

T.C.
BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MECANUM TEKERLEKLİ ROBOT İLE OTOMATİK DEPOLAMA VE BOŞALTMA
SİSTEMİ PROTOTİPİNİN TASARIMI VE ÜRETİMİ**

Recep ÖZYURT

Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Programı

TEMMUZ 2022

T.C.
BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MECANUM TEKERLEKLİ ROBOT İLE OTOMATİK DEPOLAMA VE BOŞALTMA
SİSTEMİ PROTOTİPİNİN TASARIMI VE ÜRETİMİ**

Recep ÖZYURT

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Cemil KÖZKURT

Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Programı

TEMMUZ 2022

ONAY

Recep ÖZYURT tarafından hazırlanan “**Mecanum Tekerlekli Robot İle Otomatik Depolama ve Boşaltma Sistemi Prototipinin Tasarımı Ve Üretimi**” adlı tez çalışması 01.08.2022 tarihinde yapılan sınavla aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile Bandırma Onyedİ Eylöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Cemil KÖZKURT
(Danışman)

Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ
(Üye)

Dr. Öğr. Üyesi Mücahit SOYASLAN
(Üye)

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../...gün ve .../... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Abdullah YEŞİL
Enstitü Müdürü

BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre hazırlamış olduğum “**Mecanum Tekerlekli Robot İle Otomatik Depolama ve Boşaltma Sistemi Prototipinin Tasarımı Ve Üretimi**” adlı tezimin özgün bir çalışma olduğunu, tez hazırlanırken tüm aşamalarda bilimsel etik ilkelerine uygun davrandığımı, tez kapsamında sunulan tüm verileri bilimsel etik ilkelerine uygun elde ettiğimi, tezde faydalandığım tüm eserlere atıf yaptığımı ve kaynaklar kısmında bu eserleri gösterdiğimi beyan ederim.

Recep ÖZYURT
İmza

ÖNSÖZ

Nüfus artışıyla birlikte firmalar ürettikleri ürünlerin miktarını ve çeşitlerini arttırmaktadırlar. Endüstri 4.0 ile birlikte üretim sahasında hareketlilik her geçen gün hızlanmaktadır. Firmalar ise bu teknoloji hızına ayak uydurmak için ürünlerini üretimden, müşterilere ulaştırıncaya kadar hızlı ve verimli çözümler geliştirme ihtiyacını hissetmişlerdir. Üretimden müşterilere ulaşma sürecinde ürünleri depolama işlemlerinin seri ve her an takip edilebilir yazılımsal çözümler sunan teknoloji tabanlı sistemler gerektiği kesinleşmiştir. Bu gereklilikle birlikte Otomatik Depolama ve Boşaltma Sistemleri (ODBS) kavramı ortaya çıkmıştır. Bu sistemler her geçen gün gelişip müşteriye en uygun çözümler üretmektedirler.

ODBS'lerin ilk kurulum maliyetleri yüksektir. Kullanılan robotlar, robotların hareket etmesi için gereken raylı hatlar gibi kısımlar maliyeti artırmaktadırlar. Geleneksel depolarda ise ürünlerin depoya girişinden çıkışına kadar olan işlemlerin insan müdahalesiyle gerçekleştirilmesinden dolayı ürünlerin depolama ve boşaltma hızları düşmektedir. Ayrıca forkliftin ürünü depolama ve boşaltabilmesi için koridor aralığı en az forkliftin uzunluğu kadar olmalıdır. Bu durum ise depo alanındaki boş alanlarının artmasına neden olmaktadır.

Bu tez çalışmasında mecanum tekerlekli özgün bir robot ile ODBS geliştirilmiştir. Geliştirilen ODBS ile ilk kurulum maliyetinin düşürülmesi ve depodaki gereksiz boş alanların minimuma indirilmesi hedeflenmiştir. Geliştirilen robotun mecanum tekerlekleri sayesinde minimum alanda maksimum hareket kabiliyeti sunulmaktadır. Ürünlerin tam otonom şekilde konveyör hatlarından alınıp, hedef rafa iletme işlemini yerine getirmektedir. Bu sırada barkod okuma ile ürünlerin kayıtları bilgisayar ortamında kaydedilip, ürün takibi yapılma olanağı sağlamaktadır. Geleneksel depolarda yapılacak bazı güncellemeler ile geliştirilen sistem geleneksel depoları akıllı depolar haline getirmektedir.

Bu tez çalışması sırasında, tez konusunun belirlenmesinden başlayarak, son aşamaya kadar her konuda benden yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Cemil KÖZKURT'a şükranlarımı sunarım.

Bu günlere gelmemde büyük emekleri olan annem Saliha, babam Rüstem'e, yoğun çalışma temposunda benden maddi ve manevi desteğini esirgemeyen ev arkadaşlarıma, varlıkları ile birer motivasyon kaynağı olan çok değerli abla ve abilerime, değerli arkadaşım Nasrullah'a çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışması Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: BAP-21-1010-001. Verdikleri desteklerden dolayı Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederim.



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MECANUM TEKERLEKLİ ROBOT İLE OTOMATİK DEPOLAMA VE BOŞALTMA SİSTEMİ PROTOTİPİNİN TASARIMI VE ÜRETİMİ

Recep ÖZYURT

Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Cemil KÖZKURT

Temmuz 2022, 85 sayfa

Depolama ve boşaltma işlemlerinde iki çözüm yolu bulunmaktadır. Bunlardan biri insan müdahalesinin çok olduğu geleneksel depolar diğeri ise insan müdahalesinin az olduğu otomatik çözümler sunan Otomatik Depolama ve Boşaltma Sistemleri (ODBS)'dir.

ODBS, bünyesinde teknolojik olarak gelişmiş robotlar ve bu robotların hareket edebileceği zemin ve uyum sağlayabileceği depo tasarımına ihtiyacı vardır. Bu sistemlere sahip olabilmek için genellikle geleneksel depoları tamamen değiştirmek gereklidir. Günümüzde bu ihtiyaçları karşılayan sistemlerin ilk kurulum maliyetleri yüksektir. Geleneksel depo çözümleri ise oldukça yavaş ve güvenlik açısından risklidir. Manuel forkliftin ürünü depolayıp boşaltabilmesi için forklift ve çatal uzunluğunun toplam uzunluğu kadar raf genişliği olması gereklidir.

Bu tez çalışması kapsamında ilk kurulum maliyeti düşük olan ve depolardaki gereksiz boşlukları minimuma indiren, piyasada en sık kullanılan tek derinlikli depo sistemine uygun ODBS robotu tasarlanmış ve bir prototipi üretilmiştir. Robotun sahip olduğu mecanum tekerlekler ile yatayda 8 lineer hareket ve kendi ekseni etrafında dönebilme kabiliyetlerine sahiptir. Kendi ekseni etrafında dönebilme kabiliyetinden dolayı konumunu değiştirmeden sola ve sağa dönebilmektedir. Manuel forkliftler gibi ürünü önden değil, sahip olduğu özgün tasarımı ile sağ

ve sol tarafından ürünü rafa koyup alma işlemini yapabilmektedir. Bundan dolayı koridorda ilerleyen robotun sadece rafa yanaşma işlemiyle dönmeye ihtiyaç duymadan ürünü depolayıp boşaltabilmektedir. Dikey hareketini robotun tasarımında sahip olduğu üst rafalar erişim sağlayan asansör sistemi ile gerçekleştirmektedir. Prototipi üretilen ODBS robotunun kontrolü, yazılım temelli geliştirilen sistem ATmega2560 tabanlı bir mikro denetleyici olan Arduino Mega kartı ile yapılmaktadır. Kullanılan diğer ODBS'lere göre daha az enerji kullanmaktadır. Enerji tüketiminin düşük olması ile Enerji Verimliliği Kanunu'na uygundur.

Bu robotun, tek derinlikli geleneksel depolara uygun yapısı ile piyasada ODBS ihtiyacı olup ilk kurulum maliyeti nedeniyle ODBS kuramayan firmaların ihtiyacına tam uygun bir çözümdür. Geliştirilen bu sistem ile birlikte geleneksel depolar az maliyet ile ODBS'ye dönüşmektedir.

Bu tez çalışmasının 1. aşaması olan giriş kısmında tez kapsamında yapılan araştırmanın amacı, önemi, kısımları ve kapsamı değerlendirilmiştir. 2. kısımda ODBS tanımı yapıp, ODBS'leri oluşturan temel bileşenler tanıtılmıştır. 3. kısımda ODBS türleri hakkında geniş literatür taraması yapıp sınıflara ayrılarak tanıtılmıştır. 4. kısımda geliştirilen sistem hakkında detaylı bilgi verilip özgün yönü vurgulanmıştır. Geliştirilen robotta kullanılan malzemeler tanıtılıp neden kullanıldığı hakkında bilgiler detaylı olarak incelenmiştir. 5. kısımda ise günümüz ODBS'leri hakkında avantaj ve dezavantajları ile birlikte genel bir değerlendirme yapılmıştır. Geliştirilen sistemin günümüz ODBS çözümlerine katkıları vurgulanıp, bundan sonraki çalışmalarda neler yapılabilir sorusuna öneriler sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Otomatik Depolama ve Boşaltma Sistemleri, Mekanum Tekerlek, Arduino Mega, Yazılım, Kontrol

ABSTRACT

M.Sc. THESIS

DESIGN AND MANUFACTURE OF AUTOMATED STORAGE AND RETRIEVAL SYSTEM PROTOTYPE WITH MECANUM WHEELED ROBOT

Recep ÖZYURT

**Bandırma Onyedi Eylül University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Intelligent Transportation Systems and Technologies**

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Cemil KÖZKURT

July 2022, 85 pages

There are two solutions for storage and unloading processes. One of them is traditional warehouses where human intervention is high and the other is Automatic Storage and Unloading Systems (ODBS), which provides automated solutions with less human intervention.

ODBS needs technologically advanced robots and a warehouse design where these robots can move and adapt. In order to have these systems, it is often necessary to completely replace traditional warehouses. Today, the initial installation costs of systems that meet these needs are high. Traditional warehouse solutions are slow and risky in terms of security. In order for the manual forklift to store and unload the product, the rack width must be equal to the total length of the forklift and fork length.

Within the scope of this thesis, an ODBS robot suitable for the most frequently used single-deep warehouse system in the market, which has low initial setup cost and minimizes unnecessary spaces in warehouses, has been designed and a prototype has been produced. With its mecanum wheels, the robot has the ability to move 8 linearly horizontally and rotate around its own axis. Due to its ability to rotate around its own axis, it can rotate left and right without changing its position. It can put the product on the shelf and take it from the right and left sides with its original design, not from the front like manual forklifts. For this reason, the robot moving in the corridor

can store and unload the product without the need to turn only by approaching the shelf. It performs its vertical movement with the elevator system that provides access to the upper shelves of the robot in its design. The control of the prototype of the ODBS robot is made with the Arduino Mega board, which is a microcontroller based on the software-based system ATmega2560. It uses less energy than other ODBS used. With its low energy consumption, it complies with the Energy Efficiency Law.

With its structure suitable for single-deep conventional warehouses, this robot is a perfect solution for the needs of companies that need ODBS in the market but cannot install ODBS due to the initial installation cost. With this developed system, traditional warehouses are transformed into ODBS with low cost.

In the introduction, which is the first stage of this thesis, the purpose, importance, parts and scope of the research carried out within the scope of the thesis were evaluated. In the second part, the definition of ODBS is made and the basic components that make up the ODBS are introduced. In the third part, extensive literature review about ODBS types is made and introduced by classifying. In section 4, detailed information about the developed system is given and its original aspect is emphasized. The materials used in the developed robot were introduced and the information about why they were used was examined in detail. In the 5th part, a general evaluation has been made about today's ODBS with its advantages and disadvantages. The contributions of the developed system to today's ODBS solutions are emphasized, and suggestions are presented to the question of what can be done in future studies.

Keywords: Automated Storage and Unloading Systems, Mecanum Wheel, Arduino Mega, Software, Control

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	I
ABSTRACT	III
İÇİNDEKİLER.....	V
ŞEKİL LİSTESİ	VIII
TABLO LİSTESİ.....	XI
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	XII
1. GİRİŞ.....	1
1.1 ARAŞTIRMANIN AMACI VE ÖNEMİ.....	1
1.2 ARAŞTIRMANIN KISIMLARI VE KAPSAMI	2
2. ODBS'LERİN TANIMI VE KAVRAMI	4
2.1 ODBS TANIMI	4
2.2 ÜRÜNLERİN HAREKET ETTİKLERİ PLATFORMLAR	8
2.2.1 Rulolu Konveyörler	9
2.2.2 Zincirli Konveyörler	9
2.2.3 Bantlı Konveyörler	10
2.3 RAFLAR	11
2.3.1 Tek Derinlikli Raflar	11
2.3.2 Sırt Sırta Raflar	12
2.3.3 Çift Derinlikli Raflar	13
2.3.4 Çok Derinlikli Raflar	13
2.3.5 Yerçekimi Akış Rafı	14
2.3.6 İçine Girilebilir Raflar	15
2.3.7 Katlı Raflar	15
2.3.8 Hareketli Raflar.....	16

2.3.9	Taşıyıcı Robotlu Akıllı Raflar	17
2.4	DEPOLAMA ATAMASI.....	18
2.4.1	Özel Depolama Ataması.....	18
2.4.2	Rastgele Depolama Ataması	19
2.4.3	En Yakın Açık Konum Depolama Ataması	19
2.4.4	Tam Devir Tabanlı Depolama Ataması.....	19
2.4.5	Sınıf Tabanlı Depolama Ataması	19
2.5	RFID (RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION).....	20
2.6	IOT (INTERNET OF THINGS)	20
3.	OTOMATİK DEPOLAMA VE BOŞALTMA SİSTEMLERİ ÇEŞİTLERİ VE KULLANILAN MOBİL ROBOT TÜRLERİ.....	21
3.1	MOBİL ROBOTLAR	21
3.1.1	Koridor Robotu (KR).....	21
3.1.2	Taşıyıcı Robot (TR)	23
3.1.3	Taşımali Koridor Robotu (TKR)	23
3.1.4	Taşımali Otonom Robot (TOR)	24
3.2	ODBS ÇEŞİTLERİ	24
3.2.1	KR ve TR'li Sistemler	25
3.2.1.1	<i>Vinçli KR'li ve TR'li sistemler</i>	25
3.2.1.2	<i>Mini KR'li ve TR'li Sistemler</i>	27
3.2.2	Taşıyıcı Robotlu (TR) Sistemler	28
3.2.2.1	<i>Dikey TR'li Sistemler</i>	28
3.2.2.2	<i>Yatay TR'li Sistemler.....</i>	29
3.2.3	Taşımali Koridor Robota (TKR) Sahip Sistemler.....	31
3.2.3.1	<i>2 Eksenli TKR'li Sistemler.....</i>	31
3.2.3.2	<i>3 Eksenli Taşımali Koridor Robotlu Sistemler.....</i>	32
3.2.4	Taşımali Otonom Robotlu (TOR) Sistemler	32

3.2.5	TR ve KR'siz Yarı Otonom Oynar Raflı Sistemler	34
3.2.6	Özel ODBS'ler	34
4.	MECANUM TEKERLEKLİ ROBOT İLE ODBS TASARIMI VE PROTOTİBİ	40
4.1	GELİŞTİRİLEN ODBS ROBOTUNUN ÖZGÜN YANI VE PİYASADA KARŞILADIĞI ÇÖZÜMLER	40
4.2	GELİŞTİRİLEN ODBS'NİN ENDÜSTRİYEL KARŞILIĞI	44
4.3	GELİŞTİRİLEN ODBS İÇİN KULLANILAN MALZEMLER VE KULLANIM AMAÇLARI	51
4.3.1	Mecanum Tekerlek	53
4.3.2	Arduino Mega 2560	53
4.3.3	Nema 17 Step Motor	54
4.3.4	DRV8825 Step Motor Sürücü Kartı	56
4.3.5	Redüktörlü DC Motor	57
4.3.6	Pleksiglas ve Dekote Levha	58
4.3.7	Sigma Profil ve Bağlantı Elemanları	59
4.3.8	Miller ve Sabit Mil Yatağı	61
4.3.9	Lineer Rulmanlar ve Rulmanlı Yataklar	63
4.3.10	Lİ-PO Pil	65
4.3.11	Teleskobik Ray	65
4.3.12	Pinyon Dişli ve Kremayer Dişli	67
4.4	ROBOTUN MEKANİK YAPISI	67
4.5	ROBOTUN ELEKTRONİK YAPISI	70
4.6	DEPO YAPISI	72
5.	TARTIŞMA VE SONUÇ	73
6.	KAYNAKLAR	75
7.	EKLER	78
	ÖZGEÇMİŞ	85

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2-1: Geleneksel depolardaki ürünlerin depolama işlemlerinin işleyiş sırası	5
Şekil 2-2: Geleneksel depolardaki ürünlerin boşaltma işlemlerinin işleyiş sırası	6
Şekil 2-3: ODBS’lerde ürünlerin depolama işlemlerinin işleyiş sırası	7
Şekil 2-4: ODBS’lerde ürünlerin boşaltma işlemlerinin işleyiş sırası.....	8
Şekil 2-5: Rulolu konveyör [11]	9
Şekil 2-6: Zincirli konveyör [12].....	10
Şekil 2-7: Bantlı konveyör [13]	11
Şekil 2-8: Tek derinlikli raf [14]	12
Şekil 2-9: Sırt sırta raf [15]	12
Şekil 2-10: Çift derinlikli raf [16]	13
Şekil 2-11: Çok derinlikli raf [17]	14
Şekil 2-12: Yerçekimi akış rafı [18].....	14
Şekil 2-13: İçine girilebilir raf [19].....	15
Şekil 2-14: Katlı raf [20].....	16
Şekil 2-15: Hareketli raf [21]	17
Şekil 2-16: Taşıyıcı robotlu akıllı raflar [21].....	18
Şekil 3-1: Vinçli koridor robotu [15]	22
Şekil 3-2: Mini koridor robotu [29]	22
Şekil 3-3: Taşıyıcı robot [21].....	23
Şekil 3-4: Taşımalı koridor robotu [30].....	24
Şekil 3-5: ODBS çeşitleri.....	25
Şekil 3-6: Tek ray hatlı TR ve KR’li sistem [32].....	26
Şekil 3-7: Çift ray hatlı TR ve KR’li sistem [33].....	26
Şekil 3-8: İki koridor robotlu sistem [35]	27
Şekil 3-9: Taşıma robotlu ve mini koridor robotlu ODBS örneği.....	28
Şekil 3-10: Dikey taşıyıcı robotlu sistem [36]	29
Şekil 3-11: Yatay taşıyıcı robotlu sistem örneği [37]	30
Şekil 3-12: Yatay taşıyıcı robotlu sistem örneği [38]	30
Şekil 3-13: 2 eksenli taşımalı koridor robota sahip ODBS örneği [39].....	31
Şekil 3-14: 2 Eksenli taşımalı koridor robota sahip ODBS örneği [40].....	32

Şekil 3-15: Taşımalı otonom robotu örneği [41]	33
Şekil 3-16: Akıllı Forklift örneği [42].....	33
Şekil 3-17: Taşıyıcı robot ve koridor robotsuz yarı otonom sistem örneği [43].....	34
Şekil 3-18: Boston Dynamics firmasının ürettiği ODBS [44]	35
Şekil 3-19: JD.com isimli firmanın ürettiği ODBS [45]	36
Şekil 3-20: BionicHIVE firmasının ürettiği ODBS [46]	37
Şekil 3-21: EXOTEC firmasının ürettiği ODBS [47]	38
Şekil 3-22: Fraunhofer firmasının ürettiği ODBS [48]	39
Şekil 3-23: Tokyo Robotics firmasının ürettiği ODBS [49]	39
Şekil 4-1: Mecanum tekerlekli robot ile ODBS tasarımının prototipi.....	41
Şekil 4-2: Forkliftlerin dönüşü için kullandıkları alan [51].....	42
Şekil 4-3: Mecanum tekerleklerin manevra kabiliyetleri [51].....	42
Şekil 4-4: Forklift ölçüleri.....	45
Şekil 4-5: Geliştirilen robotun ölçüleri	46
Şekil 4-6: Forkliftin geleneksel depo içinde ki görüntüsü	47
Şekil 4-7: Mecanum tekerlekli robot ile ODBS tasarım görüntüsü.....	48
Şekil 4-8: Sırt sırta yapıda tek derinlikli geleneksel depo.....	49
Şekil 4-9: Geliştirilen ODBS	50
Şekil 4-10: Geliştirilen ODBS robotunun malzeme numaralandırması.....	52
Şekil 4-11: Mecanum tekerleğin farklı açılardan görüntüsü	53
Şekil 4-12: Nema 17 step motor.....	55
Şekil 4-13: DRV8825 sürücü kartı [59]	56
Şekil 4-14: Redüktörlü DC motor	58
Şekil 4-15: 20x20 mm kanal 6 sigma profil teknik resmi ve ölçüleri	59
Şekil 4-16: 20x20 mm kanal 6 sigma profil	60
Şekil 4-17: Sigma profil L bağlantı elemanı.....	60
Şekil 4-18: 8 mm indüksiyonlu mil.....	61
Şekil 4-19: 8 mm 4 hatve vidalı mil	62
Şekil 4-20: Sabit mil yatağı	62
Şekil 4-21: Lineer rulman	63
Şekil 4-22: Vidalı mil somunu	64
Şekil 4-23: Rulmanlı mil yatağı.....	64
Şekil 4-24: Lipo pil.....	65
Şekil 4-25: Teleskopik ray.....	66

Şekil 4-26: Teleskobik rayın montaj 3D model çizimi	66
Şekil 4-27: Motor şase bağlantısının montaj resmi	67
Şekil 4-28: (a) Vidalı milin motor ve ürünü taşıyan hareketli platform ile bağlantısının 3D model çizimi, (b) Vidalı milin motor ve ürünü taşıyan hareketli platform ile bağlantısının montaj resmi	68
Şekil 4-29: : (a) Vidalı mil ile şasenin yataklama 3D model çizimi, (b) Vidalı mil ile şasenin yataklama montaj resmi	68
Şekil 4-30: (a) Sigma profilin sisteme bağlantısının 3D model çizimi, (b) Sigma profilin sisteme bağlantısının montaj resmi.....	69
Şekil 4-31: (a) Lineer Rulman ile milin bağlantı 3D model çizimi, (b) Lineer Rulman ile milin bağlantı montaj resmi	69
Şekil 4-32: (a) Teleskobik ray montaj 3D çizimi, (b) Teleskobik ray montaj resmi	70
Şekil 4-33: Robotun elektronik blok şeması.....	71
Şekil 4-34: Tek derinlikli depo prototipinin iskelet yapısı.....	72

TABLO LİSTESİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 4-1: ODBS parametlerinin karşılaştırılması	43
Tablo 4-2: Geleneksel depo parametre değerleri.....	48
Tablo 4-3: Geliştirilen ODBS parametre değerleri	50
Tablo 4-4: Malzeme numaralandırma listesi	52
Tablo 4-5: Nema-17 Step Motor Tasarım Parametreleri	55
Tablo 4-6: DRV8825 Step motor sürücü kartı tasarım parametreleri.....	56
Tablo 4-7: Redüktörlü DC motor için tasarım parametreleri	57
Tablo 4-8: Elektronik malzeme miktar tablosu.....	72

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
----------	----------

°	: Derece
---	----------

Kısaltmalar	Açıklama
-------------	----------

ODBS	: Otomatik Depolama ve Boşaltma Sistemleri
------	--

TR	: Taşıma Robotu
----	-----------------

KR	: Koridor Robotu
----	------------------

V	: Volt
---	--------

A	: Amper
---	---------

ATM	: Bankamatik
-----	--------------

PVC	: Polivinil klorür
-----	--------------------

mAh	: Miliampere-hour
-----	-------------------

S	: Hücre sayısı
---	----------------

ID	: Kimlik Numarası
----	-------------------

C	: Pilin verebileceği maksimum akımı belirleyen ifade
---	--

TKR	: Taşımalı Koridor Robotu
-----	---------------------------

PLC	: Programlanabilir mantıksal denetleyici
-----	--

RFID	: Radyo frekansı tanımlama
------	----------------------------

IOT	: Nesnelerin interneti
-----	------------------------

PWM	: Sinyal genişlik modülasyonu
-----	-------------------------------

AC	: Alternatif akım
----	-------------------

DC	: Doğru akım
----	--------------

ICSP	: Devre üzerinden programlama
kg	: Kilogram
gr	: Gram
cm	: Santimetre
mm	: Milimetre
N	: Newton
3D	: 3 boyutlu
mA	: Mili amper
M	: Metrik
GND	: Topraklama

1. GİRİŞ

1.1 ARAŞTIRMANIN AMACI VE ÖNEMİ

İnsan nüfusunun artması ve ürün çeşitliliğinin çoğalması fabrikaları daha hızlı ve verimli üretim yapmaya zorlamıştır. Ürünün ham maddesinin tedarikinden üretilen ürünün elden çıkış işlemine kadar olan aşamaların en önemli kısımlarından biri depolama ve boşaltma işlemleridir. Depolama ve boşaltma işlemleri geleneksel çözümler ve otomatik çözümler olmak üzere 2 türde yapılmaktadır. Geleneksel çözümler insan müdahaleleriyle yapılan işlemleri kapsamaktadır. Ürünlerin girişinden çıkışına kadar işlemlerin çoğu manuel olarak yapılmaktadır. Bu işlemlerin insan müdahalesinin minimum olduğu ve ürünlerin depolama ve boşaltma için gereken aşamaların otomatik olarak yapıldığı sistemler de vardır. Otomatik çözümlerin kullanıldığı sistemlere Otomatik Depolama ve Boşaltma Sistemleri (ODBS) denmektedir.

Günümüz endüstrisinde firmaların ayakta kalabilmeleri ve sürekliliği sağlayabilmeleri için rekabet koşullarını iyileştirmeleri gerekmektedir [1]. ODBS ise bu koşulların iyileştirilmesinde önemli bir role sahiptir. Teknolojinin ilerlemesiyle endüstride kullanılan yenilikler gün geçtikçe artmaktadır [68],[69]. Özellikle üretimin daha verimli hale gelebilmesi için Endüstri 4.0 devrine ayak uydurmak gerekmektedir. Artan insan nüfusuyla, üretilen ürün sayısı doğru orantılı bir şekilde artmaktadır. Bunun için ODBS uygulamalarına geçiş oldukça önemlidir.

ODBS çalışmalarında bir uygulama platformu geliştirmek adına yapılacak bu çalışmada günümüz depolama ve boşaltma işlemlerini daha ucuz ve daha verimli yapmak adına bir ODBS robotu tasarlanıp prototip örneği üretilmiştir. Geleneksel depolardaki manuel çalışan forkliftlerin yerini alması amaçlanan bu çalışmada sahip olduğu özgün yönleriyle depo alanını daha verimli kullanma imkânı sunacaktır. Depolama ve boşaltma işleminde gerekli olan 3 eksenli hareketleri sağlayan motorların kontrolü Arduino temelli bir sistem ile kontrol edilmektedir. Mecanum tekerleklerle sahip bu robot ile klasik robotlu depolara göre enerji, depolama hacmi ve hız açısından daha verimli bir ODBS oluşturulması amaçlanmaktadır.

ODBS'ler ile depolama ve boşaltma zamanının kısaltılması, hatasız ürün sevkiyatı, ürünlerin zarar görmemesi, stok durumunun ve depo hareketlerinin uzaktan izlenebilmesi, düşük işletme maliyeti, muhasebe sistemine entegre edilebilmesi, iş güvenliği ve depreme karşı mukavemet gibi avantajlar elde edilmektedir [2]. Geleneksel depolama uygulamalarında sıkça karşılaşılan sağlık sorunları da ODBS ile minimuma inmektedir [3]. Geleneksel depolama

sistemlerinde stok veri yönetimi ve ürünlerin uygun yerlere sevk edilme operasyonu çalışan bazlı hatalara neden olmaktadır. Bu yüzden büyük firmalar ürünlerin depoya yüklenmesi ve boşaltılması işleminin insan bazlı olmamasını istemektedir [4].

Günümüzde kullanılmakta olan ODBS uygulamalarının çoğu raylı sistemler üzerine entegre edilmektedir. Bu tür uygulamalar depolama alanına gelişim getirmektedir. Depoya yerleştirilecek ürün ve depodan boşaltılan ürün hareketliliğini artırarak daha az insan gücüyle daha verimli iş ortaya konmaktadır. Bu çalışmada ise raylı sistemler yerine mecanum tekerleklerle sahip, klasik depolardaki forkliftlerin görevini yerine getiren otonom araç vasıtasıyla ürünlerin ulaşması gereken yere yazılım temelli tanımlama (ID) numarasına bağlı olarak iletilmektedir. Önerilen çalışmanın raylı alt yapıya sahip ODBS uygulamalarına göre avantajı ise depo mimarisinde ve robotun başka amaçlar için de kullanılmasında esnek bir yapı sunabilmesidir. Raylı sisteme sahip akıllı depoların kurulum maliyeti yüksektir ve sabit yapıları olduğu için esneklik sunmamaktadırlar. Bu çalışmada ise basit kurulum sayesinde deponun hacmini azaltıp arttırmak, genel tasarımı değiştirmek gibi müdahaleler daha kolay hale gelmektedir. Hatta geleneksel depoların üzerlerine de entegre edilebilecektirler. Ayrıca mecanum tekerlekli robot 4 farklı ekseninde doğrusal olarak ve kendi eksenini etrafında her iki yönde 360 derece dairesel olarak hareket edebilmektedir. Bu nedenle forklift görevi yapacak olan akıllı robota farklı işler de atanabilecektir. Fabrika içerisinde kullanılan forkliftlerin birçok işini de yerine getirebilecek kabiliyete sahip olacağından depolama işlemlerinin öncesindeki ve sonrasındaki işlemleri de yapabilecektir. Mecanum tekerlekli robot uygulaması aynı zamanda eksen yataklama maliyeti açısından ODBS uygulamalarına göre avantajlıdır. Son olarak sağlanan en önemli avantaj sırt sırta depo tiplerinde her koridorun arasına girebilen bir robot uygulaması gerçekleştirilmiş olacaktır. Klasik ODBS'lerde ise her koridor için bir koridor robotu kullanılmaktadır.

1.2 ARAŞTIRMANIN KISIMLARI VE KAPSAMI

Artan nüfus miktarıyla fabrika ve atölye gibi yerlerde üretilen ürün sayısı ve çeşitliliği artmıştır. Bu nedenle üretim hattında ve depolamada yazılım alt tabanlı teknolojilere ihtiyaç duyulmaktadır. Akıllı depolama sistemleri, üretimde paletleme işleminden sonra insan müdahalesi olmadan ürünlerin raflara yerleştirilmesi için kullanılan sistemlerdir [5].

Bu çalışmada Arduino alt tabanlı bir ODBS tasarlanacak ve üretilen olacaktır. Projede ürünleri taşıma görevini bir robot üstlenmektedir. Robotun kolları ürünlerin yerleştirildiği paletleri alttan

kavrayabilecek şekilde çatal ve teleskobik bir yapıya sahiptir. Robotun iki adet kolu zemine dik ekseninde aşağı ve yukarı hareket etmektedir. Aynı zamanda paletleri alıp yerleştirmek için zemine paralel olarak da hareket edebilmektedir. Robotta 4 adet mecanum tekerlek kullanılacaktır. Böylelikle robot 8 farklı yönde doğrusal ve kendi eksenine etrafında her iki yönde 360 derece dönebilmektedir [6]. Mecanum tekerlek sistemi adı verilen her tekerleğin üzerinde teker eksenine 45° açı ile yerleştirilmiş silindirik ve kendi ekseninde serbest hareketli fiçı tekerler bulunmaktadır. Tekerlekler dönme hareketi yaptığı sırada teker eksenine dik, 45° 'li ve kendi ekseninde olmak üzere hareket vektörü oluşturmaktadır. Bu sayede karşılıklı tekerleklerin dönüş yönlerinde yapılan değişiklikler ile istenen yönlerde hareket sağlanabilmektedir [7].

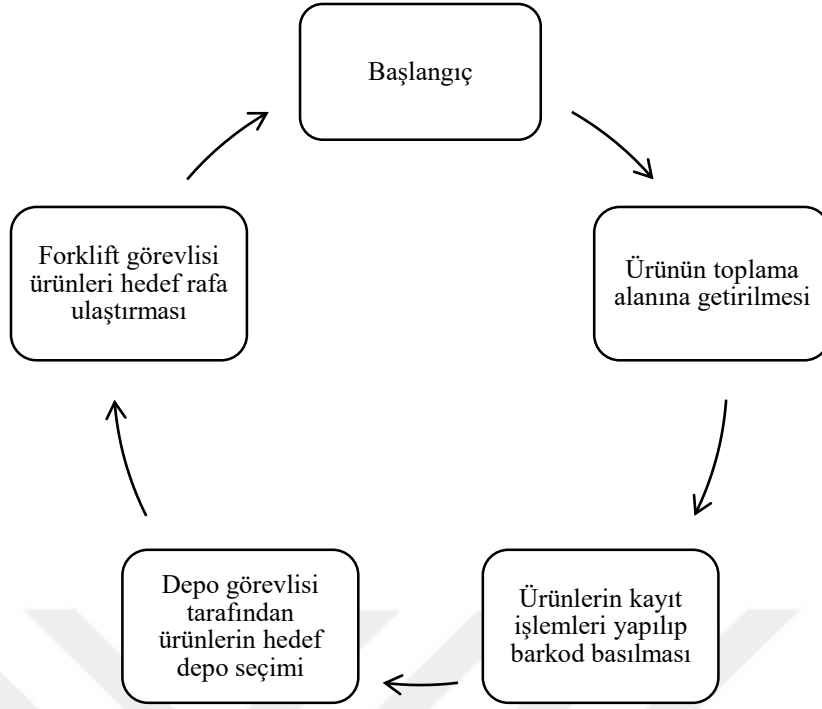
Tez kapsamında tasarlanmış olan robotun hareketlerinin tamamen otonom olması planlanmaktadır. Arduino yazılımını kullanarak robotun gideceği konumlar ve yapılacak hareketler tanımlanmaktadır. Dolayısıyla herhangi bir ürünün konumunu programa yazıldığında robot ürünü belirlenen konuma başarılı bir şekilde ulaştırabilmektedir. Ürün sayısı ve çeşitliliğinin artmasıyla depolarda artık yazılımlarla yönetilen ve insan gücüne ihtiyaç duyulmayan teknolojilere ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüzde kullanılan birçok akıllı depolama uygulamalarında PLC ünitesi kullanılmaktadır. Bazı durumlar için bu yöntem daha verimlidir [8]. Fakat her işletmenin bu gibi akıllı depolama sistemlerinin kurulumuna sahip olmak için yeterli maddi gücü olmayabilir veya işletmesine bu tip bir depolama uygun olmayabilir. Bu çalışmada otonom robot temelli bir sistem ele alındığından işletmelerdeki mevcut depolar kullanılarak da ODBS uygulamasına geçiş yapılmasına imkân tanınmaktadır. Bu ise maliyet açısından düşük olmaktadır. Robotun mecanum tekerlekleri sayesinde raflar arasındaki hareketi çok seri ve güvenilir bir şekilde olup, robot taşıdığı ürünü sarsmadan ilerlemektedir. Gerekğinde robota depo dışında farklı görevler de verilebilecektir. Böylelikle çok kullanışlı ve çok yönlü hale gelecektir. Mecanum hareket serbestliği sayesinde klasik depolarda bulunan raf arası hareket boşlukları iki araç boyu yerine tek araç boyuna indirilebilecektir. İleriki çalışmalarda, ODBS üzerinde yol ve enerji optimizasyonları çalışılacak ve çeşitli optimizasyon yöntemleri uygulanacaktır.

2. ODBS'LERİN TANIMI VE KAVRAMI

2.1 ODBS TANIMI

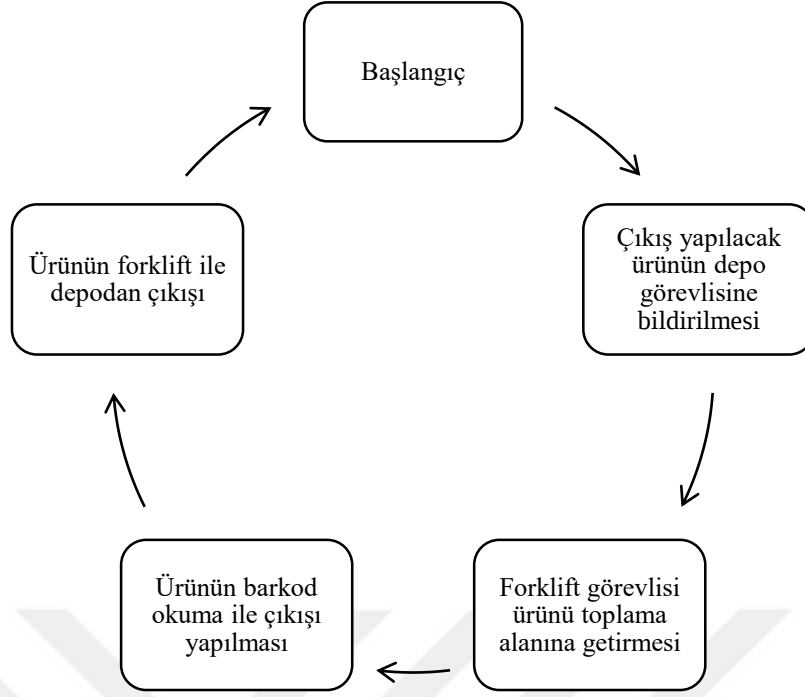
ODBS ilk olarak 1950'li yıllarda meydana çıkmıştır. 1950'lerden günümüze kadar firmalar dağıtım ve üretim depolarında yoğun ihtiyaçtan dolayı ODBS'leri kullanmaktadırlar. ODBS depo içerisinde ürünlerin raflara yerleştirmesi ve ürünlerin depodan boşaltılma işlemlerinin en az insan müdahalesi ile otomatik olarak yapan sistemlerdir. ODBS'lerde ürün çeşitliliği geniştir. Hammaddeler, yarı mamul ürünler, üretimi tamamlanan ürünler, dağıtım yapılan ürünler gibi çok farklı sayıda ürün ODBS tarafından kontrol edilebilmektedir. Ürünlerin türüne göre ODBS tasarımı en uygun şekilde seçilmesi önemlidir. ODBS ana bileşenleri raflar, koridor robotları, taşıyıcı robotlar, koridorlar, giriş ve çıkış noktaları ve toplama konumlarıdır. Raflar, tipik olarak, depolanması gereken yükleri barındırabilecek konumlara sahip metal yapılardır. Koridor robotları, yükleri otonom olarak hareket ettirebilen, alabilen ve bırakabilen tam otomatik depolama ve alma makineleridir. Koridorlar, vinçlerin hareket edebildiği raflar arasındaki boşluklardan oluşmaktadır. Giriş noktası ve çıkış noktası, alınan yüklerin bırakıldığı ve gelen yüklerin depolama için alındığı bir konumdur. Toplama alanları, yük sisteme gönderilmeden önce çalışanların yükler üzerinde işlem yaptıkları yerlerdir. ODBS'ler için çok sayıda sistem seçeneği mevcuttur. Bir ODBS'nin en temel sürümü, her koridorda, belirlenmiş koridordan ayrılamayan ve bir seferde yalnızca bir birim yük taşıyabilen koridor robotu içerir. Temel sürümde ki raflar ise sabittir ve tek derinliklidir, yani her yüke vinç tarafından doğrudan erişilebilir [9].

ODBS'ler geleneksel depolara göre daha hızlı verimli sistemlerdir. Geleneksel depoların depolama için işleyiş sırası Şekil 2-1'de verilmiştir. Geleneksel depolarda ürünler önce toplama alanında birikir. Görevli tarafından barkod basma ve kayıt işlemleri yapılır. Diğer bir görevli depo tayinini belirler. Son olarak forklift görevlisi ürünleri hedef raflara yerleştirir. Kayıt işlemlerini yapan görevli ürünlerin depodaki konumlarını bilmesi gereklidir. Çünkü konumlar bilgisayar ortamında kayıtlı değildir. Bundan dolayı bazı ürünler raflarda unutulup raf ömürlerini tamamlamaktadırlar.



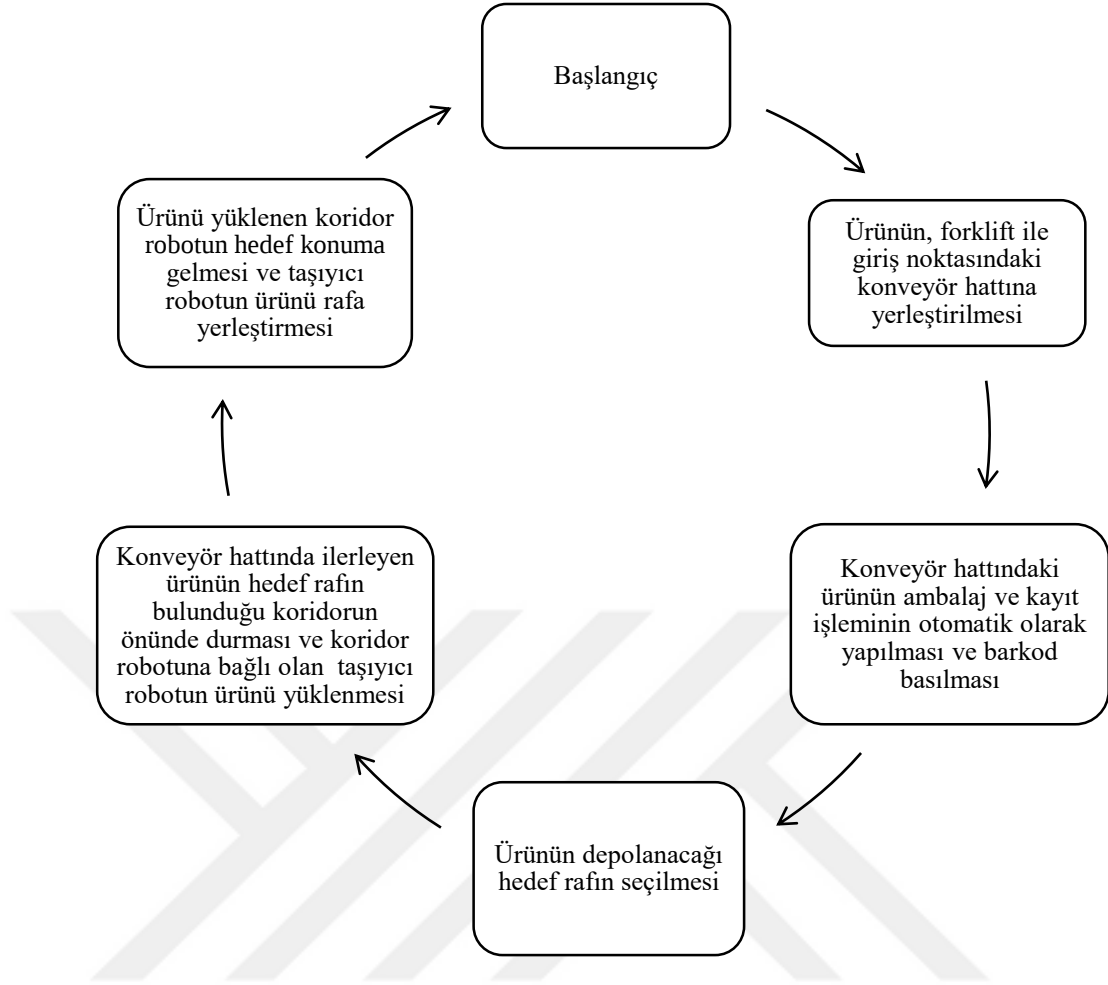
Şekil 2-1: Geleneksel depolardaki ürünlerin depolama işlemlerinin işleyiş sırası

Geleneksel depolarda ki boşaltma işlemleri ise Şekil 2-2’de gösterildiği gibi önce çıkış yapılacak ürünler depoda ki tayin işlemlerini yerine getiren görevliye liste halinde bildirilir. Görevli kayıt işlemlerini yapan diğer görevliye ürünün çıkış işlemlerini yaptırır. Daha sonra forklift görevlisi istenilen ürünleri depodan boşaltır. Bu işlemler ODBS işleyiş sürelerine göre oldukça yavaştır. Olumsuz hava şartlarında, iş yoğunluğunun fazla olduğu durumlarda ve istenmeyen çarpma, vurma gibi olayların sonucu olarak iş kazları meydana gelmektedir.



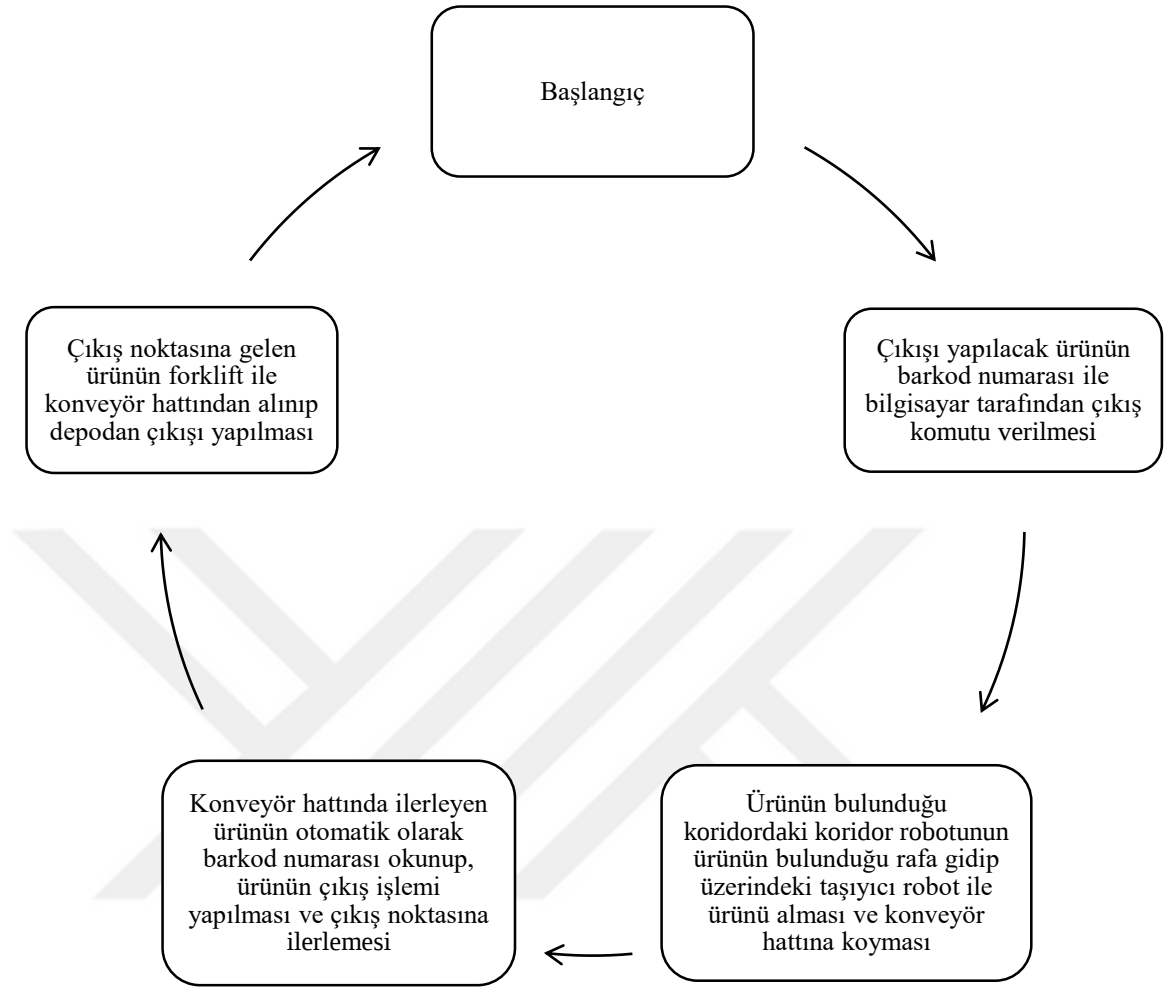
Şekil 2-2: Geleneksel depolardaki ürünlerin boşaltma işlemlerinin işleyiş sırası

ODBS'ler, standart depoların otomatikleştirilmiş sürümleridir ve çok çeşitli boyutları bulunmaktadır. ODBS'lerde Şekil 2-3'de görüldüğü gibi, gelen öğeler önce sıralanır ve paletlere veya kutulara atanır. Yükler daha sonra tartım istasyonundan geçerek bunların yük ağırlık limiti dâhilinde olduğundan emin olunur. Kabul edilenler, konveyör hatlarıyla taşınır ve yüklerin içeriği merkezi bilgisayara iletilir. Bu bilgisayar, yüke rafta bir depolama konumu atar ve konumu belleğinde saklar [10]. Konveyör hattında ilerleyen ürün, bilgisayar tarafından atanan rafın koridor bölgesine geldiğinde durur ve taşıyıcı robot yükü yüklenir. Taşıyıcı robot (TR) ise koridor robotuna (KR) üzerindeki yük ile beraber yüklenir. Koridor robotu hedef rafa taşıyıcı robotu iletir. Taşıyıcı robot ürünü rafa bırakır. Ve aynı yolu izleyerek geri döner.



Şekil 2-3: ODBS’lerde ürünlerin depolama işlemlerinin işleyiş sırası

ODBS’lerde ürün boşaltma işlemi Şekil 2-4’de görüldüğü gibi çıkışı yapılacak ürünün bilgisayar tarafından komutu koridor robotu ve taşıyıcı robota verilir. Koridor robotu taşıyıcı robot ile birlikte hedef rafa gider. Taşıyıcı robot ürünü yüklenir ve koridor robota biner. Koridor robotu koridor boyunca hareket ederek konveyör hatlarına gelir. Taşıyıcı robot ürünü konveyör hattına bırakır. Konveyör hattında ilerleyen ürün çıkış noktasına varır. Böylelikle ürünün boşaltma işlemi tamamlanmış olur.



Şekil 2-4: ODBS’lerde ürünlerin boşaltma işlemlerinin işleyiş sırası

2.2 ÜRÜNLERİN HAREKET ETTİKLERİ PLATFORMLAR

ODBS’de en temel elemanlardan biri konveyör hatlarıdır. Ürünlerin taşınması için kullanılırlar. ODBS’de ürünler koridor robotu, taşıyıcı robot ve otonom robot harici konveyör hatları ile hareket ettirilir. Geleneksel depodaki toplama alanının yerini ODBS’de konveyör hatları almıştır. Ürünler direkt olarak konveyör hatlarına konulmaktadır. Buradan hedefe doğru ürünler hat üzerinde devam etmektedir. Aşağıda başlıca kullanılan konveyör hatları açıklanmıştır.

2.2.1 Rulolu Konveyörler

Şekil 2-5’de görseli verilen rulolu konveyörler, taşınan ürün koli, kutu veya uygun geometrik şekilli olduğunda özellikle faydalı ve verimlidir. Kullanıma bağlı olarak, tahrikli veya yerçekimi olabilir. Motorsuz makaralı konveyörler, ürünleri yerçekimi kuvveti ile belirli bir eğimle aşağı doğru taşır. Tahrikli makaralı konveyörler, ürünleri eğimsiz noktalarda taşıyabilmektedir. Çok küçük olmasına rağmen ruloların kauçuk kaplaması ürünlerin 3-4 derece eğimli ortamlara kadar taşınmasını sağlar.



Şekil 2-5: Rulolu konveyör [11]

2.2.2 Zincirli Konveyörler

Zincirli konveyör esas olarak tahrik cihazı, gerdirme cihazı, bağlantı plakaları, zincir çarkı ve raftan oluşur. Zincirli konveyör sistemleri, ürünleri bir üretim hattı boyunca taşımak için kullanılan sağlam, dayanıklı konveyörlerdir. Şekil 2-6’da görseli verilen bu sistemler, düz, yatay ve dikey çalışma yeteneği sağlayan sıkı oturan, çok esnek zincirli konveyöre dayanmaktadır. Sağlam bir alt yüzeye sahip ürünler için uygundur. Depolar, otomotiv fabrikaları ve dağıtım merkezleri dahil olmak üzere çok sayıda endüstriyel ve ticari ortamda kullanılırlar. Bir zincirli konveyör, sürekli bir zincir tarafından çalıştırılır ve esas olarak ağır yükleri taşımak için kullanılır. Zincirli konveyör sistemlerimiz tipik olarak yükün zincirler üzerinde konumlandığı çift zincirli bir konfigürasyondur, ancak birden çok dizili konfigürasyon mevcuttur.



Şekil 2-6: Zincirli konveyör [12]

2.2.3 Bantlı Konveyörler

Bantlı konveyörler, sonsuz bir hat kayışını sürekli olarak döndüren kasnaklı sistemlerdir. Kayış tipik olarak dayanıklı plastik kauçuktan veya PVC'den yapılır, bu da çok esnektir. Konveyör bant, bir koşu bandına benzer şekilde görünür ve çalışır. Şekil 2-7'de görseli verilen bu konveyörler, sabit taşıma gerektiren ve eğriler boyunca bile yerinde tutulması gereken geniş veya hacimli ürünler için son derece uygundur. Bantlı konveyörler, kutu paketleyiciler, kutu içi doldurucular, streç sarma işlemi yapanlar veya toplu paketleyiciler tarafından sıkça kullanılır. Paslanmaz çelik kirişlere sahip modüler geniş bantlı konveyörler, zorlu birincil ve ikincil paketleme uygulamalarına uygundur. Günümüzün depolama süreçlerinin önemli elemanlarıdır. Temizlemesi kolay olması, ürünlerin sorunsuz taşınması, operatörler için güvenli olması, uzun ömürlü ve düşük maliyetli olması önemli avantajlarındandır.



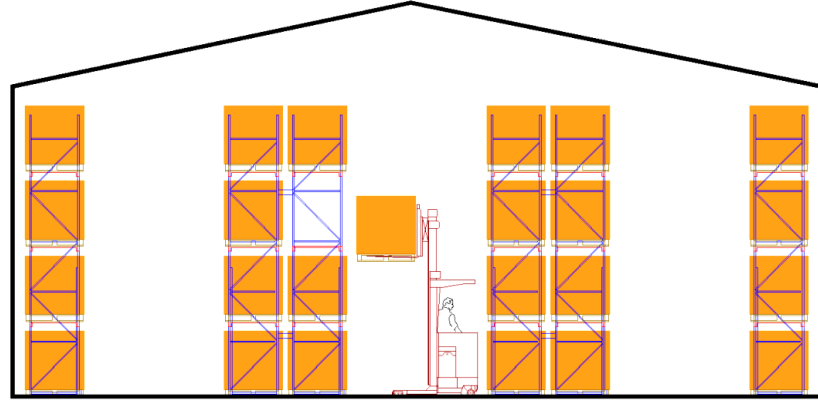
Şekil 2-7: Bantlı konveyör [13]

2.3 RAFLAR

ODBS'lerin temel bileşenlerinden olan raflar tipik olarak, depolanması gereken yükleri barındırabilen depolama hücrelerine sahip çelik veya alüminyum yapılarıdır. Birçok türü bulunan raflar, firmaların ihtiyaçlarına göre tercih edilmektedirler. Kullanılan ODBS türüne göre de farklılık gösterebilmektedir. Aşağıda en çok kullanılan raf türleri açıklanacaktır.

2.3.1 Tek Derinlikli Raflar

Tek derinlikli raflar, en yaygın sistem türüdür. Bir palet derinliğindedir ve koridorlar ile ayrılan arka arkaya sıralara yerleştirilir. Koridor genişlikleri, sahip olduğunuz veya satın almak istediğiniz asansör ekipmanının türüne göre değişiklik gösterebilir. Şekil 2-8'de görüldüğü gibi her raf bölmesi, dikey dikmelerden ve yatay yük kirişlerinden yapılmıştır. Kirişler birçok farklı boyut ve kapasitede mevcuttur. Zemin depolama dışında tek derinlikli raf, metrekare başına en ucuz sistemdir.



Şekil 2-8: Tek derinlikli raf [14]

2.3.2 Sırt Sırta Raflar

Sırt Sırta palet rafları, palet depolamanın en yaygın şeklidir, çok uygun maliyetlidir, yüksek kapasiteli depolama ve tüm paletlere kolay erişim sağlar. Birçok farklı ürünü olan işletmeler için idealdir ve her türlü depolama ortamına uygundur. Şekil 2-9’da görüldüğü gibi sırt sırta raf düzeninin kurulumu kolaydır. Kademesiz olarak ayarlanabilir ve özelleştirilmesi kolaydır. Palet raf sistemi, özel gereksinimlerinize uyarlanabilir ve 1,5 ila 30 m arasındaki yüksekliklerde tedarik edilebilir. Sistemin genişliği ve derinliği paletlerin formatına bağlıdır.



Şekil 2-9: Sırt sırta raf [15]

2.3.3 Çift Derinlikli Raflar

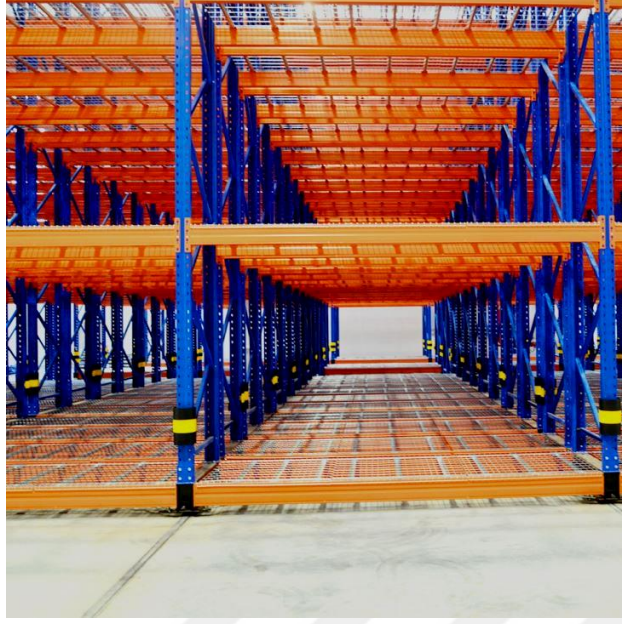
Çift derinlikli raflar, daha iyi kapasite için paletleri iki derinlikte depolamak için kullanılır. Çift derinlikli raf, seçici ve yüksek yoğunluklu palet raf sistemi arasındaki en iyi çözümdür. Paletleri iki derinlikli depolayarak, daha yüksek depolama yoğunluğu elde edilebilirken, operatörler stoğa kolayca ve nispeten hızlı bir şekilde erişebilir. Hem depolama hacminin hem de seçiciliğin önemli olduğu işletmeler için çift derinlikli palet rafları bir çözüm olabilir. Şekil 2-10'da görülen çift derinlikli raf, istendiği zaman kolayca ayarlanabilir veya yeri değiştirilebilir, hatta boş yer varsa eklenebilir. Tek derinlikli raflara kıyasla depolama yoğunluğunu artırır, koridorlar için gereken alanı azaltır.



Şekil 2-10: Çift derinlikli raf [16]

2.3.4 Çok Derinlikli Raflar

Şekil 2-11'de görülen çok derinlikli raf, tek derinlikli raf sistemi ile karşılaştırıldığında, birden çok paleti derinlik yönünde depolayabilir. Arka palete ulaşılırken mutlaka rafa ulaşabilen özel bir forklift kullanılmalıdır. Öğelerin erişilebilirliği önemli olduğunda ve her bir öğenin birden fazla palet depolaması gerektiğinde, bu sistemi kullanmak daha iyi avantajlar sağlar. Raf yüksekliği, genellikle 6-8 metre olan forkliftin kaldırma yüksekliği ile sınırlıdır.



Şekil 2-11: Çok derinlikli raf [17]

2.3.5 Yerçekimi Akış Rafı

Şekil 2-12’de görseli verilen yerçekimi akış rafı, palet akış sistemleri olarak da bilinir. Depo raflarının yüzlerinin düzenli olarak stoklanmasını sağlarken mevcut depolama alanını tam olarak kullanır. Bu raf sistemleri ilk giren ilk çıkar sisteminde, paletler hafif eğimli rafın üst ucuna yüklenir ve kontrollü bir hızda güvenli ve zahmetsizce diğer tarafa kayar.



Şekil 2-12: Yerçekimi akış rafı [18]

2.3.6 İçine Girilebilir Raflar

İçine girilebilir raf sistemi, depo koridorlarını azaltarak depodaki kullanılabilir alanı ve yüksekliği en üst düzeye çıkaran yüksek yoğunluklu bir depolama çözümüdür. Montajı kolay modüler bir yapıdan oluşur, bu da bakımı kolaylaştırır. Şekil 2-13’de görseli verilen bu raflar, son girenin ilk çıkan olduğu tek erişim koridorlu raf veya ilk girenin ilk çıkan olduğu bir giriş ve çıkışa sahip iki erişimli raf olabilir. Aynı referansa sahip çok sayıda paletle homojen ürünleri depolamanız gerektiğinde en uygun ve en yaygın palet depolama sistemidir. Bu kompakt sistem, alan kullanımının depolanan yüklerin seçiciliğinden daha önemli olduğu durumlarda uygundur.



Şekil 2-13: İçine girilebilir raf [19]

2.3.7 Katlı Raflar

Katlı raflar, iki veya daha fazla seviyede rafların oluşturulmasıdır. Katlı Raflar, orta ve büyük boy depolar için uygundur. Orta ciro lu büyük veya küçük parça depolanması ve dağıtımı için idealdir. Şekil 2-14’de görülen çok katmanlı raflar, birden çok düzeyde depolama alanı sağlar. Böylece bir depoda bulunan dikey alanın kullanımını en üst düzeye çıkarır. İşletmelerin envanterlerini daha fazla depolamasını kolaylaştırır, böylece bir bütün olarak deponun kapasitesini artırır. Bölme panelleri, bölmeler, yan plakalar gibi çeşitli aksesuarlar, birden fazla ürünün

istiflenmesi için depolama alanlarının ve seviyelerin bölünmesi için kullanılabilir. Katlı depoların her seviyesine merdivenler, ana koridorlar ve çapraz koridorlardan erişilebilir. Bu sistem, depolanan tüm birimlere kolay erişim sağlar ve farklı yük ve depolama birimlerine uyarlanabilir. Verimli ve çok yönlü bir tasarım ve geniş bir isteğe bağlı bileşen ve aksesuar yelpazesi ile özel depolama gereksinimlerine kolayca uyarlanabilir.



Şekil 2-14: Katlı raf [20]

2.3.8 Hareketli Raflar

Mobil raf ve elektrikli mobil raf olarak da bilinen, Şekil 2-15’de görülen hareketli raflar mobil tabanlara monte edilmiş geleneksel palet raflarından oluşur. Yüksek yoğunluklu bir depolama sistemidir. Koridorların açılıp kapanmasına izin veren otomatik mobil arabalara standart palet rafı konur.



Şekil 2-15: Hareketli raf [21]

2.3.9 Taşıyıcı Robotlu Akıllı Raflar

Taşıyıcı robotlu akıllı raflar, yükleri otomatik olarak rafa taşımak için elektrikli TR'leri kullanan yüksek yoğunluklu kompakt bir depolama çözümüdür. Palet servisleri bir operatör tarafından uzaktan kontrol edilir. Böylece optimum depolama alanı kullanımı sağlanmakta ve iş yeri kaza oranları da azalmaktadır. Depolama işlemi sırasında forkliftler yerine otomatik TR'lerin kullanılması kaza riskini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda rafın hasar görmesinden kaynaklanan bakım maliyetlerini de azaltır. Şekil 2-16'da gösterilen bu sistem ile birlikte, paletler üzerindeki malların taşınması otomatikleştiği için lojistik kapasiteyi niteliksel ve niceliksel olarak güçlendirir. Depolanan paletleri sayan bir sensör sistemi aracılığıyla envanteri kontrol etmek de mümkündür.



Şekil 2-16: Taşıyıcı robotlu akıllı raflar [21]

2.4 DEPOLAMA ATAMASI

Ürünleri raflardaki depolama konumlarına atamak için çeşitli yöntemler mevcuttur. ODBS'ler için sıklıkla kullanılan beş depolama atama politikası vardır [22], [23]. Bu kurallar aşağıda açıklanmıştır.

2.4.1 Özel Depolama Ataması

Özel depolama atamasına göre ürünlerin türüne göre depolanacakları yer sabittir. Bu depolama atama türü geleneksel depolarda uygulanmaktadır. Özel depolamanın dezavantajı, geniş alan gerektirmeleri fakat az alan kullanmalarıdır. Bunun nedeni, depoya henüz gelmemiş ürünler için bile depoda onlar için boş yerlerin olmasıdır. Ayrıca, her ürün tipi için oluşabilecek en yüksek stok seviyesini karşılamak için yeterli alan ayrılmalıdır. Ağır ürünleri en alta yerleştirmek veya depoların düzenini korumak gibi avantajları vardır [9].

2.4.2 Rastgele Depolama Ataması

Rastgele depolama ataması, ürünlerin her hangi bir rafa belirli bir neden olmadan rastgele atanmış olmasıdır. Bu atama için rafların hepsi, tüm ürünlerin şartlarıyla uyumlu olması gereklidir. Bu atama türünün dezavantajı yakın konumlarda boş raf bulunması halinde en uzak raflara atama yapılma ihtimalidir. Böylelikle enerji harcama artacağı için maliyette artacaktır.

2.4.3 En Yakın Açık Konum Depolama Ataması

En yakın açık konum depolaması, ODBS’lerde sıkça kullanılmakta olup, ürünlerin depolanması için karşılaşılan ilk boş yere ürünün yerleştirilmesidir. Bu depolama ataması türüyle birlikte ODBS’lerin giriş ve çıkış noktaları daha rahatlayacaktır. Çünkü ürünler beklemeden en yakın adreslere depolanacaktır [9].

2.4.4 Tam Devir Tabanlı Depolama Ataması

Tam devir tabanlı depolama ataması, ürünün depoda durma süresine göre yüklerin depolama konumlarını belirler. Sık talep edilen ürünler, genellikle giriş ve çıkış noktalarının yakınında, en kolay erişilebilir konumları alır. Yavaş hareket eden ürünler, giriş ve çıkış noktasından daha uzağa yerleştirilmiştir. Bu politikayı kullanmak için ürünün talep sıklığı önceden tanımlanması gereklidir [24], [25] .

2.4.5 Sınıf Tabanlı Depolama Ataması

Sınıf tabanlı depolama ataması, depo alanını belirli kısımlara ayırır. Her ürün için, ürünün depoda bekleme süresine göre kısımlardan biri seçilir. Tam devir tabanlı depolama politikası, sınıf tabanlı depolama atamasının alt birimidir. Çünkü devir halindeki ürünler yani sürekli depodan giriş çıkış akışı olan ürünler belirli sınıfta toplanır. Sınıf tabanlı depolama atamasında ABC kuralı uygulanır. Depodan giriş çıkış akışı en fazla olan ürünler A kısmını, sonra daha az seviyede devir sayılı ürünler B kısmını, daha sonra daha da az devir sayılı ürünler C kısmını temsil eder ve bu

böyle devam eder. Bu yöntemle birlikte depo giriş ve çıkış noktalarında ürün birikimlerinin önüne geçilmektedir.

2.5 RFID (RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION)

Radyo frekansı tanımlama anlamına gelen RFID, verileri aktarmak için radyo frekansı dalgalarının kablosuz temassız kullanımıdır. RFID sistemleri genellikle bir RFID okuyucu, RFID etiketleri ve antenlerden oluşur. Öğeleri RFID etiketleriyle etiketlemek, kullanıcıların ürünlerini otomatik ve benzersiz bir şekilde tanımlamasına ve izlemesine olanak tanır. RFID, türüne bağlı olarak birkaç santimetre ile 20 metrenin üzerinde bir okuma aralığına sahip olarak otomatik kimlik teknolojisini bir sonraki seviyeye taşır [26].

2.6 IOT (INTERNET OF THINGS)

Nesnelerin interneti anlamına gelen IoT, internet üzerinden diğer cihazlar ve sistemlerle veri bağlamak ve alışverişi amacıyla sensörler, yazılım ve diğer teknolojilerle gömülü olan fiziksel nesneler ağını tanımlar. Bu cihazlar sıradan ev nesnelerinden endüstriyel araçlara kadar uzanmaktadır. Son birkaç yılda IoT, 21. yüzyılın en önemli teknolojilerinden biri haline geldi. Artık günlük nesneleri mutfak aletleri, arabalar, termostatlar, bebek monitörleri gibi gömülü cihazlar aracılığıyla internete bağlanıldığından, sorunsuz iletişim mümkün hale gelmiştir. Düşük maliyetli bilgi işlem, bulut, büyük veri, analitik ve mobil teknolojiler sayesinde, fiziksel şeyler minimum insan müdahalesi ile veri paylaşabilir ve toplayabilir. Bu hiper bağlantılı dünyada, dijital sistemler bağlantılı şeyler arasındaki her etkileşimi kaydedebilir, izleyebilir ve ayarlayabilir [27].

3. OTOMATİK DEPOLAMA VE BOŞALTMA SİSTEMLERİ ÇEŞİTLERİ VE KULLANILAN MOBİL ROBOT TÜRLERİ

3.1 MOBİL ROBOTLAR

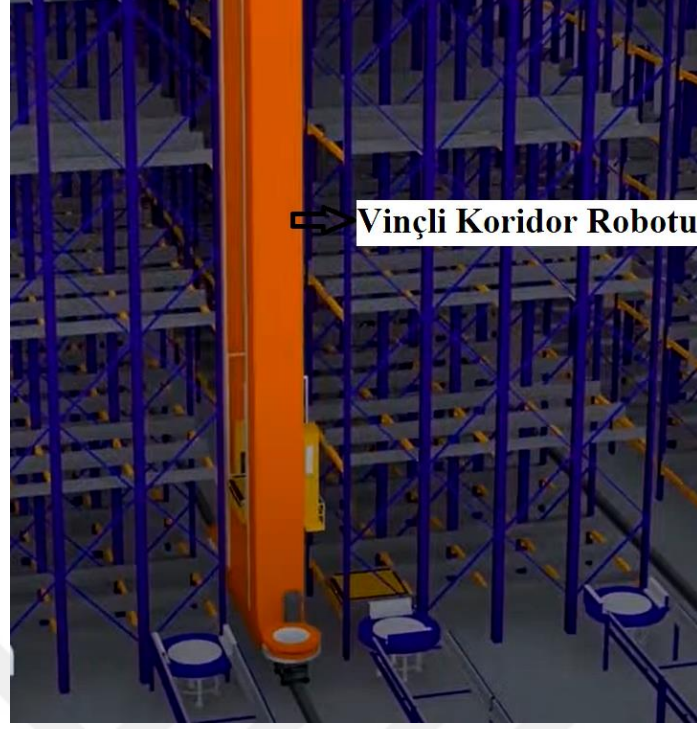
Otonom mobil robotlar, herhangi bir insan müdahalesi veya yönlendirmesi olmadan istenen görevi yazılım temelli çözüm yollarıyla yerine getiren akıllı makinelerdir. Çevresi hakkında bilgi toplar ve çevreyi tanımlayarak yeni yetenek ve stratejiler öğrenir ve hedefe, dışarıdan yardım almadan engellerden kaçınarak ulaşır. Çevre, robotu çevreleyen dış fiziksel dünya olarak tanımlanabilir. Robot, başlangıç noktasından hedefe kadar yörünge planlama algoritmasını kullanır ve yoldaki engellerden ve diğer robotlardan kaçınır.

Bir robotun çevre hakkındaki bilgisine göre esas olarak 2 yol planlama kategorisi vardır. Bunlardan biri yerel yol planlaması, diğeri ise küresel yol planlamasıdır. Robot, hareket alanı hakkında önceden bilgi sahibi ise başlangıçtan hedefe giden yol, küresel yol planlamasında önceden tanımlanmıştır. Bu aynı zamanda çevrim dışı yol planlaması olarak da adlandırılır. Çevre, robot tarafından kısmen veya tamamen bilinmiyorsa ise, kullanılması gereken yol planlaması yerel yol planlaması olarak adlandırılır. Bu aynı zamanda çevrimiçi yol planlaması olarak da bilinir [28]. ODBS türüne göre bu yol planlaması değişmektedir. Raylı veya konveyörlü sistemlerde küresel yol planlaması kullanılırken, otonom forklift gibi türlerinde ise yerel yol planlaması kullanılmaktadır.

ODBS'lerde temel olarak 2 adet mobil robot kullanılmaktadır. Bunlardan biri koridor robotu diğeri ise taşıyıcı robottur.

3.1.1 Koridor Robotu (KR)

Koridor robotların iki türü bulunmaktadır. Bunlardan biri vinçli koridor robotlarıdır. Diğeri ise mini koridor robotlarıdır. Şekil 3-1'de görseli verilen vinçli koridor robotları koridor boyunca hareket eder. Ürün taşıma işlemini doğrudan kendi yaptığı türleri olduğu gibi en sık kullanılan taşıma işleminin yapıldığı taşıyıcı robotlu türleride vardır. Vinçli koridor robotları ray üzerinde hareket etmektedir. Tek raylı ve çift raylı türleri mevcuttur.



Şekil 3-1: Vinçli koridor robotu [15]

Şekil 3-2’de görseli verilen mini koridor robotları koridor boyunca hareket etmektedirler. Tek eksenli ve çift eksenli türleri bulunmaktadır. Katlar arası hareket etmesi gerektiği durumlarda asansör yardımıyla bu işlemi gerçekleştirmektedir. Üzerinde taşıyıcı robot taşımaktadır. Taşıma işlemini kendi yapan taşınmalı koridor robot isimli türleri de bulunmaktadır.



Şekil 3-2: Mini koridor robotu [29]

3.1.2 Taşıyıcı Robot (TR)

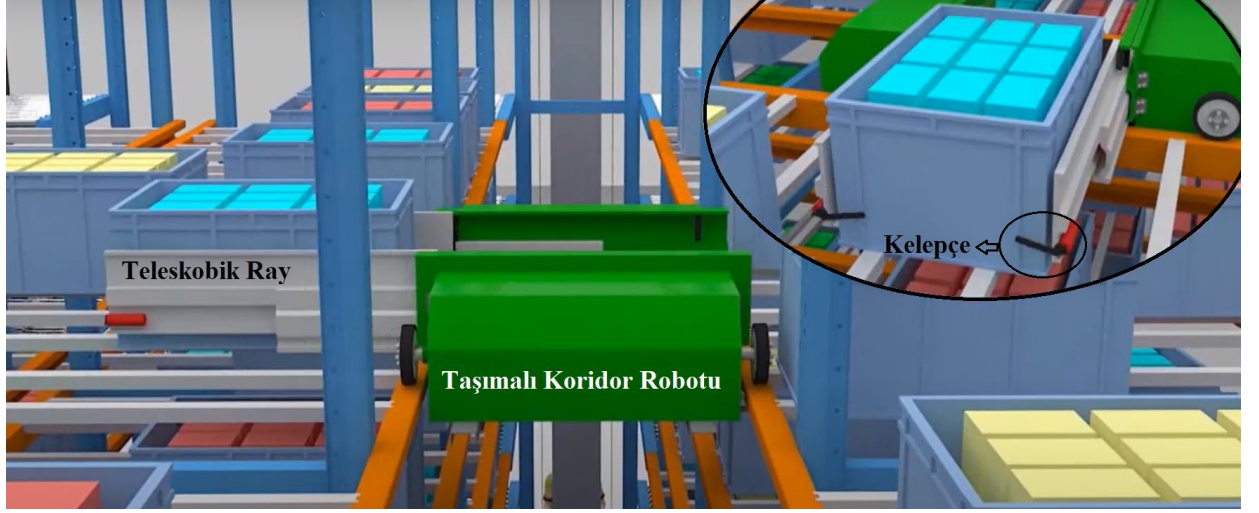
Taşıyıcı robot Şekil 3-3’de görülen ürünü taşıma işlemi yapan robotlardır. ODBS’nin kilit elemanlarındandır. Konveyör hatlarında gezen türleri de bulunmaktadır. Taşıyıcı robot aldığı ürünü hedef rafa iletir veya hedef raftan ürünü alıp konveyör hattına bırakır. Bu işlemleri otonom olarak gerçekleştirir.



Şekil 3-3: Taşıyıcı robot [21]

3.1.3 Taşımalı Koridor Robotu (TKR)

Şekil 3-4’de görülen taşımalı koridor robotu, koridor boyunca hareket edip ürünleri taşıma işlemlerini de yerine getiren robotlardır. Taşımalı koridor robotu y ekseninde hareket etmemektedir. Bu hareketini asansör sistemi ile gerçekleştirmektedir. Bundan dolayı iki eksenlidirler. Tek eksenli olan türleri tek derinlikli raflar için uygundur. Çift derinlikli olanları ise robot raf içine girebildiği için çok derinlikli depolarda çalışabilirler.



Şekil 3-4: Taşımalı koridor robotu [30]

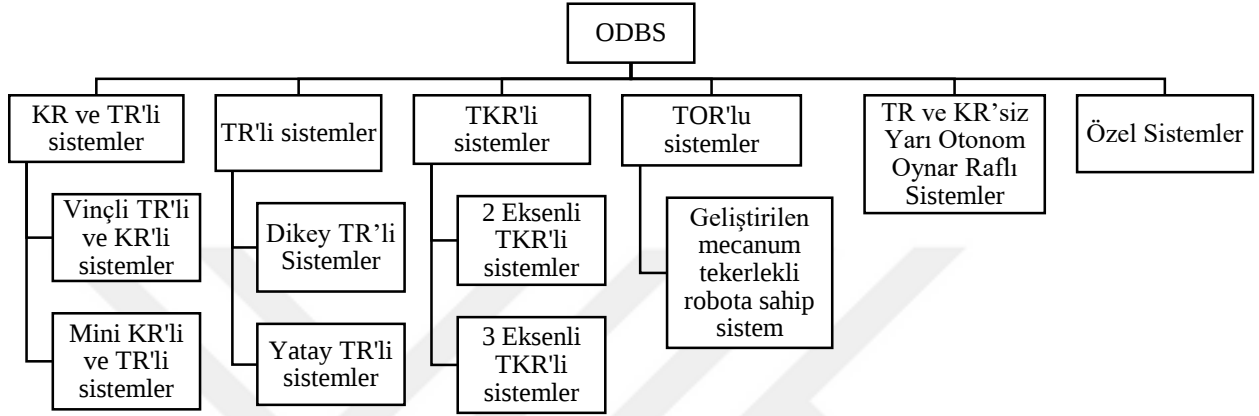
3.1.4 Taşımalı Otonom Robot (TOR)

Taşımalı otonom robotlar bir dizi sensörler yardımı ile çalışmaktadırlar. Yazılımsal çözümlerin sıkça kullanıldığı bu robotlar yol planlama algoritmalarını kullanırlar. Zeminde hareket ederler. Otonom veya yarı otonom forkliftler bu alana girmektedirler. Depo içinde onlara atanan görevleri yerine getirmektedirler. Belirli bir hat üzerinde hareket etmedikleri için kontrol edilmeleri daha zordur. Bundan dolayı robotun etrafı sensörler ile çevrilidir. Böylelikle çevreyi tanır ve yabancı eşyalardan kaçarak en optimum yolu seçer.

3.2 ODBS ÇEŞİTLERİ

ODBS'ler kimyasal ve fiziksel olarak birbirlerinden farklı birçok ürünü insan müdahalesi olmadan depolayan akıllı cihazlardır. Günümüzde kullanılan çok sayıda ODBS örneği vardır. Sıkça kullanım alanı bulan ODBS türlerinde Koridor Robotu (KR) ve Taşıyıcı Robot (TR) kullanılmaktadır. KR'ler ürünü konveyör hattından alır ve bulunmuş olduğu koridor boyunca yatay hareket ederek ürünü hedef noktasına iletir. TR ise KR'ye entegredir ve ürünü konveyör hattından alan mekanizmaya sahiptir. KR koridor boyunca hareket edip gereken hedef noktaya geldiği zaman TR ürünü hedef rafa ulaştırır. ODBS tercihi yaparken ürünün türüne, depo alanına,

depo kurulum maliyetine, ürün miktarının çeşidine ve miktarına bakılmaktadır. Bu parametrelere uygun olarak seçim yapılabilecek günümüzde kullanılan ODBS türleri Şekil 3-5'te verilmiştir [31].



Şekil 3-5: ODBS çeşitleri

3.2.1 KR ve TR'li Sistemler

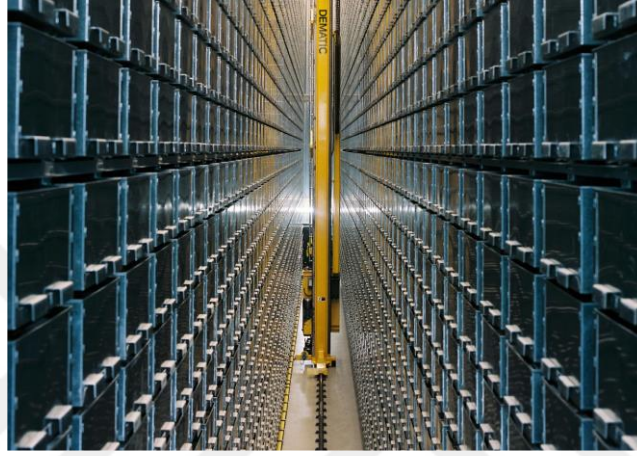
Bu sistemlerdir taşıyıcı robot ve koridor robotu birlikte bulunmaktadır. Koridor robotu koridor boyunca hareket etmektedir. Bununla birlikte en önemli görevi olan üzerinde taşıyıcı robotu taşımaktadır. Ürünü yüklenen taşıyıcı robottur. Taşıyıcı robotu taşıyan ise koridor robotudur. Günümüzde kullanılmakta olan 3 çeşit ODBS türü vardır. Bunlar tek yönlü, çift yönlü ve Kartezyen yönlü sistemlerdir [5].

TR ve KR'li sistemlerin iki türü bulunmaktadır. Bunlardan biri Vinçli KR'li ve TR'li sistemler diğeri ise mini KR'li ve TR'li sistemlerdir. Bunlar aşağıda açıklanmıştır.

3.2.1.1 Vinçli KR'li ve TR'li sistemler

Vinçli koridor robotuna ve taşıyıcı robota sahip olan bu sistemler Kartezyen yönlü yani üç eksenli sistemlerdir. Taşıyıcı robot x ekseninde ki hareketini, vinçli koridor robotu ise y ve z

eksenindeki hareketleri sağlamaktadır. Böylelikle bu sistemler günümüzde en sık kullanılan 3 eksenli sistemlerdir. Vinçli KR'li ve TR'li sistemlerde 2'ye ayrılmaktadır. Bunlardan biri tek raylı diğeri çift raylı sistemlerdir. Şekil 3-6'da görüldüğü gibi koridor robotu tek ray üzerinde hareket etmektedir. Bu sistemler tek raylı oldukları için koridor robotu üstten lineer platforma sabitlenmiştir. Tek raylı olması sürtünmeyi daha aza indireceği için enerji daha az harcanmaktadır. Mikro ürünler için tek raylı sistemler kullanılmaktadır.



Şekil 3-6: Tek ray hatlı TR ve KR'li sistem [32]

Taşıyıcı robot ve koridor robota sahip sistemlerin bir diğeri türü ise Şekil 3-7'de görüldüğü gibi çift raylı sistemlerdir. Çift raylı sistemler tek raylıya göre daha dengeli sistemlerdir. İki tane ray kullanıldığı için sürtünme daha fazla olup maliyet de artmaktadır.



Şekil 3-7: Çift ray hatlı TR ve KR'li sistem [33]

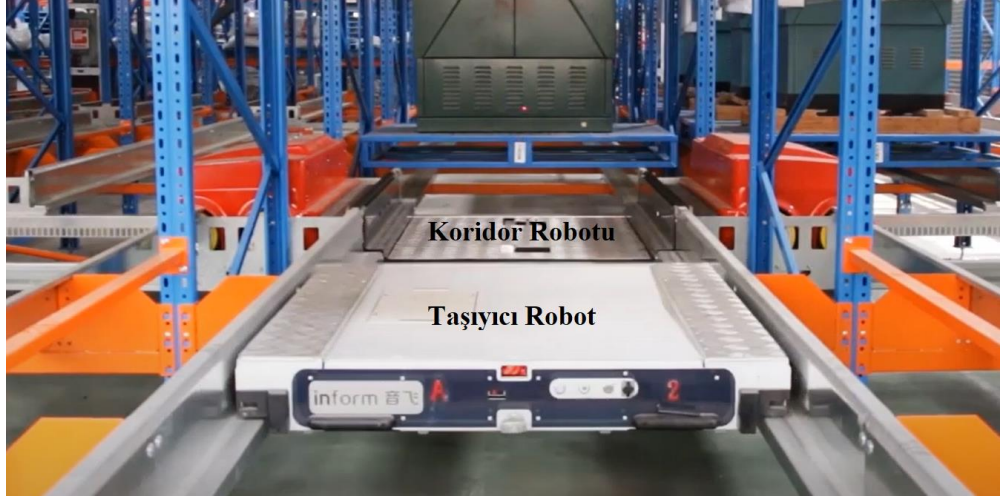
Vinçli KR’li ve TR’li sistemlerin sık kullanılmayan çift koridor robotlu türü de bulunmaktadır. Şekil 3-8’de görseli verilen KNAPP firmasının ürettiği sistemde bir koridor 2 adet koridor robotu çalışmaktadır. Birbirleriyle entegre çalışmakta olan bu robotlar aynı anda daha fazla ürünün depolama ve boşaltma işlemlerini yapmaktadırlar [34].



Şekil 3-8: İki koridor robotlu sistem [35]

3.2.1.2 Mini KR’li ve TR’li Sistemler

Koridor robotları sadece vinçlerden oluşmamaktadır. Şekil 3-9’da görseli verilen Inform firmasının üretmiş olduğu ODBS örneğinde tekerlekli küçük boyutlu koridor robotlar kullanılmıştır. Bu koridor robotları y ekseninde ki dikey hareketi zincirli asansör sistemiyle gerçekleştirmektedir. Bundan dolayı bu sistemler 2 eksenli sistemlerdir. Metal platform üzerine hareket eden bu robotlar hareketi tekerlelele ile yapmaktadır.



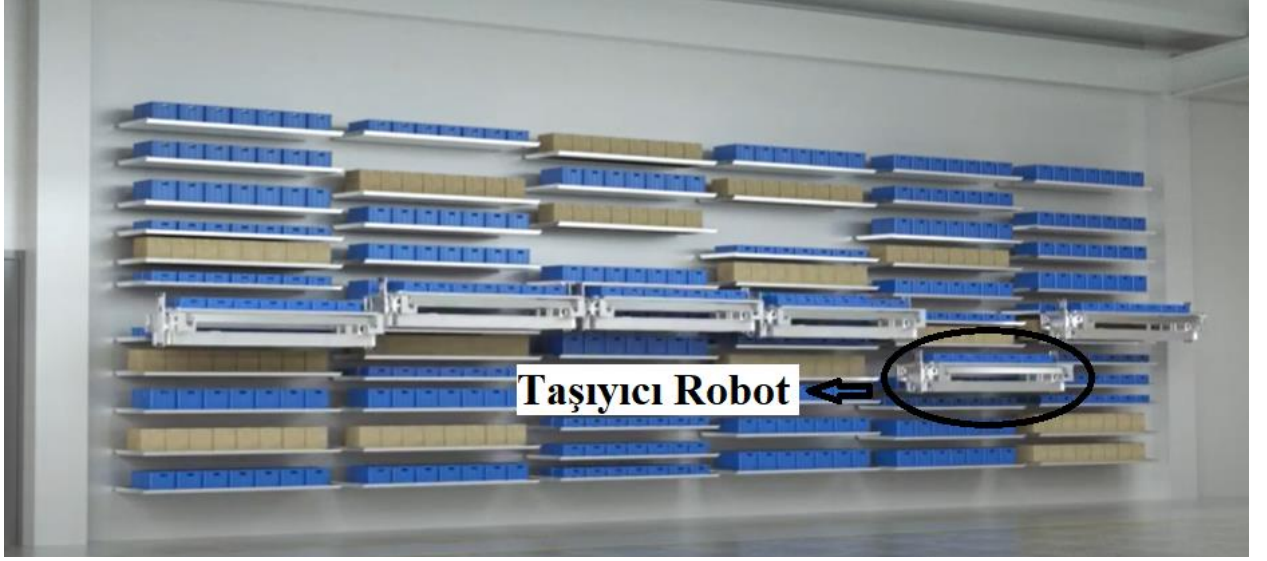
Şekil 3-9: Taşıma robotlu ve mini koridor robotlu ODBS örneği

3.2.2 Taşıyıcı Robotlu (TR) Sistemler

Bu sistemlerde koridor robotu bulunmamaktadır. Taşıyıcı robot ürünü alarak hedefe ulaştırır. Taşıma robotlu sistemler koridor robotu olmadığından dolayı iki eksenli sistemlerdir. Bunların en temel kullanılan iki türü vardır. Bunlar dikey ve yatay sistemlerdir.

3.2.2.1 Dikey TR'li Sistemler

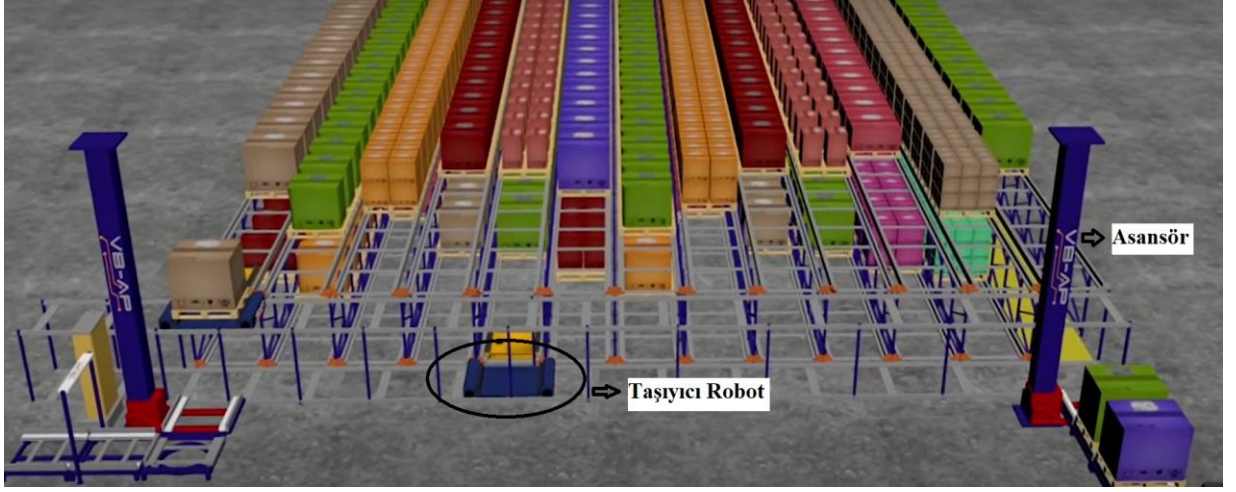
Dikey taşıma robotuna sahip sistemlerde z ekseninde hareket yoktur. Şekil 3-10'da görüldüğü gibi Alba firmasının ürettiği sistemde taşıyıcı robot y ekseninde hareket etmektedir. X eksenindeki hareket asansör tarafından sağlanmaktadır. Dikey sistem genellikle mikro yüklerin depolanması için kullanılmaktadır. Bu sistemler zemin alanından tasarruf sağlamaktadırlar.



Şekil 3-10: Dikey taşıyıcı robotlu sistem [36]

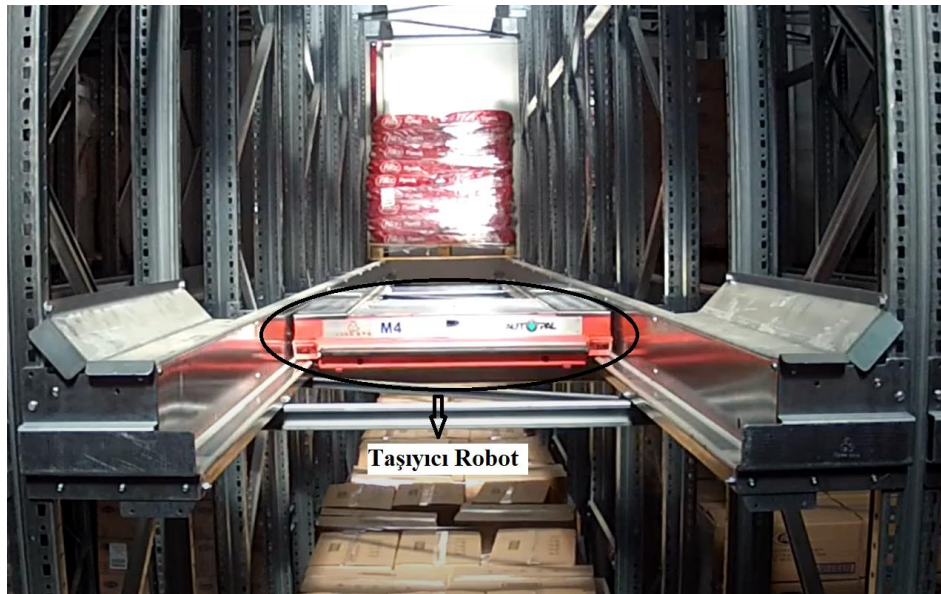
3.2.2.2 Yatay TR'li Sistemler

Yatay TR'li sistemler ikiye ayrılırlar. Bunlardan biri tam otonom yatay TR'li sistem, diğeri ise yarı otonom yatay TR'li sistemdir. Tam Otonom Yatay TR'li Sistemler, çok derinlikli raflarda kullanılmaktadırlar. İlk giren ilk çıkar mantığı ile çalışan firmalar bu sistemleri kullanır. Bu sistemlerde fazla koridor sayısına ihtiyaç yoktur. Yatay taşıyıcı robotlu sistemlerde koridor robotu bulunmamaktadır. Şekil 3-11'de VBAP firmasının ürettiği tam otonom yatay taşıyıcı robotlu sistem örneği verilmiştir. Bu sistemlerde taşıyıcı robot y ve z eksenindeki hareketi sağlayıp ürünü en yakın uzaklığa depolamaktadır. Depodan ürün alımı yapılacağından en yakın konumdaki ürünün boşaltma işlemini yerine getirmektedir. X eksenindeki katlar arasındaki hareket asansör tarafından gerçekleştirilmektedir. Böylelikle bu sistemler 3 eksenli sistemlere örnek gösterilebilir. Genellikle gıda ve soğuk hava depolarında tercih edilir.



Şekil 3-11: Yatay taşıyıcı robotlu sistem örneği [37]

Yarı Otonom Yatay TR'li Sistemler, yatay taşıyıcı robotlu sistemlerin çok katlı olan türlerinde asansör bulunmamaktadır. Asansörün yapacağı işleri manuel forklift yapmaktadır. Şekil 3-12'de görsel verilen ÜÇGE DRS firmasının ürettiği yarı otonom yatay taşıyıcı robotlu sistem örneği görülmektedir. Bu sistemde asansör bulunmadığından dolayı asansörün yapacağı görevi manuel forklift yapmaktadır. ÜÇGE DRS firmasının ürettiği sistemde her derinlikli raf için taşıyıcı robota gerek yoktur. Forklift ihtiyaç duyulan, depolama veya boşaltma yapılacak alana taşıyıcı robotu gezdirir. Bundan dolayı yatay depolama sistemlerinin bir çeşidi de 2 eksenli olan bu sistemlerdir. Taşıyıcı robot ürünlerin altında hareket olduğu için ürün sayma işlemi de yapabilir.



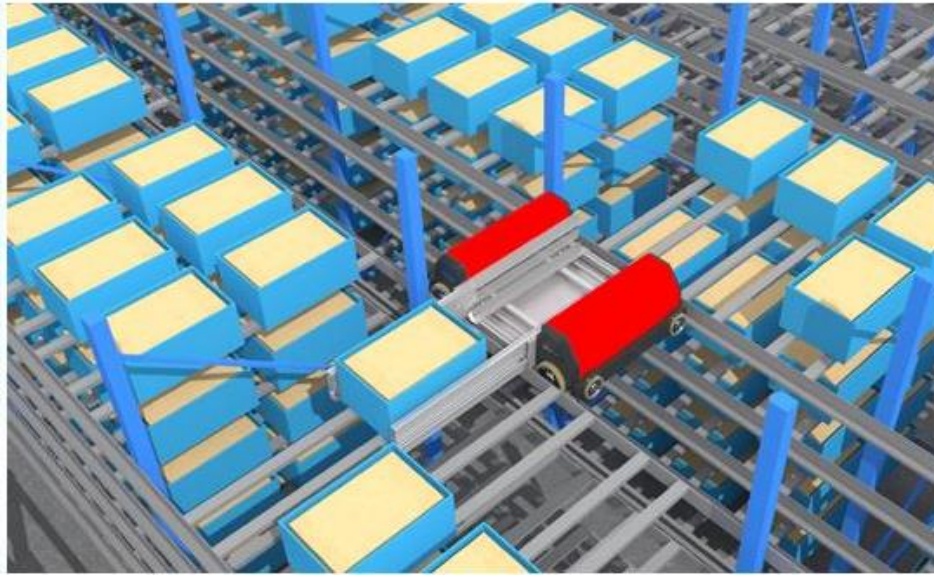
Şekil 3-12: Yatay taşıyıcı robotlu sistem örneği [38]

3.2.3 Taşımalı Koridor Robota (TKR) Sahip Sistemler

TKR'ye sahip sistemler ikiye ayrılmaktadır. Bunlar 2 eksenli TKR sistemleri ve 3 eksenli TKR sistemleridir. Bu sistemler aşağıda detaylı olarak anlatılmıştır.

3.2.3.1 2 Eksenli TKR'li Sistemler

Bu sistemlerde koridor robotla taşıyıcı robot bir robotta birleşmiştir. Bunun ismi taşımalı koridor robotudur. TKR, koridor boyunca hareket emektedir. Aynı zamanda ürünü taşıma görevi de bulunmaktadır. Şekil 3-13'de İnform firmasının ürettiği 2 eksenli TKR'li sistem örneğinin görseli verilmiştir. TKR ürünü raftan alıp raf sonundaki konveyör hattına bırakmaktadır. Konveyör hattında ilerleyen ürün kat değiştirme işlemi asansörlü sistem ile yapılmaktadır.



Şekil 3-13: 2 eksenli taşımalı koridor robota sahip ODBS örneği [39]

Şekil 3-14'de görülen İnform firmasının ürettiği Tavan Arası ODBS'de boyutu küçük alanlar için üretilmiş sistem örneği görülmektedir. Bu sistemde taşımalı koridor robotu kullanılmıştır. Yani robot hem koridor boyunca hareket eder, hem de rafdan yükü alıp taşıma görevi yapar. Yükü robotun kasnaklarına yerleştirdiğiniz de robot en yakın boş rafa ürünü yerleştirir. Ürünü depodan alma işlemi ise dijital ekrandan ürün numarasını yazmanızla gerçekleşir. Tavan Arası sistemler kutular ve kartonların depolanması için üretilmişlerdir.



Şekil 3-14: 2 Eksenli taşımali koridor robota sahip ODBS örneği [40]

3.2.3.2 3 Eksenli Taşımali Koridor Robotlu Sistemler

Taşımali koridor robotunun bir türü ise vinçli taşımali koridor robotlu sistemlerdir. Vinçli sistem olduklarından dolayı y eksenindeki harekete de sahip oldukları için 3 eksenli sistemlere örnektirler. Vinçler koridor aralarında ilerlerler. Raylar üzerinde hareket eden bu sistemler yüksek performans gerektiren yerlerde kullanılırlar.

3.2.4 Taşımali Otonom Robotlu (TOR) Sistemler

Taşımali otonom robotu düz zeminde hareket etmektedir. Şekil 3-15’de görseli verilen OPLOG firmasının ürettiği otonom taşıyıcı koridor robotu ürünleri taşıma görevi yapmaktadırlar. Yapay zekâ ve yol planlama yazılımlarını kullanan bu sistemler istenilen görevleri en uygun yolları kullanarak yerine getirmektedirler. Sensörler yazılım kontrolünde motorların hareketini belirlerler.



Şekil 3-15: Taşımalı otonom robotu örneği [41]

Bu sistemlere yarı veya tam otonom forkliftlerde örnek verilebilir. Şekil 3-16’da göresli verilen Robos firmasının ürettiği tam otonom forklift örneği görülmektedir. Bu forkliftler ürünü lift sistemi ile almaktadırlar. Sensörler yardımı ile tam otonom olarak alınan ürünler istenen hedef konuma ürünü ulaştırılmaktadır.



Şekil 3-16: Akıllı Forklift örneği [42]

3.2.5 TR ve KR'siz Yarı Otonom Oynar Raflı Sistemler

Taşıyıcı robot ve koridor robotunun olmadığı sistemlerdir. Bu sistemlerde rafların taban kısmında raylı, lineer hareket edebilen ve motor ile çalışan mekanizma bulunmaktadır. Ürünler manuel forklift ile raflara yerleştirilirler. Bundan dolayı bu sistemler yarı otonomlu sistemlerdir. Çok derinlikli raflarda kullanıldıkları için ilk giren ürün ilk çıkmak zorundadır. Şekil 3-17'de ÜÇGE DRS firmasının ürettiği sistem örneği verilmiştir. Bu sistemlerde taşıyıcı robot bulunmadığı için maliyet düşüştü olmaktadır.



Şekil 3-17: Taşıyıcı robot ve koridor robotsuz yarı otonom sistem örneği [43]

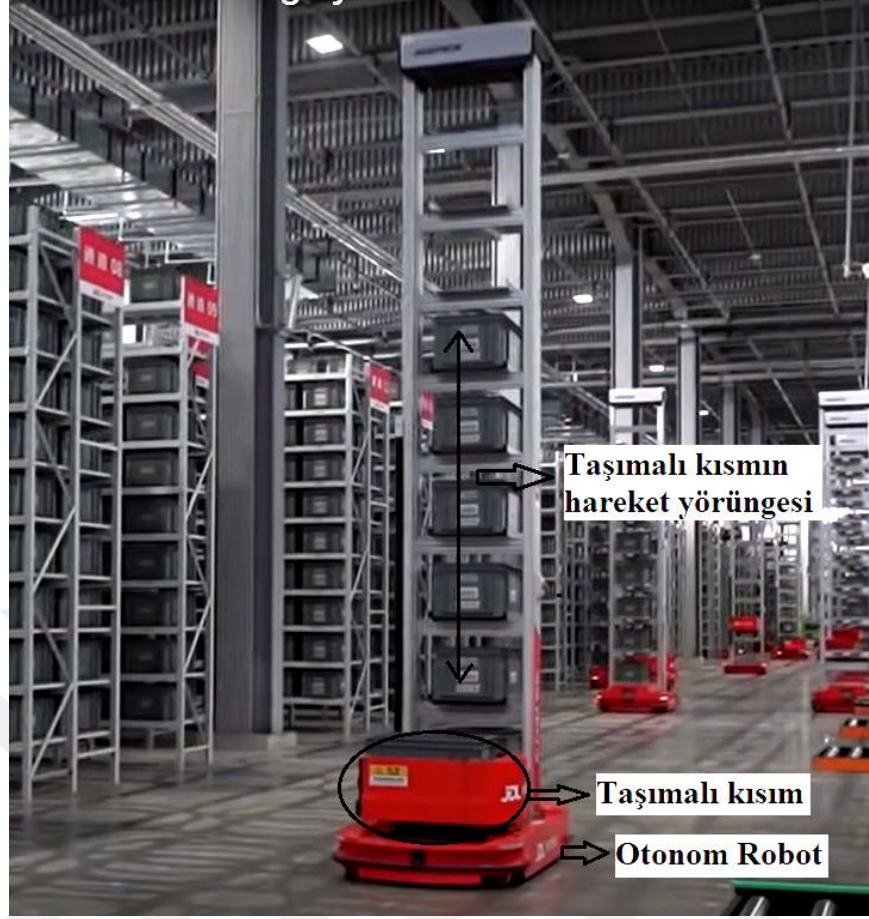
3.2.6 Özel ODBS'ler

Şekil 3-18'de görseli verilen Boston Dynamics firmasının ürettiği ODBS robotu kollu bir sistemdir. Karton kutuların depolama ve boşaltma işlemleri için üretilmiş sistemlerdir. Üzerindeki sensörler yardımı ile kutuları sınıflandırıcı özelliğe sahiptir. Sınıflandırdığı ürünleri vakumlu ağız yapısıyla alıp konveyör hattına bırakır. Gerektiğinde konveyör hattından gelen ürünleri paletlere dizme işlemini de gerçekleştirebilir.



Şekil 3-18: Boston Dynamics firmasının ürettiği ODBS [44]

Çinli e-ticaret devi JD.com, yapay zekâ destekli Şekil 3-19’da görülen yeni bir ODBS yayınlamıştır. Flying Wolf isimli ODBS, insanların ürün ayırma işlemlerini 6 kat daha verimli şekilde yapmaktadır. Şekil 4-19’da görülen robot üzerindeki kule kısmında bulunan ürünleri raflara depolayıp gerektiğinde raflardan boşalttığı ürünleri kule kısmına yerleştirir. Çin’in ilk olarak ürettiği yapay zekâ ile çalışan ODBS robotudur.



Şekil 3-19: JD.com isimli firmanın ürettiği ODBS [45]

Şekil 3-20’de görseli verilen BionicHIVE, insanların zekâsını ve esnekliğini robotların gücü ve verimliliğiyle birleştiren tam otomatik, otonom bir robotik çözüm olan SqUID isimli robotu üretmiştir. SqUID, yerden tavana toplama ve kaldırma ve mevcut herhangi bir depoya uyarlama yeteneğine sahiptir. SqUID, tamamen esnek bir harekete izin veren, 3 boyutlu hareket yeteneklerine sahip, senkronize bir otonom robotik filodan oluşur. Üst düzey bir gömülü kontrol sistemi ve akıllı gerçek zamanlı veri analizi, BionicHIVE’in algoritmik motorunun tek bir depoda oluşturulan sorunları dinamik olarak öğrenmesine ve ağdaki tüm depolara çözümler uygulamasına olanak tanır.



Şekil 3-20: BionicHIVE firmasının ürettiği ODBS [46]

EXOTEC firmasının ürettiği Şekil 3-21’de görülen Skypod isimli robot siparişleri daha hızlı hazırlamak için operatörleri destekleyen bir filo işlevi görür. Robotlara sürekli olarak görevler verilir ve en acil göreve öncelik verecek şekilde programlanır. Koridorların başında bulunan dikey özel metal yapıdaki yollara tutunarak dikey hareket yapar. Hedef rafın kat numarasına göre buradan yatay harekete yönelir. Hedef rafa ulaşan robot depolama ve boşaltma işlemini gerçekleştirir.



Şekil 3-21: EXOTEC firmasının ürettiği ODBS [47]

Fraunhofer firmasının ürettiği Şekil 3-22’de görülen LoadRunner isimli ODBS robotu, 10 m/s'ye varan hızlarda son derece dinamik bir şekilde sürü halinde organize olabilen otonom bir taşıma aracıdır. Yapay zekâ sayesinde, siparişleri bağımsız olarak kabul edip hedef rafı seçebilir ve nakliye siparişleri için bağlantı kurabilir. Mal akışını, bilgiyi ve finansal işlemleri tek bir araçta birbirine bağlar.



Şekil 3-22: Fraunhofer firmasının ürettiği ODBS [48]

Şekil 3-23’de görülen Tokyo Robotics firmasının ürettiği, sahip olduğu mobil tutucular ile depolama veya boşaltma işlemini yapan tam otonom robotlardır. Sol ve sağ tarafında bulunan birbirinden bağımsız hareketli tutucular ile kuvvet algılama kullanılarak karton kutular gibi yükler boşluksuz istiflenir. Yatay olarak her yönlü hareket kabiliyeti olan bu robot depo içerisinde istenen görevleri dar alanda bile yerine getirebilir.



Şekil 3-23: Tokyo Robotics firmasının ürettiği ODBS [49]

4. MECANUM TEKERLEKLİ ROBOT İLE ODBS TASARIMI VE PROTOTİBİ

4.1 GELİŞTİRİLEN ODBS ROBOTUNUN ÖZGÜN YANI VE PİYASADA KARŞILADIĞI ÇÖZÜMLER

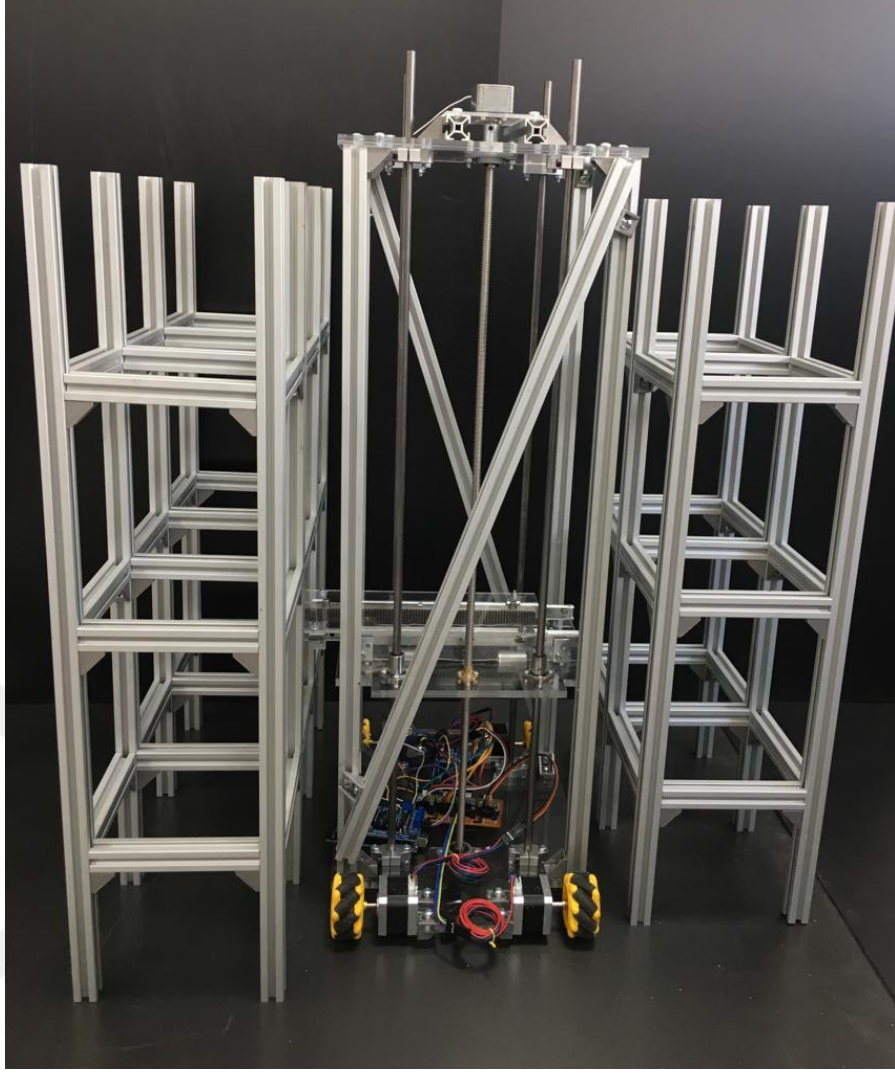
Günümüzde firmalar daha kolay, hızlı ve verimli şekilde ürünlerini depolamak için çözümler aramaktadırlar. Piyasada ürünleri depolama ve boşaltmak için kullanılan depolarda iki adet çözüm yolu vardır. Bunlardan biri geleneksel depolar, diğeri ise ODBS'lerdir. Bu iki çözüm yolunun avantajlarının yanında firmaları yeni arayışlara iten bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Geleneksel depolarda ki olumsuzluklar aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.

- İşleyişin yavaş olması,
- İşçi maliyetinin yüksek olması,
- Ürünlerin rafta unutulup raf ömürlerini tamamlaması,
- Forkliftlerin hareketleri için depoda geniş alan gereksinimi,
- İş kazalarından dolayı can ve mal kaybı.

Piyasadaki depolama ve boşaltma çözümlerinde diğeri olan ODBS'lerin olumsuz tarafları aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır [50].

- İlk kurulum maliyetinin yüksek olması,
- Ürün miktarının artmasıyla robot sayısında da artış olması gerekliliği,
- Yüksek enerji tüketimi,
- Geleneksel depolara entegre edilememesi.

Geleneksel depolarda ve ODBS'lerde var olan yukarıda sayılan olumsuzlukları gidermek adına bu tez kapsamında Şekil 4-1'de görseli verilen bir ODBS robotu tasarlanıp bir prototibi üretilmiştir.



Şekil 4-1: Mecanum tekerlekli robot ile ODBS tasarımının prototipi

Geliştirilen ODBS robotunun tek derinlikli raflar kullanan geleneksel depolardaki forkliftin yerini alması hedeflenmektedir. Böylelikle geleneksel depolar düşük maliyet ile bu robota sahip olup ODBS'ye dönüşmektedirler. Tez kapsamında tasarımı ve prototip üretimi yapılan ODBS'nin ilk kurulum maliyeti düşüktür ve az enerji kullanmaktadır. Geliştirilen ODBS robotu özgün yanlarıyla piyasadaki diğer ODBS'lerde kullanılan robotlardan farklılık göstermektedir. Öne çıkan özgün yanlarından biri olan sahip olduğu mecanum tekerlekleri sayesinde forkliftlerin dönüş için kullandıkları Şekil 4-2'de görülen geniş alanlara kıyasla Şekil 4-3'de görüldüğü gibi daha az alan kullanarak manevra ve dönüş kabiliyeti sağlamaktadır.



Şekil 4-2: Forkliftlerin dönüşü için kullandıkları alan [51]



Şekil 4-3: Mecanum tekerleklerin manevra kabiliyetleri [51]

Geliştirilen ODBS robotun tüm özgün yanları aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.

- Sahip oldukları mecanum tekerlekler ile az alanda manevra kabiliyeti,
- Ürünleri sağ ve sol yanından rafa yerleştirme ve alması,
- Tek derinlikli depolarda dar koridor genişliğinde çalışabilmesi,
- Geleneksel depolarda ki forkliftlerin yerini alacağı için entegre kolaylığı,
- İlk kurulum maliyetinin düşük olması,
- Düşük enerji kullanımı.

Mecanum tekerlekli robotta tek robot depoda çok görevleri üstleneceğinden robot sayısı az olacaktır. Özellikle ray hattı olmayacağı için maliyet düşüşü olacaktır. Mecanum tekerlekler ile robot hareket esnekliği olduğu için depo alanında gereksiz boşluklar olmasına ihtiyaç kalmayacaktır. Robotun yatay olarak 8 yönde lineer hareketi vardır. Saat yönünde ve saat yönünün tersinde kendi etrafında dönebilmektedir. Tablo 4-1’de görüldüğü gibi diğer sistemlere göre daha az maliyetli meteryal ihtiyacından dolayı maliyet olarak çok hesaplıdır. İşlev olarak ise diğer robotların yaptığı görevleri seri ve güvenli olarak yerine getirmektedir. Avantajlarından bir diğeri ise geleneksel depolara entegre edilebilme kolaylığıdır.

Tablo 4-1: ODBS parametlerinin karşılaştırılması

Sistem türü	Ray hattı	Konveyör hattı	Taşıyıcı Robot	Koridor Robotu	Taşımalı Koridor Robotu	Taşımalı Otonom Robot	Dışarıdan Manuel Destek
TR ve KR’li sistemler	+	+	+	+			
TR’li Sistemler		+	+				+
TKR’li sistemler	+	+			+		+
TOR’lu sistemler		+				+	+
TR ve KR’siz yarı otonom oynar raflı sistemler							+
Mecanum tekerlekli robota sahip ODBS		+				+	+

Geliştirilen ODBS'nin avantaj ve dezavantajları aşağıda açıklanmıştır.

Avantajları:

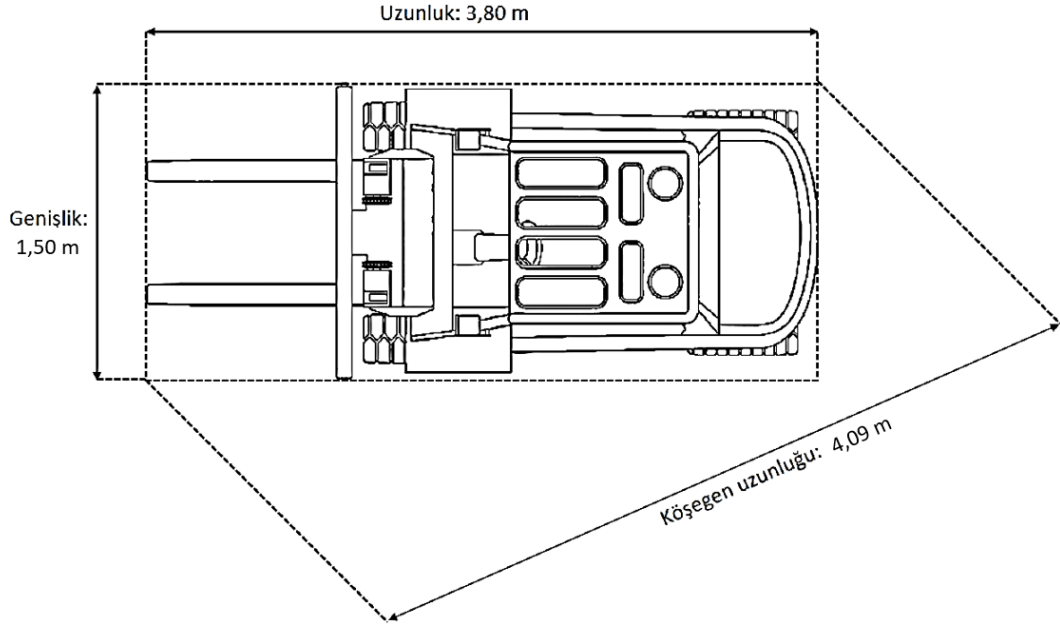
- Geleneksel depolara entegre edilebilme kolaylığı,
- Mekanum tekerleğinden dolayı raylı hatta gerek duymaması,
- İlk kurulum maliyetinin düşük olması,
- Seri, verimli ve güvenilir işleyiş yapısı,
- Ürünlerin otonom depolama ve boşaltma işlemlerini yerine getirmesi,
- Düşük enerji kullanımı,
- Depo alanında veya depo dışında farklı görevlerin atanması.

Dezavantajları:

- Yoğun akış olan depolarda diğer vinçli KR'li ve TR'li sistemlere göre daha yavaş depolama ve boşaltma imkanı sunması,
- Mekanum tekerleklerin robot stabilizasyonunu koruması amacıyla bakımlarının takip edilmesi.

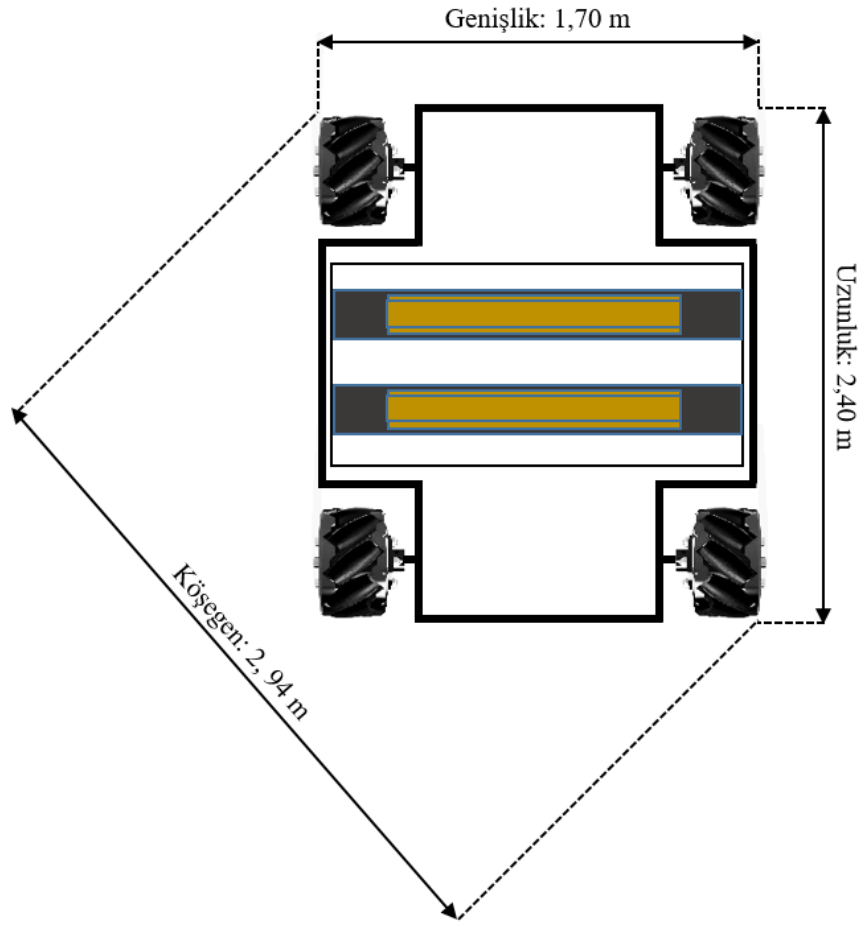
4.2 GELİŞTİRİLEN ODBS'NİN ENDÜSTRİYEL KARŞILIĞI

Geleneksel depolarda depo alanının büyük kısmı boştur. Bunun nedeni forkliftlerin manevra kabiliyetinin zayıf olmasıdır. Şekil 4-4'de verilen ölçülerde görüldüğü gibi en sık kullanılan 5 ton yük taşıyabilen forkliftin köşegen uzunluğu 4,09 m'dir. Köşegen uzunluğuna tolerans değeri de eklenmektedir. Yaklaşık 0,4 m tolerans değeri ile seçilen kriterde forkliftin manevra yapabilmesi için 4.5 m gerekmektedir.



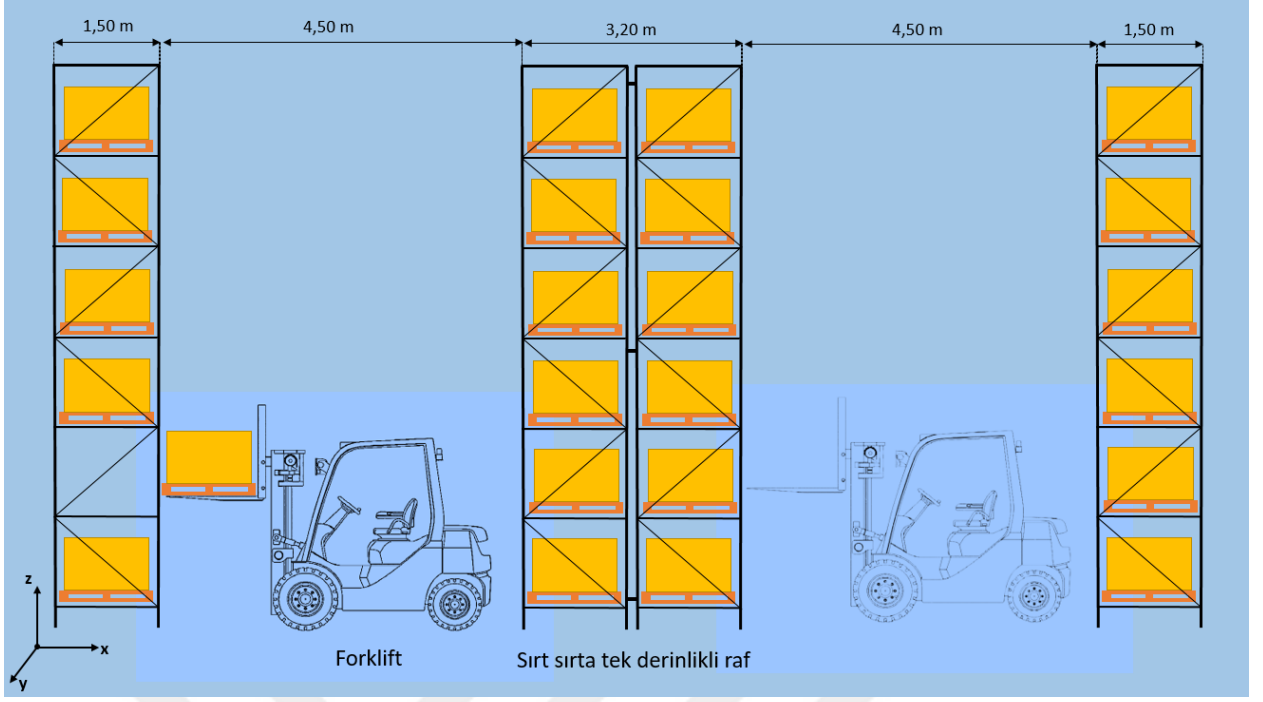
Şekil 4-4: Forklift ölçüleri

Geliştirilen robotun ürünü bırakmak için manevra yapmasına gerek yoktur. Çünkü ürünü sağ sol yanından raf bırakıp, raftan alabilmektedir. Şekil 4-5’deki ölçülerde görüldüğü gibi geliştirilen robotun köşegen uzunluğu 2,94 m’dir. Otonom robot olduğu için hatasız manevra yapmaktadır. Bundan dolayı tolerans mesafelerine gerek yoktur. Geliştirilen robotun dönüşü için 3 m genişlikteki alan yeterli olacaktır. Aynı yükü taşıyan kriterdeki forklifte göre manevra için yaklaşık % 33 daha az alan gereksinimi duymaktadır.



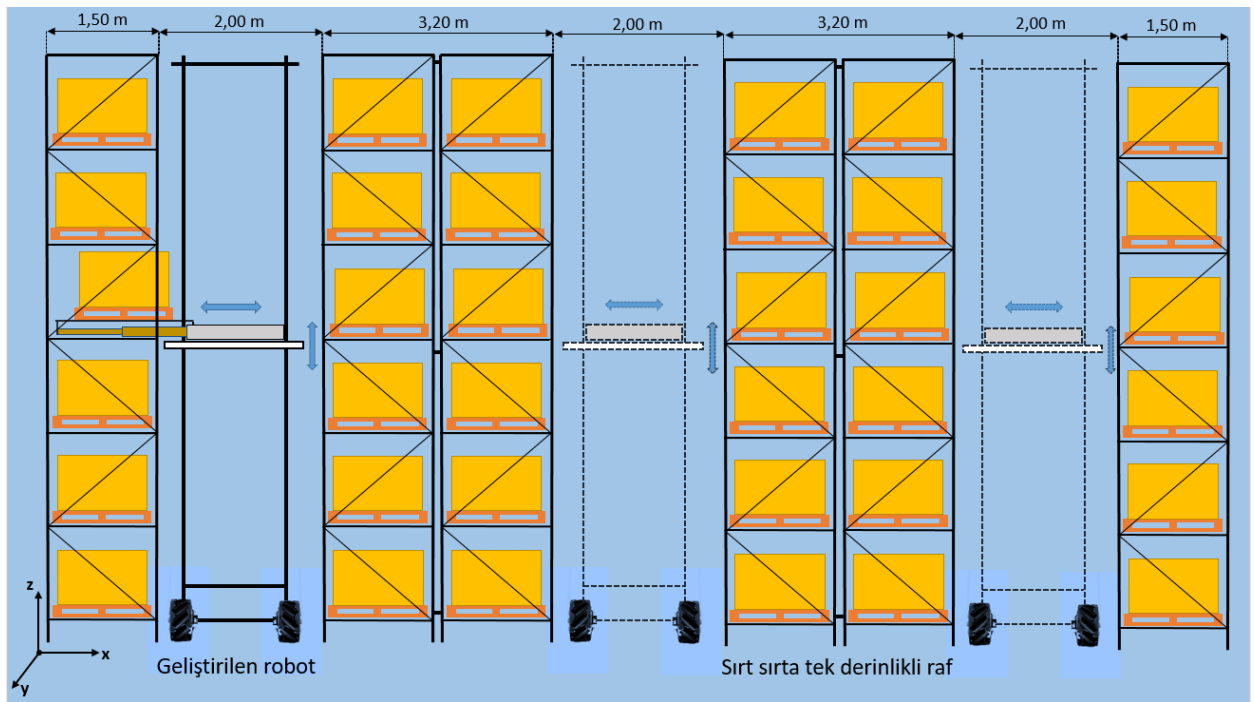
Şekil 4-5: Geliştirilen robotun ölçüleri

Günümüzde kullanılan çok sayıda forklift türü bulunmaktadır. Burada, piyasada en sık kullanılan 5 ton ağırlığında yük taşıyabilen forklift örneği verilmiştir. Çünkü geliştirilen robotun endüstriyel ortamda maksimum 5 ton yük kaldırması hedeflenmektedir. Bundan dolayı bu forklift ölçüleri seçilmiştir. Forkliftin köşegen uzunluğu ve tolerans değeri toplanıp 4.5 m bulunmuştur. Forkliftin manevra yapabilmesi için 4,5 m genişliğinde bir alan gerekmektedir. Şekil 4-6’da forkliftin geleneksel depoda ki görüntüsü verilmiştir. Seçilen kriterlerde ki forklifti kullanan geleneksel depolardaki raf genişliği 4,5 m’dir.



Şekil 4-6: Forkliftin geleneksel depo içinde ki görüntüsü

Tez kapsamında geliştirilen mecanum tekerlekli robotlu ODBS'nin görüntüsü Şekil 4-7'de görülmektedir. Robotun raf koridorunda ki hareketinde, yükü bırakmak için eksen etrafında dönüş yapmasına ihtiyaç yoktur. Robotun genişliği 1,7 m ve tolerans değeri olan 0,3 m ile koridor genişliği 2 m seçilmiştir. Böylelikle koridor genişliği geleneksel depolara göre yaklaşık %56 daha küçüktür.

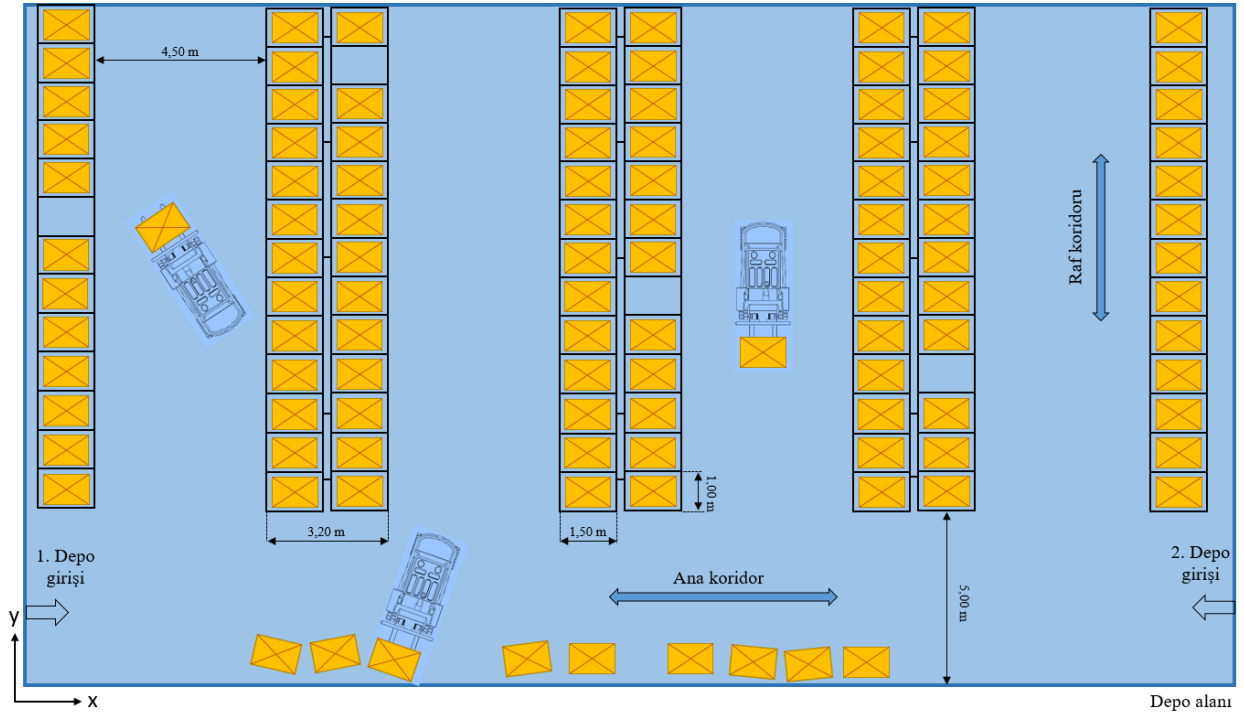


Geleneksel depolardan tez kapsamında geliştirilen ODBS'ye geçiş yapıldığında, depo kapasitesinin artış miktarı hesaplanmıştır. Bunun için Tablo 4-2'de ölçüleri verilen örnek bir geleneksel depo baz alınmıştır. Depo tasarımı sırt sırta yapıda olup tek palet derinliklidir.

Tablo 4-2: Geleneksel depo parametre değerleri

Parametre	Değer
Raf ölçüleri	13 m x 9,5 m
Palet rafı ölçüleri	1 m x 1,5 m
Raf koridoru ölçüleri	4,5 m x 13 m
Sırt sırta raf genişliği	3,2 m
Toplama alanı ölçüleri	2 m x 18 m
Ana koridor ölçüleri	5 m x 32 m
Toplam palet rafı sayısı	624 adet
Toplam depo ölçüleri	18 m x 32 m
Toplam depo alanı	576 m ²

Şekil 4-8’de sırta sırta tek derinlikli depo görseli verilmiştir. 18 m x 32 m ölçülerinde depo seçilmiştir. Deponun ürün kapasitesi 624’dür. Örnek geleneksel depoda maksimum 5 ton yük taşıyabilen forklift çalışmaktadır. Raf koridorlarının önünde toplama alanı bulunmaktadır.



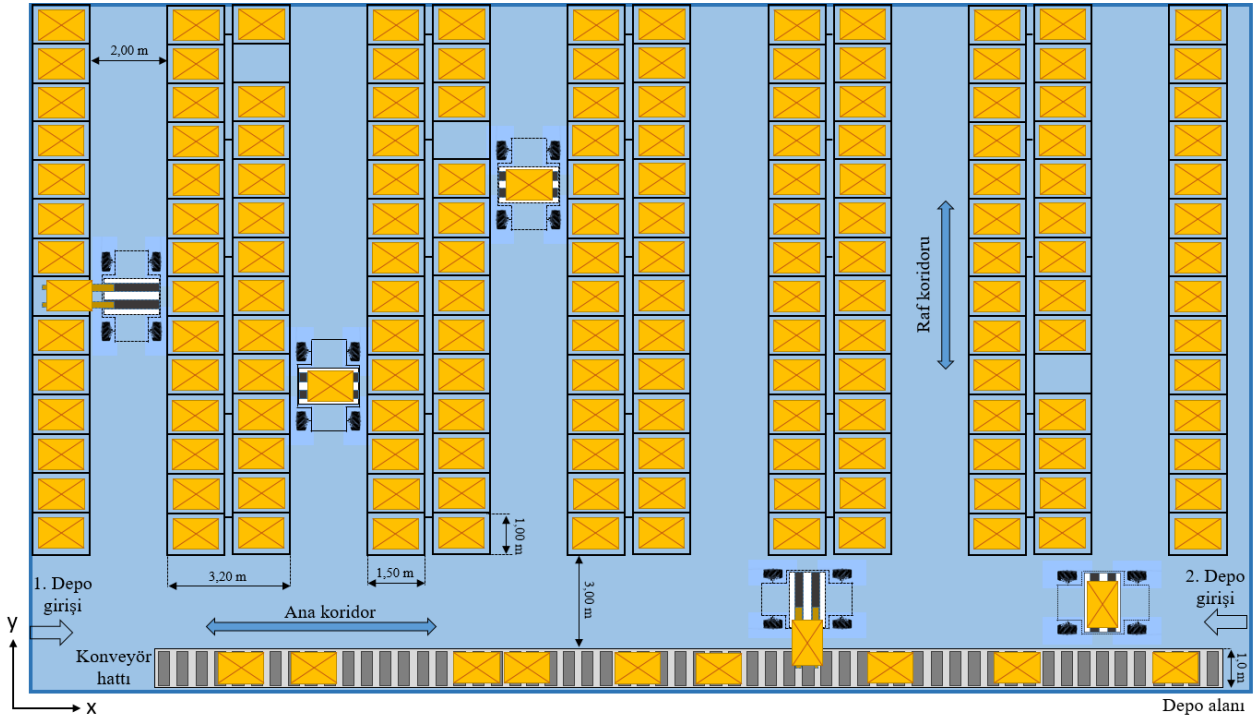
Şekil 4-8: Sırt sırta yapıda tek derinlikli geleneksel depo

Geleneksel deponun, tez kapsamında geliştirilen mecanum tekerlekli robotlu ODBS'ye geçişi gerçekleştirilmiştir. Geçiş yapılan ODBS'nin parametre değerleri Tablo 4-3'de verilmiştir. Depoların geçişi, aynı depo ölçüleri için tasarlanmıştır. Seçim kriterleri en sık kullanılan türlere göre hazırlanmıştır.

Tablo 4-3: Geliştirilen ODBS parametre değerleri

Parametre	Değer
Raf ölçüleri	14 m x 9,5 m
Palet rafı ölçüleri	1 m x 1,5 m
Raf koridoru ölçüleri	2 m x 14 m
Sırt sırta raf genişliği	3,2 m
Konveyör hattı ölçüleri	1 m x 28 m
Ana koridor ölçüleri	3 m x 32 m
Toplam palet rafı sayısı	1008 adet
Toplam depo ölçüleri	18 m x 32 m
Toplam depo alanı	576 m ²

Geleneksel deponun geliştirilen ODBS'ye geçişi Şekil 4-9'da görülmektedir. Geliştirilen ODBS'de tek robot çalışmaktadır. Bu sayı ürün yoğunluğuna göre değişmektedir. Depo yapısı sırt sırta yapıda ve tek palet derinliğindedir.

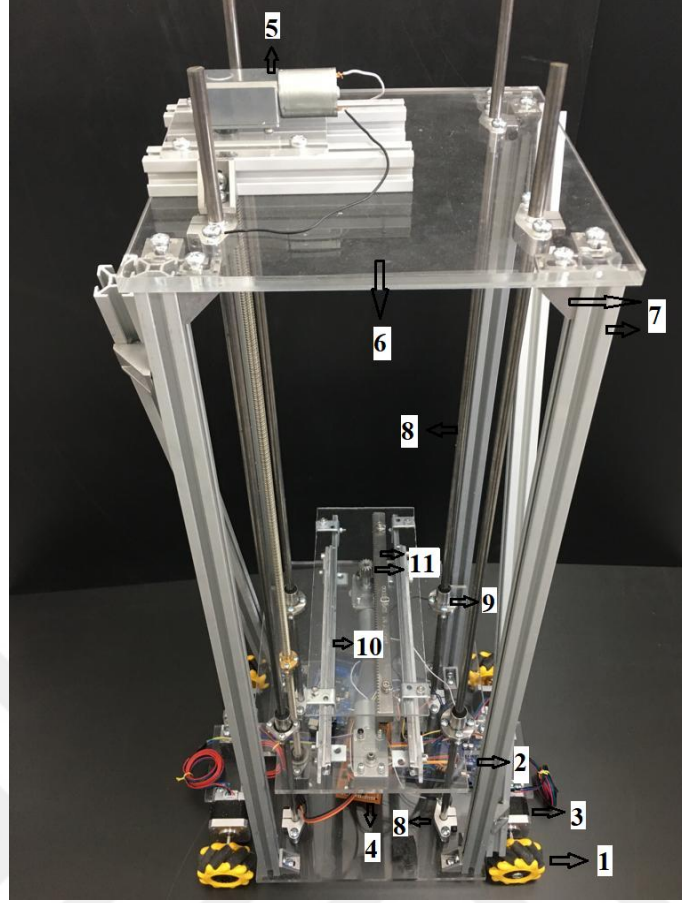


Şekil 4-9: Geliştirilen ODBS

Geleneksel deponun, geliştirilen ODBS'ye dönüşümü ile ürün kapasitesi 624 adetten 1008 adete çıkarak yaklaşık %62'lik artış göstermiştir. Toplama alanı yerine daha az alan kullanan konveyör hattına geçiş yapılmıştır. Böylelikle ürünler daha seri, düzenli ve güvenilir olarak depoya girmektedir. Raf koridor sayısı 4 'den 6'ya yükselip, genişliği 4,5 m'den 2 m'ye düşmüştür. Ana koridor genişliği 5 m'den 3 m'ye düşmüş ve boş alanlar azaltılmıştır. Otonom robotlar sayesinde ürün akışı artıp, ürün takibi olanağı daha verimli hale getirilmiştir.

4.3 GELİŞTİRİLEN ODBS İÇİN KULLANILAN MALZEMLER VE KULLANIM AMAÇLARI

Geliştirilen ODBS için kullanılan malzemeler aşağıda açıklanmıştır. Şekil 4-10'da ODBS robotunun görseli verilip görselin üzerinde malzemeler numaralandırılmıştır. Numaralandırılan malzemelerin isimleri Tablo 4-4'te yazılmıştır.



Şekil 4-10: Geliştirilen ODBS robotunun malzeme numaralandırması.

Tablo 4-4: Malzeme numaralandırma listesi

Numara	Malzeme İsmi
Sayısı	
1	Mecanum tekerlek
2	Arduino Mega 2560
3	Nema 17 step motor
4	Sürücü kartı
5	Redüktörlü DC motor
6	Pleksiglas levha
7	Sigma profil ve bağlantı elemanı
8	Mil ve sabit mil yatağı
9	Lineer rulman
10	Teleskobik ray
11	Pinyon dişli ve kremayer dişli

4.3.1 Mecanum Tekerlek

Son yıllarda, çok yönlü yeteneğe sahip olan Mecanum tekerlekli mobil robotlar birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır [52]. Şekil 4-11’de görseli verilen mecanum tekerlek, 1973 yılında Bengt Ilon tarafından, Ilon adlı İsveçli şirket Mecanum A.B., katı bir eksen etrafında 45 derecelik açıyla monte edilmiş bir dizi pasif silindirden oluşur. Esnek hareket kabiliyeti sayesinde, Mecanum tekerlekli mobil robot, başlangıç konumundan yön değiştirmeden herhangi bir konuma hareket edebilir ve dar çalışma alanında üstün direksiyon kabiliyetine sahiptir. Avantajları nedeniyle, Mecanum tekerlekli mobil robot, araştırmalarda büyük ilgi uyandırdı. Mecanum tekerlekli mobil robotların çeşitli türleri arasında, yatay düzlemde üç serbestlik derecesine sahip dört Mecanum tekerlekli mobil robot da bu tiplerden biridir [53].



Şekil 4-11: Mecanum tekerleğin farklı açılardan görüntüsü

4.3.2 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560, ATmega2560 tabanlı bir mikro denetleyici kartıdır. Arduino Mega 2560'ta 15 adet PWM çıkışı, 16 adet analog girişi ve 4 adet seri port olarak kullanılabilen 54 adet dijital giriş ve çıkış pinleri vardır. Üzerinde 16 MHz kristal osilatör, USB bağlantısı, Jack girişi,

ICSP pinleri ve bir sıfırlama düğmesi mevcuttur [54]. Arduino Mega 2560'ı çalıştırmak için AC veya DC akım kullanarak bir USB kablosu ile bilgisayara bağlanabilir veya pil kullanılabilir [55].

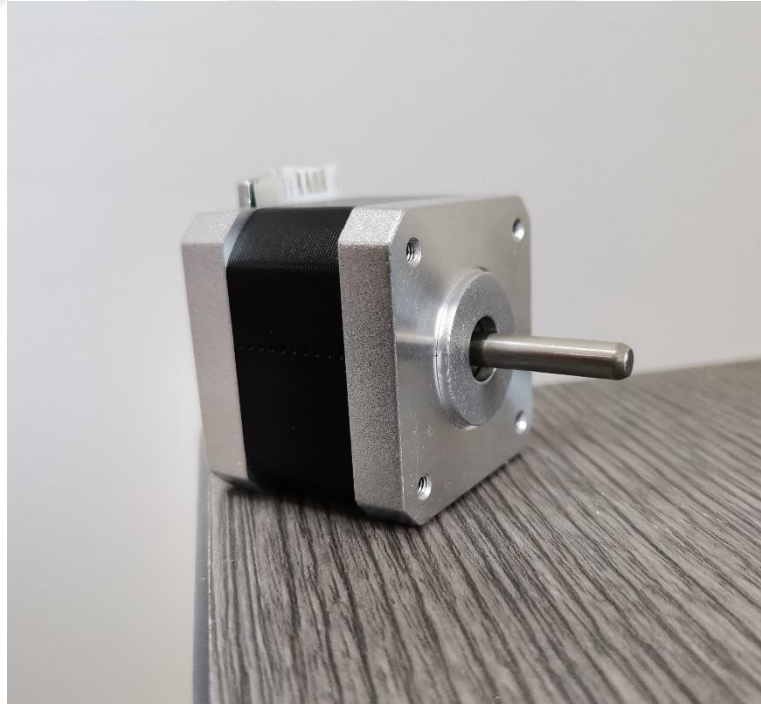
Geliştirilen robot yazılım temelli olup Arduino Mega 2560 kullanılmıştır. Arduino, 11 Volt değerinde 3S Lipo Pil ile güç sağlanıp çalıştırılmıştır.

4.3.3 Nema 17 Step Motor

Geliştirilen robotun sahip oldukları mecanum tekerlekleri hareket ettirebilmek için 4 adet Nema 17 Step motor kullanılmıştır. Adım motoru olduğu için hassas kontrol edilebilmektedir. 4,28 kg/cm yükleme kapasitesi vardır. 4 adet kullanıldığı için bu kapasite 17,12 kg/cm değerine çıkmaktadır. Bunlardan dolayı bu motor tipi seçilmiştir. Şekil 4-12'de görülen Nema 17 step motor bipolar tipte bir kademeli motordur. Tablo 4-5'deki referanslara göre tam adım açısı 1.8 derecedir. Çeyrek adımda açısı 0,45 derece kabul edilir. Sürüş voltajı 12-24 V'dur. Maksimum hız 2000 rpm'ye ulaşabilir. Ayrıca birim zamanda adım oluşturma hızı ne kadar yüksek olursa, elde edilen hareket o kadar hızlı olur [56]. Step motorlarda, belirli amaçlara göre kullanılabilecek çeşitli adım modları vardır. Bir step motordaki adım, tam adım, yarım adım ve mikro adımdan oluşur. Çok küçük açı değişiklikleri ve hassasiyet için veya düzgün motor hareketi elde etmek için step motora ihtiyacınız varsa mikro adım modu seçeneğini kullanabilirsiniz [57]. Nema 17 step motorlar, 3D yazıcılar, CNC makineler ve Lazer kesim yapan makineler gibi birçok yerde kullanılır.

Tablo 4-5: Nema-17 Step Motor Tasarım Parametreleri

Parametre	Değer
Model tipi	Bipolar
Nema boyu	17 mm
Step açısı	1.8°
Motor yatay mesafe	38 mm
Çalışma akımı	1.5 A
İç direnç	1.8 Ω
Faz induktansı	4.2 mH
Tutunma torku	40 N.cm
Tetik torku	2 N.cm
Rotor ataleti	47 g.cm ²
Ağırlık	300 gr
Boyutlar	42.3x42.3x38 mm
Motor mil kalınlığı	5 mm



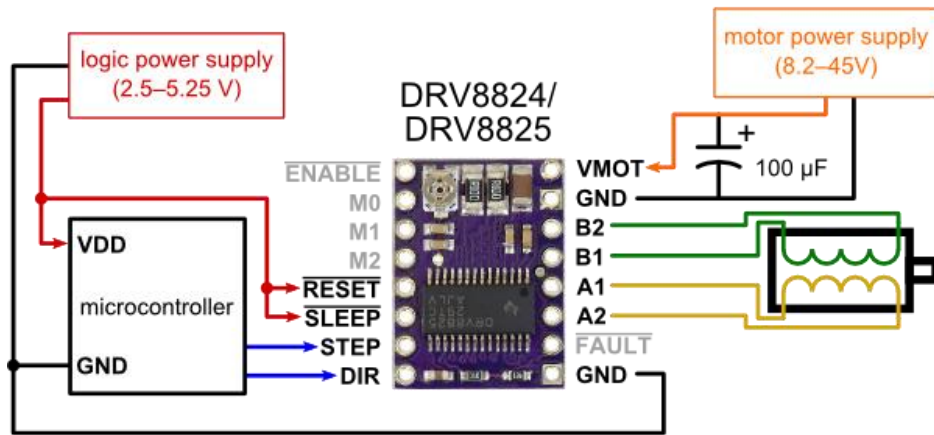
Şekil 4-12: Nema 17 step motor

4.3.4 DRV8825 Step Motor Sürücü Kartı

DRV8825, bipolar step motorlar Texas Instruments tarafından geliştirilen DRV8825 sürücüsünü kullanmaktadırlar. Sürücü kartının tasarım parametreleri Tablo 4-6'da verilmiştir. Bu sürücü kartı A4988 sürücüsünün pinleri ile uyumludur. Bu iki kart arasında sağlıklı ve yüksek performans sunabilen doğrudan değişim yapılabilir. Bu sürücü, ayarlanabilir akım sınırlaması, aşırı akım koruması ve altı farklı mikro adım çözünürlüğüne sahiptir. Potansiyometre ile maksimum akım sınırlanabilir. Böylece daha yüksek voltajlar kullanabilir ve daha iyi çözünürlük elde edebilirsiniz. 8,2V ile 45V arasındaki voltajlarla çalışır ve bir soğutucuya ihtiyaç duymadan faz başına 1,5A'ya kadar iletebilir [58]. Şekil 4-13'de görüntüsü verilen DRV8825 sürücü kartı robotik alanında, 3D yazıcılarda, endüstriyel otomasyon sistemlerinde, hassas makinelerde ve ATM'lerde yaygın olarak kullanılmaktadır [59].

Tablo 4-6: DRV8825 Step motor sürücü kartı tasarım parametreleri

Parametre	Değer
Potansiyel voltaj	8.2V – 45V DC
Kontrol Voltaj	2,5V – 5V
Akım (bobin başına)	1.5A (max: 2.2A)
6 adet çözünürlük	1/4, 1/8, 1/16, 1/32
Kart uzunluk ölçüleri	20,32mm X 15,24mm



Şekil 4-13: DRV8825 sürücü kartı [59]

4.3.5 Redüktörlü DC Motor

Robotun dikey ekseninde hareketini sağlamak için vidalı mile bağlı Redüktörlü DC Motor kullanılmıştır. Ürünü deponun rafından almak ve rafa yerleştirmek için kullanılan makasları lineer hareket ettirmek için ise yine Redüktörlü DC Motordan yararlanılmıştır. Redüktörlü DC motor redüktörlü yapısı ile yüksek oranda tork sağlamaktadır. Çalışmıyor durumda kendini kitleme özelliği bulunmaktadır. Bunlardan dolayı bu motor tipi seçilmiştir. Redüktör tasarımı devir sayısını azaltır fakat yüksek oranda tork ve güç alınmasını sağlamaktadır [60]. Şekil 4-14’de görüldüğü gibi kasa malzemesinin metal olmasından dolayı dış darbelere karşı mukavemeti yüksektir. Motorun arka kısmında 2 adet çıkış bulunmaktadır. Motorda bu çıkışlarla yön tayini ve PWM ile hız kontrolü yapılabilir. Tablo 4-7’de tasarım parametrelerine göre motorun çalışma voltajı 12 Volt ve devir sayısı dakika başına 210 rpm’dir. Motorun torku 5kg/cm’dir. Çekilen akım değeri 40 mA ve 120 mA arasında değişmektedir [61].

Tablo 4-7: Redüktörlü DC motor için tasarım parametreleri

Parametre	Değer
Çalışma voltajı	12 V
Devir	210 rpm/dk
Motor çapı	24 mm
Redüktör çapı	46 mm x 32 mm
Mil çapı	6 mm
Mil uzunluğu	12 mm
Tork	5 kg/cm
Motor yatay mesafe	7.6 cm
Çekilen akım	80 mA $\pm$ 40 mA
Motor ağırlığı	152 g



Şekil 4-14: Redüktörlü DC motor

4.3.6 Pleksiglas ve Dekote Levha

Bir diğer adıyla akrilik olarak diye de bilinen pleksiglas, çeşitli amaçlara ve faydalara sahip çok yönlü bir plastik malzemedir. Pleksiglas ilk olarak 1928'de üretilmiş ve 1933 civarında Rohm and Hass Company tarafından piyasaya sürülmüştür. İlk olarak II. Dünya Savaşı sırasında uçak pencereleri, kanopiler ve taret gibi ürünler için kullanılmıştır. Pleksiglas şeffaf bir termoplastik homopolimerdir. Pleksiglas, camdan 10 kat daha fazla darbeye dayanıklıdır. Günümüzde pleksiglas en yaygın olarak çeşitli kalınlıklarda levhalar halinde satılmaktadır. Fakat çubuklar veya tüpler gibi formlarda ve buzlu, aynalı veya parlamayan türleri de bulunmaktadır. Pleksiglas, temel ev eşyalarından fiber optik kabloları kadar çeşitli amaçlar için kullanılır. Buna akvaryumlar, perakende vitrinler, pencere camları ve hatta kurşun geçirmez camlar da dâhildir [62].

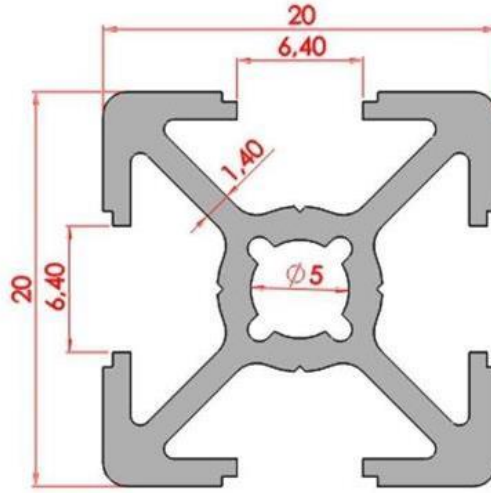
Geliştirilen robotun şase kısmı orta oynar kısmı ve tavan kısmı olmak üzere robotun en temel 3 kısmı pleksiglas tarafından oluşmaktadır. 8 mm kalınlığında olan pleksiglas levhanın kesim ve delik açma işlemleri lazer kesim ile yapılmıştır.

Deponun raflarının zemin kısımları ise dekota levha ile yapılmıştır. Geliştirilen ODBS prototip yapıda olduğu için depo malzemeleri yüksek mukavemet gerektirmemektedir. Bundan dolayı depo raflarının zemin kısımları dekota levha malzemesi olarak seçilmiştir.

Dekota levhanın hammaddesi PVC (Polivinil klorür)'dir. Dekota levhanın dış yüzeyi düzgün ve sert değildir. Bundan dolayı kesilmesi ve delik açılması oldukça kolaydır. Hafif ve esnek bir malzemedir. Olumsuz hava olaylarına, suya ve dış kuvvetlere karşı dayanıklıdır. Ses ve sıcaklık geçirgenliği az olma özelliğinden dolayı binaların duvar kısımlarında sıklıkla kullanılmaktadır [63].

4.3.7 Sigma Profil ve Bağlantı Elemanları

Robotun en üst tavan kısmıyla zemin kısmının stabilizasyonu için Şekil 4-16'da görseli verilen 20x20 mm kanal 6 sigma profil kullanılmıştır. Şekil 4-15'te teknik resim ölçüleri verilen profilin kanal genişliği 6.4 mm olduğu için kanal 6 ismini almıştır. Kullanılan sigma profilin malzemesi Alüminyum 6063'tür. Tercih edilmesinin en büyük nedeni, çok küçük boyutları nedeniyle yapıya hafiflik sağlaması ve aynı zamanda güçlü bir destek ve mukavemet gücüne sahip olmasıdır.



Şekil 4-15: 20x20 mm kanal 6 sigma profil teknik resmi ve ölçüleri



Şekil 4-16: 20x20 mm kanal 6 sigma profil

Sigma profilleri zemine ve tavan kısmına sabitlemek için sigma profiller için tasarlanmış Şekil 4-17’de görseli verilen L köşe bağlantı elemanı kullanılmıştır. Bu bağlantı elemanı alüminyum malzemeden üretilmiştir. L bağlantı elemanında L tasarım geometrisine 2 adet feder eklenerek mukavemet artırılmıştır. Bağlantı elemanı ile sigma profil M5 cicata ve somun ile montajı yapılmıştır.



Şekil 4-17: Sigma profil L bağlantı elemanı

4.3.8 Miller ve Sabit Mil Yatağı

Depo raflarına ürünlerin yerleştirilip depodan ürünleri boşaltmak için robotun dikey olarak lineer hareket yapabilen mekanizmaya ihtiyacı vardır. Bu hareketin temel kısımlarından biri Şekil 4-18’de görseli verilen millerdir. Kullanılan 8 mm indüksiyonlu miller ile dikey lineer hareketin titreşimi engellenmiştir. Robotun orta oynar kısmına monte edilen rulmanların içinde hareket eden miller stabilasyonu sağlanmıştır.



Şekil 4-18: 8 mm indüksiyonlu mil

Miller tarafından stabilasyonu sağlanan orta oynar kısmın hareket tahriki redüktörlü motor ile yapılmaktadır. Redüktörlü motorun dönme hareketi orta oynar kısma Şekil 4-19’da görselde görülen vidalı mil ile yapılmaktadır. Orta oynar kısma sabitlenen vidalı mil somunun içinde dönen mil orta oynar kısmın dikey olarak aşağı ve yukarıya hareketini sağlamaktadır. Vidalı mil 8 mm kalınlığındadır. 4 hatveden oluşan milin malzemesi paslanmaz çeliktir.



Şekil 4-19: 8 mm 4 hatve vidalı mil

4 adet miller üst kısma ve alt şaseye Şekil 4-20’de görülen sabit mil yatağı ile sabitlenmiştir. Sabit mil yatağının malzemesi alüminyumdur. Orta mil sabitleme deliği 8 mm’dir. Mili yatağa sıkıştırmak amacıyla M4 cıvata kullanılmıştır. 2 adet 5 mm’lik sabitleme delikleri bulunmaktadır. 2 adet 5 mm cıvata ve somun kullanılarak şaseye montajı yapılmıştır.



Şekil 4-20: Sabit mil yatağı

4.3.9 Lineer Rulmanlar ve Rulmanlı Yataklar

Robotun dikey olarak hareketinin sınırları 4 adet miller tarafından tayin edilmiştir. Dikey hareketi yapan orta oynar kısma Şekil 4-21’de görseli verilen 4 adet 8 mm lineer rulman montaj edilerek millere dikey olarak harekete izin verilip yatay hareketler engellenerek stabilizasyon sağlanmıştır. Lineer rulmanın iç kısmında bilyeler kullanılmıştır. Bu sayede sürtünme en aza indirilmiştir. Lineer rulmanın hareket yönüne dik eksende 4 adet 4 mm delik bulunmaktadır. Bu delikler lineer rulmanı sabitlemek için kullanılır.



Şekil 4-21: Lineer rulman

Redüktörlü motordan çıkan dönme hareketinin orta oynar kısmında dikey doğrusal hareke dönmesini sağlayan vidalı somundur. Şekil 4-22’de görülen vidalı somunun merkez delik ölçüsü 8 mm’dir. Yatayda 4 adet 3 mm çap değerinde 4 adet delik bulunmaktadır. Vidalı mil somununun malzemesi paslanmaz çeliktir.



Şekil 4-22: Vidalı mil somunu

Vidalı mil kendi ekseninde dönme hareketi yaptığı için robotun şase kısmından ve en üst tavan kısmından rulmanlı yataklarla sabitlemek gerekir. Böylelikle vidalı mil titreşim ve salınım yapmadan dönme işlemini yapmış olacaktır. Şekil 4-23’de görseli verilen rulmanlı yatağın merkez delik ölçüsü 8 mm’dir. 2 adet sabitlemek için 5 mm genişliğinde delik bulunmaktadır. Rulmanlı yatak galvaniz döküm tekniği ile üretilmiştir.



Şekil 4-23: Rulmanlı mil yatağı

4.3.10 Lİ-PO PİL

Li-Po piller Lityum-Polimer pillerdir. Lipo pil olarak bilinmektedir. Li-Po piller, hafif bir yapı ile birlikte yüksek şarj ve deşarj oranları, uzun ömür, yüksek enerji yoğunluğu ve uygun maliyet gibi avantajlı özellikler sunmaktadır. Son on yılda lityum temelli pillerde yalnızca küçük gelişmeler meydana gelmiş olup en büyük gelişme fiyat düşüşü olmuştur [64], [65]. Li-Po pilde, anot ile kompozit katot arasına hem elektrolit hem de ayırıcı görevi gören bir polimer elektrolit sıkıştırılır. Polimer membran, lityum polimer pillerin performansında çok önemli bir rol oynar [66], [67].

Geliştirilen robotta Şekil 4-24’de görseli verilen 2 adet 3 hücreli 3S lipo pil kullanılmıştır. Kullanılan lipo pilin voltaj değeri 11,1 V’dur. 1750 mAh kapasiteli lipo pil deşarj değeri 30C olup anlık değeri 10 saniye ile sınırlı olarak 50C’dir. Ağırlığı 161 gr’dır. XT60 türünden enerji alma soketi ve şarj etmek için soket bulunmaktadır.



Şekil 4-24: Lipo pil

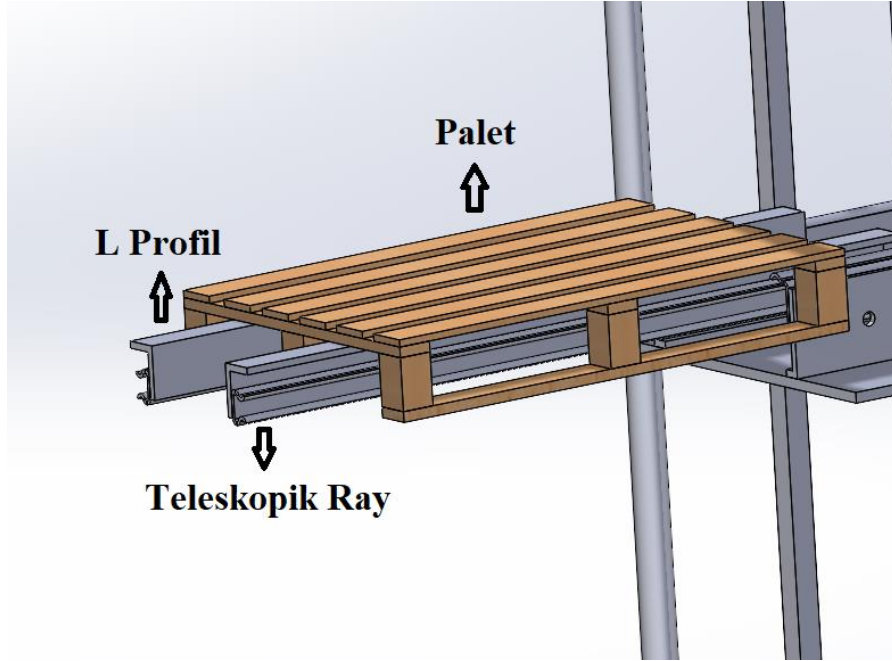
4.3.11 Teleskobik Ray

Teleskobik ray birbiri içinde bulunan profillerin bilya yatağı sistemiyle birbirlerine bağlı belirli mesafeye kadar lineer harekete izin veren sistemlerdir. Şekil 4-25’de görülen teleskobik ray

ürünü alma ve koyma işlemi yapacak olan makas görevi görecekler. Teleskobik rayın uzunluğu 260 mm'dir. Şekil 4-26'da 3D model çizimde görüldüğü üzere teleskobik ray L profillerle orta oynar kısma sabitlenmiştir.



Şekil 4-25: Teleskopik ray



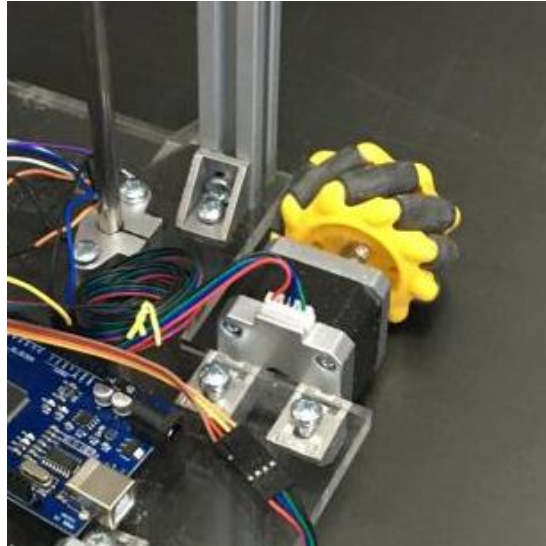
Şekil 4-26: Teleskopik rayın montaj 3D model çizimi

4.3.12 Pinyon Dişli ve Kremayer Dişli

Ürünü raftan alan ve ürünü rafa bırakan sistemin hareketi için kullanılmıştır. Pinyon dişli ve kremayer dişli 1 modüldür. Pinyon dişlinin çapı 15 mm'dir. Pinyon dişli redüktörlü DC motor şaftına M3 setskur ile bağlanmıştır. Kremayer dişli ise ürünü taşıyan kısma M4 cıvata ve somun ile bağlanmıştır.

4.4 ROBOTUN MEKANİK YAPISI

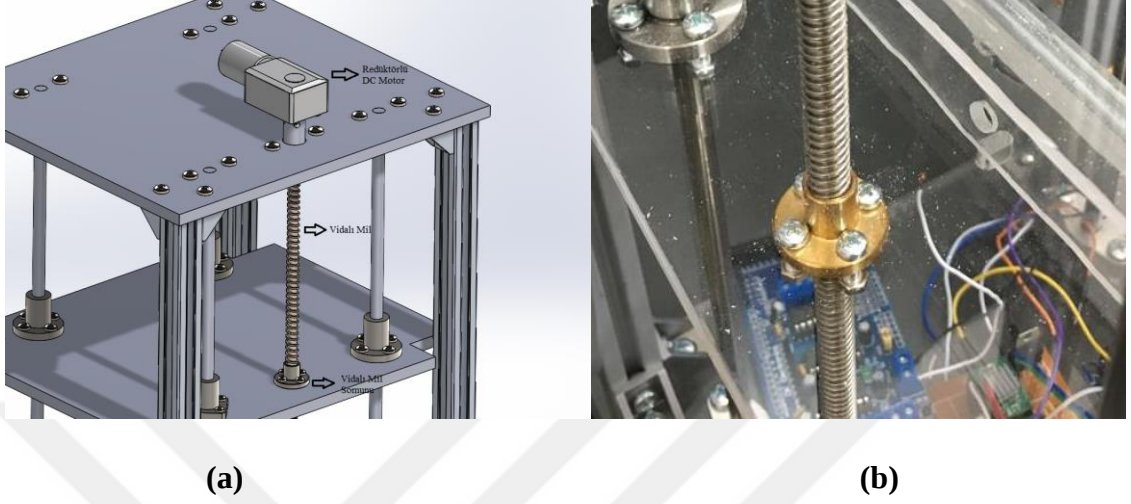
Geliştirilen robot yatay hareketini mecanum tekerlekler ile sağlamaktadır. Yatay 8 farklı yönde lineer hareket, saat yönü ve saat yönünün tersine kendi etrafında dönme hareketi yapabilmektedir. Tekerler Nema 17 step motora, kaplin ile bağlıdır. Kaplin, motor şaftı ile motorun göbek kısmına M2 vida yardımıyla montajı yapılmıştır. Böylelikle hareket tekerlere iletilmiş olur. Motor ise motorun şasesine Şekil 4-27'de görüldüğü gibi 2 adet L alüminyum bağlantı elemanı ile M5 cıvatalar kullanılarak sabitlenmiştir.



Şekil 4-27: Motor şase bağlantısının montaj resmi

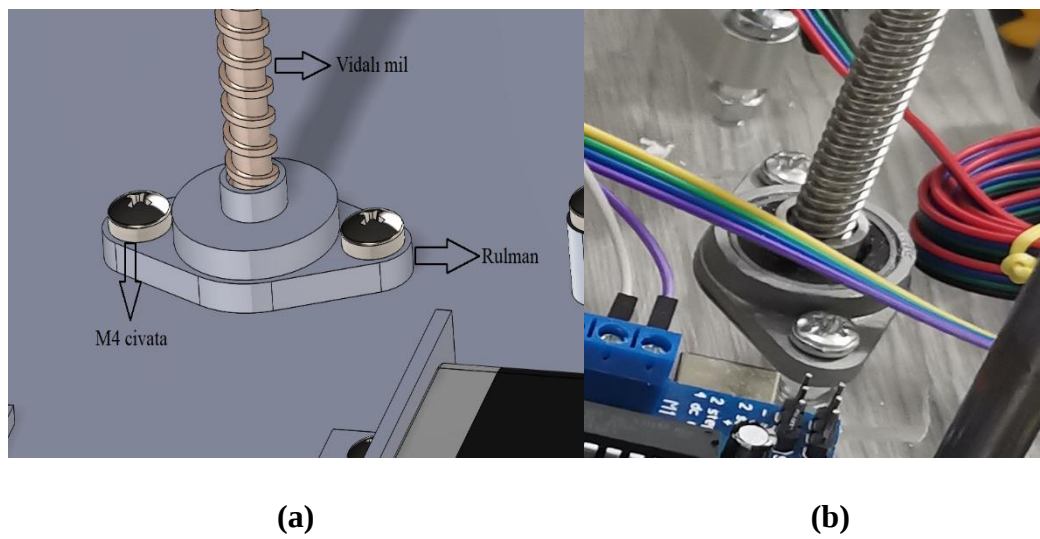
Ürünleri yüksek raflara ulaştırmak için robotun orta kısmında dikey olarak hareket halinde olan mekanizma vardır. Bu mekanizmanın ismi orta oynar kısımdır. Mekanizmanın tahriki

Redüktörlü DC motor ile yapılmaktadır. Motor Şekil 4-28’de görüldüğü gibi vidalı mile bağlanmıştır. Vidalı mil ise ürünü taşıyan hareketli mekanizmaya somun ile bağlıdır.



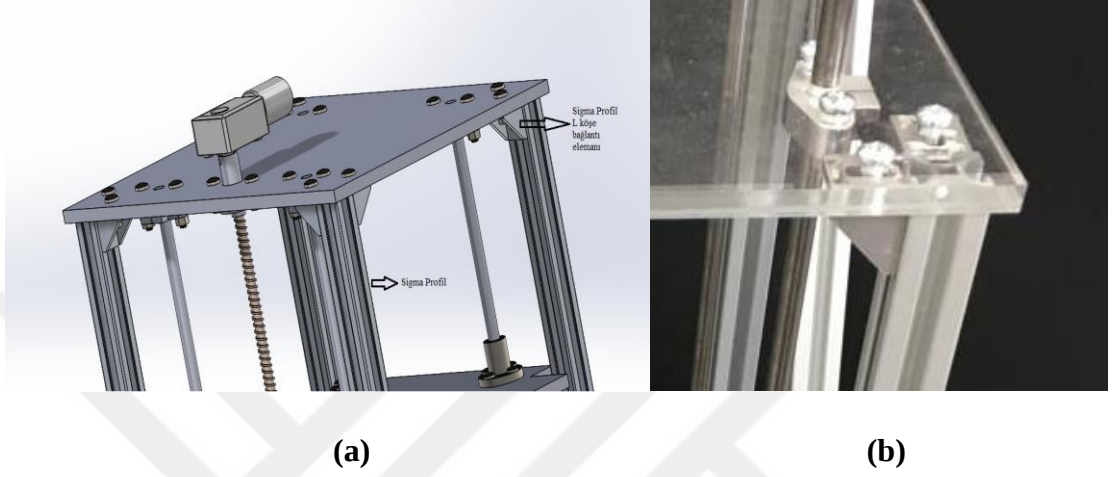
Şekil 4-28: (a) Vidalı milin motor ve ürünü taşıyan hareketli platform ile bağlantısının 3D model çizimi, (b) Vidalı milin motor ve ürünü taşıyan hareketli platform ile bağlantısının montaj resmi

Vidalı mil, şase ve en üst sabit kısma 8 mm rulman ile yataklanmıştır. Şekil 4-29’da görseli verilen sistemin bağlantısı M4 civata ve somun ile yapılmıştır. Böylelikle vidalı milin yükü sabit kısımlara aktarılıp tahrik motorun titreşimi engellenmiştir.



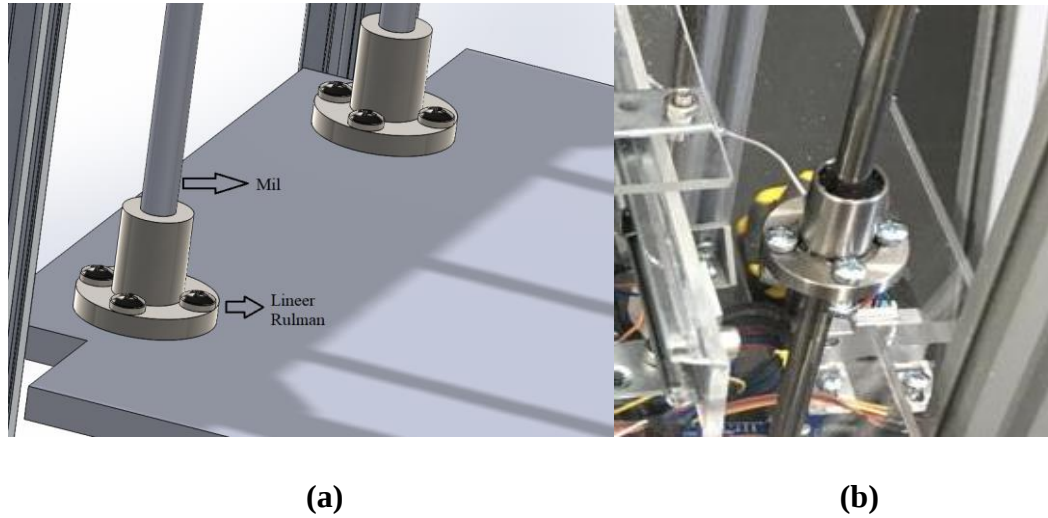
Şekil 4-29: (a) Vidalı mil ile şasenin yataklama 3D model çizimi, (b) Vidalı mil ile şasenin yataklama montaj resmi

Ürünü taşıyan platformun stabil olarak hareket edebilmesi için 4 adet 20x20 mm sigma profil ile desteklenmiştir. Şekil 4-30'da model resmi görülen sistemde sigma profil L alüminyum bağlantı ile alt ve üst zemine sabitlenmiştir. Sistemi 4 adet sigma profiller desteklemektedir. Böylelikle sistemin titreşimi en aza indirilmiştir.



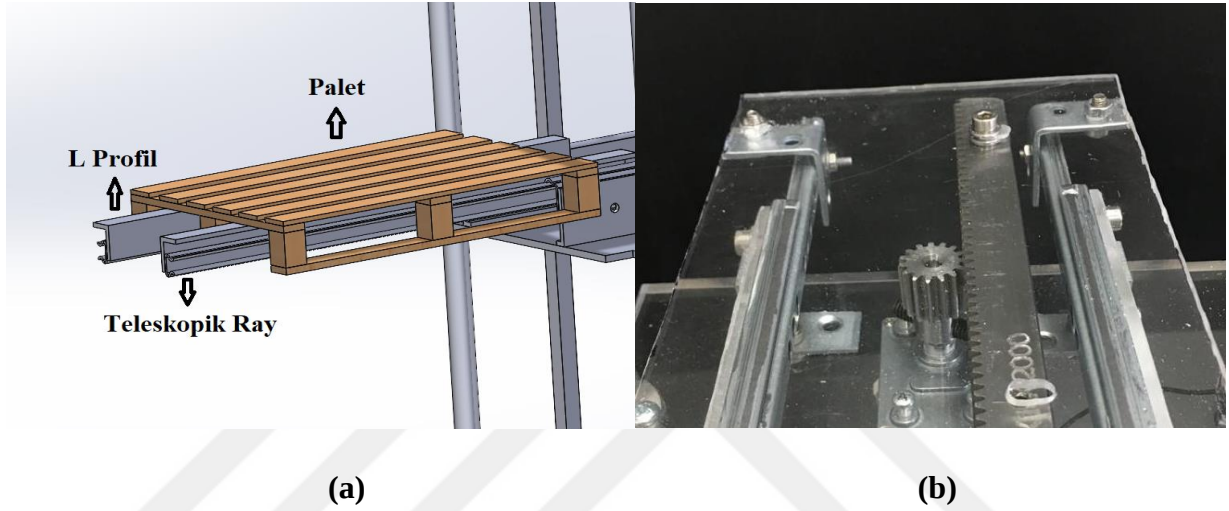
Şekil 4-30: (a) Sigma profilin sisteme bağlantısının 3D model çizimi, (b) Sigma profilin sisteme bağlantısının montaj resmi

Miller ile hareketli kısım lineer rulman ile bağlanmıştır. Bu sistemin Şekil 4-31'de model resmi verilmiştir. Böylelikle hareketli kısım 4 adet lineer rulman ile sabitlenip titreşim en aza indirilmiştir. Lineer rulman döküm ile üretilmiş iç çapı 8 mm'dir.



Şekil 4-31: (a) Lineer Rulman ile milin bağlantı 3D model çizimi, (b) Lineer Rulman ile milin bağlantı montaj resmi

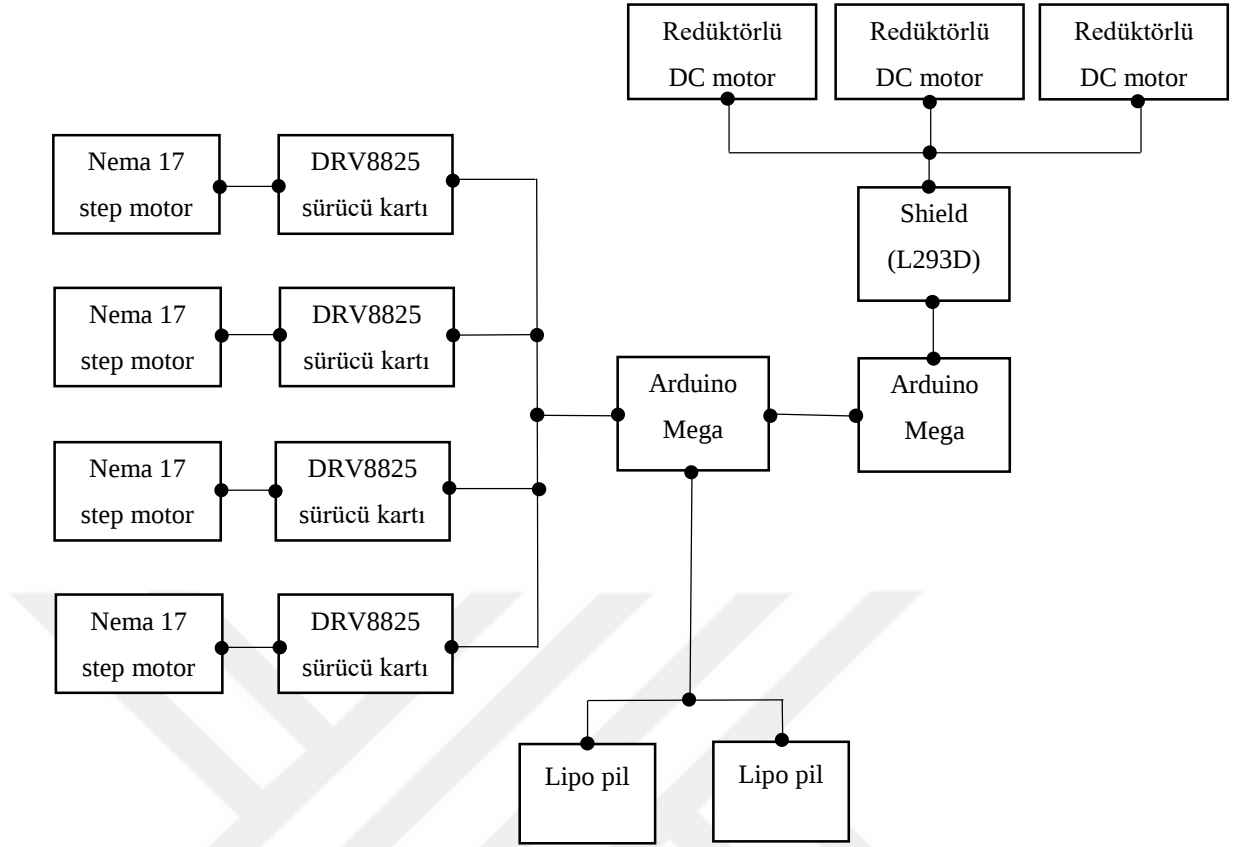
Orta oynar kısımdaki yüklenen ürünleri raflara yerleştirmek için uzayan teleskobik raylı sistem uygulanmıştır. Şekil 4-32’de 3D model çizimi verilen sistem L profille sabitlenmiştir. L profilin montajında M4 cıvata ve somun kullanılmıştır. Geliştirilen robotu özgünlük katan kısımlarından biri olan çift yönlü ürün bırakma kabiliyetidir. Teleskobik ray x ekseninde sağ ve sol olmak üzere her iki rafa ürün bırakabilmektedir. Montajı buna uygun olarak yapılmıştır.



Şekil 4-32: (a) Teleskobik ray montaj 3D çizimi, (b) Teleskobik ray montaj resmi

4.5 ROBOTUN ELEKTRONİK YAPISI

Geliştirilen robotta yazılım kartı olarak hazır kartlardan olan Arduino Mega kullanılmaktadır. Motorlar ve motor sürücü kartları Arduino Mega ile bağlıdır. Motorların hareket değerleri robotun en verimli çalışma durumuna göre verilmiştir. Robotta kullanılan tüm modüller Şekil 4-33’de blok diyagramında gösterilmiştir.



Şekil 4-33: Robotun elektronik blok şeması

Robotta kullanılan elektronik malzeme miktar listesi tablo 4-8’de verilmiştir. Bu malzemelerin, 0,5 mm montaj kablosu ile elektronik bağlantıları yapılmıştır.

2 adet lipo pilin sisteme montajı yapılmıştır. 4 adet Nema 17 step motorlar ve redüktörlü DC motor lipo pilden güç almaktadır. Lipo pilden Arduino kartına 12V girmekte ve Arduino mega içinde bulunan hazır sistem ile beraber 12V, 5V değerine düşürülmektedir. Böylelikle Arduino kartında artık 5V çıkışı da verilebilmektedir.

DRV8825 sürücü kartından çıkan 4 adet çıkış Nema 17 step motora montaj kablosu ile bağlanmıştır. Sürücü kartından Arduino’ya GND çekilmiştir. Aynı şekilde Arduino ile sürücü kartının pin bağlantıları ve 5V güç bağlantıları yapılmıştır.

Tablo 4-8: Elektronik malzeme miktar tablosu

Malzeme türü	Miktarı
Arduino Mega	2
Lipo Pil	2
Nema 17 step motor	4
DRV8825 sürücü kartı	4
Redüktörlü DC motor	3
Motor Shild	1

4.6 DEPO YAPISI

Geliştirilen ODBS robotu tek derinlikli raflara uygundur. Bundan dolayı tek derinlikli raflı depo prototibi üretilmiştir. Deponun kolon ve kirişlerini oluşturan iskelet kısmı sigma profil ile üretilmiştir. Şekil 4-34'te iskelet görüntüsü verilen deponun bağlantıları L alüminyum bağlantı elemanını ve M5 vida ve somunları kullanılarak üretilmiştir. Raf zeminleri dekote levha ile kaplanmıştır. Depo tek derinlikli, çift sütunlu, tek koridorlu olarak üretilmiştir. Şekil 88'de görseli verilen deponun toplam 15 adet raf kapasitesi bulunmaktadır. İskelet kısmının kanal 6 sigma profil kullanılmasıyla mukavemeti oldukça yüksektir.



Şekil 4-34: Tek derinlikli depo prototipinin iskelet yapısı

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında ODBS'ler hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Geniş bir literatür taraması sonucu günümüzde kullanılan tüm ODBS'ler incelenmiş ve başlıklar altında sınıflandırılmıştır. Sınıflara ayrılan ODBS'lerin çalışma alanları, avantajları ve dezavantajları açıklanmıştır. Ayrıca ODBS'lerde kullanılan meteryaller görsel destekli olarak açıklanmıştır.

ODBS'ler amaca yönelik üretildiklerinden dolayı birbirlerinden çok çeşitli ODBS örnekleri mevcuttur. Bu ise firmaların tercih yelpazesini artırmıştır. Verimli ve seri çalışabilen ODBS'lerin ilk kurulum maliyetleri yüksektir. Çünkü bu sistemler çok sayıda robot içerirler. Bundan dolayı en az maliyet ve en çok kabiliyet olabilen ODBS üretimi yapmak oldukça önemli hale gelmiştir.

ODBS'lerin ilk kurulum maliyetinin yüksek olması geleneksel depoların ODBS'ye geçişini zorlaştırmaktadır. Bunun önüne geçmek adına günümüzde aşağıdaki önlemler uygulanmıştır.

- Hem ürün taşıma işlemi yapan hem de koridor boyunca hareket edebilen taşınabilir koridor robotu üretilmiştir. Böylelikle robot sayısı 2'den 1'e düşürülüp maliyet azaltılmıştır.
- Akıllı rafların üretimi ile sadece taşıyıcı robot ile yarı otonom sistem tasarımları düşük maliyet, yüksek verim sunmaktadırlar.
- Eğimli raflar ile yerçekimi kuvvetiyle enerji harcamadan depolama yapılabilme yeteneğine sahip sistemler gelişmiştir.

Geliştirilen mecanum tekerlekli robot ile ODBS, ilk kurulum maliyetlerini düşürüp yüksek kabiliyet sunmaktadır. Robotun sahip olduğu mecanum tekerler sayesinde yatay olarak 8 adet lineer hareket ve her iki yönde kendi etrafında dönme hareketi yapma kabiliyeti bulunmasından dolayı raylı hatlara ve geniş hareket alanına ihtiyaç duymaz. Raylı hatlara ihtiyaç duymaması ve depo içinde başka robotlara gereksinimi olmadığından dolayı diğer ODBS'lere göre maliyeti oldukça düşüktür.

Raylı hatlara ihtiyaç duymaması depo zemininde değişiklik yapılmasını gerektirmez. En sık kullanılan standart palet raflara uygun olma özelliğinden dolayı geliştirilen sisteme geçmek isteyen tek derinlikli raflara sahip geleneksel depolar raflarını değiştirmek zorunda değillerdir. Böylelikle geliştirilen sistem ile birlikte geleneksel depoyu tam otomatik bir depo haline getirmek kolaylaşmıştır. Geliştirilen ODBS'nin endüstriyel alanda performansı incelenmiştir. Geleneksel

deponun, geliştirilen ODBS'ye dönüşümü ile ürün kapasitesi 624 adetten 1008 adete çıkarak yaklaşık %62'lik artış göstermiştir.

Bu tez çalışmasında günümüzde kullanılmakta olan tüm ODBS'ler incelenip özellikleri değerlendirilmiştir. Robot sayısı çok olan sistemlerin seri ve verimli işler yaptığı fakat ilk kurulum maliyetleri firmaların bu sistemlere geçişini zorlaştırdığı anlaşılmıştır. Sonuç olarak geliştirilen mecanum tekerlekli robot ile ODBS tasarımı ile bu sorunların önüne geçilmesi planlanmıştır. Yüksek depolama kabiliyeti ve düşük maliyet ile çözüm üretilmiştir.

Bundan sonraki çalışmalarda birbirlerinden farklı görevleri üstlenebilecek minimum robot miktarı ile yüksek verim elde edilebilecek sistemler üretmek ve bu sistemlere yazılımsal çözümlerle yüksek teknoloji barındıran çözüm yaklaşımları getirilmesi önerilmiştir.



6. KAYNAKLAR

- [1] “Soyaslan, M. (2012). Sıvı gıda üretim sektörü için robotik tabanlı akıllı depolama sistemlerinin otomasyonu (Master’s thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).”
- [2] “SARI, E. B., ÖZVERİ, O., & ŞENYAY, U. E. (2019). Endüstri 4.0’ın İş Süreçleri Yönetimine Etkisi: Akıllı Depolama Sistemi Uygulaması. Uluslararası Yönetim Akademisi Dergisi, 2(2), 466-477.”
- [3] “Gönen, D., ATICI, H., Ali, O. R. A. L., & Demirelli, B. (2017). DEPOLAMA ALANLARINDA ÇALIŞANLARIN ÇALIŞMA POZİSYONLARININ İNCELENMESİ. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 5, 293-299.”
- [4] “Soyaslan, M., Közkurt, C., & Fenercioğlu, A. (2015). Otomatik Depolama ve Boşaltma Sistemleri (ODBS): Depo Kurulumu ve Performans Çalışmaları Üzerine Araştırma. Academic Platform Journal of Engineering and Science, 3(3), 8-26.”
- [5] “Közkurt, C. (2012). Sıvı gıda üretim sektörü için akıllı depolama sistemlerinde kullanılan kartezyen robotun mekatronik tasarımı (Master’s thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).”
- [6] “ULUSOY, A., & GÜNEŞ, M. (2019). MOBİL ROBOT KOLUNUN PSO İLE STABİLİZASYONU. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 22(4), 288-297.”
- [7] “Çin, E. (2015). Çok yönlü hareket edebilen forklift prototipi imalatı (Master’s thesis, Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).”
- [8] “YILDIZ, A., ERGÜL, E. U., GEZEGİN, C., & DİRİK, H. AKILLI DEPOLAR İÇİN PLC ÜNİTELERİNİN BULANIK TOPSIS YÖNTEMİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ.”
- [9] “Roodbergen, K. J., & Vis, I. F. (2009). A survey of literature on automated storage and retrieval systems. European journal of operational research, 194(2), 343-362.”
- [10] “Vasili, M. R., Tang, S. H., & Vasili, M. (2012). Automated storage and retrieval systems: a review on travel time models and control policies. Warehousing in the global supply chain, 159-209.”
- [11] “<https://www.emremakinasan.com.tr/makine/urunler/konveyorler/rulolu-konveyorler/> (Erişim Tarihi: 25.07.2022)”
- [12] “<https://www.aslankonveyor.com/urun/konveyorler/zincirli-konveyor> (Erişim Tarihi: 25.07.2022)”
- [13] “<https://utkukonveyor.com/kaucuk-bantli-konveyor/> (Erişim Tarihi: 25.07.2022)”
- [14] “<https://www.mecalux.com.tr/palet-rafi/klasik-palet-raflari> (Erişim Tarihi: 24.07.2022)”
- [15] “<https://ucgedrs.com/sirt-sirta-depolama-sistemi/> (Erişim Tarihi: 24.07.2022)”
- [16] “<https://zmfrafsistemleri.com/depo-rafi-icin-zmf-raf-7-24-yaninizda/cift-derinlikli-depo-raf-sistemleri/> (Erişim Noktası: 23.07.2022)”
- [17] “<https://sercelik.com/hizmetlerimiz/deporafsistemleri/ciftderinliklirafsistemleri.php> (Erişim Noktası: 24.07.2022)”
- [18] “<http://tr.calin-rack.com/flow-rack/gravity-pallet-flow-rack.html> (Erişim Noktası: 21.07.2022)”
- [19] “<http://www.gozacanlarraf.com/tr/urun/icine-girilebilir-raf-sistemleri-34> (Erişim Noktası: 21.07.2022)”
- [20] “<https://www.rafsis.com/katli-raf-sistemi/> (Erişim Noktası: 19.07.2022)”
- [21] “<https://www.mecalux.com.tr/depolama-cozumleri/paletler-icin-otomatik-depolar/otomatik-paletli-mekik-sistemi> (Erişim Tarihi: 29 Haziran 2022)”
- [22] “Graves, S. C., Hausman, W. H., & Schwarz, L. B. (1977). Storage-retrieval interleaving in automatic warehousing systems. Management science, 23(9), 935-945.”
- [23] “Hausman, W. H., Schwarz, L. B., & Graves, S. C. (1976). Optimal storage assignment in automatic warehousing systems. Management science, 22(6), 629-638.”

- [24] “Heskett, J. L. (1964). Putting the cube-per-order index to work in warehouse layout. *Transportation and Distribution Management*, 4(8), 23-30.”
- [25] “Heskett, J. L. (1963). Cube-per-order index-a key to warehouse stock location. *Transportation and distribution Management*, 3(1), 27-31.”
- [26] “Costa, F., Genovesi, S., Borgese, M., Michel, A., Dicandia, F. A., & Manara, G. (2021). A review of RFID sensors, the new frontier of internet of things. *Sensors*, 21(9), 3138.”
- [27] “Hassan, W. H. (2019). Current research on Internet of Things (IoT) security: A survey. *Computer networks*, 148, 283-294.”
- [28] “M. r. Panda, P. k. Das, S. Dutta, ve S. k. Pradhan, ‘Optimal path planning for mobile robots using oppositional invasive weed optimization’, *Computational Intelligence*, c. 34, sy 4, ss. 1072-1100, 2018, doi: 10.1111/coin.12166.”
- [29] “http://en.informrack.com/prod_view.aspx?TypeId=76&Id=244&FId=t3:76:3 (Erişim Tarihi: 22 Haziran 2022)”
- [30] “<https://www.inform-international.com/multi-shuttle-product/> (Erişim Tarihi: 25 Haziran 2022)”
- [31] “Özyurt, R., Elen, A., & Közkurt, C. Otomatik Depolama ve Boşaltma Sistemlerinde Kullanılan Robot Türleri. *TAM METİN KİTABI FULL TEXT BOOK*, 205.”
- [32] “<https://www.automatedlibrarysystems.com/university-of-chicago-library/> (Erişim Tarihi: 22 Ekim 2021)”
- [33] “<https://temesist.com/asrs-otomatik-depolama-temesist-endustriyel-depo-ve-raf-sistemleri/> (Erişim Tarihi: 03 Ekim 2021)”
- [34] “Chen, W., Gong, Y., & de Koster, R. B. (2022). Performance estimation of a passing-crane automated storage and retrieval system. *International Journal of Production Research*, 60(4), 1210-1230.”
- [35] “<https://www.knapp.com/en/solutions/technologies/intelligent-software-and-digital-solutions-for-optimized-processes/> (Erişim Tarihi: 24 Haziran 2022)”
- [36] “<http://www.akillidepolama.com/dikey-karusel.asp?LanguageID=1&cid=3&id=12> (Erişim Tarihi: 22 Haziran 2022)”
- [37] “<https://www.vbap.com.tr/blog/vants-akilli-depo-sistemleri/> (Erişim Tarihi: 22 Haziran 2022)”
- [38] “<https://ucgedrs.com/autopal-mekik-depo-raf-sistemi/> (Erişim Tarihi: 24 Haziran 2022)”
- [39] “<https://www.inform-international.com/four-way-multi-shuttle-product/> (Erişim Tarihi: 22 Temmuz 2022)”
- [40] “<https://www.inform-international.com/attic-shuttle-2-product/> (Erişim Tarihi: 22 Haziran 2022)”
- [41] “<https://oplog.com.tr/akilli-depo-sistemlerinin-e-ticaret-icin-avantajlari/> (Erişim Tarihi: 22 Ekim 2021)”
- [42] “<http://robos.com.tr/projeler/rbs-f-forklift-agv/> (Erişim Tarihi: 22 Ekim 2021)”
- [43] “<https://ucgedrs.com/mobipal-depo-raf-sistemi/> (Erişim Tarihi: 24 Haziran 2022)”
- [44] “<https://www.bostondynamics.com/> (Erişim Tarihi: 28 Haziran 2022)”
- [45] “<https://corporate.jd.com/> (Erişim Tarihi: 28 Haziran 2022)”
- [46] “<https://www.bionichive.com/> (Erişim Tarihi: 28 Haziran 2022)”
- [47] “<https://www.exotec.com/en/home/> (Erişim Tarihi: 28 Haziran 2022)”
- [48] “<https://www.fraunhofer.de/en.html> (Erişim Tarihi: 28 Haziran 2022)”
- [49] “<https://robotics.tokyo/> (Erişim Tarihi: 28 Haziran 2022)”
- [50] “Pohjalainen, A. (2015). Control policies of an automated storage and retrieval system (Master’s thesis).”
- [51] “<https://www.lesics.com/our-animators/pratik.html> (Erişim Tarihi: 25.07.2022)”

- [52] “Kang, J. W., Kim, B. S., & Chung, M. J. (2008, October). Development of omni-directional mobile robots with mecanum wheels assisting the disabled in a factory environment. In 2008 International Conference on Control, Automation and Systems (pp. 2070-2075). IEEE.”.
- [53] “Lu, X., Zhang, X., Zhang, G., & Jia, S. (2018, July). Design of adaptive sliding mode controller for four-Mecanum wheel mobile robot. In 2018 37th Chinese Control Conference (CCC) (pp. 3983-3987). IEEE.”.
- [54] “Kusriyanto, M., & Putra, B. D. (2016, August). Smart home using local area network (LAN) based arduino mega 2560. In 2016 2nd international conference on wireless and telematics (ICWT) (pp. 127-131). IEEE.”.
- [55] “Oktariawan, I. (2013). Pembuatan sistem otomasi dispenser menggunakan mikrokontroler arduino mega 2560. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, 1(2).”.
- [56] “Ming-fa, Z., Yan, C., Zhi-yuan, Z., Chun, D., & Yu, D. (2006). Research of Complex Fuzzy Control on-off Magnetism Team Motor Speed-Adjusting System. In 2006 CES/IEEE 5th International Power Electronics and Motion Control Conference.”.
- [57] “Zahrok, R. F., Sakti, S. P., & Anggraeni, D. Rancang Bangun Pengontrol Jarak Menggunakan Motor Stepper Nema 17 Berbasis Mega 2560 Pro pada Ultrasonic Atomizer Spray Coating.”.
- [58] “Oto Machay, M. V. (2021). Diseño y construcción de una máquina cnc router de tres grados de libertad utilizando arduino uno y el driver drv8825.”.
- [59] “Ortega Serrano, E. (2020). Diseño e implementación de un sistema motorizado para telescopio basado en microcontrolador (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).”.
- [60] “SAKARYA, E., & ALKAN, A. HAVADA ve KARADA HAREKET EDEBİLEN 3 BOYUTLU TÜNEL HARİTALAMA ROBOTU. Bilgisayar Bilimleri ve Teknolojileri Dergisi, 2(2), 51-57.”.
- [61] “Tufan, B. H. (2021). Redüktörlü DC motor ile yönetilen 6 eksen hareketli uçuş simülatörünün tasarımı, analizi ve uygulaması (Master’s thesis, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).”.
- [62] “Cisbani, E., Colilli, S., Crateri, R., Cusanno, F., Fratoni, R., Frullani, S., ... & Vernin, P. (2003). Light-weight spherical mirrors for Cherenkov detectors. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 496(2-3), 305-314.”.
- [63] “Zhou, J., Wang, Q., Sun, Q., & Jena, P. (2010). Electronic and magnetic properties of a BN sheet decorated with hydrogen and fluorine. Physical Review B, 81(8), 085442.”.
- [64] “Beji, L., & Abichou, A. (2005, April). Trajectory generation and tracking of a mini-rotorcraft. In Proceedings of the 2005 IEEE international conference on robotics and automation (pp. 2618-2623). IEEE.”.
- [65] “Buchmann, I. (2006). Exploring a New Area in Portable Power High-Power Lithium-Ion. Biomedical Instrumentation & Technology, 40(4), 293-296.”.
- [66] “Agrawal, R. C., & Pandey, G. P. (2008). Solid polymer electrolytes: materials designing and all-solid-state battery applications: an overview. Journal of Physics D: Applied Physics, 41(22), 223001.”.
- [67] “Scrosati, B., & Vincent, C. A. (2000). Polymer electrolytes: the key to lithium polymer batteries. Mrs Bulletin, 25(3), 28-30.”.
- [68] Özbay, H., Közkurt, C., DALCALI, A., & Tektaş, M. (2017). Geleceğin ulaşım tercihi: Elektrikli araçlar. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 3(1), 34-50.
- [69] Tektaş, M., & Tektaş, N. (2019). Akıllı ulaşım sistemleri (AUS) uygulamalarının sektörlere göre dağılımı. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 2(1), 32-41.

7. EKLER

EK 1. Geliştirilen robotun kodları

```
#include <AFMotor.h>

AF_DCMotor motor1(1); // çatal
AF_DCMotor motor2(4); // asansör

const int dirPin =2; //sağ ön teker

const int stepPin = 3;

const int stepsPerRevolution = 200;

const int stepsPerRevolution2 = 200;

const int stepsPerRevolution3 = 200;

const int stepsPerRevolution4 = 200;

const int stepsPerRevolution5 = 200;

const int dirPin2 = 4; // sol ön teker

const int stepPin2 = 5;

const int dirPin3 = 6; // sol arka teker

const int stepPin3 = 7;

const int dirPin4 = 8; // sağ arka teker

const int stepPin4 = 9;


void setup()

{

    motor1.setSpeed(100); //Hız 200 - 255

    motor2.setSpeed(250); //Hız 200 - 255
```

```
pinMode(stepPin, OUTPUT);

pinMode(dirPin, OUTPUT);

pinMode(stepPin2, OUTPUT);

pinMode(dirPin2, OUTPUT);

pinMode(stepPin3, OUTPUT);

pinMode(dirPin3, OUTPUT);

pinMode(stepPin4, OUTPUT);

pinMode(dirPin4, OUTPUT);
}

void loop()

{
// 1- ROBOTUN HAREKETLERİ

//İLERİ

digitalWrite(dirPin, LOW);

digitalWrite(dirPin2, HIGH);

digitalWrite(dirPin3, HIGH);

digitalWrite(dirPin4, LOW);

for (int x = 0; x < 5 * 200; x++)

{

digitalWrite(stepPin, HIGH);

digitalWrite(stepPin2, HIGH);

digitalWrite(stepPin3, HIGH);
```

```

digitalWrite(stepPin4, HIGH);

delayMicroseconds(3500);

digitalWrite(stepPin, LOW);

digitalWrite(stepPin2, LOW);

digitalWrite(stepPin3, LOW);

digitalWrite(stepPin4, LOW);

delayMicroseconds(1750);

}

delay(2000);

//GERİ

digitalWrite(dirPin, HIGH);

digitalWrite(dirPin2, LOW);

digitalWrite(dirPin3, LOW);

digitalWrite(dirPin4, HIGH);

for (int x = 0; x < 5 * 200; x++)

{

    digitalWrite(stepPin, HIGH);

    digitalWrite(stepPin2, HIGH);

    digitalWrite(stepPin3, HIGH);

    digitalWrite(stepPin4, HIGH);

    delayMicroseconds(3500);

    digitalWrite(stepPin, LOW);

    digitalWrite(stepPin2, LOW);

    digitalWrite(stepPin3, LOW);

```

```
digitalWrite(stepPin4, LOW);  
  
delayMicroseconds(1750);  
  
}  
  
delay(2000);  
  
//SOL  
  
digitalWrite(dirPin, LOW);  
  
digitalWrite(dirPin2, LOW);  
  
digitalWrite(dirPin3, HIGH);  
  
digitalWrite(dirPin4, HIGH);  
for (int x = 0; x < 3 * 200; x++)  
{  
    digitalWrite(stepPin, HIGH);  
    digitalWrite(stepPin2, HIGH);  
    digitalWrite(stepPin3, HIGH);  
    digitalWrite(stepPin4, HIGH);  
    delayMicroseconds(3000);  
    digitalWrite(stepPin, LOW);  
    digitalWrite(stepPin2, LOW);  
    digitalWrite(stepPin3, LOW);  
    digitalWrite(stepPin4, LOW);  
    delayMicroseconds(3000);  
}  
  
delay(2000);
```

```

//SAĞ

digitalWrite(dirPin, HIGH);

digitalWrite(dirPin2, HIGH);

digitalWrite(dirPin3, LOW);

digitalWrite(dirPin4, LOW);

for (int x = 0; x < 3 * 200; x++)
{
    digitalWrite(stepPin, HIGH);
    digitalWrite(stepPin2, HIGH);
    digitalWrite(stepPin3, HIGH);
    digitalWrite(stepPin4, HIGH);
    delayMicroseconds(5300);
    digitalWrite(stepPin, LOW);
    digitalWrite(stepPin2, LOW);
    digitalWrite(stepPin3, LOW);
    digitalWrite(stepPin4, LOW);
    delayMicroseconds(2800);
}

delay(2000);

//DÖNME

digitalWrite(dirPin, LOW);

digitalWrite(dirPin2, LOW);

digitalWrite(dirPin3, LOW);

digitalWrite(dirPin4, LOW);

```

```
for (int x = 0; x < 4 * 200; x++)  
{  
    digitalWrite(stepPin, HIGH);  
    digitalWrite(stepPin2, HIGH);  
    digitalWrite(stepPin3, HIGH);  
    digitalWrite(stepPin4, HIGH);  
    delayMicroseconds(3000);  
    digitalWrite(stepPin, LOW);  
    digitalWrite(stepPin2, LOW);  
    digitalWrite(stepPin3, LOW);  
    digitalWrite(stepPin4, LOW);  
    delayMicroseconds(3000);  
}  
delay(50000);  
}
```

```
// 2- ÜRÜN ALMA İŞLEMİ
```

```
{  
    // asansör raf seviyesine çıktı  
    delay(12000);  
    motor2.run(BACKWARD);  
    delay(7000);  
    motor2.run(RELEASE);  
    delay(2000);  
}
```

// çatal ürünün altına girdi

motor1.run(FORWARD);

delay(2300);

motor1.run(RELEASE);

delay(2000);

// asansör bir miktar yükseldi ve ürün çatala bindi.

motor2.run(BACKWARD);

delay(500);

motor2.run(RELEASE);

delay(2000);

// çatal ürünü robotun içine çekti.

motor1.run(BACKWARD);

delay(2100);

motor1.run(RELEASE);

delay(2000);

// asansör üzerindeki yük ile beraber sıfır konumuna indi.

delay(12000);

motor2.run(FORWARD);

delay(7000);

motor2.run(RELEASE);

delay(2000); }

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler		
Adı Soyadı	Recep ÖZYURT	
Doğum Yeri		
Doğum Tarihi		
Uyruğu	T.C.	
Telefon		
E-Posta Adresi		
Web Adresi		

	Eğitim Bilgileri
	Lisans
Üniversite	
Fakülte	
Bölümü	
Mezuniyet Yılı	

	Yüksek Lisans
Üniversite	Bandırma Onyedli Eylül Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Ana Bilim Dalı
Programı	Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri

Makale ve Bildiriler
Özyurt, R., Elen, A., & Közkurt, C. Otomatik Depolama ve Boşaltma Sistemlerinde Kullanılan Robot Türleri. <i>Tam Metin Kitabı Full Text Book</i> , 205