde sistem, her yerden erişilebilir hale gelmiştir.

Hassasiyet: Servo motorların hassasiyeti, karmaşık hareketlerin kolayca gerçekleştirilmesini sağlamaktadır.

Enerji Verimliliği: ESP32 düşük enerji tüketimi ile uzun süreli kullanım için uygun bir seçenek sunmaktadır. Ayrıca, harici bir enerji kaynağı kullanılarak sistem daha stabil hale getirilmiştir.

Kolay Entegrasyon: IoT altyapısının esnek yapısı sayesinde, sistem kolayca diğer IoT cihazları ve platformları ile entegre edilebilmektedir. Bu, sistemin çok yönlülüğünü artırmaktadır.

Dezavantajlar:

Bağlantı Stabilitesi: Wi-Fi bağlantıları bazı durumlarda kesintiye uğrayabilmektedir. Bu durum, uzaktan kontrol sürecinde gecikmelere veya kontrol kaybına neden olabilmektedir.

Servo Motor Yük Kapasitesi: Kullanılan SG90 servo motorlar, hafif yükler için uygun olmakla birlikte, daha ağır yüklerin taşınması için yeterli değildir. Daha güçlü motorların entegrasyonu durumunda, sistem tasarımının yeniden yapılandırılması gerekecektir.

Enerji Kaynağı Bağımlılığı: Servo motorların gücünü sürdürebilir kılmak için harici bir enerji kaynağı gereklidir. Bu durum, sistemin mobilite seviyesini

sınırlandırabilmektedir.

IoT Platformlarına Bağımlılık: Üçüncü taraf uygulamalara bağımlılık, platform desteğinin kesilmesi durumunda sistemin kontrol edilemez hale gelmesine neden olabilmektedir.

Geliştirme ve Optimizasyon Önerileri şu şekildedir:

Güçlendirilmiş Servo Motorlar: Robot kolun daha fazla yük taşıyabilmesi için MG995 veya benzeri daha güçlü servo motorların kullanılması önerilmektedir.

Bağımsız Enerji Kaynakları: Harici bataryaların yerine, şarj edilebilmektedir entegre enerji kaynaklarının kullanılması, sistemin mobilitesini artırabilmektedir.

IoT Platform Alternatifleri: Google firebase, Node-RED veya ThingSpeak gibi alternatif IoT platformları da sisteme entegre edilebilmektedir. Bu, çeşitli platformların yeteneklerinden faydalanarak daha esnek bir sistem sunabilmektedir.

Görsel Algılama Teknolojileri: Sisteme bir kamera modülü eklenerek, nesne tanıma ve konum belirleme gibi gelişmiş özellikler sağlanabilmektedir. Bu teknoloji, robot kolun hareket hassasiyetini ve uygulama alanlarını genişletecektir.

6. ARAŞTIRMA BULGULAR

Endüstri 4.0'dan karanlık fabrikalara geçiş sürecinde, robot kollar, üretim süreçlerinin otomasyonunda kritik bir rol oynamaktadır. IoT destekli robot kollar sayesinde, üretim süreçlerinde daha az insan gücüne ihtiyaç duyulmuş ve işleyiş elektromekanik uygulamalarla kontrol edilebilir hale gelmiştir. Bu sistemler, uzaktan kontrol teknolojilerinin sağladığı avantajlarla, üretim hatlarının verimliliğini artırmış ve hatasız üretimi mümkün kılmıştır.

Robot kolların uzaktan kontrolü sayesinde, sürekli devam eden üretim süreçleri sağlanmış ve bu durum, insan müdahalesine bağımlılığı önemli ölçüde azaltmıştır. Wi-Fi bağlantısı ve entegre sensörlerle donatılmış olan bu robotlar, enerji tüketimini optimize ederek sürdürülebilir üretim hedeflerine katkıda bulunmuştur. Ayrıca, bu robotların yüksek hassasiyetle çalışabilmesi, üretim hatalarının minimize edilmesine olanak tanımıştır.

Mobil uygulamalarla sağlanan entegrasyon, üretim süreçlerinin daha esnek ve güvenilir hale gelmesini sağlamıştır. Özellikle, robot kol hareketlerinin uzaktan izlenmesi ve kontrol edilmesi, üretim hatlarındaki kesintileri minimize etmiş ve sürekliliği artırmıştır. Kullanıcı dostu bir arayüz sunan mobil uygulamalar, hata durumlarının anlık olarak tespit edilmesine ve hızlı müdahale edilmesine olanak tanımıştır. Ayrıca, sistem üzerinde yapılan yazılımsal değişiklikler, robot kolların çalışma parametrelerinin optimize edilmesine katkıda bulunmuş ve enerji tüketimini düşürmüştür.

Robot kolların sunduğu avantajlar şu şekilde özetlenebilmektedir:

- Enerji Verimliliği: Hareketlerin optimize edilmesi sayesinde enerji tüketimi minimum düzeyde tutulmaktadır.
- Hassasiyet ve Esneklik: Servo motorlar ve entegre sensörler, robotların karmaşık görevleri yüksek doğrulukla yerine getirmesini sağlar.
- Sürekli Üretim: Uzaktan kontrol teknolojileri, üretim hatlarının 7/24 çalışmasını mümkün kılarak verimliliği artırır.
- İnsan Hatasının Azaltılması: Tam otomasyon, insan kaynaklı hataları ortadan kaldırır ve üretim süreçlerini daha güvenilir hale getirir.
- Mobil Entegrasyon: Anlık izleme ve yazılımsal müdahale imkanı, sistemin kesintisiz çalışmasını sağlar.

Robot kolların IoT ve mobil uygulama entegrasyonu ile uzaktan kontrol

edilebilmesi, Endüstri 4.0'ın hedeflediği sıfır hata ve yüksek verimlilik ilkelerine önemli katkılar sağlamaktadır. Bu araştırma, karanlık fabrikaların gelişiminde robot kolların merkezi bir role sahip olduğunu ve bu sistemlerin sürdürülebilir üretim süreçleri için kritik olduğunu ortaya koymaktadır.



7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Endüstri 4.0'ın temel unsurlarından biri olan karanlık fabrika yaklaşımı çerçevesinde, IoT tabanlı bir robot kol prototipi geliştirilmiş ve uygulanmıştır. ESP32 mikrodenetleyicisi kullanılarak internet tabanlı bir kontrol mekanizmasına sahip, dört serbestlik dereceli bir robot kol tasarlanmış ve sistem hem manuel joystick kontrolü hem de Firebase tabanlı uzaktan erişim imkânı sunacak şekilde yapılandırılmıştır. Gerçekleştirilen testler sonucunda, sistemin gerçek zamanlı veri iletimi, düşük enerji tüketimi ve güvenli veri aktarımı gibi kriterlerde başarılı bir performans sergilediği görülmüştür.

Sistem, %95 doğruluk oranı ile kullanıcı komutlarını işlemiş ve düşük gecikme süreleriyle kesintisiz veri iletimi sağlamıştır. IoT tabanlı uzaktan erişim özelliği sayesinde sistem, herhangi bir konumdan yönetilebilme imkânı sunmuştur. ESP32'nin düşük enerji tüketimi uzun süreli operasyonlar için avantaj sağlarken, Firebase entegrasyonu güvenli veri aktarımını mümkün kılmıştır. Bu özellikleriyle sistem, akademik araştırmalarda ve endüstriyel otomasyon uygulamalarında geniş bir kullanım potansiyeline sahiptir.

Elde edilen bulgular doğrultusunda sistemin geliştirilmesine yönelik öneriler sunulmuştur. Daha güçlü servo motorların entegrasyonu ile robot kolun yük taşıma kapasitesi artırılabilir ve sanayi ortamlarında daha işlevsel hale getirilebilir. Yapay zekâ ve makine öğrenimi algoritmalarının eklenmesiyle, sistemin nesne tanıma ve otonom hareket kabiliyeti geliştirilebilir. Ayrıca, Firebase dışında farklı IoT platformlarının entegrasyonu, sistemin daha esnek ve özelleştirilebilir bir yapıya kavuşmasını sağlayabilir. Enerji verimliliğini artırmaya yönelik gelişmiş enerji yönetim algoritmalarının kullanımı ise uzun vadeli operasyonlarda sistemin sürdürülebilirliğini destekleyecektir.

Çalışma kapsamında geliştirilen sistem, servo motorların hassas hareket kabiliyeti ve hızlı yanıt verme özelliği sayesinde çeşitli uygulamalarda etkili çözümler sunmuştur. Gerçek zamanlı kontrol komutlarına %95 doğruluk oranıyla yanıt veren sistem, üretim hatlarında yüksek verimlilik sağlayabilecek bir yapıya sahiptir. IoT altyapısı sayesinde veri iletiminde 200 ms gibi düşük gecikme süreleriyle bağlantı stabilitesini korumuş ve karanlık fabrika uygulamaları için güvenilir bir model olarak öne çıkmıştır. ESP32'nin düşük enerji tüketimi, sistemin uzun süreli operasyonlarda enerji verimliliğini artırarak maliyet avantajı sunmasını sağlamıştır. Harici enerji

kaynaklarının entegrasyonu, servo motorların performansını optimize ederek sistemin genel işleyişine katkıda bulunmuştur.

Kullanıcı deneyimi açısından değerlendirildiğinde, Firebase platformunun sunduğu kullanıcı dostu arayüz sayesinde sistem kolay bir kullanım sağlamış ve kullanıcı deneyimini önemli ölçüde iyileştirmiştir. Bu özellikler, sistemin hem bireysel hem de endüstriyel kullanıcılara hitap edebileceğini göstermektedir. Ancak sistemin bağlantı stabilitesi ve yük kapasitesi gibi alanlarda iyileştirme gerekliliği tespit edilmiştir.

Araştırma bulguları, IoT tabanlı robotik sistemlerin Endüstri 4.0 ve akıllı şehir çözümleri için büyük bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Akıllı şehir konseptleri kapsamında enerji yönetimi ve altyapı optimizasyonu gibi alanlarda bu tür sistemlerin uygulanabilirliği gelecekte daha da önem kazanacaktır.

Gelecekte yapılacak çalışmalar için önerilen geliştirmeler arasında daha güçlü donanımların kullanılması yer almaktadır. Wi-Fi ve Bluetooth entegrasyonuna sahip gelişmiş mikrodenetleyiciler, veri iletim kapasitesini ve işlem gücünü artırarak sistemin daha geniş kapsamlı uygulamalara uyum sağlamasını mümkün kılacaktır. Daha güçlü servo motorların entegrasyonu ile robot kolun yük taşıma kapasitesi artırılabilir ve sanayi ortamlarında daha geniş bir yelpazede kullanım sağlanabilir. Yapay zekâ ve makine öğrenimi algoritmalarının eklenmesiyle sistemin nesne tanıma, hareket optimizasyonu ve otonom kontrol gibi görevleri yerine getirebilmesi sağlanabilir. Bu tür teknolojiler, karanlık fabrikalarda daha akıllı ve verimli süreçlerin oluşturulmasına katkı sağlayacaktır.

Görsel algılama teknolojilerinin entegrasyonu, sistemin yeteneklerini artırarak nesne algılama ve konum belirleme gibi daha karmaşık uygulamaların gerçekleştirilmesine olanak tanıyacaktır. Kamera modülleriyle donatılan sistem, hem akıllı şehir altyapılarında hem de endüstriyel ortamlarda katma değer yaratabilecektir. Alternatif IoT platformlarının (Node-RED, ThingsBoard, ThingSpeak gibi) entegrasyonu, sistemin esnekliğini artırarak kullanıcı tercihlerine göre daha özelleştirilebilir bir yapı sunabilir. Ayrıca, sistemin endüstriyel koşullarda dayanıklılığının test edilmesi ve bu bağlamda optimizasyon çalışmalarının yapılması, uzun vadeli kullanım açısından önemli katkılar sağlayacaktır.

Sistem, kullanıcıların internet bağlantısı aracılığıyla dünyanın herhangi bir noktasından servo motorları kontrol edebilmesine olanak tanımakta ve bulut tabanlı uzaktan erişim imkânı sağlamaktadır. Bu model, özellikle Endüstri 4.0 kapsamında

önem kazanan karanlık fabrika gibi otomasyon sistemleri için ölçeklenebilir bir çözüm sunmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma, Endüstri 4.0 çerçevesinde IoT tabanlı robotik sistemlerin kullanımına yönelik bir model ortaya koymuştur. Geliştirilen sistem, akıllı üretim ve sanayi uygulamalarında kullanılabilecek potansiyele sahip olup, önerilen geliştirmelerin uygulanmasıyla daha geniş ölçekli ve verimli bir otomasyon çözümüne dönüşebilecektir. Sistemin akademik ve endüstriyel uygulamalardaki kullanılabilirliği gösterilmiş ve test sonuçlarının sonraki geliştirme süreçlerine katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.



KAYNAKÇA

- [1] Yıldız Tonga, M., & Tonga, M. (2022). Endüstri 4.0'a Genel Bir Bakış: Sanayinin Geleceği. G.Ü. İslahiye İİBF Uluslararası E-Dergi, 6(6), 40-60.
- [2] Kaygın, E., Zengin, Y., & Topçuoğlu, E. (2019). Endüstri 4.0'a Akademik Bakış. Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 33(4), 1065-1081.
- [3] Yazıcı, A. (2016). Endüstri 4.0 ve otonom robotlar. Elektrik Mühendisliği Odası Aralık Sayı 459.
- [4] Fırat, O. Z., & Fırat, S. Ü. (2017). Endüstri 4.0 yolculuğunda trendler ve robotlar. İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi, 46(2), 211-223.
- [5] Özdemir, Ş., Erkollar, A., & Oberer, B. (2018). Transformation of the machines from learner to decision maker: Industry 4.0 and big data. Mugla Journal of Science and Technology, 4(2), 219-223.
<https://doi.org/10.22531/muglajsci.463474>
- [6] Sezer, S. Mobil uygulama kullanılarak uzaktan kontrol ve robotik. *Yüksek Lisans Tezi*, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Akıllı Sistemler Mühendisliği Anabilim Dalı, Samsun, 2019.
- [7] Çengelci, B., & Kuzu, E. (2014). *Kablosuz kontrol edilebilen mobil araştırma ve müdahale robotu*. ISITES2014, ss.1829-1835, Karabük – Türkiye.
- [8] Şekkeli, Z. H. ve Bakan, İ. (2018). Akıllı Fabrikalar. Journal of Life Economics, 5(4), 203-220. DOI: 10.15637/jlecon.270
- [9] Aydın, M. Altı serbestlik derecesine sahip bir robot kolunun ses ile kontrolü *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar ve Kontrol Eğitimi Programı, İstanbul, 2012.
- [10] Yüzgeç, U., Büyüktepe, H. E., & Karakuzu, C. (2017). Kablosuz Eldiven Sistemi ile Kontrol Edilen Robot Kol Tasarımı. Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi, 9(2), 35-42.
- [11] Aktaş, M., Polat, F., & Oflezer, M. (2018). Bluetooth ve Wi-Fi kontrollü mobil robot tasarımı ve uygulaması. İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 7(3), 30-35.
- [12] Karacı, A., & Erdemir, M. (2017). *Arduino ve Wi-Fi temelli çok sensörlü robot tasarımı ve denetimi*. Bilişim Teknolojileri Dergisi, 10(4), 436-441.
<https://doi.org/10.17671/gazibtd.307271>

- [13] Çelebi, A., Korkmaz, A., Yılmaz, T., & Tosun, H. (2019). *3 boyutlu yazıcı ile 6 eksenli robot kol tasarım ve imalatı*. International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry, 3(3), 269-278.
- [14] Ercan, T., & Kutay, M. (2016). Endüstride nesnelerin interneti (IoT) uygulamaları. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16(035102), 599-607. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2279489>
- [15] Süzen, A. A., Ceylan, O., Çetin, A., & Ulusoy, A. (2017). *Arduino kontrollü çizim robotu*. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Özel Sayı 1, 79-87.
- [16] Çirkin, E., & Özdağoğlu, A. (2021). Endüstri 4.0 Bünyesindeki Otonom Robotların Sürdürülebilirlik Perspektifleri Açısından Değerlendirilmesi. Erciyes Akademi, 35(4), 1534-1553. <https://doi.org/10.48070/erciyesakademi.997049>
- [17] Miśkiewicz, M., Daszkiewicz, K., Lachowicz, J., Tysiac, P., Jaskula, P., & Wilde, K. (2021). Nondestructive methods complemented by FEM calculations in diagnostics of cracks in bridge approach pavement. *Automation in Construction*, 128, 103753. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103753>
- [18] Gururajapathy, S. S., Mokhlis, H., & Illias, H. A. (2017). Fault location and detection techniques in power distribution systems with distributed generation: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 949-958. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.021>
- [19] Yoo, W., Mayberry, R., Bae, S., et al. (2014) A Study of Effects of Multicollinearity in the Multivariable Analysis. *International Journal of Applied Science and Technology*, 4, 9-19.
- [20] Emejeamara, F. C., & Tomlin, A. S. (2020). A method for estimating the potential power available to building mounted wind turbines within turbulent urban air flows. *Renewable Energy*, 153, 787-800. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.01.123>
- [21] Mocanu, E., Nguyen, PH, Gibescu, M. ve Kling, WL (2016) Bina Enerji Tüketimini Tahmin Etmek İçin Derin Öğrenme. *Sürdürülebilir Enerji, Şebekeler ve Ağlar*, 6, 91-99. <https://doi.org/10.1016/j.segan.2016.02.005>

- [22] Wamba, S. F., Akter, S., Edwards, A., Chopin, G., & Gnanzou, D. (2015). How ‘Big Data’ Can Make Big Impact: Findings from a Systematic Review and a Longitudinal Case Study. *International Journal of Production Economics*, 165, 234-246.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.12.031>
- [23] Del Vecchio, P., Di Minin, A., Petruzzelli, A. M., Panniello, U., & Pirri, S. (2018). Big data for open innovation in SMEs and large corporations: Trends, opportunities, and challenges. *Creativity and Innovation Management*, 27(1), 6–22
- [24] Gungor, V. C., Sahin, D., Kocak, T., Ergut, S., Buccella, C., Cecati, C., & Hancke, G. P. (2011). Smart grid technologies: Communication technologies and standards. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 7(4), 529-539.
<https://doi.org/10.1109/TII.2011.2166794>
- [25] Yüzgeç, U., Büyüktepe, H. E., & Karakuzu, C. (2016). *Uzaktan kontrol edilebilen robot kol tasarımı ve gerçekleştirilmesi*. *International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)*, 457-460.
- [26] <https://www.akillisehirler.gov.tr/akilli-sehir-nedir/> (Erişim tarihi: 29.10.2022)
- [27] Medium “Akıllı şehir (smart city) vizyona doğru...”. (Erişim tarihi: 23.11.2022).
<https://medium.com/@ergisenersocial/ak%C4%B1ll%C4%B1-%C5%9Fehir-smart-city-vizyonuna-do%C4%9Fru-5d2cc3a77e9c>
- [28] 2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı (2019). T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
<https://www.akillisehirler.gov.tr/wp-content/uploads/EylemPlani.pdf>
- [29] Detaysoft “nesnelerin interneti”. (Erişim tarihi: 24.11.2023).
<https://detaysoft.com/tr-TR/nesnelerin-interneti-pg-67>
- [30] Kayapınar, E., Benli, B., ve Gezer, M. (2017). Akıllı Şehirler ve Uygulama Örnekleri, Dosya: Akıllı Şehirler, İTÜ Vakfı Yayını, Temmuz-Eylül 2017, 7-8.
- [31] Uni-yaz “FlexCity ile Akıllı Şehir Uygulamaları”. (Erişim tarihi: 25.11.2022).
<https://www.uni-yaz.com/projects/flexcity-ile-akilli-sehir-uygulamalari/>

- [32] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2019). Akıllı Şehirler Beyaz Bülteni, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü.
- [33] Schaffers, H., Komninos, N., Pallot, M., Trousse, B., Nilsson, M., and Oliveira, A. (2011). Smart cities and the future internet: Towards cooperation frameworks for open innovation, Future Internet Assembly, LNCS 6656, pp. 431-446.
- [34] Paker, N. ve Koçtaş Çotur, Ö. (2022). Akıllı Şehir Uygulamalarına Yönelik Kullanıcı Tutumunun Teknoloji Kabul Modeli Aracılığıyla Analizi. Doğuş Üniversitesi Dergisi. Sayı: 23. pp. 165-180.
DOI: 10.31671/doujournal.957177
- [35] Örselli, E. ve Akbay, C. (2019). Teknoloji ve Kent Yaşamında Dönüşüm: Akıllı Kentler*. Uluslararası Yönetim Akademisi Dergisi. 2(1). pp. 228-241.
DOI: <https://doi.org/10.33712/mana.544549>
- [36] Cömertler, S. & Cömertler, N. (2021). Akıllı Kentlerde Çevresel, Sosyal ve Ekonomik Sürdürülebilirlik, Kopenhag Örneği. Journal of Architectural Sciences and Applications, 6 (1), 317-333. DOI: 10.30785/mbud.780116
- [37] Elvan, L., Akıllı Şehirler: Lüks Değil İhtiyaç, Dosya: Akıllı Şehirler, İTÜ Vakfı Yayını, Temmuz-Eylül 2017, pp. 6-9
- [38] Gül, A. ve Atak Çobanoğlu, Ş. (2017), Avrupa’da Akıllı Kent Uygulamalarının Değerlendirilmesi ve Çanakkale’nin Akıllı Kente Dönüşümünün Analizi, SDÜ İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Kayfor15 Özel Sayısı, pp.1543-1565.
- [39] Çerçi, İ. Nejat (2015), “Akıllı kentler, Bir İhtiyaç ve Geleceğe Dönük Bir Yaşam Modelidir”, Bilişim Dergisi, S.172, ss.196-201.
- [40] Çelik, K., Güleriyüz, S. ve Özköse, H. (2018). “4. Endüstri Devrimine Kuramsal Bakış”, Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, 5(9): 86-95.
- [41] Endüstri40 “Endüstri tarihine kısa bir yolculuk”. (Erişim tarihi:29.12.2023). <https://www.endustri40.com/endustri-tarihine-kisa-bir-yolculuk/>
- [42] Kırmızıgül, E. (2008). Buhar Gücü İcadının Küreselleşmeye Etkileri. Buhar Gücü İcadının Küreselleşmeye Etkileri.
- [43] Alçın, Sinan, 2016. Üretim İçin Yeni Bir İzlek: Sanayi 4.0. Journal of Life Economics, 3(8): 23-23.

- [44] Tecim, V. “Endüstri 4.0”. (Erişim tarihi: 05.01.2025).
https://vahaptecim.com.tr/?page_id=169
- [45] Eldem, Mehmet Oktay, (2017), “Endüstri 4.0”, TMMOB EMO Ankara şubesi Haber Bülteni 2017/3. (Erişim Tarihi: 05.10.2025)
http://www.emo.org.tr/ekler/09287020c96f18a_ek.pdf?dergi=1111
- [46] Şen, Burak. Endüstri 4.0’ın yapısı “Endüstri 4.0 bileşenleri nelerdir?” (Erişim tarihi:13.01.2025).
<https://www.buraksen.com/endustri-40-temel-bilesenleri/>
- [47] Oral, O. & Çakır, M. (2017). Nesnelerin İnterneti Kavramı ve Örnek Bir Prototipin Oluşturulması. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Özel Sayı 1 (2017), 172-177.
- [48] Mühendis Beyinler (2021). “Nesnelerin interneti (IoT) nedir?” (Erişim tarihi: 05.10.2025).
<https://www.muhendisbeyinler.net/nesnelerin-interneti-iot-nedir/>
- [49] Gökrem, L., Bozuklu, M. "Nesnelerin İnterneti: Yapılan Çalışmalar ve Ülkemizdeki Mevcut Durum". Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi (2016): 47-68.
- [50] Sayar, Soner Dijitalleşme ile Yeni Oluşan Kavramlar: Endüstri 4.0, IoT ve Blockchain Uygulamaları, ss. 45, Yüksek Lisans Tezi, Maltepe Üniversitesi, İstanbul, 2019.
- [51] Endüstri4.0 “Endüstri 4.0 ile Katmanlı Üretim”. (Erişim tarihi: 07.11.2024).
<https://www.endustri40.com/endustri-4-0-ile-katmanli-uretim/>
- [52] Endüstri 4.0 “Artırılmış Gerçeklik Kullanan 7 Marka” (Erişim tarihi:07.11.2024).
<https://www.endustri40.com/artirilmis-gerceklik-kullanan-7-marka/>
- [53] Kodlama Merkezi “Bulut Bilişim Temelleri”. (Erişim tarihi:10.11.2023).
<https://www.kodlamamerkezi.com/internet/bulut-bilisimin-temelleri/>
- [54] Ayan, Büşra Teknolojik ve Sosyo-Mekansal Dönüşüm: Türkiye’de Akıllı Fabrikalar (Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, 2020; 33)
- [55] Gsl “Akıllı fabrikalarda siber güvenlik”. (Erişim tarihi:09.11.2023)
<https://www.gsl.com.tr/ak305ll305-fabrikalara-enduumlstri-40-ccediloumlzuumlmleri.html>

- [56] Özgün ünlü “Büyük veri nedir?”. (Erişim tarihi:22.12.2024).
<https://ozgununlu.com/blog-detay/buyuk-veri-nedir-big-data>
- [57] magg4 “Endüstri 4.0 nedir?”. (Erişim tarihi:15.11.2024).
<https://magg4.com/endustri-4-0-nedir/>
- [58] Abmar otomasyon “Endüstri 4.0 yatay ve dikey entegrasyon”.
(Erişim tarihi: 15.11.2024).
<https://abmarketotomasyon.com/endustri-4-0da-yatay-ve-dikey-entegrasyon/>
- [59] Oral, M. “2019. Karanlık Fabrikalara Giden Yolda Otomasyon Adımları. Mühendis ve Makina Güncel, Mart 2021;38, 42-43.
- [60] Sanayinin Dijital Dönüşümü. (2019). Yapay Zekâ (Artificial Intelligence) Nedir? (Erişim Tarihi: 28.10.2024).
<https://www.sanayinindijitaldonusumu.com/yapay-zeka-artificial-intelligence-nedir/>
- [61] Türkiye Yapay Zeka İnisiyatifi. (n.d.). Yapay zeka, enerji sektöründe dijitalleşmeyi ve inovasyonu hızlandırıyor. (Erişim Tarihi: 22.10.2024).
<https://turkiye.ai/yapay-zeka-enerji-sektorunde-dijitallesmeyi-ve-inovasyonu-hizlandiriyor/>
- [62] Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ). (2024). Türkiye elektrik üretim-iletim istatistikleri. (Erişim Tarihi: 18.11.2024)
<https://www.teias.gov.tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri>
- [63] Moderna Bilişim. (2021, 2 Mart). Endüstri 4.0 ile makinelerde erken arıza tespiti ve kestirimci bakım. Moderna Bilişim Blog. (Erişim Tarihi: 10.10.2024)
<https://www.modernabilisim.com/post/endustri4-0-ile-akinalarda-erken-ariza-tespiti>
- [64] Datascienceart “Hawthorne Araştırmaları ve Karanlık Fabrikalar” (Erişim tarihi: 06.11.2024).
<https://www.datasciencearth.com/hawthorne-arastirmalari-ve-karanlik-fabrikalar/>
- [65] Turk internet,” Fanuc’tan Yakın Gelecekte Karanlık Fabrika Konseptine Uygun Yaklaşık 1 Milyon Metrekare Alan Üzerine Fabrika Yatırımı”. (Erişim tarihi:04.11.2024).

<https://turk-internet.com/fanuctan-yakin-gelecekte-karanlik-fabrika-konseptine-uygun-yaklasik-1-milyon-metrekare-alan-uzerine-fabrika-yatirimi/>

- [66] Automation Türkiye, “Endüstriyel Otomasyon ve Karanlık Fabrikalar”. (Erişim tarihi: 04.11.2024).
<http://automationturkiye.com/haber/endustriyel-otomasyon-ve-karanlik-fabrikalar.html>
- [67] Petekci, A. R. (2021). Endüstri 4.0: Fırsat mı Tehlike mi? . Bilgisayar Bilimleri ve Teknolojileri Dergisi ,2(1):7-15.
- [68] Tonbul, T. & Sarıtaş, M. (2013). Beş Eksenli Bir Edubot Robot Kolunda Ters Kinematik Hesaplamalar ve Yörünge Planlaması. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 18(1).
- [69] www.robotistan.com. (2019, 1 Kasım). ESP8266 Nedir? Arduino’nun Korkulu Rüyası. Maker Robotistan. (Erişim tarihi: 10.12.2024).
<https://maker.robotistan.com/arduinonun-korkulu-ruyasi-esp8266/>
- [70] Guangbing, B., Shizhao, L., & Hong, Z. (2017). Kinematics Simulation of 4 –DOF Manipulator, Advances in Engineering Research, Vol. 123, ss.400-408.

EK – 1. Arduino IDE Kodları

```
#include <WiFi.h>           // ESP32 için Wi-Fi kütüphanesi
#include <FirebaseESP32.h>    // ESP32 için Firebase kütüphanesi
#include <ESP32Servo.h>       // ESP32 için Servo kütüphanesi

// Wi-Fi bağlantı bilgileri
const char* ssid = "testesp";
const char* password = "testesp32";

// Firebase yapılandırması
FirebaseAuth auth;
FirebaseConfig config;
FirebaseData fbdo;

// Servo motor pinleri
#define SERVO1_PIN 13
#define SERVO2_PIN 12
#define SERVO3_PIN 14
#define SERVO4_PIN 15

// Joystick pinleri
#define JOYSTICK1_X_PIN 34
#define JOYSTICK1_Y_PIN 35
#define JOYSTICK2_X_PIN 32
#define JOYSTICK2_Y_PIN 33

// Servo motorlar
Servo servo1;
Servo servo2;
Servo servo3;
Servo servo4;

// Firebase URL ve API anahtarı
const char* firebase_host = "https://mturobotcontroller-1d7d9-default-
rtbd.firebaseio.com/";
const char* firebase_api_key = "*****";
```

```

// Kontrol modu (manuel veya otomatik)
String control_mode = "manuel";

void setup() {
  Serial.begin(115200);

  // Wi-Fi bağlantısı
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(1000);
    Serial.println("Wi-Fi bağlantısı kuruluyor...");
  }
  Serial.println("Wi-Fi bağlantısı başarılı!");

  // Firebase yapılandırma
  config.host = firebase_host;
  config.api_key = firebase_api_key;

  auth.user.email = "esp@gmail.com";
  auth.user.password = "*****";

  Firebase.begin(&config, &auth);
  Serial.println("Firebase bağlantısı başarılı!");

  servo1.attach(SERVO1_PIN);
  servo2.attach(SERVO2_PIN);
  servo3.attach(SERVO3_PIN);
  servo4.attach(SERVO4_PIN);

  servo1.write(90);
  servo2.write(90);
  servo3.write(90);
  servo4.write(90);
}

void loop() {
  // Firebase'den kontrol modunu oku

```

```

if (Firebase.getString(fbdo, "/control_mode")) {
    control_mode = fbdo.stringData();
} else {
    Serial.println("Kontrol modu okunamadı.");
    Serial.println(fbdo.errorReason());
}

if (control_mode == "manuel") {
    // Joystick değerlerini oku
    int joystick1_x = analogRead(JOYSTICK1_X_PIN);
    int joystick1_y = analogRead(JOYSTICK1_Y_PIN);
    int joystick2_x = analogRead(JOYSTICK2_X_PIN);
    int joystick2_y = analogRead(JOYSTICK2_Y_PIN);
    // Serial.print("joystick1_x,joystick1_y");
    // Serial.println(joystick1_x,joystick1_y);

    // Servo pozisyonlarını hesapla
    int servo1_pos = map(joystick1_y, 0, 1023, 0, 180);
    int servo2_pos = map(joystick1_x, 0, 1023, 0, 180);
    int servo3_pos = map(joystick2_y, 0, 1023, 0, 180);
    int servo4_pos = map(joystick2_x, 0, 1023, 0, 180);

    // Servo motorları kontrol et
    servo1.write(servo1_pos);
    servo2.write(servo2_pos);
    servo3.write(servo3_pos);
    servo4.write(servo4_pos);

    // Firebase'e servo pozisyonlarını yaz
    Firebase.setFloat(fbdo, "/robot_position/servo1", servo1_pos);
    Firebase.setFloat(fbdo, "/robot_position/servo2", servo2_pos);
    Firebase.setFloat(fbdo, "/robot_position/servo3", servo3_pos);
    Firebase.setFloat(fbdo, "/robot_position/servo4", servo4_pos);

    Serial.println("Manuel kontrol: Firebase'e pozisyonlar yazıldı.");
} else if (control_mode == "otomatik") {
    // Firebase'den servo pozisyonlarını oku

```

```

float servo1_pos, servo2_pos, servo3_pos, servo4_pos;

if (Firebase.getFloat(fbdo, "/robot_position/servo1")) {
    servo1_pos = fbdo.floatData();
    servo1.write(servo1_pos);
}
if (Firebase.getFloat(fbdo, "/robot_position/servo2")) {
    servo2_pos = fbdo.floatData();
    servo2.write(servo2_pos);
}
if (Firebase.getFloat(fbdo, "/robot_position/servo3")) {
    servo3_pos = fbdo.floatData();
    servo3.write(servo3_pos);
}
if (Firebase.getFloat(fbdo, "/robot_position/servo4")) {
    servo4_pos = fbdo.floatData();
    servo4.write(servo4_pos);
}
Serial.println("Otomatik kontrol: Firebase'den pozisyonlar okundu.");
} else {
    Serial.println("Bilinmeyen kontrol modu.");
}
delay(250);
}

```