



T.C.

MALATYA TURGUT ÖZAL ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İKİ ROBOTUN UNITY 3D ORTAMI KULLANILARAK KOLABORATİF
KONTROLÜNÜN SAĞLANMASI

NİSANUR TAŞTAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENFORMATİK ANA BİLİM DALI

OCAK 2025

ONUR SÖZÜ

Yüksek dönem projesi olarak sunduğum “Unity 3D Ortamında Kolaboratif Robot 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.

Nisanur TAŞTAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İKİ ROBOTUN UNITY 3D ORTAMI KULLANILARAK KOLABORATİF KONTROLÜNÜN SAĞLANMASI

Nisanur TAŞTAN

Malatya Turgut Özal Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enformatik Anabilim Dalı

61 + xiv sayfa

2025

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Serhat AKSUNGUR

Robot, mekanik sistemler ile ilgili kontrol ve algılama sistemleriyle algoritmalar oluşturularak çalışan mekanizmalardır. Günlük hayatımızı kolaylaştırmamıza yardımcı olan, kendilerine verilen komutları sırasına göre yerine getiren mekanizmalar topluluğudur. Robotlar aldığı komutu algılama, planlama ve eylem süreçlerinden geçirek uygulur. Uzaktan bir kumanda veya günümüzde cep telefonlarımıza indirilebilen uygulamaları sayesinde robotları uzaktan takip edebilmekteyiz. Robotlar günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte birçok alanda kullanılmaktadır. Örneğin restoranlarda, mağazalarda, hastanelerde kullanılmaktadır. Robotlar, çoğunlukla endüstri alanında kullanılmaktadır. Üretim sektöründe ağır çalışma koşulları nedeniyle işçi sağlığı ve güvenliği için endüstriyel robotlardan faydalanılmaktadır. Bu sayede üretim sürecinde minimum kayıp yaşanmaktadır. İş gücüne sağladığı faydanın yanı sıra endüstriyel robotlar fabrikalarda ağır yükleri taşıma işini de üstlenerek insana duyulan iş gücünü azaltmakta ve oluşabilecek kazaları önlemektedir. Endüstriyel robotların yerini günümüzde İşbirlikçi (Kolaboratif) robotlar almaktadır. İşbirlikçi robotlar endüstriyel uygulamalarda çevresel güvenlik önlemlerine gerek duymadan insanlar ile birlikte uyum içerisinde bunun yanı sıra insan gücünün yaptığı işleri tek başına yapabilen robotlardır. Endüstriyel anlamda Kolaboratif Robotlar montaj, paketleme taşıma, kesme, delme ve kaynak gibi insanlar için tehlikeli görünen, işçi sağlığı açısından risk oluşturan faktörleri engellemek amacıyla kullanılmaktadır. Kolaboratif robotlar mevcut iş yükünü hafifletmek amacıyla endüstride kullanılmaktadır.

Kolaboratif robotlar, kısaca Cobotlar, insan ile iş birliği içerisinde kullanılmaktadır. Özellikle ağır sanayide cobotların kullanımı gelişen teknoloji ile beraber üretim tesislerinde iş yükünün hafiflemesini, üretim hızı ve verimin artmasını, işçi sağlığı ve güvenliği açısından risk oluşturacak

durumların ortadan kalkmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte sağlık sekt6ründe cerrahi operasyon, rehabilitasyon amacıyla, inşaat sekt6ründe, kafe ve restoranlarda malzeme taşıma, paketleme, alma-bırakma gibi işlemlerde, halka açık alanlarda bilgi verme, yani insan-robot iş birliğinin olduğu her alanda kullanılabilen cobotlar, hızlı ve pratik c6z6mler sunmak için de geliştirilmeye açık mekanizmalardır. Cobotlar, yeniden programlanarak sadece bir g6revi tekrarlamakla kalmayıp birden fazla içi yapabilmektedir. Cobotlar c6şitli yazılımlar sayesinde entegrasyon işlemi yapılarak sim6le edilebilmektedir. Sim6lasyon sayesinde sanal gerçeklik ortamı kurularak robot-insan ve c6vresel fakt6rler etkileri 6ng6r6lebilmektedir.

G6n6m6zde en pop6ler oyun motoru olarak kullanılan Unity ile sanal gerçeklik ortamı kurularak c6şitli sim6lasyonlar yapılabilmektedir. Unity 3D sağladığu sim6lasyon ortamı sayesinde gerçeğe yakın sonuçlar vermesi ve c6şitli animasyon uygulamalarına sahip olması açısından robotik kontrol uygulamalarında tercih edilmektedir. Unity 3D ortamında yapılan sim6lasyonlar sayesinde saha ortamında robotların davranışı izlenebilir ve program içerisinde c6şitli algoritmalar oluşturularak robota farklı işlevler kazandırılabilir.

ANAHTAR KELİMELELER: Robot, İşbirliki (Kolaboratif) Robotlar, Cobotlar, Unity

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

COLLABORATIVE CONTROL OF TWO ROBOTS USING UNITY 3D ENVIRONMENT

Malatya Turgut Özal University
Institute of Graduate Studies
Department of Informatics

61 + xiv pages

2025

Supervisor: Asst. Prof. Serhat AKSUNGUR

Robots are mechanisms that work by creating algorithms with control and perception systems related to mechanical and mechanical systems. Robots are a collection of mechanisms that make our daily lives easier and carry out the commands given to them in the order they are given. Robots implement the commands they receive by going through perception, planning and action processes. We can monitor robots remotely using a remote control or applications that can be downloaded to our mobile phones today. Nowadays, robots are used in many areas with the development of technology. For example, it is used in restaurants, shops and hospitals. Robots are mostly used in industry. Due to heavy working conditions in the production sector, industrial robots are used for worker health and safety. In this way, minimum loss occurs during the production process. In addition to the benefits they provide to the workforce, industrial robots also undertake the task of carrying heavy loads in factories, reducing human labor and preventing possible accidents. Industrial robots are now being replaced by Collaborative robots. Collaborative robots are used in industrial applications to prevent factors that pose a risk to human health, such as transportation, packaging, assembly, cutting and welding, in industrial areas, in harmony with humans or alone, without the need for environmental safety measures, and to alleviate the workload.

Collaborative robots, briefly Cobots, are used in cooperation with humans. Especially in heavy industry, the use of cobots, along with developing technology, reduces the workload in production facilities, increases production speed and efficiency, and eliminates situations that may pose a risk to worker health and safety. In addition, cobots can be used in the health sector for surgical operations and rehabilitation purposes, in the construction industry, in operations such as material transportation, packaging, pick-up and drop-off in cafes and restaurants, and in providing information in public areas, that is, in all areas where human-robot cooperation occurs, to provide fast and practical solutions. They

are mechanisms open to development. Cobots can not only repeat a task but also perform multiple tasks by reprogramming. Cobots can be simulated by integration with various software. Thanks to simulation, the effects of robot-human and environmental factors can be predicted by establishing a virtual reality environment.

Various simulations can be made by establishing a virtual reality environment with Unity, which is used as the most popular game engine today. Unity 3D is preferred in robotic control applications because it provides realistic results and has various animation applications thanks to the simulation environment it provides. Thanks to simulations made in the Unity 3D environment, the behavior of robots in the field environment can be monitored and different functions can be provided to the robot by creating various algorithms within the program.

KEYWORDS: Robot, Collaborative Robots, Cobots, Unity



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince sabırla ve ilgiyle bana yol gösteren, bilgi ve deneyimleriyle akademik gelişimime büyük katkı sağlayan, her aşamada desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Dr. Öğretim Üyesi Serhat AKSUNGUR'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Kendisi, bilgi birikimi ve yönlendirmeleriyle tezimin şekillenmesine büyük katkıda bulunmuş, araştırma sürecim boyunca bana rehberlik ederek bilimsel düşünme yetimi geliştirmeme yardımcı olmuştur.

Bu süreçte, her zaman yanımda olan, maddi ve manevi destekleriyle bana güç veren, sabırları ve sevgileriyle her anımda yanımda hissettiğim kıymetli aileme sonsuz teşekkür ederim. Onların varlığı, bu yolculukta en büyük motivasyon kaynağım olmuş, karşılaştığım her zorlukta bana güç vermiştir.

Ayrıca, eğitim hayatım boyunca bana destek olan tüm hocalarıma, arkadaşlarıma ve akademik gelişimime katkı sağlayan herkese teşekkür ederim.

Bu çalışmanın bilim dünyasına faydalı olmasını diler, emeği geçen herkese minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Nisanur TAŞTAN

İÇİNDEKİLER

ONAY SAYFASI	ii
ONUR SÖZÜ	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Isaac Asimov'un Üç Robot Yasası.....	2
1.2. Robotların Avantaj ve Dezavantajları	3
1.3. Robotların Bileşenleri.....	4
1.3.1. Yapısal Bileşenler	4
1.3.2. Bağlantı Bileşenleri.....	5
1.3.3. Mekanik Parçalar	6
1.4. Robotların Tahrik Sistemleri	6
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	8
3. ROBOT TÜRLERİ VE ENDÜSTRİYEL ROBOT KAVRAMI	13
3.1. Uygulama Alanlarına Göre Robotlar	13
3.2. Hareket Mekaniğine Göre Robotlar	14
3.3. Robotlarda Serbestlik Derecesi ve Mekanik Sistemlerdeki Önemi	19
3.4. Endüstriyel Robot Kavramı.....	19
3.4.1. Endüstriyel Robotların Tarihsel Gelişimi	20
3.4.2. Endüstriyel Robotların Çalışma Prensipleri.....	21
3.4.3. Endüstriyel Robotlara Olan Talebi Artıran Unsurlar.....	21
3.5. Endüstriyel Robot Türleri.....	22
3.5.1. Seri Robotlar	22
3.5.2. Paralel Robotlar.....	25
3.6. Seri ve Paralel Robotların Karşılaştırılması	25
4. İŞBİRLİKÇİ ROBOTLAR.....	28
4.1. İşbirlikçi Robotlar.....	28
4.2. Endüstride İşbirlikçi Robotların Kullanıldığı Alanlar.....	29
4.3. İşbirlikçi Robotların Özellikleri	32
4.3.1. İşbirlikçi Robotların Diğer Kullanım Alanları	32
4.3.2. İnsansız Robot Teknolojisinin Tarihsel Gelişimi	33
5. SİMÜLASYON ve OYUN MOTORU	35

6. UNITY	36
6.1. Unity Oyun Motoru ve Diğer Oyun Motorları	38
6.2. Nvidia Physx Fizik Motoru	39
7. ARAŞTIRMA VE BULGULAR.....	40
7.1. Denavit – Hartenberg Yöntemi	40
7.2. Denavit–Hartenberg Parametreleri.....	40
7.3. Denavit–Hartenberg Dönüşüm Matrisi	40
7.4. Denavit–Hartenberg Yönteminin Kullanımı	41
7.5. Robota Ait Homojen Transformasyon Matrisleri.....	43
8. SONUÇ.....	48
KAYNAKÇA.....	49
EKLER.....	54



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. İnsan ve Robot Arasındaki Benzer Uzunluklar [8].....	4
Şekil 1.2. Şase Örnekleri [7]	4
Şekil 1.3. Mekanik Kol ve Aktüatör Örnekleri [7]	5
Şekil 1.4. Çeşitli Montaj Bileşenleri [7]	6
Şekil 2.1. SolidWorks 3B Modeli [12].....	9
Şekil 2.2. Parçacık simülasyon Uygulaması (Unity 3D) [12].....	10
Şekil 2.3. Robot Modeli [13].....	11
Şekil 2.4. Unity3D Ortamında Oyun Nesneleri[13].....	11
Şekil 3.1. Endüstriyel Robotlar[23]	13
Şekil 3.2. Cerrahi Robotlar [23].....	13
Şekil 3.3. Servis Robotları [23].....	14
Şekil 3.4. Uzay Robotları [23]	14
Şekil 3.5. Sabit Robotlar[23].....	15
Şekil 3.6. Ayaklı Robotlar [23].....	15
Şekil 3.7. Yumuşak Elastik Robotlar [23]	16
Şekil 3.8 . Mobil Küresel Robotlar [23].....	16
Şekil 3.9 . Hibrid Robotlar [23]	17
Şekil 3.10 .Sürü Robotları [23]	17
Şekil 3.11. Modüler Robotlar [23]	18
Şekil 3.12. Mikro Robotlar [23].....	18
Şekil 3.13. Beam Robotlar [23].....	18
Şekil 3.14. Endüstriyel Robotların Kullanım Oranları [27].....	20
Şekil 3.15. Endüstriyel robot tahrik motorlarının çalışma prensibi [29].....	21
Şekil 3.16. Robot Kol Örneği [33].....	23
Şekil 3.17. Kartezyen Robot [34].....	23
Şekil 3.18. SCARA Robot [34].....	24
Şekil 3.19. Polar Robot [35].....	24
Şekil 3.20. Silindirik Robot[36]	25
Şekil 3.21. Delta Robot[37]	25
Şekil 4.1. Otomotiv Endüstrisinde İşbirlikçi Robotlar[42]	29
Şekil 4.2. Gıda ve İçecek Endüstrisinde İşbirlikçi Robotlar[43]	30
Şekil 4.3.Cerrahide İşbirlikçi Robot [44].....	30
Şekil 4.4. Lojistik ve Depolama Alanında İşbirlikçi Robotlar [45].....	31
Şekil 4.5. Metal İşlemede İşbirlikçi Robotlar [46].....	31

Şekil 5.1. Simülasyon Programı Örneği [49]	35
Şekil 7.1. Robotun Ön Görünüşü [54]	41
Şekil 7.2. Robota Ait Şematik Görünüş [55]	42
Şekil 7.3. Unity Ana Ekranı ve İşbirlikçi Robotlar (1)	45
Şekil 7.4. İşbirlikçi Robotlar (2)	45
Şekil 7.5. İşbirlikçi Robotlar (3)	46
Şekil 7.6. İşbirlikçi Robotlar (4)	46
Şekil 7.7. İşbirlikçi Robotlar (5)	47
Şekil 7.8. İşbirlikçi Robotlar (6)	47



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 7.1. Robota ait Denavit-Hartenberg Parametreleri	42
--	----



SİMGELER DİZİNİ

α	: Alfa
$^{\circ}\text{C}$: Santigrat derece
cm^2	: Santimetrekare
ppm	: Milyonda bir birim
μm	: Mikrometre
mm	: Milimetre
gr	: Gram
kg	: Kilogram
%	: Yüzde
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu



1. GİRİŞ

Robotlar, belirli görevleri yerine getirmek üzere tasarlanmış elektro-mekanik cihazlardır. Temel olarak, bir robotun otonom ya da önceden programlanmış bir yapıya sahip olması beklenir. Güncel tanımlara göre robotlar, elektronik ve mekanik bileşenlerin bir araya gelmesiyle oluşan, çevrelerinden bilgi alıp bu bilgiyi işleyebilen ve belirli bir amaca yönelik eylemleri gerçekleştirebilen programlanabilir sistemlerdir.

Robotlar, yalnızca basit komutları yerine getiren cihazlar olmanın ötesine geçerek, yapay zekâ entegrasyonu sayesinde karmaşık kararlar alabilme ve çevresel koşullara uyum sağlama yeteneği kazanmıştır. Örneğin, sensörler aracılığıyla çevreyi algılama, öğrenme algoritmaları sayesinde yeni durumlara uyum sağlama ve manipülatörlerle fiziksel etkileşim kurma gibi özellikler, modern robotların vazgeçilmez unsurlarıdır.

Bir başka bakış açısıyla robotlar, canlıların hareketlerini ve davranışlarını taklit edebilen, mühendislik, yapay zekâ, bilgisayar bilimi, elektronik ve mekanik disiplinlerinin birleşimiyle ortaya çıkan teknolojik ürünlerdir. Endüstri, sağlık, tarım, savunma ve uzay araştırmaları gibi birçok alanda kullanılan robotlar, genellikle ya bir operatör tarafından kontrol edilir ya da tamamen bağımsız bir şekilde, kendi algoritmalarına dayanarak çalışabilirler.

Sonuç olarak, robotlar yalnızca geçmişteki komutları uygulayan makineler değil, aynı zamanda öğrenebilen, çevresel değişikliklere adapte olabilen ve insan yaşamını kolaylaştırmayı hedefleyen akıllı sistemlerdir. Bu teknolojik dönüşüm, robotların insan-robot etkileşiminde daha etkin bir rol oynamasına olanak sağlamaktadır [1].

Bir makinenin robot olarak tanımlanabilmesi için dört ana unsura sahip olması gerekmektedir. Bunlar verilerin algılanabilmesi için sensörler, algılanan verilerin kontrol edilmesi için devreler, verilen komutu yerine getirebilmesi için yazılımsal donanım ve sahip olduğunu yazılımsal donanıma göre yapacağı hareketleri gerçekleştirebilmesi için mekanik uzuvlarını da içeren bir mekanik düzeneğe ihtiyaç vardır.

İlk olarak 1920 yılında Karel Čapek'in R.U.R. – Rossum's Universal Robots adlı yapıtında adı geçen robot sözcüğü sonrasında dünya genelinde kullanılmaya başlamıştır. Robot sözcüğü Çek dilindeki hizmet eden sözcüğü anlamına gelen

“robota” dan türetilmiş olup yaygın olarak kullanılmıştır. Karel Čapek’in R.U.R. adlı tiyatro oyununda mekanik ve otonom, ama insan gibi duyguları bulunmayan varlıklar olarak nitelendirilen robot, sonrasında birden fazla bilim kurgu romanında konusu geçmiştir. Isaac Asimov’un meşhur robot serisiyle teknolojik yönden doğru bir robot kavramı oluşturur ve robotların asıl amaçlarının insanlığa hizmet etmek için var olduğunu, robotun kendi hedeflerini insanların hedeflerine asla tercih etmeyeceğini kendi oluşturduğu 3 Robot Yasası’yla belirler. Robot yasaları günümüzde insanlar ile robotlar arasındaki hukuksal ve ahlaksal ilişkinin temelini oluşturmaktadır [2].

1.1. Isaac Asimov’un Üç Robot Yasası

- Robotlar, hiçbir koşulda insanlara zarar veremez ya da bir insanın zarar görmesine izin vermez.
- Birinci yasayla çelişmediği sürece robotlar, insanlara itaat etmek zorundadır.
- İlk iki yasa çerçevesinde kalmak kaydıyla robotlar, kendi varlıklarını korumalıdır [3].

Asimov, bu yasaları oluşturduğu dönemde yapay zekâ kavramı henüz ortaya çıkmamıştı. Ancak bu yasalar, robotların sadece birer makine olduğu ve insanlara zarar verme potansiyeline sahip olmadıkları fikrini desteklemektedir [4].

Zamanla Asimov, ortaya koyduğu kuralların eksik yönlerini tespit ederek hikâyeleri üzerinde çalışmaya devam etmiştir. Bu süreçte, birinci yasa üzerinde değişiklik yapma gereği duymuş ve yeni bir boyut ekleyerek “Sıfırıncı Yasa”yı geliştirmiştir. Böylece Robotiğin Üç Yasası, dört yasa haline gelmiştir.

- 0.Yasa: Robotlar, insanlığa hiçbir koşulda zarar veremez ve insanlığın zarar görmesine izin veremez.
- 1.Yasa: Sıfırıncı yasayla çelişmedikçe, robotlar herhangi bir insana zarar veremez veya zarar görmesine imkan vermez.
- 2.Yasa: İlk iki yasa çerçevesinde, robotlar insanlara itaat etmek zorundadır.
- 3.Yasa: Üst kurallara uyum sağlamak şartıyla robotlar, kendi varlıklarını korumalıdır[5].

Yasaların bu son hali, bilim ve teknoloji alanında yeni fikirlerin doğmasına ve mevcut yaklaşımların dönüşmesine zemin hazırlamıştır. Özellikle yapay zekâ çalışmalarında yeni bakış açıları geliştirilmesine katkı sağlamıştır [4].

1.2. Robotların Avantaj ve Dezavantajları

Verimlilik: Robotlar, tekrarlayıcı görevleri hızlı ve kesintisiz bir şekilde gerçekleştirebilirler. Yorgunluk veya dikkat dağınıklığı gibi insan faktörleri nedeniyle oluşabilecek hataların önüne geçmektedir.

Güvenlik: Tehlikeli veya zararlı ortamlarda çalışabilirler ve insanları potansiyel risklerden koruyabilirler. Örneğin, yangın söndürme veya nükleer santrallerdeki radyasyonlu alanlarda görev almaktadır.

Sürekli Çalışma: Robotlar, insanların çalışma saatlerine bağlı kalmadan 7/24 çalışabilirler. Bu, üretim süreçlerini verimli ve kesintisiz hale getirmektedir.

Hassasiyet: Robotlar, ince motor becerilerini kullanarak son derece hassas işlemler yapabilirler. Bu, cerrahi operasyonlardan mikroelektronik montajlara kadar birçok alanda faydalanılmaktadır.

Verimli Kaynak Kullanımı: Robotların enerji tüketimi ve atık üretimi, belirli işlemler için insanlara göre daha düşük olabilir. Bu nedenle, kaynakların daha etkin kullanılmasına yardımcı olmaktadır.

Dezavantajları

Yüksek Maliyet: Robotların tasarımı, üretimi ve bakımı pahalı olabilir. Bu, robot teknolojisinin küçük işletmeler veya düşük gelirli ülkeler için erişilebilir olmasını zorlaştırmaktadır.

İş Kaybı: Robotların yaygınlaşması bazı işlerin otomatikleştirilmesine ve insan işgücüne olan ihtiyacın azalmasına neden olabilir. Bu da bazı sektörlerde iş kaybına yol açmaktadır.

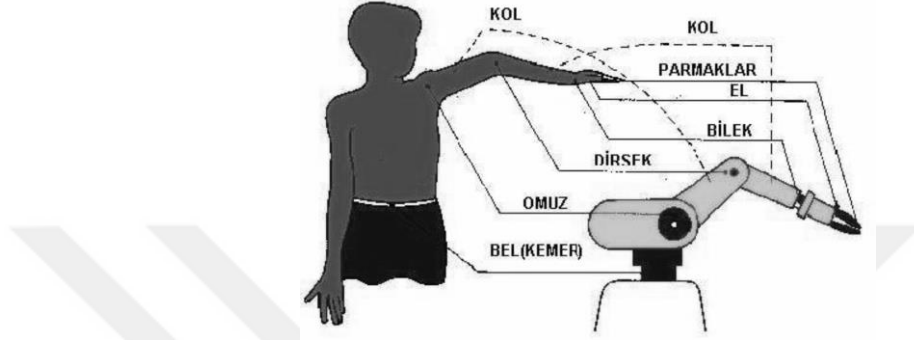
Sınırlı Yetenekler: Şu anda mevcut robotlar, insanların sahip olduğu karmaşık düşünme ve yaratıcılık becerilerine sahip değildir. Bu nedenle, bazı görevlerde insanların yerini tamamen almak zor olabilir.

Teknik Sorunlar: Robotlar, karmaşık bir teknoloji kullanılarak tasarlandıklarından, arızalar veya hatalar meydana gelebilir ve onarımları zaman almaktadır.

Etik ve Güvenlik Kaygıları: Bazı robotlar, insansı özellikler veya yapay zekâ benzeri yeteneklerle donatılabileceğinden, etik ve güvenlik sorunları ortaya çıkabilir. Özellikle askeri robotlar ve kişisel bilgileri işleyen robotlar gibi alanlarda endişeler olabilir [3].

1.3. Robotların Bileşenleri

Robotları oluşturan ana bileşenler Şekil 1.1’de görüldüğü gibi; yapısal bileşenler, bağlantı bileşenleri ve mekanik hareket bileşenleri olarak üç gruba ayrılır [7].



Şekil 1.1. İnsan ve Robot Arasındaki Benzer Uzuvlar [8]

1.3.1. Yapısal Bileşenler

Robotların temel yapısını oluşturan bileşenler, gövde ve iskelet gibi ana unsurlardan oluşur. Bu yapılar, robotun uzuvlarını destekleyen ve diğer bileşenlerin bir araya gelmesini sağlayan temel taşıyıcı sistemlerdir [7].

Şaseler, robotun temel montaj noktalarını sağlayan ve genellikle bağlantı delikleriyle donatılmış ana gövde parçalarıdır. Plastik ya da metal malzemeden üretilen bu bileşenler, robotun tasarımına bağlı olarak kare, dikdörtgen veya yuvarlak gibi çeşitli şekillerde bulunabilir (Şekil 1.2).

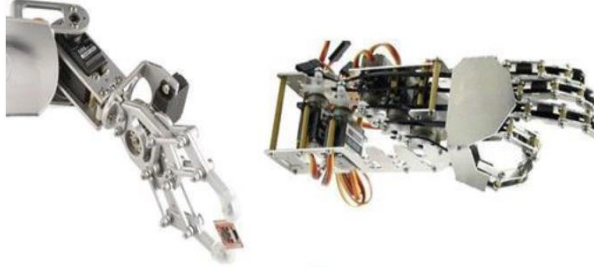


Şekil 1.2. Şase Örnekleri [7]

Aktüatörler ve mekanik kollar, robotların fiziksel hareket kabiliyetini sağlayan ve çevreleriyle doğrudan etkileşime geçmelerine olanak tanıyan sistemlerdir. Bu bileşenler, robotların nesnelere kavrayıp taşımalarını, yönlendirmelerini ve gerektiğinde manipüle etmelerini mümkün kılar [7].

Aktüatörler, robotların çevreleriyle fiziksel olarak etkileşimde bulunabilmesini sağlayan güç aktarım sistemleridir. Nesnelere kaldırmak, taşımak veya yön değiştirmek için hareket enerjisini sağlarlar. Örneğin, endüstriyel robotlar, montaj hattında parçaları yerinden kaldırıp doğru konumda tutarak üretim süreçlerine katkıda bulunur.

Mekanik kollar daha karmaşık hareketler gerçekleştirmek için birden fazla eklem ile donatılmıştır (Şekil 1.3). Bu tasarımlar, robotların daha fazla hareket özgürlüğüne sahip olmasına, hassasiyet gerektiren görevleri yerine getirmesine, hatta insansı davranışlar sergilemesine olanak tanır. Çok eklemlili mekanik kollar, cerrahi robotlarda veya uzay keşiflerinde, insan elinin yerine geçebilecek kadar ince ve detaylı işler yapabilecek kapasiteye sahiptir [7].



Şekil 1.3. Mekanik Kol ve Aktüatör Örnekleri [7]

1.3.2. Bağlantı Bileşenleri

Robotun tüm bileşenlerini bir araya getiren ve sabitleyen vida , somun, rondela ve delikli levhalar gibi elemanlar (Şekil 1.4) montaj bileşenleri olarak adlandırılır [7].

Montaj Bileşenlerinin Görevleri

- Robotun uzuvlarını ya da bileşenlerini birbirine bağlayarak yapısal bütünlük oluşturur.
- Tüm parçaların yerinde sabit kalmasını sağlayarak robotun dış etkenlere karşı dayanıklılığını artırır.
- Esnek bir yapı sunarak bileşenlerin istenildiği şekilde değiştirilmesine ya da yeniden düzenlenmesine olanak tanır [7].



Şekil 1.4. Çeşitli Montaj Bileşenleri [7]

1.3.3. Mekanik Parçalar

Mekanik parçalar, robotun istenilen yapıda oluşturulmasını ve gerekli düzeneklerin eklenmesini sağlayan, yapısal işlevlere sahip temel bileşenlerdir. Bu parçalar, çeşitli bağlantı elemanlarıyla birleştirilerek robotun sağlam bir altyapıya sahip olmasını sağlamaktadır. Mekanik bileşenlerdeki delikler sayesinde kolay ve hızlı bir montaj süreci sunar. Robotların çevreyle fiziksel etkileşim kurmasını ve hareket etmesini sağlayan bu bileşenler, hareket türüne göre farklı şekillerde tasarlanır. Paletler, tekerlekler ve ayaklar gibi bileşenler, robotun hareket kabiliyetine göre seçilir. Dönme hareketi için farklı boyutlarda ve türlerde tekerlekler ya da paletler kullanılabilir. Yürüme hareketi için ise servomotor destekli ayaklar devreye girer. Bu bileşenler, insansı robotlarda daha yaygın bir şekilde görülür [7].

Mekanik Bileşenlerin Görevleri:

- Robotun hareket etmesini sağlayarak temel işlevleri yerine getirir.
- Paletli ya da tekerlekli çeşitleri sayesinde hem iç mekan hem de dış mekan koşullarında kullanım esnekliği sunar.
- İnsansı robotlarda ayaklı bileşenler, hareket ve denge açısından daha gelişmiş bir yapı sağlar [7].

1.4. Robotların Tahrik Sistemleri

Robotların hareket edebilmesi ve belirli görevleri yerine getirebilmesi için tahrik sistemleri büyük bir öneme sahiptir. Tahrik sistemleri, robotun hareket kabiliyetini sağlayan mekanizmalardır ve genellikle elektriksel, hidrolik veya pnömatik yöntemler kullanılarak çalıştırılır. Her bir tahrik sistemi farklı avantajlara ve kullanım alanlarına sahiptir[9].

- Elektrik Tahrik Sistemleri: Elektrik motorları, robotik sistemlerde en yaygın kullanılan tahrik mekanizmalarından biridir. Bu sistemlerde genellikle doğru akım (DC) motorları, fırçasız DC motorlar (BLDC) ve adım motorları tercih edilir[9].
- Hidrolik Tahrik Sistemleri: Hidrolik tahrik sistemleri, sıvı basıncını kullanarak robotlara yüksek güç sağlar. Özellikle ağır yük taşıyan endüstriyel robotlar ve dış ortamda çalışan robotlar için uygundur [9].
- Pnömatik Tahrik Sistemleri: Pnömatik sistemler, sıkıştırılmış hava kullanarak hareket sağlar. Genellikle hızlı ve hafif robot sistemlerinde tercih edilir [9].
- Hibrit Tahrik Sistemleri: Bazı robotlar, farklı tahrik sistemlerini birleştirerek daha verimli ve esnek bir yapı oluştururlar. Örneğin, bir robot kolunda elektrik motorları ile pnömatik sistemler birlikte çalışarak daha hassas ve güçlü hareketler elde edilebilir [9].

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde bulunan işbirlikçi ve insansı robot çalışmaları araştırılmış ve incelenmiş olup bu bölümde ilgili çalışmaların bazılarında bahsedilmiştir.

İlk olarak 2005 yılının Eylül ayında satışa sunulan Enon kişisel bir asistan robottur. Enon Fujitsu Frontech Limited ve Fujitsu Laboratories Ltd. tarafından geliştirilen bu robot 60.000 ABD maliyetle üretilmiştir. Baş gövde ve kollardan oluşmaktadır. Konuşma ve tanıma özelliklerini taşıyan bu robot kendi kendine rehberlik edebilmektedir. Rehberlik yeteneğinin yanı sıra bazı nesnelere taşımak misafirleri karşılamak ve onlara eşlik etmek için de kullanılabilir [10].

1986 yılında Japonya'da engelli ve yaşlı bireylere günlük hayattaki işlerinde yardımcı olması amacıyla üretilmiş olan Asimo robotunun birden fazla sürümü bulunmaktadır. 130 cm boy yaklaşık 54 kg ağırlığında olan Asimo yürüyebilir, koşabilir insanları ses tonu ve yüzünden ayırtabilir. İnsanlar gibi dans eder, el sıkıştır ve merdivenlerden çıkabilirler. Tüm bunlara ek olarak insanlardan komut alabilir, verilen komutu yerine getirebilir [10].

Fransa'da 2004 yılında üretilen Nao yaklaşık 5 kilogram ağırlığında ve boyu yaklaşık 57 santimetredir. Daha çok eğitim sektöründe tercih edilen bu robot, farklı dillerdeki yazıları okuyabilir, dans edip şarkı söyleyebilir, nesnelere, insan yüzlerini ve seslerini ayırtabilir [10].

2005 yılında Vietnam'da geliştirilen Topio robot insanlara karşı masa tenisi oynamak üzere geliştirilmiştir. 120 kg ağırlığında ve 188 santimetre boyundaki Topio'nun farklı sürümleri de bulunmaktadır [10].

2013 yılında Japonya'da tasarlanan Kirobo, yerçekimi olmayan ortamlarda hareket etmek amacıyla tasarlanan Kirobo uzaya çıkan ilk insansı robottur. 2013 yılının ağustos ayında Uluslararası Uzay İstasyonu'na ulaşan robot 1,5 yıl orada kaldı ve astronot Koichi Wakata'ya arkadaşlık etmiştir. Bu süre zarfında Dünya'ya mesaj gönderdi ve uzayda fotoğraflar çekti. Yaklaşık 1 kilogram ağırlığında ve 34 santimetre boyundaki Kirobo Japonca konuşabilmekte ve video kaydı yapabilmektedir [10].

ABD'de 2013 yılında üretilen Atlas isimli insansı robot arama-kurtarma çalışmaları için tasarlandı. Atlas çeşitli ara kurtarma faaliyetlerini yerine getirebilir. Örneğin; merdivenlere tırmanabilir, önüne çıkan engellere takılmadan kapıları açıp binalara girebilir ayrıca yangın borularına yangın hortumu

bağlayabilir [10].

Hindistan'da 2016 yılında üretimine başlanan Rashmi 4 dil konuşabilmektedir. İnsansı özellikleri gerçekleştirebilen Rasmi mimik yapabilmektedir. Konuşurken dudakları insan gibi söylediği sözcüklerle uyumlu olarak açılıp kapanmaktadır [10].

Robotik Uygulamalar için Gerçek Zamanlı Unity3D-MatLab Simülâtörü

SolidWorks, mekanik tasarım için kullanılan bir CAD aracıdır, ancak dışa aktarma biçimleri yoktur sanal araç geliştirme tarafından desteklenmektedir. İlk aşamada, 3DS Max kullanılır [11].

SolidWorks 3B modelleme ile montajı oluşturan parçalar ve Unity3D tarafından desteklenen dosya dışa aktarılır. Unity 3D ortamına aktarılan üç boyutlu model, her parça için oluşturulan prototipler 3D'nin serbestlik dereceleri model, nesnelere için dönme ve/veya öteleme noktalarını etkinleştirir [11].

Unity3D'de Kaynak Robotu Simülasyon Sistemi Üzerine Araştırma

Çok mafsallı ve çok serbestlik dereceli endüstriyel robot, kaynak, taşlama, boyama vb. birçok alanda yaygın olarak uygulanmaktadır. Robot simülasyonu, robot araştırma alanının önemli bir parçasıdır. Endüstriyel robot simülasyon durumlarının analizi için CAD ve Unity3d tabanlı robot simülasyon sisteminin analiz modeli oluşturulmuştur [12].

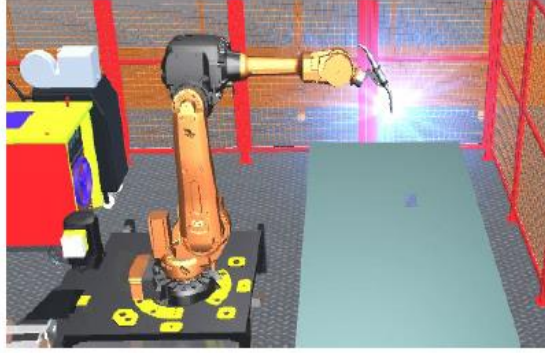
Çalışma için ABB IRB4600-60/2.05 robotu seçilmiştir (Şekil 2.1). Altı eklemin tümü döner olan altı serbestlik derecesine sahip tipik bir mafsallı robottur. Eklemlerden üçü, robotun uç efektörünün konumunu kontrol etmek için kullanılır ve diğerleri, robotun uç efektörünün yönünü kontrol etmek için kullanılır [12].



Şekil 2.1. SolidWorks 3B Modeli [12]

Kaynak Robotu simüle etmek için kıvılcımlar ve sesler gibi efektlerin simüle edilmesi gerekir (Şekil 2.2). Unity3D, kişiselleştirilmiş parçacıklar ve kullanıcıların kolayca çeşitli renkli parçacık efektleri oluşturmasına olanak tanır [12].

Duman, hava, ateş ve her türlü atmosferik etkiyi simüle etmek için Unity3D kullanılabilir [12].

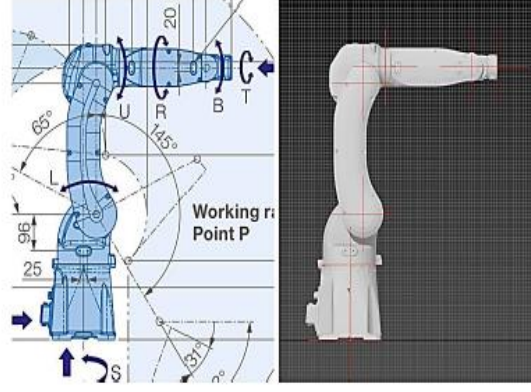


Şekil 2.2. Parçacık simülasyon Uygulaması (Unity 3D) [12]

Sanal Gerçeklik Kullanılarak Endüstriyel Robotik Hücrelerin Dijital İkiz Tabanlı Senkronize Kontrolü ve Simülasyonu

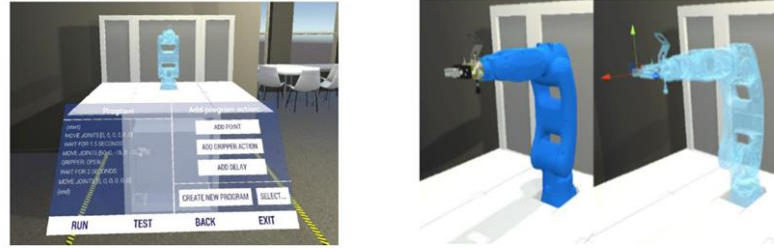
Sanal Gerçekliğin (VR) yalnızca oyun oynamak ve başka bir tür eğlence amacıyla kullanılabileceği düşünülüyordu, ancak birkaç yıldır araştırmalarda da kullanılmaktadır. Artık VR, insan faaliyetlerinin hemen her alanında kullanılabilmektedir. Örneğin, insanların gerçek projelere geçmeden önce dijital ortamda projelerini deneyebilecekleri mimaride veya tasarımda kullanılabilir. Bu sayede onlarca hatanın önüne kayıpsız geçilebilir. Ayrıca VR, okullarda ve üniversitelerde eğitim için iyi bir yardımcı olabilir [13].

Bu çalışmada deneysel araştırma gerçekleştirme için seçilen birincil yazılım aracı Unity3D oyun motorudur. Unity, programlamaya modüler bir yaklaşımla basit ama güçlü bir geliştirme ortamı sağlar ve ayrıca, piyasada bulunan tüm VR sistemleriyle entegrasyon sunar. Robot modelinin donanımı, Blender, Autodesk 3DS Max veya CAD modellerini .fbx dosya formatına dönüştürebilen diğer benzer yazılımlar kullanılarak (Şekil 2.3) yapılabilmektedir. Bu araştırma için 3DS Max kullanılmıştır [13].



Şekil 2.3. Robot Modeli [13]

Bu projede oluşturulan DigitalTwin (Şekil 2.4) sistemine güç sağlamak için C# dilinde bazı scriptler tasarlanmış ve Unity3D oyun motorunda test edilmiştir. Unity3D, Oyun Nesneleri (modeller, geometri, efektler, vb.) ve bileşenler olarak uygulanan modüler bir uygulama geliştirme yaklaşımı kullanır [13].



Şekil 2.4. Unity3D Ortamında Oyun Nesneleri[13]

Birden çok endüstriyel robotun uzaktan çalıştırılması ve koordinasyonu, günümüzün endüstriyel internet tabanlı işbirlikçi üretim sistemlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Kullanıcı dostu teleoperasyon yaklaşımı, farklı üretim alanlarındaki operatörlerin gereksiz öğrenme maliyetlerini azaltmasına ve robotu önceden sezgisel olarak kontrol etmesine olanak tanır. Robot uzaktan işletimi, kullanıcının robotu uygun bir arayüz (gamepad, klavye vb.) aracılığıyla temassız olarak uzaktan çalıştırması anlamına gelir. Kullanıcı girişinin robot eylemlerine yakın bir şekilde bağlanmasından yararlanan robot teleoperasyon kontrolü, artık robot kontrolü alanında geniş çapta incelenmektedir [13].

Dilibal ve Şahin (2018), elastik robot sistemleri ve işbirlikçi robotların değerlendirilmesini karşılaştırmalarını yapmışlardır [14].

Al (2021), mekanik bağlantı elemanları gibi objelerin MATLAB ile öğrenilmesi ve işbirlikçi robot ile fiziksel olarak sınıflandırılmasını gerçekleştirmiştir [15].

Akkoç (2008), robotlarda kullanılan algılayıcıların arızalarının tespiti için benzetim yapmıştır [16].

Altural ve ark. (2019), Serebralpalsi problemi yaşayan hastaların fizik tedavi ve rehabilitasyonu sürecinde yürümelerini simülasyon ortamında gözlemlemiş ve yürüme fonksiyonunun gerçekleşmesi için gerekli hareketin belirlenmesi üzerinde çalışmışlardır [17].

Doğan (2019), Unity uygulamasıyla 4 farklı sürecin benzetimini gerçekleştirmiş, benzetim uygulamalarının farklı program/araçlarla kullanılabilmesi için uygulama geliştirmiş, uygulamaları MATLAB Simulink kullanılarak kontrol etmiştir **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı..**

Ulusoy (2022), yaygın olarak kullanılan elektronik cihazların kullanma kılavuzlarının hazırlanmasında, elektronik bir aygıtın kullanma kılavuzunu referans olarak arttırılmış gerçeklik (AR) teknolojisi ile cihaza ait kılavuz uygulaması geliştirmiştir [19].

Coşkun ve ark. (2015), tekrar eden ve benzer parçalara sahip teleoperasyon süreçlerinin verimlerdeki düşüklük gibi problemlere çözüm üreten, operatörün gerçekleştirdiği hareketleri ve sahnede bulunan nesnelere öğrenilmesine yönelik yapay zeka tabanlı çözüm önermişlerdir [20].

Papakostas ve ark. (2011) tarafından, otomotiv Beyaz Gövde (BIW) montaj hatları hedef olarak belirlenmiş, işbirlikçi robot kullanılan montaj hatlarının tasarımında benzetim araçlarının entegrasyonunda yaşanan problemler incelenmiş, tasarım aşamasında çalışanların desteklenmesi için bir benzetim çalışması sunmuşlardır [21].

Sita ve ark. (2017), birörnek ürünlerin üretim planlama ve izlenmesinde yaşanan zorluklara vurgu yaparak kaynakların genellikle optimizasyon aşamasında kullanıldığını belirtmişlerdir ve sürecin izlenmesini, halihazırda bulunan sistemi değiştirmeden, Unity benzetim ortamında izlemeyi gerçekleştirmişlerdir [22].

3. ROBOT TÜRLERİ VE ENDÜSTRİYEL ROBOT KAVRAMI

Robotlar sabit veya hareketli olması, kullanılan uygulama alanları, hareket tipi gibi farklı ölçütlere göre sınıflandırılabilir. Her bir robot türü, belirli görevler için tasarlanmış ve geliştirilmiştir.

3.1. Uygulama Alanlarına Göre Robotlar

Endüstriyel Robotlar: Üretim tesislerinde yüksek verimlilik sağlamak amacıyla kullanılan, çok işlevli ve otomatik sistemlerdir (Şekil 3.1). Bu robotlar, montaj, malzeme taşıma ve üretim süreçlerinde yaygın olarak kullanılır. En önemli özelliklerinden biri, esnek hareket kabiliyetlerine sahip kollarıdır[23].



Şekil 3.1. Endüstriyel Robotlar[23]

Ev Robotları: Günlük ev işlerinde yardımcı olmak için geliştirilmiştir. Elektrikli süpürgeler, havuz temizleyiciler, bahçe temizleme robotları gibi cihazlar, kullanıcılara zaman kazandırmak ve ev işlerini kolaylaştırmak için tasarlanmıştır [23].

Cerrahi Robotlar: Hastaneler ve sağlık kuruluşlarında kullanılır (Şekil 3.2). Cerrahi robotlar, hasta bakımına yönelik yardımcı robotlar ve ilaç üretim robotları, tıbbî süreçlerin verimliliğini artıran önemli bileşenlerdir. Bu robotlar, hassas ve doğru işlevler gerektiren sağlık hizmetlerinde kritik rol oynar [23].



Şekil 3.2. Cerrahi Robotlar [23]

Servis Robotları: İnsanların tehlikeli, zor veya zaman alıcı işlerini yapmak için tasarlanmıştır (Şekil 3.3). Bu robotlar, genellikle tekrarlayan işler veya zorlu görevler

için kullanılır ve insanlara yardımcı olurlar [23].



Şekil 3.3. Servis Robotları [23]

Eğlence Robotları: Temel işlevsel amaçların dışında, kullanıcıları eğlendirmek için geliştirilmiş robotlardır. Genellikle oyun oynamak veya eğlenceli aktiviteler için kullanılırlar. Bu robotlar, insan etkileşimini daha eğlenceli hale getirmeyi amaçlar[23].

Uzay Robotları: Uzay araştırmaları ve keşifleri için kullanılır (Şekil 3.4). Uluslararası Uzay İstasyonu'nda, Mars keşiflerinde ve diğer uzay görevlerinde aktif olarak görev alırlar. Uzay sondaları da bu kategoriye giren önemli robotlardır [23].



Şekil 3.4. Uzay Robotları [23]

Hobi ve Yarışma Robotları: Kişisel olarak üretilen ve yarışmalar için tasarlanmış robotlardır. Eğlenceli ve yaratıcı projeler olarak, bu robotlar, yarışmalar ve hobiler için popülerdir [23].

Sanal Robotlar: Fiziksel varlıkları olmayan sanal robotlar, bilgisayar ortamlarında çalışan yazılımlardır. Gerçek bir robot simülasyonu yapabilir veya sadece belirli görevleri sanal ortamda gerçekleştirebilirler [23].

3.2. Hareket Mekanikğine Göre Robotlar

Robotlar, hareket etme şekillerine göre de farklı kategorilere ayrılabilir. Hareket mekaniği, robotların çevreleriyle etkileşimde bulunma biçimlerini belirler.

Sabit Robotlar: Belirli bir pozisyonda sabit kalan ve tekrarlayan görevleri yerine

getiren robotlardır (Şekil 3.5). Endüstriyel alanlarda, üretim hatlarında yoğun olarak kullanılırlar. Bu tür robotlar, sabit konumda kalmak üzere tasarlanmış ve çeşitli işlevleri yerine getirmek için özelleştirilmiştir [23].



Şekil 3.5. Sabit Robotlar[23]

Tekerlekli Robotlar: Hareket edebilme yeteneğine sahip mobil robotlardır. Zemin koşullarına bağlı olarak yer değiştirebilirler. Bu robotlar, genellikle büyük alanlarda kullanılır ve çevreyi dolaşarak çeşitli görevleri yerine getirebilirler [23].

Paletli Robotlar: Hareket etmek için tekerlek yerine palet kullanan robotlardır. Tekerlekli robotlarla benzer şekilde çalışsalar da paletli robotlar daha zorlu zeminlerde ve engebeli arazilerde hareket edebilme kapasitesine sahiptirler [23].

Ayaklı Robotlar: Tekerlek yerine bacaklarıyla hareket ederler (Şekil 3.6). Bu robotlar, karmaşık hareketleri gerçekleştirme yeteneğine sahiptir ve insansı özellikler taşır. Ayaklı robotlar, mobilite açısından diğer robotlara göre daha üstün ve gelişmiş bir tasarıma sahiptir [23].



Şekil 3.6. Ayaklı Robotlar [23]

Yüzen Robotlar: Suda hareket edebilen robotlar, genellikle su altı araştırmaları ve keşifleri için tasarlanmışlardır. Yüzen robotlar, balıklar gibi yüzgeçlerini kullanarak su içerisinde hareket ederler. Deniz araştırmalarında ve sualtı keşiflerinde önemli bir yer tutarlar [23].

Uçan Robotlar: Hava ile hareket eden robotlar, kanat, pervane veya balonlar ile uçabilirler. İnsansız hava araçları (İHA'lar) ve pervaneli multikopterler, bu tür

robotların örneklerindedir. Bu robotlar, yüksek hareket kabiliyetleri ile özellikle havadan gözlem yapmak ve veri toplamak için kullanılır [23].

Yılan Robotlar: Dar alanlarda ve zor ulaşılabilen yerlerde hareket etme yeteneğine sahip robotlardır. Arama ve kurtarma görevlerinde etkili bir şekilde kullanılabilirler çünkü dar alanlarda manevra kabiliyetleri oldukça yüksektir [23].

Yumuşak Elastik Robotlar: Bu robotlar, esnek yapılarıyla dikkat çekerler. Elektrik akımı ile şekil değiştirebilen organları sayesinde, daha dinamik ve esnek hareketler yapabilirler (Şekil 3.7). Özellikle hassas işlemler ve biyomimikri uygulamaları için uygundur[23].



Şekil 3.7. Yumuşak Elastik Robotlar [23]

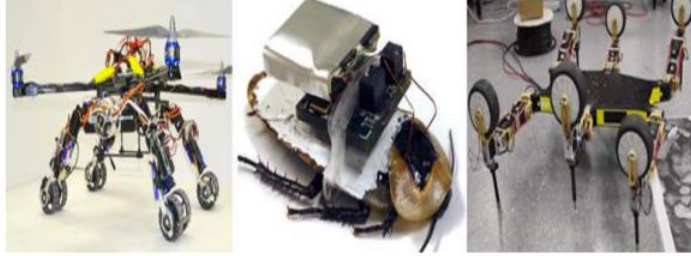
Mobil Küresel Robotlar: Top şeklinde tasarlandıkları için oldukça ilginç ve etkili bir yapıya sahiptir (Şekil 3.8). Bu robotlar, hareket ettikleri yüzeydeki zemin koşullarına karşı daha dayanıklıdır. Özellikle kar, kum gibi zorlu zeminlerde, tekerlekli robotlara kıyasla çok daha başarılı performans gösterebilirler. Ayrıca yuvarlak yapıları sayesinde düşme riski azalır ve engelleri aşma kabiliyetleri artar. Bu tür robotlar, keşif, arama-kurtarma gibi zorlu koşullarda kullanılan robotlar için uygun olabilir [23].



Şekil 3.8 . Mobil Küresel Robotlar [23]

Hibrid Robotlar: İnsanın biyolojik yapısına benzer olarak elektronik ve biyolojik elemanları birleştiren robotlardır (Şekil 3.9). Bu robotlar, biyolojik unsurların sağladığı esneklik ile elektronik elemanların sunduğu hassasiyetin birleşiminden

faydalanır. Sibernetik robotlar olarak da adlandırılabilirler, çünkü hem biyolojik hem de elektronik bileşenleri içerir. Gelecekte, hibrid robotlar, tıbbi alanlarda organ nakli, doku mühendisliği ve hatta insan benzeri robotların geliştirilmesinde önemli bir rol oynayabilir [23].



Şekil 3.9 . Hibrid Robotlar [23]

Sürü Robotları: Birçok robotun eş zamanlı ve uyumlu bir şekilde çalışmasını sağlar. Bu robotlar, birbirlerine benzer işlevselliklere sahip olup, grup halinde çalışarak büyük projelerde görev alabilirler (Şekil 3.10). Bu tür robotlar, özellikle tarımda, orman yangınları gibi afetlerde ve askeri alanda, çok sayıda robotun koordineli bir şekilde çalışması gereken durumlarda faydalıdır. Sürü robotları, verimliliği artırarak daha karmaşık görevleri yerine getirebilir [23].



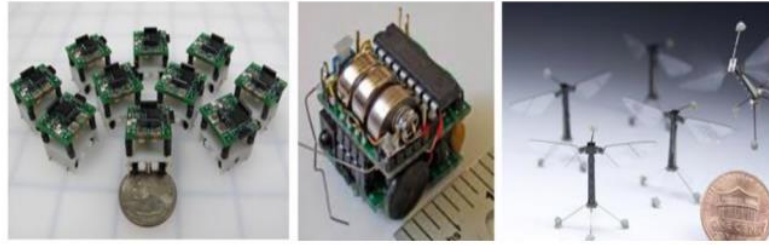
Şekil 3.10 .Sürü Robotları [23]

Modüler Robotlar: Parçalar halinde yapılandırılabilen ve görev sırasında kendini yeniden yapılandırabilen robotlardır (Şekil 3.11). Bu robotlar, değişen çevre koşullarına uyum sağlayabilmek ve yeni görevleri gerçekleştirmek için son derece esnek bir yapı sunar. Bu modüler yapılar, robotların farklı türdeki işlerde kullanılabilmesini sağlar. Ayrıca, üretim süreçlerinde yüksek esneklik ve uyum kabiliyeti sağlayarak, kullanıcıların robotu kendi ihtiyaçlarına göre özelleştirmelerine imkan tanır [23].



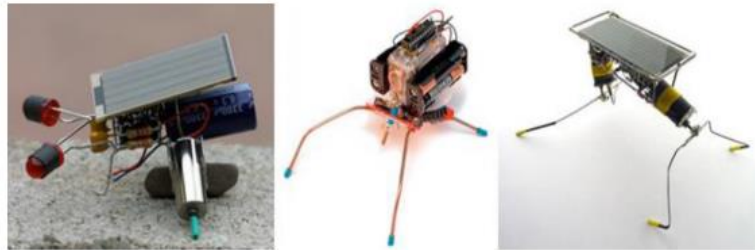
Şekil 3.11. Modüler Robotlar [23]

Mikro Robotlar ve Nano Robotlar: Mikro robotlar, küçük boyutları sayesinde hassas işlemleri gerçekleştirebilen robotlardır (Şekil 3.12). Bu robotlar, özellikle biyomedikal uygulamalarda, mikro cerrahilerde, ilaç taşıma ve hücresel düzeyde tedavi gibi alanlarda kullanılabilirler. Nano robotlar ise daha da küçük boyutlardadır ve atomik düzeyde işlem yapma kapasitesine sahiptir [23].



Şekil 3.12. Mikro Robotlar [23]

Beam Robotlar: Daha basit yapıda ve temel elektronik bileşenlerden oluşan robotlardır (Şekil 3.13). Bu robotlarda mikroişlemciler yerine genellikle daha basit devre elemanları kullanılır. Eğitsel amaçlarla kullanılabilen bu tür robotlar, robotik mühendisliğe başlangıç yapmak isteyenler için mükemmel bir araç olabilir. Öğrencilere robotik tasarım, mühendislik prensipleri ve temel elektronik bilgilerini öğretmek için oldukça uygundur [23].



Şekil 3.13. Beam Robotlar [23]

Eğitsel Amaçlı Robotlar: Eğitsel amaçlarla geliştirilen robotlar, özellikle öğrencilerin

STEM (bilim, teknoloji, mühendislik, matematik) alanlarında yeteneklerini geliştirmelerine yardımcı olur. LEGO benzeri robot setleri, çocukların robot yapma, programlama ve mühendislik becerilerini öğrenebilecekleri eğlenceli bir yol sunar. Ayrıca düşük maliyetli programlanabilir robotik kol setleri, öğrencilerin insan benzeri hareketleri ve fonksiyonları anlamalarına yardımcı olabilir. Bu tür robotlar, eğitimde robotik uygulamaları tanıtmak ve uygulamalı öğrenme fırsatları sağlamak için harika bir araçtır [23].

3.3. Robotlarda Serbestlik Derecesi ve Mekanik Sistemlerdeki Önemi

Serbestlik derecesi (Degrees of Freedom - DOF), bir mekanik sistemin bağımsız olarak gerçekleştirebileceği hareket sayısını ifade eden temel bir kavramdır. Serbestlik derecesi, bir sistemin konumunu tanımlamak için gereken bağımsız parametrelerin toplam sayısını belirler. Bu kavram, mekanik sistemlerin analizinde, insansı robotlar, mekanik sistemlerin, otomasyon sistemlerinin ve makinelerin tasarımında büyük bir öneme sahiptir [9].

Bir robot kolunun belirli bir görevi yerine getirebilmesi için yeterli sayıda serbestlik derecesine sahip olması gerekmektedir. Örneğin, insan kolu omuz, dirsek ve bilek eklemleri ile toplam altı serbestlik derecesine sahiptir ve bu sayede karmaşık hareketler gerçekleştirebilir [9].

Serbestlik derecesi, mekanik sistemlerin analizinde temel bir kavram olup, bir sistemin bağımsız hareket edebileceği eksen sayısını belirler.

3.4. Endüstriyel Robot Kavramı

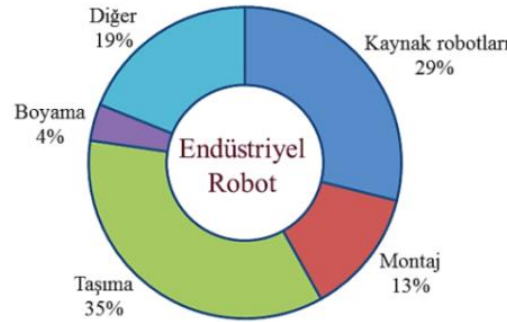
Endüstriyel robotlar, genellikle üretim süreçlerinde çalışan insanlara yardımcı olmak ya da bağımsız olarak çeşitli görevleri yerine getirmek için tasarlanmış, esnek ve programlanabilir makinelerdir. Bu robotlar, daha çok tekrarlayan ve mekanik işleri yapmak için kullanılırlar. Özellikle büyük ölçekli üretimlerde, verimliliği artırmak ve hata payını azaltmak için önemli rol oynarlar. Programlandıkları şekilde belirli hareketleri yapabilir ve bu hareketleri çevre koşullarına göre optimize edebilirler. Yapay zeka ve sensörler sayesinde, çevresindeki ortamı algılayıp, yaptığı işlere uygun şekilde davranışlarını uyarlayarak, kendi performanslarını geliştirebilirler. Bu da endüstriyel robotların daha fazla özerklik kazanmasını sağlar ve süreçlerin daha verimli hale gelmesine olanak tanır [24].

Endüstriyel bir robot; Üç veya daha fazla programlanabilen eksene sahip,

otomatik kontrol edilebilen, programlanabilen, sabit olarak bir yerde durabilen ya da tekerlekleri olan endüstriyel alanlardaki uygulamalarda kullanılabilen manipülatör olarak ISO 8373 tarafından tanımlanmıştır [24].

Bu robotlar, programlanabilir ve tekrarlanabilir görevleri gerçekleştirebilen, yüksek hız ve hassasiyetle çalışabilen ve üretim süreçlerinde insan gücünden bağımsız olarak çalışabilen makinelerdir. Örneğin, yüksek ısıya maruz kalan ortamlarda veya toksin maddelerin bulunduğu alanlarda çalışabilir, iş güvenliğini artırır ve işçilerin sağlığını korumaktadır [25].

Endüstriyel robotlar farklı görevlere uyacak şekilde programlanabilir ve üretim süreçlerinin değişen ihtiyaçlarına hızlı bir şekilde adapte edilebilir. Otomotiv, elektronik, gıda, ilaç, ambalajlama ve lojistik gibi birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. (Şekil 3.14) Robotlar, parça montajı, kaynak işlemleri, paketlenme, malzeme taşıma, kalite kontrol ve daha birçok görevi yerine getirebilmektedir [26].



Şekil 3.14. Endüstriyel Robotların Kullanım Oranları [27]

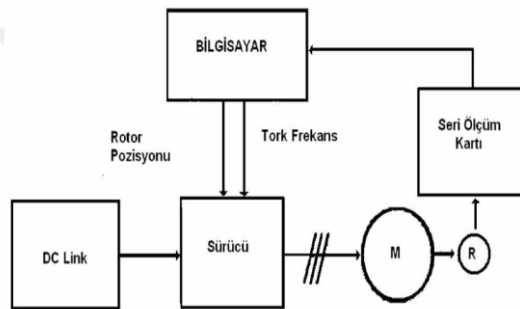
3.4.1. Endüstriyel Robotların Tarihsel Gelişimi

Başlangıçta sanayide küçük işleri yapabilen endüstriyel robotlar basit mekanizmalar olarak kullanılmaktaydı. Bu robotların ilk ve basit görevleri, bir yerden malzeme alıp başka bir yere koymak veya cıvata sıkmak gibi otomatik mekanizmalardı. 1950'lerde otomasyonun, elektronik teknolojisinin ve iletişimin gelişimiyle birlikte robot teknolojisinde büyük ilerlemeler gerçekleşmiştir. İlk robotlar sadece belirli komutları yerine getirebiliyorken, günümüzdeki endüstriyel robotlar bilgisayarlarla iletişim kurabilen, bilgi alışverişi yapabilen, çevresel birimleri algılayabilen ve işlemlerini bu bilgilere göre yönlendirebilen, çevrelerinden gelen

verilere duyarlı olan, bu verileri kendi bilgi tabanıyla birleştirerek karar verebilen ve operatör yardımı olmaksızın kararları uygulayabilen sistemlere dönüşmüştür. Yaygın olarak kullanılan endüstriyel robotlar, ilk olarak teleoperatörlerin ve sayısal kontrol sistemlerinin kullanılmasıyla ortaya çıkmıştır. Teleoperatörler, II. Dünya Savaşı sırasında radyoaktif malzemelerle çalışma gereksinimleri nedeniyle geliştirilmiş ve kullanılmaya başlanmıştır. Teleoperatörler sayesinde insanlar için tehlikeli olan ortamlarda veya insanların kolaylıkla erişemediği yerlerde çalışma imkânı sağlanmıştır. İlk endüstriyel uygulama 1961 yılında kalıp döküm makinelerinin bakımında kullanılan Unimate robotuyla gerçekleşmiştir. O tarihten günümüze kadar robotlar kaynak, boyama, parça yükleme-boşaltma, parçayı şekillendirme, montaj ve test gibi birçok farklı uygulama alanında kullanılmıştır [28].

3.4.2. Endüstriyel Robotların Çalışma Prensibi

Endüstriyel robot sistemlerinde, elektrik motoru tahrikli mekanik bir kol ve bu kolun kontrolünü sağlamak için uzaktaki bir manipülâtör bulunmaktadır. Bu manipülâtörler, uygulama alanındaki bir operatör tarafından kullanılır ve mekanik kolun yapacağı hareketleri ileterek kontrol etmektedir (Şekil 3.15). Operatörün yaptığı her hareket, eklemlerde mekanik kola iletilir, böylece mekanik kol, operatörün yaptığı hareketleri aynı şekilde tekrarlayabilmektedir. Böyle bir düzenekte birden çok serbestlik derecesi bulunmaktadır. Bu sayede istenen konumda ve istenen yerde herhangi bir parçanın tutulması mümkün hale gelmektedir [29].



Şekil 3.15. Endüstriyel robot tahrik motorlarının çalışma prensibi [29]

3.4.3. Endüstriyel Robotlara Olan Talebi Artıran Unsurlar

Son yıllarda endüstriyel robotlara olan talep hızla artış göstermiştir. Üretim süreçlerinin verimliliğini artırma gerekliliği, iş gücü maliyetlerindeki yükseliş ve otomasyonun giderek daha fazla önem kazanması, bu talebi destekleyen başlıca

nedenler arasındadır. Endüstriyel robotların hızlı, hassas ve tekrarlanabilir işlemleri başarıyla gerçekleştirebilme kabiliyeti, üretimde hem kaliteyi hem de verimliliği artırmaktadır. Güvenlik ve iş sağlığı, tehlikeli görevleri insanlar yerine üstlenerek iş kazalarını azaltma ve çalışan sağlığını koruma potansiyeli, zorlayıcı ve monoton görevlerde, insanlara kıyasla daha hızlı ve hatasız çalışma robot kullanımına olan ilgiyi artıran önemli bir etkidir [30].

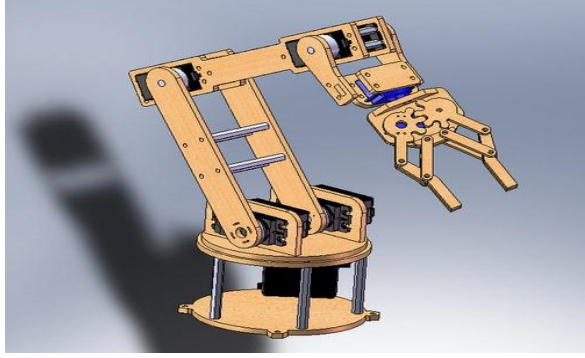
Gelişmiş sensörler ve programlanabilir sistemler sayesinde robotlar, üretim süreçlerinde daha yüksek kalite kontrolü sunarak hatalı üretimi en aza indirmektedir. Ayrıca, robotların durmaksızın çalışabilme özelliği, üretim sürelerini kısaltarak maliyetleri düşürmeye katkıda bulunmaktadır. Sonuç olarak, endüstriyel robotların kullanımı işletmelere hem daha verimli hem de maliyet açısından etkili bir üretim süreci sunmakta; iş gücü maliyetlerini azaltırken, kaliteyi artırmakta ve işlem sürelerini optimize etmektedir [31].

3.5.Endüstriyel Robot Türleri

Endüstriyel robot türleri seri robotlar ve paralel robotlar olmak üzere kendi aralarında iki ana gruba ayrılır.

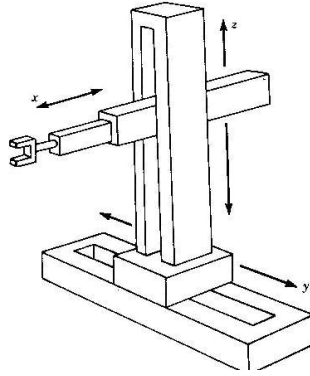
3.5.1. Seri Robotlar

Eklemlili Robotlar: Eklemlili robotlar, endüstride en yaygın kullanılan robot türlerinden biridir. Bu robotlar, döner eklemlilerle (ekseni) tanımlanır ve bu eklemliler robotun hareketini sağlar (Şekil 3.16). Basit 2 eksenli sistemlerden, motorlar aracılığıyla çalışan 10'dan fazla eksenli karmaşık yapılarla donatılmış robotlara kadar çeşitli modelleri mevcuttur. Endüstriyel üretimde genellikle 6 eksenli robotlar en yaygın olanlardır. Eklemlili robotlar, eksen sayısının sağladığı esneklik sayesinde, çoklu görev gerektiren alanlarda ideal bir seçimdir. Bu robotlar, kaynak yapma, parça aktarımı, montaj, alma ve yerleştirme, paketleme ve paletleme gibi görevlerde yaygın olarak kullanılır [32].



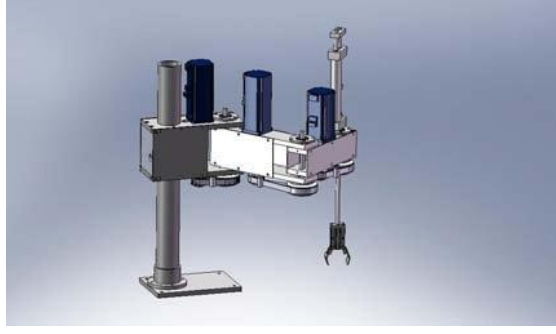
Şekil 3.16. Robot Kol Örneği [33]

Kartezyen Robotlar: Kartezyen robotlar, doğrusal bir hareket sistemine sahip olup, genellikle "gantry robotları" olarak da adlandırılır (Şekil 3.17). Bu robotlar, X, Y ve Z eksenlerinde hareket edebilen, küp şeklinde bir yapıdaki zarfa sahiptir. Kartezyen robotlar, doğrusal hareketleri sayesinde büyük mesafeleri etkili bir şekilde kapsayabilirler ve bu özellikleri onları alma ve yerleştirme görevleri için oldukça uygun kılar. Bu robotların hat izleri genellikle baş üstü olduğundan, alan kullanımı açısından son derece verimli bir seçenektir[32].



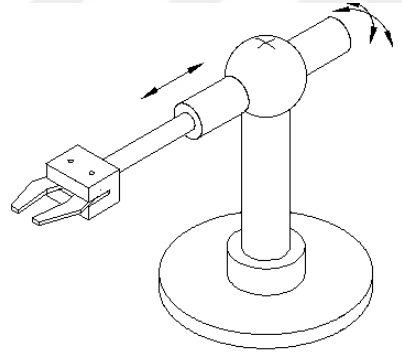
Şekil 3.17. Kartezyen Robot [34]

SCARA Robotlar: SCARA robotları, endüstriyel robotlar arasında en gelişmiş türlerden biridir ve özellikle hızlarıyla tanınırlar (Şekil 3.18). Bu hızları, onlara karmaşık montaj işlemleri, örneğin otomotiv parçalarının birleştirilmesi gibi görevler için uygun hale getirir. SCARA robotlarının silindirik bir zarfı vardır ve dönme hareketlerinin yanı sıra X, Y, Z düzlemi üzerinde de hareket edebilirler. Makine yükleme, paletleme ve otomatik paketleme gibi diğer görevlerde de etkin bir şekilde kullanılabilirler [32].



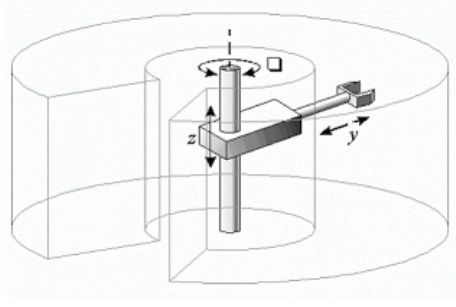
Şekil 3.18. SCARA Robot [34]

Polar Robotlar: Polar robotlar, endüstriyel robot teknolojisinin ilk örneklerindedir. Çoğu modern robotun tasarımı, Polar robotların planlarına dayanmaktadır. Bu robotlar, küresel bir çalışma zarfına ve kutupsal koordinat sistemine sahiptir (Şekil 3.19). Günümüzde çok yaygın olmasalar da hala bazı özel endüstriyel işlemlerde, örneğin basınçlı döküm, enjeksiyon kalıplama ve malzeme taşıma gibi görevlerde kullanılmaktadırlar [32].



Şekil 3.19. Polar Robot [35]

Silindirik Robotlar: Silindirik robotlar, tabanlarında döner bir mafsalsal ve doğrusal hareket eden bir prizmatik ekleme sahip robotlardır (Şekil 3.20). Döner eklem ekseninde hareket ederken, prizmatik eklem doğrusal hareket sağlar. Zarflarının silindirik şekli, bu robotlara "silindirik robot" adını verir. Bu tür robotlar, robotik kaplama ve makine bakımı gibi uygulamalar için idealdir [32].



Şekil 3.20. Silindirik Robot[36]

3.5.2. Paralel Robotlar

Delta Robotlar: Delta robotları, paralel robotlar olarak da bilinir ve ortak bir tabandan yukarıya doğru uzanan paralel eklem kollarına sahiptir (Şekil 3.21 Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.). Kubbe şeklinde bir zarfı vardır. Bu robotlar, özellikle hassas ve hızlı hareket gerektiren görevlerde tercih edilir. Elektronik üretim, gıda işleme ve ilaç üretimi gibi sektörlerde, parça seçme, yerleştirme ve transfer işlemlerinde kullanılır [32].



Şekil 3.21. Delta Robot[37]

3.6. Seri ve Paralel Robotların Karşılaştırılması

Seri robotlar, eklemlerin birbirine ardışık olarak bağlandığı bir yapı sergilemektedir. Bu tür robotlarda her eklem, kendisinden önceki eklem doğrudan bağlıdır ve hareket özgürlüğü bu eklem yapıları üzerinden sağlanır. Genellikle insan koluna benzer bir yapıya sahip olup, geniş bir hareket alanı sunmaktadır [38].

Buna karşılık, paralel robotlar birden fazla kapalı döngü mekanizmasından oluşur ve hareketli platform, birden çok bağlantı çubuğu ile tabana bağlanarak robotun dengeli ve simetrik bir hareket gerçekleştirmesine olanak tanımaktadır [39].

Seri robotlar, yüksek esneklikleri ile öne çıkmaktadır. Çok serbestlik dereceli (DoF – Degrees of Freedom) yapıları sayesinde geniş bir çalışma alanına sahip olup, çeşitli yönlerde hareket edebilme kapasitesine sahiptirler. Ancak, ardışık eklem yapısı nedeniyle, uzuvların birbirine bağımlılığı hareket doğruluğunu olumsuz yönde etkileyebilmektedir [38].

Paralel robotlar ise genellikle sınırlı bir hareket menziline sahip olmalarına rağmen, yüksek hassasiyet gerektiren uygulamalar için idealdir. Bağımsız bağlantı kolları aracılığıyla yükü eşit olarak dağıttıkları için, konumlandırma doğrulukları oldukça yüksektir [39].

Seri robotlar, eklem bağlantılarında oluşan mekanik sapmalar nedeniyle paralel robotlara kıyasla daha düşük hassasiyete sahip olabilirler. Bununla birlikte, belirli bir çalışma sahasında geniş açılı hareket yapabilmeleri, onları çok yönlü uygulamalar için uygun hale getirmektedir [38].

Paralel robotlar ise yüksek hız ve hassasiyet gerektiren işlemler için geliştirilmiştir. Katı mekanik yapıları sayesinde minimum titreşim ile çalışabilirler ve doğruluk oranları yüksektir. Bu nedenle, özellikle hassas üretim süreçlerinde tercih edilmektedirler.

Seri robotlarda, her bir eklem kendinden önceki eklem yükünü taşımak zorundadır. Bu durum, ağırlık arttıkça sistemin dengesizleşmesine ve mekanik zorlanmaların artmasına neden olabilir. Dolayısıyla, seri robotların taşıma kapasitesi genellikle daha sınırlıdır [38].

Buna karşılık, paralel robotlarda yük birden fazla bağlantı elemanı tarafından paylaşıldığı için, daha yüksek taşıma kapasitesine sahiptirler. Bu özellik, özellikle ağır yüklerin hassas bir şekilde işlenmesi gereken uygulamalarda avantaj sağlamaktadır.

Seri robotlar, özellikle otomotiv, elektronik ve montaj hatları gibi geniş hareket kabiliyeti gerektiren endüstriyel süreçlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kaynak işlemleri, malzeme taşıma, boyama ve kalite kontrol gibi uygulamalar için de uygun bir yapıya sahiptirler [38].

Paralel robotlar ise yüksek hız ve hassasiyet gerektiren uygulamalarda tercih edilmektedir. CNC makineleri, 3D baskı sistemleri, yüksek hızlı paketleme ve hassas montaj hatları gibi alanlarda yaygın olarak kullanılırlar. Ayrıca, uçuş simülatörleri ve hassas cerrahi robotları gibi uygulamalarda da önemli rol oynamaktadırlar [39].

Seri ve paralel robotlar, endüstriyel ve akademik araştırmalar açısından önemli iki farklı robot sınıfını oluşturmaktadır. Seri robotlar geniş hareket kabiliyeti ve esneklik sunarken, paralel robotlar yüksek hız, hassasiyet ve yük taşıma kapasitesi ile öne çıkmaktadır. Bu farklılıklar, her iki robot türünün kullanım alanlarını belirleyen temel etmenlerdir [38].



4. İŞBİRLİKÇİ ROBOTLAR

İşbirlikçi robotlar (cobotlar), insanların yakınında güvenli bir şekilde çalışabilen, tasarımları sayesinde insan etkileşimini en üst düzeye çıkaran robotlardır. Bu robotlar, özellikle fabrikalar ve üretim alanlarında, insan iş gücünü desteklemek amacıyla kullanılmaktadır. Geleneksel robotlardan farklı olarak, cobotlar, insan ve robot arasındaki etkileşimi optimize etmek için geliştirilmiş sensörler, güvenlik algılama sistemleri ve karmaşık yazılımlar kullanmaktadır [40].

İşbirlikçi robotların bir alt sınıfı, insan ile robot arasındaki fiziksel güvenlik bariyerlerine olan ihtiyacı tamamen ortadan kaldıran yenilikçi güvenlik teknolojilerine sahiptir. Bu teknolojiler, robotların insanlarla doğrudan etkileşimde bulunurken onları tehlikelerden korumasını sağlamaktadır. Örneğin, cobotlar, çevrelerini algılayabilen hassas sensörlerle donatılmıştır ve bu sayede insanların yaklaşmasını fark edip hızlarını azaltabilir veya durabilirler. Ayrıca, robotların hareketlerini programlamak ve izlemek için kullanılan yazılım, iş güvenliğini artırarak daha verimli bir çalışma ortamı sağlamaktadır [40].

Endüstride kullanılan geleneksel robotlardan farklı olarak, işbirlikçi robotlar (cobotlar) daha hafif, esnek ve küçüktür. Küçük ve hafif olması sayesinde çalışan işçilerin herhangi bir tehlikeye maruz kalmadan güvenle çalışmasını aynı zamanda çalışma alanında herhangi bir aksamaya sebebiyet vermeyecek ölçülerde çeşitli görevleri yerine getirirler.

4.1. İşbirlikçi Robotlar

İşbirlikçi Robotlar: İnsanlarla birlikte çalışmaya olanak tanıyacak şekilde tasarlanmış robotlardır. Bu robotlar, insan güvenliğini sağlamak için gelişmiş sensörler ve yuvarlatılmış köşe tasarımı gibi özelliklere sahiptir. İnsanların yakınında çalışırken herhangi bir kaza riski olmadan görevlerini yerine getirebilirler. Bu nedenle, işbirlikçi robotlar, insan emeği ile robot teknolojisinin entegrasyonunu sağlamaktadır [32].

İşbirlikçi robotlar, insanların doğrudan etkileşimde bulunabildiği ve onlarla aynı ortamda güvenli bir şekilde çalışabilen robotlardır. Bu robotlar, insan davranışlarını algılayıp ona göre tepki verebilmekte ve görevleri yerine getirirken kendi kararlarını alabilmektedir. İnsan-robot işbirliği, özellikle endüstriyel alanlarda üretim süreçlerini hızlandırma ve insan iş gücünün yükünü hafifletme açısından büyük önem taşımaktadır. İşbirlikçi robotlar, genellikle basit tekrarlayan işler dışında, daha

kompleks görevlerde kullanılır. Bu robotlar, yapay zeka ve öğrenme yetenekleri sayesinde zamanla daha verimli hale gelmekte, insanla etkileşimde bulunarak uyum sağlayabilmektedir. Tıp sektöründe rehabilitasyon, cerrahi uygulamalar gibi alanlarda, evde ise günlük yaşamda insanlara yardımcı olabilirler. Ayrıca, hizmet sektöründe oteller veya müzelerde refakatçi ve bilgi sağlayıcı olarak da görev alabilirler. Bu özellikler, işbirlikçi robotları oldukça esnek ve çeşitli kullanım alanlarına sahip hale getirmektedir [41].

4.2. Endüstride İşbirlikçi Robotların Kullanıldığı Alanlar

İşbirlikçi Robotlar, insanlarla işbirliği yapabilen ve güvenli bir şekilde bir arada çalışabilen robotlardır. İşbirlikçi robotlar sayesinde yükleme-indirme, paketleme, montaj, dağıtma, sınıflandırma vb. fiziksel olarak insanları zorlayan işler kolaylıkla ve güvenle yapılmaktadır. Endüstride işbirlikçi robotların yaygın olarak kullanıldığı bazı alanlar şu şekildedir: [31]

Otomotiv Endüstrisi: Bu robotlar, montaj hattında insanlarla birlikte çalışabilir ve ağır kaldırma, parça taşıma, kaynaklama gibi görevleri yerine getirebilmektedir. İnsanlarla işbirliği yapabilme yetenekleri sayesinde daha esnek üretim süreçleri sağlayabilmektedir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Otomotiv Endüstrisinde İşbirlikçi Robotlar[42]

Elektronik Endüstrisi: Özellikle hassas montaj işlemlerinde, robotlar insanlarla birlikte çalışarak yüksek hassasiyet ve hız sağlar ve bileşen yerleştirme, lehimleme, test ve paketleme gibi işlemlerde tercih edilmektedir.

Gıda ve İçecek Endüstrisi: Gıda işleme, paketleme, etiketleme gibi işlemlerde insanlarla birlikte çalışabilir ve üretim süreçlerini hızlandırmaktadır. Ayrıca, tehlikeli maddelerin taşınması veya sıcaklık kontrollü ortamlarda çalışma gibi riskli görevleri

de üstlenebilmektedir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Gıda ve İçecek Endüstrisinde İşbirlikçi Robotlar[43]

İlaç ve Sağlık Endüstrisi: İlaç üretimi sırasında robotlar, hassas ölçüm ve karıştırma işlemlerini gerçekleştirebilir. Ayrıca cerrahi robotlar da sağlık sektöründe yaygın olarak kullanılan işbirlikçi robotlardır. Geleneksel laparoskopi ve artroskopi teknolojileri geliştikçe işbirlikçi cerrahi robotlar ameliyat ekibi ile hasta üzerinde müdahale işlemlerinde kullanılabilir. İşbirlikçi cerrahi robotlar prosedür süresini, riski ve iyileşme süresini azaltmaktadır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3.Cerrahide İşbirlikçi Robot [44]

Lojistik ve Depolama: Malzeme taşıma, paletleme, depolama ve envanter yönetimi gibi görevleri yerine getirebilmektedir. Bu robotlar, insan işçilerle birlikte çalışarak verimliliği artırır ve iş güvenliğini sağlamaktadır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Lojistik ve Depolama Alanında İşbirlikçi Robotlar [45]

Metal İşleme: Kesme, taşlama, delme ve kaynak gibi işlemleri gerçekleştirebilir ve insanlarla işbirliği yapabilme özellikleri sayesinde karmaşık parçaların üretimi ve montajı kolaylaştırmaktadır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Metal İşlemede İşbirlikçi Robotlar [46]

Robotların endüstride kullanımının temel sebepleri;

- İşçilik maliyetini en aza indirmek
- Riskli yerlerde çalışan personelin yerine kullanmak
- Üretim sisteminde esneklik sağlamak
- Kalite kontrolü istikrarlı bir şekilde gerçekleştirmek
- Üretilen ürün miktarını her geçen gün arttırmak
- Üretim personeli ihtiyacını karşılamak
- Vardiyalı çalışma sistemlerinde sınırsız çalışma becerisi
- İnsan gücü üzerinde yük kaldırabilme kabiliyeti

- Hızlı ve güvenli çalışma becerisi
- Sürekli tekrarlayan işlerde kullanılabilme yetkinliği
- Riskli koşullarda çalışma becerisi
- Çalışan personel tarafından yapılan hataları düzeltebilme yeteneği
- Kalite kontrol kusurlarını en aza indirme,
- Yüksek esneklik ile hareket etme kabiliyeti
- Karı olarak yüksek işler elde etmek [24]

Yukarıda belirtilen pek çok faydanın yanı sıra bazı sakıncalı durumlar da robotlar için şöyle sıralanabilir;

- Düşünce gücüne sahip değildir, duyguları yoktur.
- Kendisine öğretilen maddeleri Vision System sayesinde algılayabilir.
- Programlaması yapılmadan çalışamaz.
- Kendisine öğretilenleri yapabildiğinden hareketleri kısıtlıdır.
- Yüksek maliyetli yatırımdır.
- Bakım ve onarım sürelerinin uzundur [24].

4.3. İşbirlikçi Robotların Özellikleri

Cobotlar güvenlidir. İnsanlar ile birlikte güvenli şekilde çalışmalarını için bazı güvenlik özelliklerini barındırırlar. Bunlar arasında güç ve tork sınırlama, temas algılama ve acil durdurma sistemleri gibi özellikler yer alır [47].

Cobotların kullanımı kolaydır, programlanabilirler [47].

Cobotlar esnektir. Çeşitli görevleri gerçekleştirmeleri için tasarlanan cobotlar boyama, paketleme, montaj, kaynak ve paketleme gibi birçok farklı alanda kullanılabilir[47].

Cobotlar verimlidir. Kendilerine verilen görevleri yüksek hassasiyet ve tekrarlanabilir şekilde yerine getirebilir. Böylelikle ürün kalitesi ve ürün verimliliği artar[47].

4.3.1. İşbirlikçi Robotların Diğer Kullanım Alanları

Tarım alanında Cobotlar, hasat, budama ve sulama gibi tarım işlerinde

kullanılmaktadır.

Perakende alanında, bazı mağazalarda müşterileri karşılama, müşterilerin aradığı ürünler için yardımcı olma ve ürünlerin raflara yerleştirilmesi vb. görevlerde kullanılmaktadır [47].

Cobotlar, fizik tedavi ve rehabilitasyon hastalarına tedavi süreçlerine uygun olan egzersizleri yaptırabilmek amacıyla kullanılabilir.

Üretim tesislerinin kalite kontrol birimlerinde Cobotlar, ürünlerin kalitesini hassas bir şekilde kontrol etmek için kullanılmaktadır. İnsan gözüyle ihmal edilme ihtimali olan hatalı ürünlerin bu sayede üretim hattından çıkarılmasını sağlar ve ürün kalitesinin artmasını sağlarlar [47].

Cobotların kolay programlanabilir olmaları sayesinde teknik bilgiye sahip olmayan kişiler tarafından da kolaylıkla kullanabilmektedir. Kullanıcıları yormayan kolay ara yüzler sayesinde kolaylıkla programlanabilir. Ayrıca üretim hatlarındaki olası değişikliklere Cobotlar hızlı bir şekilde uyum sağlayabilir.

Günümüz teknolojiyle gelişen robotlar bazı insansı özellikleri taklit edebilirler. Aynı zamanda robotlara insan görünümü kazandırılmaktadır. Android ve Humanoid robotlar olarak da bilinen insansı robotlar baş, gövde, kollar ve bacaklardan oluşmaktadır. Bazı robotlarda bu uzuvların hepsi bir arada bulunmayabilir. Sadece baş, baş gövde veya baş gövde kollardan oluşan robotlar da bulunmaktadır. Bu robotlara insan görünümü kazandırmak için insan derisini andıran malzemeyle kaplanabilmektedir. Bu sayede robotlara insan görünümü verilebilmektedir. İnsansı robotlar da tıpkı Cobotlar gibi bilgisayarlar ile kontrol edilebilmektedir. Programlamaları yapıldıktan sonra tıpkı insanlar gibi yürüyebilir, merdiven çıkabilir, herhangi bir nesneyi taşıyabilir ve insanlara cevap verilebilir [47].

4.3.2. İnsansı Robot Teknolojisinin Tarihsel Gelişimi

Robot ve otomasyon kavramlarının kökenleri, insanlık tarihinin çok eski dönemlerine kadar dayanmaktadır. Antik çağlardan itibaren mekanik cihazlar ve yapay varlıklar birçok medeniyetin ilgisini çekmiştir. Modern robot teknolojisinin temelleri ise Endüstri Devrimi ile atılmıştır. 18. yüzyılda James Watt ve Richard Arkwright gibi İngiliz mucitler, buhar gücünü kullanarak çalışan mekanik makineler

geliştirmiş ve bu makineler dokuma sanayiinde ve fabrika sistemlerinde otomasyonu başlatmıştır. 19. yuzyılda ise telgraf ve telefon gibi iletişim araçlarının ortaya çıkması, otomasyonun daha da yaygınlaşmasını sağlamıştır [48].

İkinci Dünya Savaşı sırasında, robot teknolojisi askeri alanda büyük ilerlemeler kaydetmiştir. Alman mühendisler, V-2 roketlerinin geliştirilmesinde nc robotik tekniklerden yararlanmıştır. Savaş sonrası dönemde, robot teknolojisi hızla gelişmiş ve birçok ülke bu alanda araştırma ve geliştirme çalışmaları başlatmıştır. 1950'lerde, Amerikalı mucit George Devol'un geliştirdiği ve 1954'te patentini aldığı "Unimate" isimli ilk endüstriyel robot, robotik alanında bir dönüm noktası olmuştur [48].

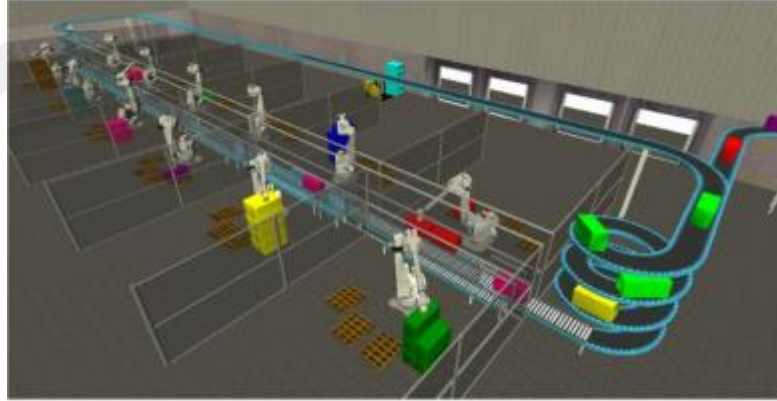
Günümüzde ise yapay zekâ, makine öğrenimi ve otonom teknolojilerle birleştirilen robotlar, insansız hava araçları, hizmet robotları ve kişisel asistanlar gibi yenilikçi uygulamalarıyla hızla gelişmeye devam etmektedir.

5. SİMÜLASYON ve OYUN MOTORU

Simülasyon, bir sistemin gerçek modelini tasarlama prosesi ve tasarlanan modelin hareketini bilgisayar ortamında görmek amacıyla geliştirilen bir model üzerinde çeşitli denemelerin yapılabildiği programdır [49].

Teorik veya güncel fiziki bir sistemle ilgili sebep-sonuç bağlantılarının bilgisayar ortamında oluşturulan modele aktarılmasıyla, çeşitli koşullar ortamında güncel modelin hareketlerini bilgisayar ortamında oluşturulan modelin takip edilmesine imkân sağlayan örnek model oluşturma uygulamasıdır [49].

Simülasyon, genellikle mevcutta olmayan ya da yüksek maliyetli ve güçlkle meydana getirilebilecek model sistemlerinin sanal ortamda denemesinin yapılmasına imkân tanır. Bilgisayar ortamında sistem oluşturulur ve tasarımı esnasında ihmal edilen kavramsal kusurlar, uygulama aşamasında meydana gelecek olan ve uygulamayı çalıştırmadan görülmeyecek kusurların büyük bir kısmı simülasyon yardımıyla izlenip sanal ortamda düzeltilir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Simülasyon Programı Örneği [49]

Günümüzde bilgisayar ortamında kullanılan simülasyonlar birçok mühendislik projesinin yanı sıra psikoloji, tıp ve ekonomi gibi çeşitli sektörlerde sürekli olarak kullanılabilir. Her geçen gün gelişme gösteren bilgisayar simülasyonları ile birden fazla test, deneyler ve eğitim gibi faaliyetler içerisinde ucuz, pratik, hızlı ve güvenle gerçekleştirilebilmektedir. Bilgisayar simülasyonları değişkenlik gösteren oyun motorları sayesinde veya minimum seviyede olan fizik ve grafik kütüphaneleri sayesinde geliştirilebilirler.

6. UNITY

Unity, farklı platformlarda oyun ve simülasyon geliştirmek için kullanılan güçlü bir oyun motorudur. Unity Technologies tarafından geliştirilen bu motor, ilk olarak 2005 yılında yalnızca OS X için tanıtılmış, ancak zamanla desteklediği platform sayısını artırarak günümüzde 27 farklı platformda kullanılabilir hale gelmiştir. Oyun sektörünün yanı sıra film, mimari, otomotiv ve mühendislik gibi çeşitli alanlarda da tercih edilmektedir [50].

Unity, kullanıcılarına sunduğu ücretsiz ve profesyonel sürümleriyle geniş bir geliştirici kitlesine hitap eder. Kullanımı kolay arayüzü, sürükle ve bırak işlevselliği, C# ile komut dosyası yazma desteği ve çoklu platform uyumluluğu gibi özellikleri, Unity'yi en popüler oyun motorlarından biri yapmaktadır. Ayrıca, Unity varlık mağazası geliştiricilere karakter, arka plan, ses ve önceden tasarlanmış 3D modeller gibi çeşitli materyallere erişim sağlar [50].

Unity 3D gibi araçlarla yapılan simülasyonlar, robotların gerçek dünya koşullarında nasıl davranacağını öngörme ve optimize etme imkânı sunar. Unity 3D, robotların sanal gerçeklik ortamında simüle edilmesini sağlayarak gerçekçi sonuçlar üretir. Simülasyonlar, robotların saha ortamındaki davranışlarını modelleme, algoritmalar geliştirme ve işlevlerini optimize etme açısından kritik bir araçtır. Unity 3D, robotların fiziksel ve görsel olarak gerçekçi bir şekilde test edilmesine olanak tanır. Görsel algoritmalar (örneğin, nesne tanıma ve yol planlama) geliştirilirken Unity'nin üstün grafik motoru, gerçek dünyaya yakın sonuçlar sağlar. Unity, Robotik İşletim Sistemi (ROS) ile entegrasyon sunarak, gerçek robotik sistemlerle sanal simülasyonların bir arada çalışmasını sağlar. Bu, simülasyonların daha işlevsel ve gerçeğe uygun olmasını mümkün kılar. Unity'nin kullanıcı dostu arayüzü ve geniş eklenti desteği, robotik simülasyon projelerinin hızla prototiplenmesine olanak tanır. MLAgents ve URDFImporter gibi araçlarla, robotların öğrenme algoritmaları ve fiziksel yapıları kolayca entegre edilebilir. Unity, insan-robot etkileşimi araştırmalarında da sıkça kullanılmaktadır. Hareket yolları, engellerle karşılaşma senaryoları ve görsel geri bildirimler gibi unsurlar, simülasyon ortamlarında test edilebilmektedir. Örneğin, bir TurtleBot'un insan etrafında nasıl hareket ettiğini göstermek için görsel göstergeler ve navigasyon senaryoları kullanılabilir [50].

Unity, robot simülasyonlarını eğitim ve endüstriyel uygulamalar için uygun hale getiren esnek bir platformdur. Özellikle sanayi 4.0 uygulamalarında dijital

ikizlerin oluşturulmasında kullanılabilir. Simülasyonlar, robotların farklı ortamlarda nasıl tepki verdiğini analiz etmek ve algoritmaları optimize etmek için kullanılabilir. Unity'nin NavMesh sistemi, robotların daha gerçekçi hareket etmesini sağlar. Dünyada kolaboratif robotlar ve Unity 3D kullanılarak yapılan simülasyon çalışmaları, robot teknolojisinin geliştirilmesi ve uygulanmasında büyük bir potansiyele sahiptir. Bu alandaki önemli çalışmalar: Unity ve MATLAB'in birleştirilmesiyle geliştirilen simülasyonlar, endüstriyel ve eğitimsel uygulamalar için esnek bir altyapı sağlamaktadır. Bu tür simülasyonlar, çoklu kullanıcıların aynı anda robotik kontrol senaryolarında etkileşimde bulunmasını sağlarken, TCP/IP, Shared Memory ve MQTT gibi veri iletişim protokollerini kullanarak performans optimizasyonu yapılabilmektedir [51].

Unity'nin avantajlarından biri de altyapı değişikliğine gerek kalmadan bir oyunun farklı platformlar için kolayca uyarlanabilmesidir. Android, iOS, macOS, Windows, PlayStation, Xbox gibi platformlarda çalışabilen Unity ile geliştirilen oyunlar hem profesyonel seviyede hem de geniş kitlelere ulaşabilecek şekilde optimize edilebilir. Angry Birds, Hearthstone, Temple Run gibi dünyaca ünlü oyunlar Unity ile geliştirilmiş ve oyun motorunun yeteneklerini gözler önüne sermiştir [51].

Unity'nin sürekli güncellenen yapısı, sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik gibi teknolojilere entegre olmasını sağlar. Hata ayıklama kolaylığı ve büyük geliştirici topluluğunun desteğiyle Unity, oyun geliştirme sürecini hem amatörler hem de profesyoneller için erişilebilir ve verimli hale getirir.

Unity 3D, robotların sanal gerçeklik ortamında simüle edilmesini sağlayarak gerçekçi sonuçlar üretir. Simülasyonlar, robotların saha ortamındaki davranışlarını modelleme, algoritmalar geliştirme ve işlevlerini optimize etme açısından kritik bir araçtır [52].

Unity 3D, robotik simülasyonlar için güçlü özellikler sunan bir araçtır. Unity'nin bu alandaki avantajları ve yenilikleri şu şekildedir:

ArticulationBody ile Hassas Kinematik Zincirler

Unity'nin ArticulationBody bileşeni, robotik simülasyonlarda yüksek hassasiyetli kinematik zincirler oluşturmak için kullanılır. Bu özellik, özellikle robot kollarının ve manipülatörlerin simülasyonlarında etkilidir. Nvidia'nın PhysX motoru ile entegre çalışan Unity, fizik tabanlı hesaplamalarda yüksek doğruluk sunar [52].

ROS ve ROS 2 Entegrasyonu

Unity, ROS (Robotik İşletim Sistemi) ve ROS 2 için yerleşik destek sağlar. Bu entegrasyon sayesinde gerçek robotların veri akışını simüle etmek ve test etmek kolaylaşır. Örneğin, ROS 2 ile çalışan otonom robotlar, Unity üzerinden navigasyon ve engel algılama gibi görevlerde test edilebilir [52].

Robotics Visualizations Package

Unity, robotik uygulamalarda görselleştirme ihtiyaçlarını karşılamak için Robotics Visualizations Package sunar. Bu paket, robot hareketlerini, sensör verilerini ve algoritma sonuçlarını görselleştirme imkanı tanır, böylece simülasyonların analizi daha kolay hale gelir [52].

Simülasyon ve Gerçek Dünya Arasında Köprü

Unity'nin simülasyonları, gerçek dünya koşullarını yakından taklit eder. Bu, simüle edilen robotların gerçek robotlara aktarılabilirliğini artırır. Örneğin, domain randomization yöntemiyle simülasyon ortamlarında robotları eğitmek, gerçek dünya uygulamalarına hazır yapar [52].

Oyun Motorunun Esnekliği

Unity'nin güçlü fizik motoru, fotogerçekçi grafik özellikleri ve kullanıcı dostu arayüzü, hem yeni başlayanlar hem de deneyimli geliştiriciler için uygundur. Ayrıca Unity Asset Store'dan indirilebilen yüzlerce araç ve şablon, projelerin hızla oluşturulmasını sağlar [52].

Uygulama Alanları:

Otonom Navigasyon: SLAM ve yol planlama algoritmalarının test edilmesi.

Endüstriyel Robotlar: Montaj, paketlenme ve taşıma görevlerinin simülasyonu.

Eğitim ve Araştırma: Öğrencilerin ve araştırmacıların robotik algoritmalar geliştirmesi ve test etmesi için ideal bir platformdur [52].

6.1. Unity Oyun Motoru ve Diğer Oyun Motorları

Genel olarak oyun motorları seri ve etkin bir şekilde simülasyon yazılımları ve video oyunlarını geliştirmek amacıyla ses, fizik motoru, grafik gibi birçok konuda kütüphaneyi içerisinde bulunduran yazılımlara verilen genel terimdir. 1980'lerde yapılan tüm simülasyon ve oyunlar kod yazılarak sıfırdan geliştiriliyordu. 1990'larda

uygulama geliştiricileri sık sık kullanılan kütüphaneleri bir sistem altında birleştirerek günümüzdeki oyun ve simülasyon motorlarının temelini oluşturmasını sağladılar [53] Unity Microsoft' C# yazılım dili ile geliştirilmektedir. Grafik motoru Windows ve Xbox platformları için yine Microsoft'un geliştirdiği DirectX kütüphanesini, Mobil cihazlar için ise OpenGL açık kaynaklı grafik kütüphanesini kullanmaktadır. Fizik motoru olarak ise NvidiaPhysx kullanmaktadır. Unity ücretsiz olarak kendi internet adresinden indirilebilir Windows, MacOS ve Linux işletim sistemleri ile kullanılabilir [53].

DirectX ve OpenGL Grafik Kütüphaneleri DirectX, Microsoft şirketi kendi alanlarında çoklu ortam yazılımlarında kullanmak amacıyla ilk sürümü 1994'te yayınlanmış API birliğidir. DirectX, Direct2D, Direct3D ve 23 DirectWrite gibi birçok alt kütüphaneyi içerisinde bulundurmaktadır. Bulunan kütüphaneler sayesinde karışık vektörel işlemler, 2D ve 3D boyutlu grafik işlemleri gerçekleştirilebilir ve bu işlemler sonucunda bilgisayar grafiklerine ulaşılmaktadır. Son sürümü 2018 yılı Ekim ayında piyasaya sürülen DirectX 12'dir. Unity oyun motorunda güncel olarak DirectX 12 ya da DirectX 11 sürümleri kullanılır [53].

6.2. Nvidia Physx Fizik Motoru

Physx, 2004'te ETH Zurich Üniversitesi NovodeX adlı firma tarafından geliştirilen fizik motorudur. Fizik motoru, grafik işlemci sektörünün önde gelen firmalarından olan NVIDIA firması tarafından 2008'de satın alınmıştır. Halen NVIDIA çatısı altında geliştirilmektedir. Son sürümü 2018 yılı Aralık ayında yayınlanan Physx 4.0 sürümüdür. Ancak Unity oyun motoru şu anda 3.4.1 sürümünü kullanmaktadır. [53]

7. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Robotlar, endüstriyel, tıbbi, eğlence, uzay ve ev içi kullanım gibi çeşitli kategorilere ayrılmaktadır. Özellikle sanayi ve sağlık sektörlerinde yoğunlaşan kullanım, işlevsellik ve uygulama alanlarının genişlediğini göstermektedir. Geleneksel endüstriyel robotların yerini kolaboratif robotlar almaktadır.

7.1. Denavit – Hartenberg Yöntemi

Denavit–Hartenberg (DH) yöntemi, robot kolları ve manipülatörlerin kinematik analizini yapmak için kullanılan bir matematiksel modelleme yöntemidir. Özellikle robotik alanında yaygın olarak kullanılan bu yöntem, eklemler ve bağlantılar arasındaki dönüşümleri sistematik bir şekilde temsil etmek için standart bir notasyon sağlar [9].

7.2. Denavit–Hartenberg Parametreleri

Bir robot kolundaki her bir bağlantı için dört temel DH parametresi tanımlanır:

θ_i (Joint Angle - Eklem Açısı): i numaralı eklem eksenine etrafında yapılan dönme açısı.

d_i (Link Offset - Bağlantı Uzaklığı): i numaralı eklem boyunca olan doğrusal kayma.

a_i (Link Length - Bağlantı Uzunluğu): i numaralı bağlantının uzunluğu.

α_i (Link Twist - Bağlantı Burulma Açısı): Bir bağlantının, bir önceki bağlantıya göre dönme açısı.

Bu parametreler, her eklem için bir dönüşüm matrisi (homojen dönüşüm matrisi) oluşturulmasını sağlar [9].

7.3. Denavit–Hartenberg Dönüşüm Matrisi

Her eklem için genelleştirilmiş homojen dönüşüm matrisi Denklem 7.1’de görüldüğü gibidir:

$$T_i = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i \cos\alpha_i & \sin\theta_i \sin\alpha_i & \alpha_i \cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\theta_i \cos\alpha_i & -\cos\theta_i \sin\alpha_i & \alpha_i \sin\theta_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.1)$$

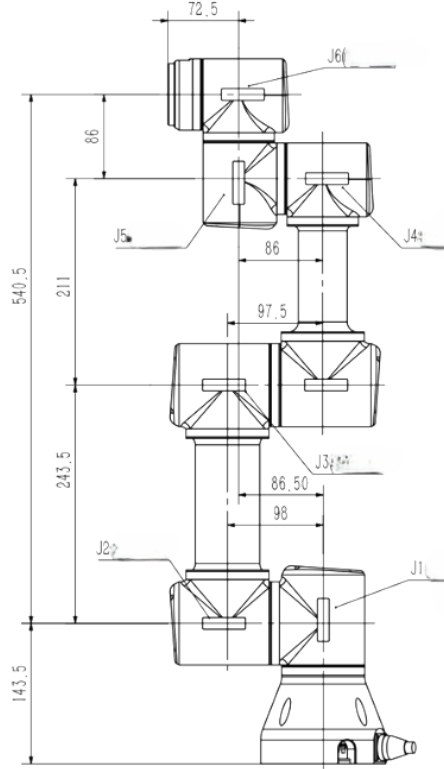
Bu dönüşüm matrisi, her eklemi bir öncekine göre tanımlayarak robotun ileri kinematikini çözmek için kullanılır [9].

7.4. Denavit–Hartenberg Yönteminin Kullanımı

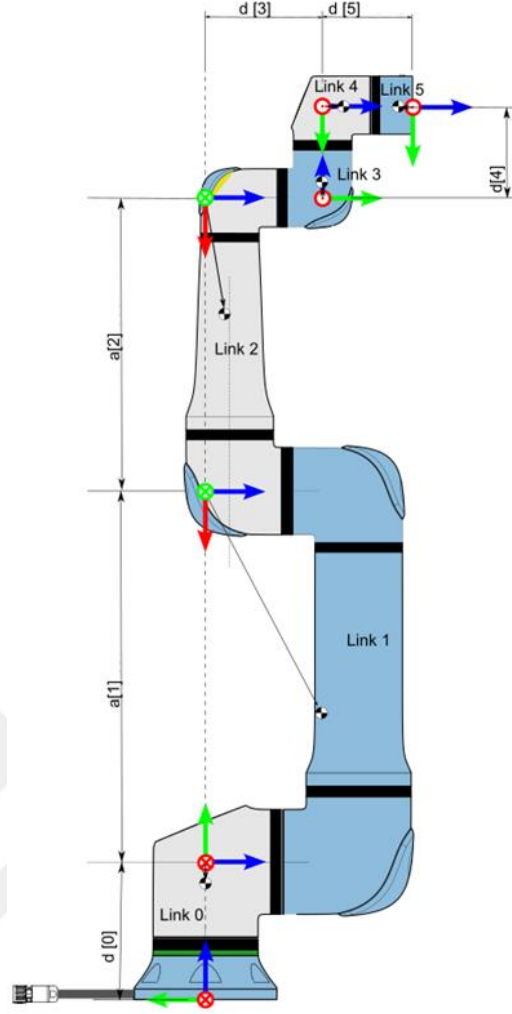
- Robotun her eklemi için DH parametreleri belirlenir.
- Her eklem için dönüşüm matrisleri hesaplanır.
- Tüm matrisler çarpılarak uç efektörün (end-effector) konumu ve yönelimi bulunur.

Bu yöntem, özellikle endüstriyel robotların modellenmesi, simülasyonu ve kontrolü için oldukça yaygındır [9].

Kullanılan robota ait ön görünüş teknik resmi Şekil 7.1’de, robotun şematik gösterimi Şekil 7.2’de görüldüğü gibidir.



Şekil 7.1. Robotun Ön Görünüşü [54]



Şekil 7.2. Robota Ait Şematik Görünüş [55]

Robota Ait Denavit-Hartenberg parametreleri Çizelge 7.1'de görüldüğü gibidir.

Çizelge 7.1. Robota ait Denavit-Hartenberg Parametreleri

Eklem (i)	θ_i ($^\circ$)	a_{i-1} (m)	d (m)	α_{i-1} ($^\circ$)
1	θ_1	0	0.2363	90
2	θ_2	-0.8620	0	0
3	θ_3	-0.7287	0	0
4	θ_4	0	0.2010	90
5	θ_5	0	0.1593	-90
6	θ_6	0	0.1543	0

7.5. Robota Ait Homojen Transformasyon Matrisleri

Robotun her bir eklemine ait homojen dönüşüm matrisleri aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$T_{0 \ 1} = \begin{bmatrix} C\theta_1 & 0 & -S\theta_1 & q_1 \cdot C\theta_1 \\ S\theta_1 & 0 & C\theta_1 & q_1 \cdot S\theta_1 \\ 0 & 1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.2)$$

$$T_{1 \ 2} = \begin{bmatrix} C\theta_2 & -S\theta_2 & 0 & q_2 \cdot C\theta_2 \\ S\theta_2 & C\theta_2 & 0 & q_2 \cdot S\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.3)$$

$$T_{2 \ 3} = \begin{bmatrix} C\theta_3 & -S\theta_3 & 0 & q_3 \cdot C\theta_3 \\ S\theta_3 & C\theta_3 & 0 & q_3 \cdot S\theta_3 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.4)$$

$$T_{3 \ 4} = \begin{bmatrix} C\theta_4 & 0 & S\theta_4 & q_4 \cdot C\theta_4 \\ S\theta_4 & 0 & -C\theta_4 & q_4 \cdot S\theta_4 \\ 0 & 1 & 0 & d_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.5)$$

$$T_{4 \ 5} = \begin{bmatrix} C\theta_5 & 0 & -S\theta_5 & q_5 \cdot C\theta_5 \\ S\theta_5 & 0 & C\theta_5 & q_5 \cdot S\theta_5 \\ 0 & -1 & 0 & d_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.6)$$

$$T_{5 \ 6} = \begin{bmatrix} C\theta_6 & -S\theta_6 & 0 & q_6 \cdot C\theta_6 \\ S\theta_6 & C\theta_6 & 0 & q_6 \cdot S\theta_6 \\ 0 & 0 & 1 & d_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.7)$$

Bu çalışmada Unity 3D ortamına entegre edilen işbirlikçi robot için klavyedeki bazı tuşlara yönelim görevleri atanarak işbirlikçi robotlar kontrol edilmiştir. Bu sayede robotun sanal ortamda kontrol edilmesi ve hareketlerinin izlenmesi gerçekleştirilmiştir. Robot için yazılan kontrolcü algoritması EK-1, EK-2 ve EK-3'de verilmiştir.

Bu çalışmadaki UR3 robotu için kontroller;

A/D - Taban eklemine döndürür.

S/W - Omuz eklemine döndürür.

Q/E - Dirsek eklemine döndürür.

O/P - Bilek 1'i döndürür.

K/L - Bilek 2'yi döndürür.

N/M - Bilek 3'ü döndürür.

V/B - Eli döndürür.

X - Kısırtıcı ucu kapat.

Z - kısırtıcı ucu aç.

Bu çalışmadaki UR3(1) Robotu için kontroller;

4/6 - Taban eklemine döndürür.

5/8 - Omuz eklemine döndürür.

7/9 - Dirsek eklemine döndürür.

1/3 - Bilek 1'i döndürür.

0/2 - Bilek 2'yi döndürür.

C/F - Bilek 3'ü döndürür.

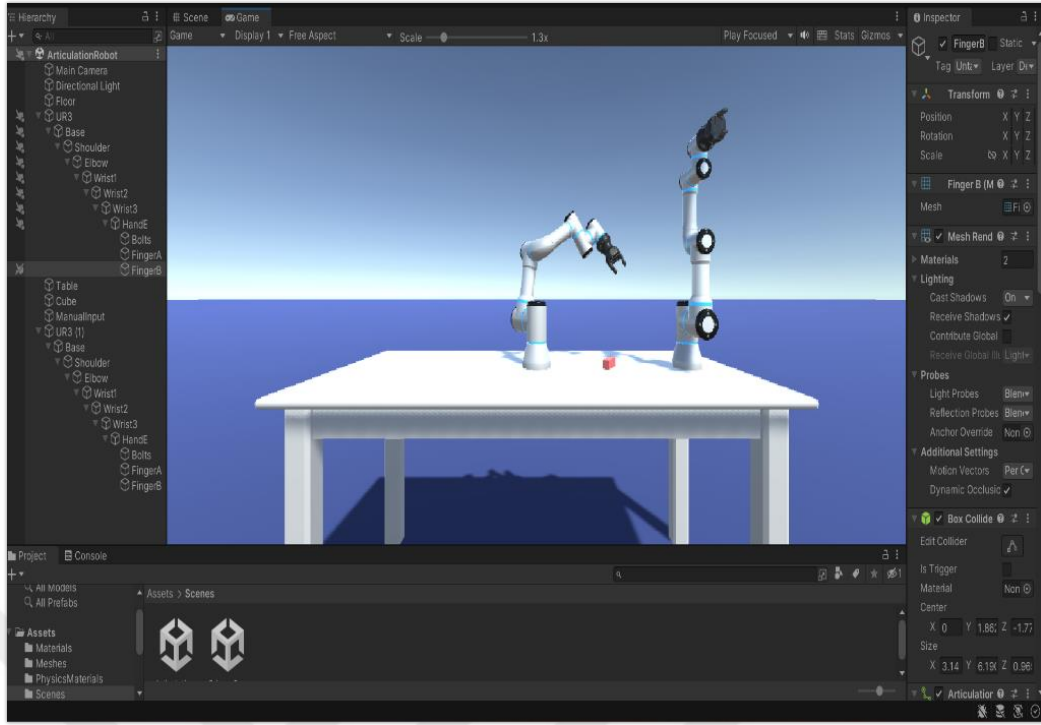
R/T - Eli döndürür.

Y - Kısırtıcı ucu kapat.

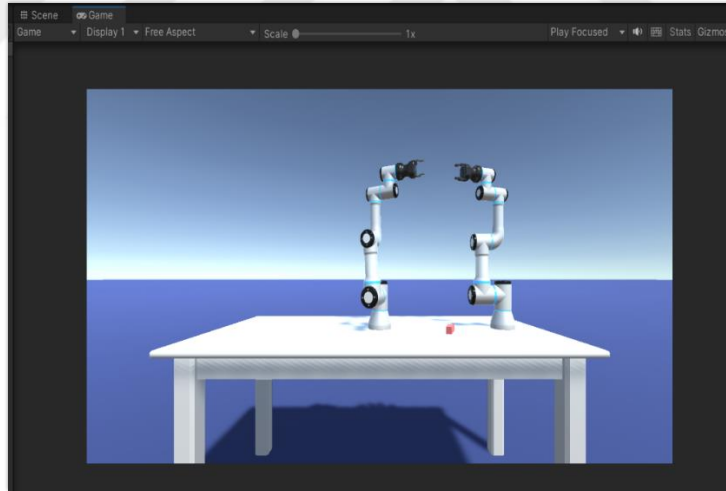
U- kısırtıcı ucu aç.

Bu kontroller arzu edildiği şekilde klavye üzerinde istenilen tuşa atanabilmektedir.

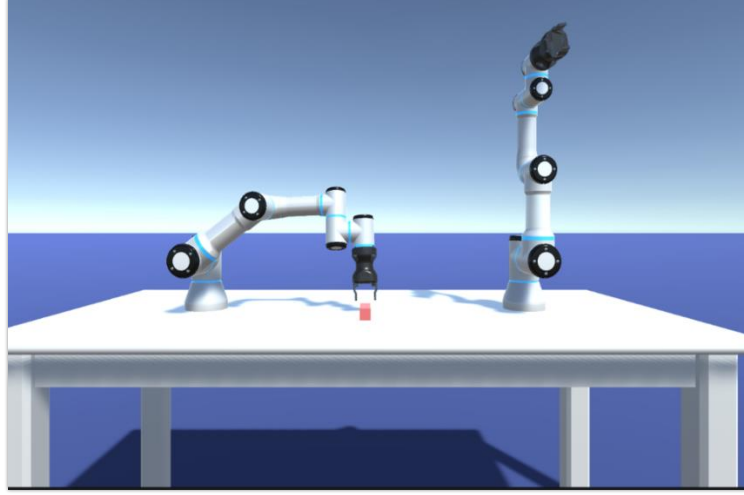
Bu çalışmada Unity 3D ortamına entegre edilen işbirlikçi robota ait görüntüleri Şekil 7.3 – Şekil 7.8'de görülmektedir.



Şekil 7.3. Unity Ana Ekranı ve İşbirlikçi Robotlar (1)



Şekil 7.4. İşbirlikçi Robotlar (2)



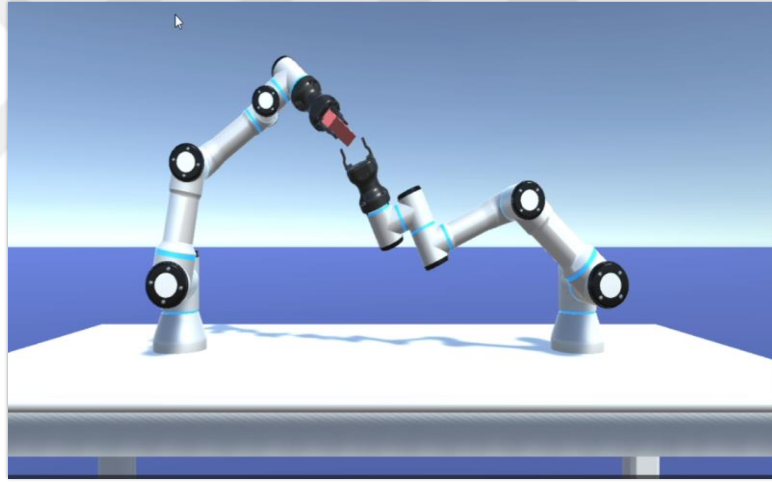
Şekil 7.5. İşbirlikçi Robotlar (3)



Şekil 7.6. İşbirlikçi Robotlar (4)



Şekil 7.7. İşbirlikçi Robotlar (5)



Şekil 7.8. İşbirlikçi Robotlar (6)

8. SONUÇ

Bu çalışmada birçok alanda insanlar ile iş birliği halinde çalışan aynı zamanda belirli alanlarda insanlar yerine çalışarak kendisine verilen komutları yapabilen İşbirlikçi Robotlar Unity 3D ortamına entegre edilmiştir. Unity 3D grafik özellikleri sayesinde sanal gerçeklik ortamı oluşturulmuştur. Oluşturulan sanal ortamda renkler ve klavyedeki harflere atanan kontrol tuşları değiştirilebilmektedir. Burada bir masa üzerinde İşbirlikçi Robotlar görülmektedir. 6 serbestlik dereceli işbirlikçi robota belirli bir mesafede 1 adet küp bulunmaktadır. Robot bilgisayar klavyesi üzerindeki tuşlarla kontrol edilmektedir. Kontrol tuşlarıyla küpler robotlar arasında transfer edilebilmektedir. İşbirlikçi robot kendisine verilen emri gerçekleştirebilmektedir. Robotun sanal ortamda kontrol edilerek Unity 3D ortamında izlenebilmesi, sanal ortam – gerçek ortam arasında koordinasyon sağlanarak fiziksel ortamda robotun kontrol edilebilmesini de olanaklı kılacaktır.

Gelecek çalışmalarda, fiziksel ortamda çalışan kaynak robotunun, UNITY ortamında simüle edilmesi ve ilgili robota ait haberleşme protokolü üzerinden robotun UNITY ile entegrasyonu sağlanarak, sanal ortamda planlanan hareketin fiziksel ortamda robot tarafından gerçekleştirilmesinin sağlanması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Şişman B., "Eğitimde Robot Kullanımı", Eğitim Teknolojileri Okumaları 2016, İşman A., Odabaşı H.F., Akkoyunlu B., Ed., TOJET, Ankara, ss.299-314, 2016.
- [2] Erdoğan M., 2017. Sıfırınca Yasa, Muhasebe Bilim Dünyası Dergisi.
- [3] Ünlütürk, A., Aydoğdu, Ö., ve Güner, U., 2012. Uzaktan Kontrollü Prototip Mobil Bomba İmha Robotu Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi. ELECO '2012 Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu. *Bursa*. 699-703.
- [4] Uçar, A., (2019). Isaac Asimov Üç Robot Yasası.
<https://www.muhenisbeyinler.net/isaac-asimov-uc-robot-yasasi/>
- [5] Narmanlı, S., 2014. 3 Robot Yasası: Üç Adımda Asimov'la Tartışmak [Online].
<https://kayiprihtim.com/dosya/3-robot-yasasi-uc-adimda-asimovla-tartismak/>
[Ziyaret Tarihi: 25 Kasım 2019]
- [6] Smith J., 2020 *The Advantages and Disadvantages of Robots*. TechPress Publicatio
- [7] Çolak, M., 2019a. Robot Programlama – Robot Türleri ve Eğitsel Amaçlı Robotlar [Online]. <http://bilgisayarbilim.com/robot-programlama-robot-turleri-ve-egitsel-amacli-robotlar/> [Ziyaret Tarihi: 24 Ekim 2019]
- [8] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı. (tarih yok). Robotik (Tekstil). MEGEP.
[https://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Robotik\(tekst%C4%B01\).pdf](https://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Robotik(tekst%C4%B01).pdf)
- [9] Aksungur, S. (2009). Üç Serbestlik Dereceli Bir Robotun, Yapay Sinir Ağları ve Genetik Algoritma Kullanılarak Engelli Ortamda Çarpışmasız Yörünge Planlaması (Yüksek Lisans Tezi) Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [10] TÜBİTAK. (2020). *İnsansı robotlar*. Bilim Çocuk Dergisi, Cilt: 271, Erişim adresi: <https://bilimcocuk.tubitak.gov.tr/content/insansi-robotlar-0>
- [11] Andaluz, V. H., Chicaiza, F. A., Gallardo, C., Quevedo, W. X., Varela, J., Sánchez, J. S., andArteaga, O. (2016). Unity3D-MatLab Simulator in Real Time forRobotics Applications. In: De Paolis, L., Mongelli, A. (eds). AugmentedReality, Virtual Reality, andComputer Graphics. AVR 2016. LectureNotes in ComputerScience, Vol 9768. Springer, Cham.

- [12] Pan, J., Zhuo, Y., Hou, L., and Bu, X. (2016). Research on simulation system of welding robot in Unity3d. In Proceedings of the 15th ACM SIGGRAPH Conference on Virtual-Reality Continuum and Its Applications in Industry, Vol:1, pp. 107-110.
- [13] Kuts, V., Otto, T., Tähemaa, T., and Bondarenko, Y. 2019. Digital twin based synchronised control and simulation of the industrial robotic cell using virtual reality. *Journal of Machine Engineering*, 19(1): 128–145.
DOI: 10.5604/01.3001.0013.0464
- [14] Dilibal, S. & Şahin, H. (2018). İşbirlikçi endüstriyel robotlar ve dijital endüstri. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 2 (1): 86-96. <https://dergipark.org.tr/en/pub/ij3dptdi/issue/36075/393765>
- [15] AL, A. A. İşbirlikçi robotla farklı geometrik şekillere sahip nesnelerin sınıflandırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 2021.
- [16] Akkoç, H. Robot kontrol sistemlerindeki algılayıcılarda meydana gelen arızaların tespit ve teşhisi için algoritmalar. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği, Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2008.
- [17] Altural, H., Özkan, S., ve Yılmaz, G., (2019). Serebral Palsili Çocuklar için Giyilebilir Robotik Sistem Tasarımı ve Simülasyonu. *International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, 3(2): 99-104.
- [18] Doğan, C. Unity oyun motoru ile simülasyon tasarımı. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, 2019.
- [19] Ulusoy, Ç. S. Unity ve Vuforia kullanarak bir artırılmış gerçeklik uygulaması. *Master's thesis*, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Edirne, 2022.
- [20] Coşkun, H., Yücer, Ş., Akay, A., and Akgül, Y. S. 2015. Learning Based Automated Teleoperation System. 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU 2015), pp. 1240-1243
doi: 10.1109/SIU.2015.7130062.
- [21] Papakostas, N., Alexopoulos, K., and Kopanakis, A. (2011). Integrating digital manufacturing and simulation tools in the assembly design process: A

- cooperating robots cell case. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 4(1): 96-100. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2011.06.016>.
- [22] Sita, E., Horváth, C. M., Thomessen, T., Korondi P., and Pipe, A. G. (2017). ROS-Unity3D based system for monitoring of an industrial robotic process. *IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII 2017)*, pp. 1047-1052, doi: 10.1109/SII.2017.8279361.
- [23] Numanoğlu, M. *Robot türleri ve eğitsel amaçlı robotlar*. Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi, BÖTE Bölümü. Erişim adresi: [https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/155240/mod_resource/content/0/2.%20Robot%20T%C3%BCrleri%20ve%20E%C4%9Fitsel%20Ama%C3%A7li%20C4%B1%20Robotlar.pdf]
- [24] Çengelci B., Çimen H., (2005). *Endüstriyel Robotlar, Teknolojik Araştırmalar*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü, Afyonkarahisar
- [25] Yücel İ., “Sanayide Robot Teknolojisi Uygulaması ve Önemi”, DPT Sosyal Planlama Genel Müdürlüğü Planlama Dairesi Yayınları, Ankara, 8-9 (1991).
- [26] Gök, G. V. (1998). Robotlu paletleme sistemleri. *Master's thesis*, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [27] Dilibal, S. & Şahin, H. (2018). İşbirlikçi endüstriyel robotlar ve dijital endüstri. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 2 (1): 86-96. <https://dergipark.org.tr/en/pub/ij3dptdi/issue/36075/393765>
- [28] De Silva, D. “Reactions to Robots, Engineering”. April, 1987, s. 227-230.
- [29] Gonzalez, C.S.G. Lee - *Robotics - Control, Sensing, Vision, and Intelligence*-Mcgraw-Hill Book Company, 1987.
- [30] Groover, M. P. (2019). *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*. Pearson Education.
- [31] Erdem, H. İ., Önüt, S., Demirel, T., Günay, G. (1997). “Bilgisayar Destekli Mühendislik Sistemlerinin Yapısal Analizi, Planlaması ve Geliştirilmesi”, *Verimlilik Dergisi*, MPM Yayınları, Ankara, 3:45-46.
- [32] Evsint. *Differences between Cartesian, six-axis, and SCARA robots*. Erişim adresi: <https://www.evsint.com/tr/differences-between-cartesian-six-axis-and->

scara-robots/

- [33] Selek A. 2015. Robot Kolu Nedir? Nasıl Çalışır? <https://www.elektrikport.com/universite/robot-kolu-nedir-nasil-calisir/15043#ad-image-5>
- [34] 320volt. (tarih yok). *Robot tasarımlarınız için ilham verecek çalışmalar*. Erişim adresi: <https://320volt.com/robot-tasarimlariniz-icin-ilham-verecek-calismalar/>
- [35] Robotpark. (tarih yok). *Sabit robotlar: Küre robotlar*. Erişim adresi: <https://www.robotpark.com.tr/blog/tum-robot-tipleri/sabit-robotlar/kure-robotlar/>
- [36] Maltepe Robotik. (2011, Aralık). *Endüstriyel robot kollar*. Erişim adresi: <https://malteperobotik.blogspot.com/2011/12/endustriyel-robot-kollar.html>
- [37] Gerdem. (tarih yok). *Delta robotlar*. Erişim adresi: <https://www.gerdem.com.tr/blogDetay.php?blog=delta-robotlar-2>
- [38] Siciliano, B., & Khatib, O. (2016). *Springer Handbook of Robotics*. Springer.
- [39] Merlet, J.-P. (2006). *Parallel Robots* (2nd ed.). Springer.
- [40] Kollmorgen. *İşbirlikçi robotlar (cobotlar) - Kimler faydalanır?* Erişim adresi: <https://www.kollmorgen.com/tr-tr/blogs/i%C5%9Fbirlik%C3%A7i-robotlar-cobotlar-kimler-faydalan%C4%B1r>
- [41] Bloesch, P. and Fankhauser, M., Collaborative Navigation for Flying and Walking Robots, August, 2016.
- [42] Engineering.com. (2016, 24 Mart). *The automotive sector buys half of all industrial robots*. Erişim adresi: <https://www.engineering.com/the-automotive-sector-buys-half-of-all-industrial-robots/>
- [43] Engineering Update. (2024, 13 Haziran). *FANUC robot eases palletising bottleneck for salad dressing producer Bruno's*. Erişim adresi: <https://engineering-update.co.uk/2024/06/13/fanuc-robot-eases-palletising-bottleneck-for-salad-dressing-producer-brunos/>
- [44] Mediana Sağlık Grubu. (tarih yok). *Robotik cerrahiye talep artıyor: Daha az kan, yara izi ve enfeksiyon*. Erişim Adresi: <https://www.med.com.tr/haber-detay/15704/robotik-cerrahiye-talep-sanat-daha-az-kan-yara-izi-ve->

enfeksiyon

- [45] Gök, K. Ö. (2019, 11 Eylül). *Paletleme uygulamalarında neden kolaboratif robot teknolojisi kullanılmalı?* Universal Robots Blog. Erişim adresi: <https://blog.universal-robots.com/tr/paletleme-uygulamalarinda-neden-kolaboratif-robot-teknolojisi-kullanilmali>
- [46] Başoğlu Lazer. (tarih yok). *Robot kaynak nedir?* Erişim adresi: <https://www.basoglulazer.com/robot-kaynak-nedir.php>
- [47] Nilüs Mühendislik. (tarih yok). *Cobot nedir?* Erişim adresi: <https://nilusmuhendislik.com/cobot-nedir/>
- [48] Fırat O. Z. Fırat S. Ü. Endüstri 4.0 Yolculuğunda Trendler ve Robotlar, İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi, Kasım 2017, 211-223
- [49] Mekatronik.net. (tarih yok). Simülasyon nedir? En çok kullanılan simülasyon programları. Erişim adresi: <https://mekatronik.net/simulasyon-nedir-en-cok-kullanilan-simulasyon-programlari/>
- [50] Brodtkin, J. (3 Haziran 2013). "How Unity3D Became a Game-Development Beast"
- [51] McElroy, G. (20 Ağustos 2013). "Unity for Wii U opens up GamePad hardware and more to developers". Erişim tarihi: 4 Ağustos 2024.
- [52] Unity Technologies. (2020, Kasım 19). *Robotics simulation in Unity is as easy as 1, 2, 3.* Unity Blog. Erişim adresi: <https://unity.com/blog/engine-platform/robotics-simulation-is-easy-as-1-2-3>
- [53] Doğan, C. Unity oyun motoru ile simülatör tasarımı. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, 2019.
- [54] ZeroErr. (tarih yok). *3kg robot arm.* Erişim adresi: <https://en.zeroerr.cn/arms/3kg-robot-arm>
- [55] Universal Robots. (tarih yok). *DH parameters for calculations of kinematics and dynamics.* Erişim adresi: <https://www.universal-robots.com/articles/ur/application-installation/dh-parameters-for-calculations-of-kinematics-and-dynamics/>

EKLER

EK – 1

```
public class RobotController : MonoBehaviour
{
    [System.Serializable]
    public struct Joint
    {
        public string inputAxis;
        public GameObject robotPart;
    }
    public Joint[] joints;

    public void StopAllJointRotations()
    {
        for (int i = 0; i < joints.Length; i++)
        {
            GameObject robotPart = joints[i].robotPart;
            UpdateRotationState(RotationDirection.None, robotPart);
        }
    }

    public void RotateJoint(int jointIndex, RotationDirection direction)
    {
        StopAllJointRotations();
        Joint joint = joints[jointIndex];
        UpdateRotationState(direction, joint.robotPart);
    }

    static void UpdateRotationState(RotationDirection direction, GameObject
robotPart)
    {
        ArticulationJointController jointController =
robotPart.GetComponent<ArticulationJointController>();
        jointController.rotationState = direction;
    }
}
```

EK – 2

<p>InputManager: serializedVersion: 2 - serializedVersion: 3 descriptiveName: negativeButton: left altNegativeButton: a gravity: 3 sensitivity: 3 invert: 0 axis: 0 - serializedVersion: 3 descriptiveName: negativeButton: down altNegativeButton: s gravity: 3 sensitivity: 3 invert: 0 axis: 0 - serializedVersion: 3 descriptiveName: negativeButton: altNegativeButton: q gravity: 3 sensitivity: 3 invert: 0 axis: 0 - serializedVersion: 3 descriptiveName: negativeButton: altNegativeButton: o gravity: 3 sensitivity: 3 invert: 0 axis: 0 - serializedVersion: 3 descriptiveName: negativeButton: altNegativeButton: k gravity: 3 sensitivity: 3 invert: 0 axis: 0 - serializedVersion: 3 descriptiveName: negativeButton: altNegativeButton: n gravity: 3 sensitivity: 3</p>	<p>m_ObjectHideFlags: 0 m_Axes: m_Name: Base descriptiveNegativeName: positiveButton: right altPositiveButton: d dead: 0.19 snap: 1 type: 0 joyNum: 0 m_Name: Shoulder descriptiveNegativeName: positiveButton: up altPositiveButton: w dead: 0.001 snap: 1 type: 0 joyNum: 0 m_Name: Elbow descriptiveNegativeName: positiveButton: altPositiveButton: e dead: 0.001 snap: 1 type: 0 joyNum: 0 m_Name: Wrist1 descriptiveNegativeName: positiveButton: altPositiveButton: p dead: 0.001 snap: 1 type: 0 joyNum: 0 m_Name: Wrist2 descriptiveNegativeName: positiveButton: altPositiveButton: l dead: 0.001 snap: 1 type: 0 joyNum: 0 m_Name: Wrist3 descriptiveNegativeName: positiveButton: altPositiveButton: m dead: 0.001 snap: 1</p>
--	---

<p>invert: 0 axis: 0 - serializedVersion: 3 descriptiveName: negativeButton: altNegativeButton: v gravity: 3 sensitivity: 3 invert: 0 axis: 0 - serializedVersion: 3 descriptiveName: negativeButton: altNegativeButton: z gravity: 3 sensitivity: 3 invert: 0 axis: 0 - serializedVersion: 3 descriptiveName: negativeButton: altNegativeButton: g gravity: 3 sensitivity: 3 invert: 0 axis: 0 - serializedVersion: 3 descriptiveName: negativeButton: altNegativeButton: gravity: 0 sensitivity: 1 invert: 1 axis: 0 - serializedVersion: 3 descriptiveName: negativeButton: altNegativeButton: gravity: 0 sensitivity: 1 invert: 0 axis: 1 - serializedVersion: 3 descriptiveName: negativeButton: altNegativeButton: gravity: 0 sensitivity: 1 invert: 1 axis: 2</p>	<p>type: 0 joyNum: 0 m_Name: Hand descriptiveNegativeName: positiveButton: altPositiveButton: b dead: 0.001 snap: 1 type: 0 joyNum: 0 m_Name: Fingers descriptiveNegativeName: positiveButton: altPositiveButton: x dead: 0.001 snap: 1 type: 0 joyNum: 0 m_Name: BigHandVertical descriptiveNegativeName: positiveButton: altPositiveButton: h dead: 0.001 snap: 1 type: 0 joyNum: 0 m_Name: PS4_LeftStickX descriptiveNegativeName: positiveButton: altPositiveButton: dead: 0.19 snap: 1 type: 2 joyNum: 0 m_Name: PS4_LeftStickY descriptiveNegativeName: positiveButton: altPositiveButton: dead: 0.19 snap: 1 type: 2 joyNum: 0 m_Name: PS4_RightStickX descriptiveNegativeName: positiveButton: altPositiveButton: dead: 0.19 snap: 1 type: 2 joyNum: 0</p>
--	--

<ul style="list-style-type: none"> - serializedVersion: 3 descriptiveName: negativeButton: altNegativeButton: gravity: 0 sensitivity: 1 invert: 0 axis: 3 - serializedVersion: 3 descriptiveName: negativeButton: joystick button 2 altNegativeButton: gravity: 3 sensitivity: 3 invert: 0 axis: 0 - serializedVersion: 3 descriptiveName: negativeButton: joystick button 1 altNegativeButton: gravity: 3 sensitivity: 3 invert: 1 axis: 0 	<ul style="list-style-type: none"> m_Name: PS4_RightStickY descriptiveNegativeName: positiveButton: altPositiveButton: dead: 0.19 snap: 1 type: 2 joyNum: 0 m_Name: Fingers descriptiveNegativeName: positiveButton: joystick button 0 altPositiveButton: dead: 0.001 snap: 1 type: 0 joyNum: 0 m_Name: PS4_Vertical descriptiveNegativeName: positiveButton: joystick button 3 altPositiveButton: dead: 0.001 snap: 1 type: 0 joyNum: 0
--	---

EK- 3

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class RobotManualInput2 : MonoBehaviour
{
    public GameObject robot;
    private PincherController pincherController;
    void Start()
    {
        // HandE objesindeki PincherController'ı bul
        pincherController = GetComponentInChildren<PincherController>();
    }
    void Update()
    {
        RobotController robotController = robot.GetComponent<RobotController>();

        // Gripper kontrolü
        if (Input.GetKey(KeyCode.Y))
        {
            if (pincherController != null)
            {
                pincherController.gripState = GripState.Opening;
            }
        }
        else if (Input.GetKey(KeyCode.U))
        {
            if (pincherController != null)
            {
                pincherController.gripState = GripState.Closing;
            }
        }
        else if (pincherController != null)
        {
            pincherController.gripState = GripState.Fixed;
        }

        for (int i = 0; i < robotController.joints.Length; i++)
        {
            float inputVal = 0f;

            // İkinci robot için yeni kontrol tuşları
            switch(i)
            {
                case 0: // Base rotation
                    inputVal = (Input.GetKey(KeyCode.Keypad4) ? 1f : 0f) -
                    (Input.GetKey(KeyCode.Keypad6) ? 1f : 0f);
                    break;
            }
        }
    }
}
```

```

        case 1: // Shoulder
            inputVal = (Input.GetKey(KeyCode.Keypad5) ? 1f : 0f) -
(Input.GetKey(KeyCode.Keypad8) ? 1f : 0f);
            break;
        case 2: // Elbow
            inputVal = (Input.GetKey(KeyCode.Keypad7) ? 1f : 0f) -
(Input.GetKey(KeyCode.Keypad9) ? 1f : 0f);
            break;
        case 3: // Wrist1
            inputVal = (Input.GetKey(KeyCode.Keypad1) ? 1f : 0f) -
(Input.GetKey(KeyCode.Keypad3) ? 1f : 0f);
            break;
        case 4: // Wrist2
            inputVal = (Input.GetKey(KeyCode.Keypad0) ? 1f : 0f) -
(Input.GetKey(KeyCode.Keypad2) ? 1f : 0f);
            break;
        case 5:// Wrist3
            inputVal = (Input.GetKey(KeyCode.C) ? 1f : 0f) -
(Input.GetKey(KeyCode.F) ? 1f : 0f);
            break;
        case 6: // Hand
            inputVal = (Input.GetKey(KeyCode.R) ? 1f : 0f) -
(Input.GetKey(KeyCode.T) ? 1f : 0f);
            break;
        case 7: // Bolts
            inputVal = (Input.GetKey(KeyCode.Y) ? 1f : 0f) -
(Input.GetKey(KeyCode.U) ? 1f : 0f);
            break;
        case 8: // Fingers
            inputVal = (Input.GetKey(KeyCode.G) ? 1f : 0f) -
(Input.GetKey(KeyCode.H) ? 1f : 0f);
            break;
        case 9: // FingerB
            inputVal = (Input.GetKey(KeyCode.I) ? 1f : 0f) -
(Input.GetKey(KeyCode.J) ? 1f : 0f);
            break;
    }

    if (Mathf.Abs(inputVal) > 0)
    {
        RotationDirection direction = GetRotationDirection(inputVal);
        robotController.RotateJoint(i, direction);
        return;
    }
}
robotController.StopAllJointRotations();
}

static RotationDirection GetRotationDirection(float inputVal)
{

```

```
if (inputVal > 0)
{
    return RotationDirection.Positive;
}
else if (inputVal < 0)
{
    return RotationDirection.Negative;
}
else
{
    return RotationDirection.None;
}
}
}
```

