

**ESNEK ÜRETİM SİSTEMİNDE
ZEKİ YÜKLEME VE DEPOLAMA
OTOMASYONU**

**2016
DOKTORA TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

Mustafa AYYILDIZ

**ESNEK ÜRETİM SİSTEMİNDE
ZEKİ YÜKLEME VE DEPOLAMA
OTOMASYONU**

Mustafa AYYILDIZ


**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalında
Doktora Tezi
Olarak Hazırlanmıştır.**

**KARABÜK
Ocak 2016**

Mustafa AYYILDIZ tarafından hazırlanan "ESNEK ÜRETİM SİSTEMİNDE ZEKİ YÜKLEME VE DEPOLAMA OTOMASYONU" başlıklı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA

Tez Danışmanı, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı

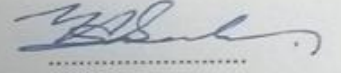


Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir. 04 / 01 / 2016

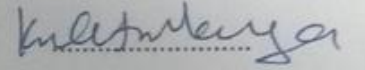
Unvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

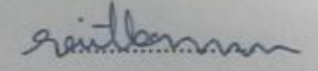
Başkan : Prof. Dr. Hamit SARUHAN (DÜ)



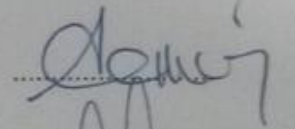
Üye : Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA (KBÜ)



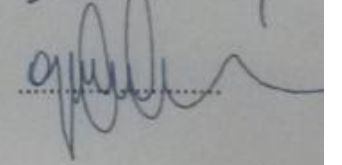
Üye : Prof. Dr. Raif BAYIR (KBÜ)



Üye : Doç. Dr. Halil İbrahim DEMİRCİ (KBÜ)



Üye : Doç. Dr. Uğur GÜVENÇ (DÜ)



...../...../ 2016

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Mustafa AYYILDIZ

ÖZET

Doktora Tezi

ESNEK ÜRETİM SİSTEMİNDE ZEKİ YÜKLEME VE DEPOLAMA OTOMASYONU

Mustafa AYYILDIZ

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA

Ocak 2016, 97 sayfa

Bu tez çalışmasında esnek üretim sisteminde, konveyör paletlerindeki nesnelerin algılanması, tanımlanan nesnelerin robot ile raf alanına depolanması ve malzemenin raflardan alınarak sisteme yüklenmesi incelenmiştir. Bu amaçla zincir tahrikli bir konveyör tasarımı ve prototipi gerçekleştirilmiştir. Konveyörün üzerindeki nesnelerin geometrik şekillerini (daire, üçgen, dikdörtgen ve kare) çıkartmak için görüntü işleme metodu uygulanmıştır. Otsu metodu ile eşikleme işlemi yapılarak nesnelerin özellikleri elde edilmiştir. Tanımlanan geometrik şeklin özellikleri (alan, çevre, kompaktlık, uzama, dikdörtgensellik ve dairesellik) Yapay Sinir Ağı (YSA) ile geometrik şekillerin tahmini gerçekleştirilmiştir. Alan, çevre, kompaktlık, uzama, dikdörtgensellik ve dairesellik parametreleri YSA'nın girişleri, çıkışları ise daire, üçgen, dikdörtgen ve kare olarak belirlenmiştir. İleri beslemeli sinir

ağı modeli ile Levenberg–Marquardt (LM) öğrenme algoritması kullanılarak ağ eğitilmiştir. Parça Tanıma Sistemi arayüzü tasarımı yapılarak görüntü işleme metotları ve YSA ile bulunan geometrik şeklin formülü çevrimdışı olarak entegre edilmiştir.

Konveyör paletleri üzerindeki nesnelerin depolanması ve palet üzerine nesnelerin yüklenmesi için 4 Serbestlik Dereceli silindirik bir robot prototipi yapılmıştır. Prototipi yapılan robotun Denavit-Hartenberg (DH) yöntemi kullanılarak uç işlevcinin 3 boyutlu uzaydaki konumu ileri kinematik denklemler ile hesaplanmıştır. Robotun ileri kinematik denklemleri tasarlanan bir arayüze entegre edilerek kontrolü gerçekleştirilmiştir. ISO 9283 standardına göre ortalama doğruluk ve tekrarlanabilirlik parametreleri Microscribe G2X koordinat ölçme cihazı kullanılarak robotun performansı bulunmuştur. Prototipi yapılan esnek üretim sisteminin performansı deneysel çalışmalar ile ölçülmüştür. Parça tanıma sistemi ile tahmin edilen geometrik şekiller, prototipi yapılan 4 Serbestlik Dereceli robot ile raflara depolanması başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Konveyör, görüntü işleme, yapay sinir ağı, robot.

Bilim Kodu : 708.3.029

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

INTELLIGENT LOADING AND STORAGE AUTOMATION OF FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEM

Mustafa AYYILDIZ

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Education

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA

January 2016, 97 pages

In this thesis work, in flexible manufacturing systems, detection of objects on a conveyor pallet, identifying object on storage rack space with a robot and loading the system by taking material from the rack were examined. For this purpose, a chain-driven conveyor design and prototype were realized. The image processing method was applied to remove geometric shapes of objects (circle, triangle, rectangle, and square) on the conveyor. Properties of objects were obtained by Otsu thresholding operation. Defined the properties of geometric shapes (area, perimeter, compactness, elongation, circularity, and rectangularity) were performed to estimate geometric shapes with the Artificial Neural Network (ANN). Area, perimeter, compactness, elongation, circularity, and rectangularity as the ANN inputs and circle, triangle, square and rectangle as the ANN outputs were determined. Network was trained by using Levenberg-Marquardt (LM) learning algorithm with feed forward

neural network model. Image processing method and offline formula of the geometric shape were found with the ANN and integrated to designed Part Recognition System interface.

A cylindrical robot prototype was designed and manufactured having 4 degree of freedom for loading objects on pallets and storing the object on the conveyor pallets. Position in 3 dimensional space of gripper of the prototyped robot was calculated by forward kinematic equations using Denavit-Hartenberg (DH) method. Forward kinematic equations of the robot control were carried out by integrating a designed interface. According to ISO 9283 standard, performance of the robot was found by Microscribe G2X coordinate measuring device using average accuracy and repeatability parameters. The performance of the prototype made of flexible manufacturing systems was measured by experimental studies. The estimated geometric shapes with the Part Recognition System were successfully carried out and stored to rack with the prototype robot.

Key Word : Conveyor, image processing, artificial neural network, robot.

Science Code : 708.3.029

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle alıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren Sayın Hocam Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA'ya, sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Tezimin her aşamasında yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen Karabük Üniversitesi Öğretim Üyeleri, kıymetli Hocamlarım Sayın Doç. Dr. Cevdet GÖLOğLU'na, Prof. Dr. Raif BAYIR'a ve Doç. Dr. Halil İbrahim DEMİRCİ'ye, Düzce Üniversitesi öğretim üyeleri Prof. Dr. Hamit SARUHAN'a, Doç. Dr. Uğur GÜVEN'e, Yrd. Doç. Dr. Metin TOZ'a ve Arő. Gör. Dr. Serhat DUMAN'a teşekkür ederim. Bu tez KBÜ-BAP-11-2-DR-001 nolu Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında Karabük Üniversitesi tarafından desteklenmiőtir, bu vesileyle Karabük Üniversitesi Rektörlüğüne de teşekkür ederim.

Çalıőmalarım süresi boyunca manevi hiçbir yardımı esirgmeden yanımda olan sevgili eőtım Elmas AŐKAR AYYILDIZ ve kızım Feyza AYYILDIZ'a tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	2
1.2. ÇALIŞMANIN AMACI.....	7
BÖLÜM 2	9
GENEL BİLGİLER	9
2.1. ESNEK ÜRETİM SİSTEMİ	9
2.2. MALZEME TAŞIMA SİSTEMLERİ.....	14
2.2.1. Bantlı Konveyörler	15
2.2.2. Zincirli Konveyörler	16
2.2.3. Rulolu Konveyörler	17
2.2.4. Taşıma Paletleri	18
2.3. ENDÜSTRİYEL ROBOT KOL TÜRLERİ.....	19
2.3.1. Kartezyen Koordinat Sistemi.....	20
2.3.2. Silindirik Koordinat Sistemi	21
2.3.3. Küresel Koordinat Sistemi.....	22
2.3.4. Robot Kontrol Sistemleri	23
2.4. GÖRÜNTÜ İŞLEME	26

	<u>Sayfa</u>
2.4.1. Renkli Görüntü	27
2.4.2. Gri Seviyeli Görüntü	28
2.4.2.1. Otsu Eşik Belirleme Yöntemi	29
2.4.3. İkili Görüntü	31
BÖLÜM 3	33
SÜRÜKLEYEN ZİNCİR PALETLİ KONVEYÖR TASARIMI.....	33
3.1. KONVEYÖR SİSTEMİNİN TASARIMI.....	33
3.1.1. Tahrik Sistemi.....	35
3.1.2. Frekans Dönüştürücü	35
3.1.3. Zincir Dişli ve Pim Çıkıntılı Zincir	36
3.1.4. Palet	37
3.1.5. Mikro Denetleyici ve DGM Üretici Modül	38
3.1.6. Kontrol Arayüzü	40
BÖLÜM 4	42
PARÇA TANIMA SİSTEMİ TASARIMI	42
4.1. PARÇA TANIMA.....	42
4.2. YAPAY SİNİR AĞI İLE GEOMETRİK ŞEKLİN TAHMİNİ	45
4.3. PARÇA TANIMA SİSTEMİNİN ARAYÜZÜ	51
BÖLÜM 5	53
4-SERBESTLİK DERECELİ ROBOT MEKANİZMASI PROTOTİPİ VE PERFORMANSI.....	53
5.1. ROBOTUN İLERİ YÖN KİNEMATİĞİ.....	54
5.2. ROBOTUN DOĞRULUĞU VE TEKRARLANABİLİRLİĞİ	58
5.2.1. Pozisyon Doğruluğunun Hesaplanması	60
5.2.2. Pozisyon Tekrarlanabilirliğinin Hesaplanması.....	61
5.3. ROBOTUN KONTROLÜ	63
BÖLÜM 6	67
MALİYETİN HESAPLANMASI.....	67

	<u>Sayfa</u>
6.1. KONVEYÖRÜN MALİYET HESABI	67
6.2. ROBOTUN MALİYET HESABI	68
6.3. PARÇA TANIMA SİSTEMİNİN MALİYET HESABI.....	69
6.4. TOPLAM MALİYET HESABI	70
BÖLÜM 7	71
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	71
BÖLÜM 8	78
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	78
8.1. SONUÇLAR	78
8.2. ÖNERİLER	83
KAYNAKLAR	84
EK AÇIKLAMALAR A. PIC DEVRE VE MODÜL DEVRE ŞEMASI	93
EK AÇIKLAMALAR B. YAPAY SİNİR AĞI KODLARI.....	95
ÖZGEÇMİŞ	97

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1.	Esnek üretim sistemi örneği. 11
Şekil 2.2.	İş istasyon örneği. 13
Şekil 2.3.	Bantlı konveyörler. 15
Şekil 2.4.	Zincirli konveyörün görünüşü. 17
Şekil 2.5.	Konveyörlerde kullanılan zincirler. 17
Şekil 2.6.	Rulolu konveyör. 18
Şekil 2.7.	Taşıma paleti. 18
Şekil 2.8.	Örnek kare dalga sinyali. 19
Şekil 2.9.	Kartezyen robot. 21
Şekil 2.10.	Silindirik robot. 22
Şekil 2.11.	Küresel robot. 23
Şekil 2.12.	Standart renk küpü. 27
Şekil 2.13.	Gri seviye. 28
Şekil 2.14.	Eşik değerinin etkisi. 31
Şekil 3.1.	Konveyör sisteminin blok diyagramı. 33
Şekil 3.2.	Tasarlanan sürükleyen zincir paletli konveyör. 34
Şekil 3.3.	İmal edilen sürükleyen zincir paletli konveyör. 34
Şekil 3.4.	İnverter. 36
Şekil 3.5.	Zincir dişli. 36
Şekil 3.6.	Pim çıkıntılı zincir resmi. 37
Şekil 3.7.	Pim çıkıntılı zincir ile paletin montajı. 38
Şekil 3.8.	PIC18F2550 programlanması için akış şeması. 38
Şekil 3.9.	PIC devresi. 39
Şekil 3.10.	Entegre edilen modül. 39
Şekil 3.11.	Tasarlanan kontrol arayüzü. 40
Şekil 4.1.	Ön işlemler. 43
Şekil 4.2.	İkili resim. 44

	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.3. İleri beslemeli yapay sinir hücresinin yapısı.	46
Şekil 4.4. İleri beslemeli sinir ağının yapısı.	48
Şekil 4.5. Ağın performans grafiği.	49
Şekil 4.6. Parça tanıma sistemi için tasarlanan arayüz.	52
Şekil 5.1. Tasarlanan 4 SD’li robot.	53
Şekil 5.2. Robot ve çalışma alanı.....	54
Şekil 5.3. Koordinat sistemlerinin yerleştirilmesi.	55
Şekil 5.4. Doğruluk ve Tekrarlanabilirlik.....	59
Şekil 5.5. Pozisyon doğruluğu ve Pozisyon tekrarlanabilirliği.....	60
Şekil 5.6. Microscribe G2X koordinat alma cihazı ve sisteme montajı.	62
Şekil 5.7. Küpün Eğik ölçüm düzlemindeki P1-P5 pozları.	62
Şekil 5.8. Paralel port arayüz kartı.....	64
Şekil 5.9. Paralel portun yapısı.	65
Şekil 5.10. Robotu kontrol etmek için geliştirilen arayüz.	66
Şekil 6.1. Esnek üretim sisteminin prototipi.....	67
Şekil 7.1. Geometrik nesnelere.....	71
Şekil 7.2. Sistemin kontrolü için tasarlanan genel arayüz.	72
Şekil 7.3. Eksenlere yerleştirilen limit anahtar.	73
Şekil 7.4. Sistemin akış diyagramı.	74
Şekil 7.5. Parça tanıma sisteminin arayüzü ve görüntü işleme metotlarının uygulanması.....	74
Şekil 7.6. Geometrik şekillerin konumları.....	75
Şekil EK A.1. PIC devre şeması.	94
Şekil EK A.2. Modül devre şeması.	94

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Asenkron motor ve redüktörün parametreleri.....	35
Çizelge 3.2. Zincir dişli ve pim çıkıntılı zincir parametreleri.....	37
Çizelge 3.3. Konveyör de kullanılan çalışma parametreleri.....	41
Çizelge 4.1. Geometrik şekillerin istatistiksel değerleri.....	48
Çizelge 4.2. Giriş katmanı ile 1.gizli katman arasındaki ağırlık ve eşik değerleri. ...	50
Çizelge 4.3. 1.gizli katman ile 2. gizli katman arasındaki ağırlık ve eşik değerleri. .	50
Çizelge 4.4. 2. gizli ile çıkış katmanları arasındaki ağırlık ve eşik değerleri.	51
Çizelge 5.1. DH değişkenleri.....	56
Çizelge 5.2. P1-P5 noktaları.....	63
Çizelge 5.3. P1-P5 noktaları için ortalama doğruluk ve tekrarlanabilirlik.....	63
Çizelge 5.4. Eksenlerin hassasiyetleri, hızları ve güçleri.....	64
Çizelge 5.5. LPT arayüz kartının paralel port pin numaraları.....	66
Çizelge 6.1. Konveyörün maliyet hesabı.....	68
Çizelge 6.2. Robotun maliyet hesabı.....	69
Çizelge 6.3. Parça tanıma sisteminin maliyet hesabı.....	70
Çizelge 6.4. Toplam maliyet hesabı.....	70
Çizelge 7.1. Geometrik parçaların raflara depolanması için işlem süreleri.....	76

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

A	: alan (piksel ²)
A _k	: toplam kalınlık (mm)
a _{i-1}	: iki eksen arasındaki bağ uzunluğu (mm)
A _m	: geometrik şeklin minimum sınırlayıcı çerçeve alanı (piksel ²)
B	: araç çerçevesi
B ₁	: dış kalınlığı (mm)
C _k	: kompaktlık
C	: kosinüs
C _p	: perno yüksekliği (mm)
D _m	: makara çapı (mm)
d	: perno çapı (mm)
D	: sinyal oranı
da	: dış üstü çapı (mm)
df	: dış üstü çapı (mm)
dg	: göbek çapı (mm)
d _i	: eklem kaçıklığı (mm)
do	: bölüm dairesi (mm)
F _i	: transfer fonksiyonu
g	: gram
G	: hedef çerçeve
h	: pim yüksekliği (mm)
Hz	: hertz
i	: piksel sayısı
kW	: kilowatt
L	: piksel değeri
lc	: giriş uzunluğu (piksel)

- l_p : en uzun kirişe dik olan maksimum uzunluk (piksel)
- m : ağın çıkış nöron sayısı
- m_p : ikili resmin yüksekliği (piksel)
- n : ağın giriş nöron sayısı
- n_p : ikili resmin genişliği (piksel)
- n_i : toplam piksel sayısı
- o : ağın çıkış değeri
- p_a : adım (mm)
- p : ağın veri sayısı
- P_c : geometrik şeklin çevresi (piksel)
- P : prizmatik eklem
- P_i : i. seviyedeki piksel sayısı olasılığı
- R : dönel eklem
- R_d : geometrik şeklin dikdörtgenliği
- R_n : geometrik şeklin daireselliği
- S_i : istasyon çerçevesi
- s : saniye
- S : sinüs
- t : ağın hedef değeri
- T : dönüşüm matrisi
- t^* : eşik değeri
- w : ağın ağırlıkları
- w_b : bakla yüksekliği (mm)
- W : robot bilek çerçevesi
- w_{max} : maksimum hız
- y_{max} : en büyük genlik değeri
- y_{min} : en küçük genlik değeri
- z : diş sayısı
- α_{i-1} : bağ açısı
- α_{max} : maksimum ivme
- θ : ağın eşik değeri
- θ_i : eklem açısı

KISALTMALAR

APP	: Positioning Accuracy (Pozisyon Doğruluğu)
BDT	: Bilgisayar Destekli Tasarım
CMY	: Cyan, Magenta, Yellow (Yeşile Çalan Mavi, Morumsu Kırmızı, Sarı)
CNC	: Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Nümerik Kontrol)
DH	: Denavit-Hartenberg
GKNS1	: 1. Gizli Katmandaki Nöron Sayısı
GKNS2	: 2. Gizli Katmandaki Nöron Sayısı
KYA	: Kenar Yakalama Algoritması
LM	: Levenberg–Marquardt
MAPE	: Mean Absolute Percentage Error (Mutlak Hata Oranları Ortalaması)
MSE	: Mean Squared Error (Ortalama Hataların Karesi)
PIC	: Peripheral Interface Controller (Çevre Birim Arayüz Denetleyicisi)
PID	: Proportional, Integral, Derivative (Oransal, İntegral, Türevsel)
PLC	: Programmable Logic Controller (Programlanabilir Mantık Kontrolü)
PR ₁	: Positioning Repeatability (Pozisyon Tekrarlanabilirliği)
DGM	: Darbe Genişlik Modülasyonu
RGB	: Red, Green, Blue (Kırmızı, Yeşil, Mavi)
USB	: Universal Serial Bus (Evrensel Seri Veri Yolu)
YSA	: Yapay Sinir Ağı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Gelişen teknoloji ile birlikte imalat sektöründeki değişen ürün taleplerini hızlı ve kaliteli bir şekilde karşılayabilmek için esnek üretim sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Esnek üretim sistemi bilgisayar tarafından kontrol edilen nümerik kontrollü tezgâhların birbirlerine bağlanmasıyla oluşan bir imalat sistemidir. Esnek üretim sistemi, değişik tipte parça üretim esnekliğine sahip olabilmekte, istenildiğinde üretim hatlarının değiştirilebilir ve sistemi her türlü değişikliğe uyarlayabilmektedir. Son yıllarda teknolojik alandaki hızlı gelişmelerin üretim endüstrisine olan etkisiyle ortaya çıkan bilgisayar kontrollü otomatik makineler ve robotlar esnek üretim sisteminin hızla gelişmesine ve kullanımında etkili olmuştur (Maleki, 1991; Tekin, 2005).

Görüntü işleme, çoğu endüstriyel uygulama alanında kullanıldığı gibi robotik alanında da önemli bir yer tutmaktadır. Görüntü işleme tekniklerinin robotik alanının geleceğinde giderek artan önemde bir rolü olacağı öngörülmektedir. Nesne tanıma sistemi, görüntü işleme tekniklerinin önemli bir çalışma alanını oluşturmaktadır. Bu sistem, nesnelere boyutları ve özelliklerine göre birbirinden ayırmak, nesnelerin hangi koordinatlarda olduğunu belirlemek gibi birçok uygulama alanına sahiptir (Gonzales ve Woods, 1993; Kulaksız, 2010).

Robotlar, gelişen teknoloji ile beraber malzeme taşıma sistemlerinde de kullanılmaya başlanmıştır. Endüstride kullanılan robotların temel hedefleri arasında sistem maliyeti azaltması, işlem çevrim süresinin azalmasıyla üretimde artışın sağlanması, ürün değişikliği ve üretim hatlarındaki değişikliğe göre sistemler üzerinde kolaylıkla değişiklik yapılabilmesi, enerji ve özellikle zamandan tasarruf gibi avantajları bulunmaktadır (Ranky, 1986; Musaoğlu, 2010).

Bilgisayar teknolojisinin gelişmesine paralel bir süreç izleyen yapay zekâ, hem bilişsel sistemleri simüle etmeyi hem de akıllı sistemler yapılandırmayı kendine amaç edinmiş bir bilimsel disiplindir. Her iki çabanın da ortak yönü, bilginin akılcı ve insanda olduğu gibi işlenmesinin ilkelerini araştırıp bulmaktır. Yapay zekâ bilimi kapsamında üzerinde en fazla çalışılan konulardan biri de yapay sinir ağlarıdır. Yapay sinir ağları, örneklerden olaylar arasındaki ilişkileri öğrenerek daha sonra hiç görmediği örnekler hakkında öğrendikleri bilgileri kullanarak karar veren sistemlerdir. Bu sistemlerin diğer teknolojik uygulamalarla entegre şekilde kullanılması sonucu çok etkili otomasyon sistemleri tasarlanabilmektedir (Haykin, 1999; Velioğlu, 2010).

Bu tez çalışmada, ilk bölümde esnek üretim sistemi, görüntü işleme ve robot tanımı yapılarak çalışmanın amacı literatür araştırmasına bağlı olarak belirtilmiştir. İkinci bölümde genel bilgiler verilerek robot ve görüntü işleme konuları anlatılmıştır. Üçüncü bölümde zincir tahrikli paletli bir konveyör tasarımı ve prototipi yapılarak test edilmiştir. Dördüncü bölümde 4-serbestlik dereceli bir robotun tasarımı, kinematik hesaplamaları, prototipin doğruluk ve tekrarlanabilirlik parametreleri incelenmiştir. Beşinci bölümde ise görüntü işleme ve yapay sinir ağlarının entegre edilmesiyle oluşan parça tanıma sistemi sunulmuştur. Altıncı bölümde tüm sistemin maliyet hesabı yapılmıştır. Yedinci bölümde, sistemin kullanılabilirliği deneysel çalışmalar ile gerçekleştirilmiştir. Son bölümde ise çalışmanın amacına uygun bir biçimde bulgular literatüre göre tartışılmıştır.

1.1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Esnek üretim sistemleri gıda, mermer, otomotiv sanayisinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Literatürde, esnek üretim sistemleri üzerine yapılmış çalışmalar genellikle görüntü işleme, robotik, konveyör ve yapay sinir ağı gibi alanların kısmen ya da birbiriyle bağlantılı olarak bulunmaktadır.

Shin vd. (2006), ardışık gelen resim karelerinden görüntü bilgileri çıkaran bir robotik izleme sistemi geliştirmişlerdir. Görüntü bilgilerinin hızlı çıkarılması için, kısa sürede iki ardışık resim karesi arasında bir çıkartma işlemi yapan farklı görüntü

işleme tekniği uygulamışlardır. Sistem altı eksenli robot, denetleyici, bilgisayar ile çalışan görüntü işleme sistemi, tutucuya bütünleşik kamera, konveyör banttan oluşmaktadır. Nesne izleme güvenlik sistemlerinde, eğlence robotlarında, otomasyon olan fabrikalarda kullanılabilir.

Oral ve İnal (2009), hızlı, esnek bir yazılım ve donanım sistemi tarafından mermer mozaiklerin otomatik şekilde yerleştirilmesini amaçlamışlardır. Bu amaçla dört serbestlik dereceli bir kartezyen robot tasarlanmış ve mozaik parçaların geometrik verileri iki boyutlu BDT (Bilgisayar destekli tasarım) programında elde edilmiştir. Mozaikler, kartezyen robot ile alma-yerleştirme işlemleri yapılmış ve yazılım tarafından kontrol edilerek oluşturulmuştur. Bu sistem ile üçgen, dairesel, kare, dikdörtgen gibi mozaik parçalar otomatik olarak döşenebilmektedir.

Hashim vd. (2010), otomatik görsel tanıma sistemini üretim hattındaki ürünlerin kusurlarını bulmada, sınıflandırılmasında ve analiz edilmesinde kullanmışlardır. Araştırmacılar, bir görüntü işleme algoritması geliştirerek ve bulanık mantık kullanarak hem yuvarlak mekanik parçaların alanlarını hesaplatmak hem de mekanik parçaların kategorilerine göre sınıflandırmasını gerçekleştirmişlerdir.

Nashata vd. (2011), yaptıkları çalışmada, bisküvi ürünlerine renk kontrolü yaparak; tam pişmemiş, orta pişmiş, çok pişmiş, yanmış bisküvilerin sınıflama işlemi gerçekleştirmişlerdir. Sistemdeki, konveyörün 9 m/dk hareketinde % 96'dan yüksek bir sınıflandırma oranı çıkmıştır. Görüntü işleme Visual C++ ile MIL 9.0 programlama dili kullanmışlardır. Otomatik bisküvi kontrolü, pişirme işlemleri boyunca bisküvinin kalite seviyesinin standart olması için yardımcı olmaktadır.

Selver vd. (2011), mermerleri bir kontrol mekanizmasının yardımı ile onları konveyör bant üzerinde gruplayarak otomatik sınıflandıran yeni bir elektromekanik sistem geliştirmişlerdir. Geliştirilen sistem iki kısımdan oluşmaktadır. Yazılım kısmı görüntü işleme ile mermerleri sayısal resme çevirerek, unsur çıkarmakta ve kümeleme metodu kullanarak sınıflandırma işlemi gerçekleştirmektedir. Donanım kısmı ise konveyör bant, seri port iletişimi, pnomatik piston, Programlanabilir Lojik Kontrol (PLC), kontrol devresinden oluşmaktadır. Araştırmacılar, mermer yüzey

resimlerinin morfolojik özelliklerine göre yeni bir unsur tanımlama sistemi önermişlerdir.

Chang vd. (2015), hedeflenen bir nesnenin robot kol tutucu yardımıyla almak için bulanık kontrol ve görme cihazı kullanılan bir metot önermişlerdir. Robot kol, 4 eklem ve bir tutucudan oluşmaktadır. Görme cihazı hedeflenen nesnenin resmini almak için robot kolun yanına entegre edilmiştir. Hedeflenen nesnenin alınan resminden gerçek konumu tahmin etmek ve tanımlamak için görüntü işleme tekniklerini kullanmışlardır. Önerilen metotla, robotun her ekseninin dönme açısını ölçen sensör kullanmadan ekonomik bir sistem kurmuşlardır.

Konveyör sisteminin literatür araştırması yapılırken genellikle motorların sürülmesi, motor kontrol yöntemleri ile ilgili çalışmalar göze çarpmaktadır. Saad ve Arrofiq (2012) yaptıkları çalışmada, bir asenkron motorun hız kontrolü için bulanık kontrol tabanlı bir PLC ile PID (Proportional, Integral, Derivative – Oransal, İntegral, Türevsel) tipi bulanık kontrolör tasarımı ve simülasyonunu yapmışlardır.

Bayır ve Güler (2003), farklı boyutlarda malzemeler taşıyan bir malzeme taşıma sisteminde boyuta göre malzemeleri otomatik olarak tanıması ve boyuta göre tevzi işlemi yapmışlardır. Yapılan çalışmada, öncelikle sayısal bir devre ile sonuca gidilmiş, sonra programlanabilir mantık denetleyicisi kullanılarak sistem çalıştırmışlardır. Bilgisayar ve programlanabilir mantık denetleyicisi ile yapılan çözüm karşılaştırmışlar ve bunlar içersinden malzeme taşıma işleminde otomasyonuna en uygun olanının programlanabilir mantık denetleyicisi ile yapılan çözüm olduğu görmüşlerdir.

Köse vd. (2012), PLC kontrollü otomatik yönlenebilen bir konveyör sistemi gerçekleştirmişlerdir. Prototip olarak gerçekleştirilen bu sistem, mesafe olarak ve yükseklik olarak büyütülüp kolayca üretilebilir. Tasarlanan sistemin kontrolü için kapasitif sensörler kullanılmıştır. Konveyör dikey hareketini iki adet asenkron motordan sağlamaktadır. Yatay hareketini ise, tek yönde hareket eden bir adet asenkron motorlarla gerçekleştirmektedir. Tasarlanan sistemin çalışmasında istenilen hareketleri başarıyla gerçekleştirmektedir.

Parça tanıma sisteminin literatür araştırmasında; Lu ve Sajjanbar (1999), şeklin gösterimi ve benzerlik ölçüsünü bulmak için bölge tabanlı bir yaklaşım sunmuşlardır. Önerilen yaklaşımının Fourier tanımlayıcı metodundan daha iyi sonuç verdiğini görmüşlerdir.

Kim ve Kim (2001), kiriş çiftlerini kullanarak iki adımlı bir daire tanıma algoritması önermişlerdir. Kesişen iki kirişin dairenin merkezini nasıl tespit edildiğini göstermişlerdir. İlk adımda iki boyutlu hough dönüşüm metodu kullanılarak dairenin merkezi bulunmuş, ikinci adımda ise bir boyutlu radüs histogramı kullanarak dairenin radüsü hesaplatılmıştır.

Olson (2001), oluştur-test et ve Hough dönüşümü yöntemlerinin zayıf yönlerini araştırarak yeni bir yöntem sunmuştur. Bu yöntem nesne tanıma, model çıkartma ve uydurma problemlerini çözmek için kullanmıştır.

Rad vd. (2003), arka plandan parlak veya karanlık olan dairesel şekilleri bulmak için algoritma geliştirmişlerdir. Gradyan vektörünün simetrik özelliğini kullanarak daire algılama işlemi gerçekleştirmişlerdir.

Yu ve Bajaj (2004), şekil unsur tanıma tabanlı parçacık toplama metodunu sunmuşlardır. Geometri hesaplamasının iki temel kavramlarından olan mesafe dönüştürmek ve Voronoi diyagramı hassas unsur bulmada, mikroskop veya resimlerdeki parçacıkların tespiti yapmak için kullanmışlardır.

Schuster ve Katsaggelos (2004), ağırlıklı minimum ortalama karekök hatası formülünü kullanarak yeni bir daire algılama algoritması geliştirmişlerdir. Önerilen algoritma, herhangi bir eşik değeri kullanmadan ve resimdeki tüm pikselleri kullanarak tek adımda işlemi gerçekleştirmişlerdir.

Xavier vd. (2005), bir unsur algılama sistemini lazer mesafe verilerinden insan bacakları, daireleri ve çizgilerin gerçek zamanlı tanımlanması için geliştirmişlerdir. Daire ve yay algılama için uygun bir metot olarak önermişlerdir.

Ng (2006), kusur bulma uygulamalarında yaygın olarak kullanılan Otsu metodunun tek ve çift modlu dağılımı için optimum eşik değeri seçimini, çukur- vurgu metodunu revize ederek test etmiştir.

Mingzhu ve Huanrong (2008), daire gibi geometrilerin tanınması için kullanılan Hough dönüşüm metodu yerine yeni bir algoritma geliştirerek dairenin merkezi ve yarıçapı bularak daha hızlı, basit ve stabil olan bir yöntem sunmuşlardır.

Chattopadhyay vd. (2008), gri seviyeli dijital resimlerde kenar bulma işleminde dairelerin tanınması için yeni bir yöntem geliştirerek düğüm ve kolların bir arada olduğu çizimde kesişen sınırlarını kullanmışlardır.

Gündüz ve Kahrıman (2009), yaptığı çalışmada sayısal görüntü işleme teknikleri ve Matlab programı kullanılarak sıkça kullanılan düzgün şekillerin rotasyonlarından ve büyüklüklerinden bağımsız bir şekilde tanınması hedeflemişlerdir.

Yavuz vd. (2009), görüntü işleme teknikleri ile retinal görüntüde aday optik disk bölgeleri bulunmuş, daha sonra Hough Dönüşümü yöntemi ile retinada geometrik olarak bir daire oluşturabilecek bölgeler araştırmışlardır. Dairesel yapılar ve aday optik disk bölgeleri karşılaştırılarak optik diskin bulunduğu bölge tespit etmişlerdir.

Jia (2014), endüstriyel robot görme sistemleri kullanarak hedeflenen nesnenin resim bilgilerini bulmayı araştırmıştır. İkili resim ayırma metodu kullanarak nesnenin resmini siyah ve beyaz'a çevirmiştir. Sonra kenar tanımlama ve köşe bulma metodu ile resimdeki her nesnenin kenarlarını elde etmiştir. Minimum sınırlı dikdörtgen yöntemi ile farklı nesnelerin orta konumunu doğru bir şekilde hesaplamıştır.

Hu vd. (2015), nesnelerin kontur noktaları arasındaki uzaysal ilişki tabanlı yeni bir şekil eşleştirme metodu önermişlerdir. Deneysel çalışmalar önerilen yöntemin hesapsal verimlilik ile doğru bir şekilde kontur noktalarını eşleştirdiğini göstermiştir.

Robotik uygulamalarında, robot bağlarının konumları arasındaki ilişkiyi ileri yön kinematığı ilgilendirmektedir (Zhou ve Xi, 1998; Bingül ve Küçük, 2009; Collins,

2002; Zhang ve Gaoa, 2012). Collins (2002), yaptığı çalışmada üç eklemden oluşan düzlemsel platformlu manipülatörlerin ileri kinematığını sunmuştur.

Robotlar istenen hareket tipine göre tasarlanırlar ama denetleyici tasarımı, mekanik parçaların tasarımı kadar önemlidir. Literatürdeki denetleyici tasarımı çalışmalarında klasik Oransal-İntegral-Diferansiyel (Das ve Dünger, 2005), adaptif (Queiroz vd. 1997; Kaneko ve Horowitz, 1997), öğrenme (Canbolat vd. 1996; Horowitz vd. 1991; Messner vd. 1991), yapay zekâ (Golnazarian, 1995; Jungbeck ve Madrid, 2001) ve bulanık mantık algoritmaları (Lewis vd. 1993) mevcuttur.

Rustemli vd. (2010), PIC16F84A mikro denetleyicisi kullanarak step motor ile tahrikli iki eksen bir robot kolunda oluşan tork ve hızdaki dalgalanmaları azaltmak için PID kontrol yöntemi kullanmışlardır.

Short ve Burn (2011) yaptıkları çalışmada, iki eksenli bir robot manipülatörün tasarımı, imalatı ve kontrolü yapmışlardır. Robot manipülatörün pozisyon ve kuvvet kontrolleri geniş bir yelpazede deneyler yaparak, performans ve hata oranları vermişlerdir.

Bendjedia vd. (2012), servo motorlarda mekanik bir sensör olmadan pozisyon kontrolünü deneysel olarak incelemişlerdir. Motorun mekanik değişkenleri tahmin etmek için Kalman filtresini kullanmışlardır.

1.2. ÇALIŞMANIN AMACI

Bu tez çalışmasının amacı esnek üretim sisteminde, nesnelerin algılanması, tanımlanan nesnelerin robot ile tutularak raflara depolanması ve malzemenin raflardan alınarak sisteme yüklenmesi yapılarak ekonomik bir otomasyon sisteminin yapılabileceğini ve başarısını göstermektir.

Bu çalışmanın bir bölümü olarak zincir tahrikli paletli bir konveyör tasarımı ve prototipi gerçekleştirilerek, konveyörün üzerindeki paletlerdeki nesnelerin geometrik

şekillerini (daire, üçgen, dikdörtgen ve kare) çıkartmak için görüntü işleme metodu uygulanarak bu nesnelerin özellikleri elde edilmiştir.

Yapay Sinir Ağı literatürde pek çok çalışmada kullanıldığı gibi bu çalışmada da görüntü işleme ile birlikte YSA kullanılarak nesne özelliklerine göre geometrik şekillerin tahmini gerçekleştirmektir. YSA modeli ile bulunan geometrik şeklin formülü çevrimdışı olarak sisteme entegre edilmiştir.

Tahmin edilen geometrik şekil, tasarım ve prototipi yapılan bir 4 serbestlik dereceli robot ile raflara depolanmıştır. Sistemin kontrolü Visual BASIC 6.0 ile programlanan bir arayüz ile gerçekleştirilmiştir. Sistem, deneysel çalışmalarla desteklenerek test edilmiştir.

BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER

Bu bölümde esnek üretim sistemleri hakkında genel bir tanıtım yapılarak malzeme taşıma sistemi olarak kullanılan konveyörlerin işleyişi ve kullanım yerleri, al ve yerleştir işlemleri için endüstriyel robotların kullanım alanları, görüntü işleme tekniklerinin aşamaları ile ilgili temel bilgiler verilmiştir.

2.1. ESNEK ÜRETİM SİSTEMİ

Üretim sistemi işgücü, malzeme, bilgi, enerji, teknoloji ve sermaye gibi girdilerin belirli bir değişim sürecine tabi tutularak mal veya hizmetlere dönüştürüldüğü bir faaliyetler bütünü olarak ifade edilebilir. Üretim sisteminin temel amacı, müşteri ihtiyaç ve isteklerine uygun kaliteli mal ve hizmetleri üretmek amacıyla, en iyi girdileri ve kaynakları kullanarak, müşteri memnuniyetini maksimum düzeye çıkarmaktır (Maleki, 1991; Tekin, 2005).

Genellikle esnek üretim, yüksek derecede otomasyonla eşdeğer bir kavram olarak kabul edilse de, esneklik örgütsel ve yeni teknolojik gelişme yöntemleri çerçevesinde oluşmaktadır. Aslında esneklik, yeni gelişmelere veya değişikliklere cevap verebilme ve uyum sağlamada yeterli olabilme kalitesidir. Bu nedenle işletme biliminde esneklik, uyum sağlamada ya da cevap vermedeki yetenek olarak da tanımlanmaktadır. Esneklik, genelde üretilen parça çeşitliliğinin fazla olması ve buna paralel olarak üretimin miktar ve kompozisyonunun gerektiğinde ekonomik bir şekilde ayarlanarak verimliliğinin sağlanması olarak tanımlanır (Maleki, 1991).

Üretim sistemi açısından esneklik; makine, süreç, ürün, rota, miktar, kapasite arttırma, operasyon ve üretim esnekliği gibi bölümlere ayrılmaktadır. Makine esnekliği, çok farklı tiplerde ürün çeşidinin işlenebilmesi için üretim

makinelerinde yapılması gereken düzenlemelerin ve değişikliklerin basit ve hızlı bir şekilde yapılabilmesini gösteren ölçüttür (Atmaca ve Erol, 2005; Maleki, 1991). Süreç esnekliği, üretilecek parça işlemlerinin farklı değişik sıralamalarla işlenebilirliğinin gerçekleştirilebilmesidir. Süreç esnekliğinin en önemli özelliği tezgâhların tüm özelliklerini kullanarak bir üretim sistemi içerisinde birden çok iş parçasının imalatının yapılabilmesidir. Ürün esnekliği, üretim sürecinde yeni ürün veya ürün kümesine hızlı ve en düşük maliyetle geçebilme yeteneğidir. Rota esnekliği, parçaların üretim sırasında izlediği yolun değiştirilebilmesi veya bir ürünün farklı rotalar kullanılarak üretilebilmesidir. Kapasite arttırma esnekliği, bir işletmenin üretim tesisinin kolay ve modüler bir biçimde kapasitenin arttırılabilmesi olarak tanımlanabilmektedir. İşlem esnekliği, sistemdeki parçaların işlem sırasının değiştirilebilme yeteneğidir. İmalat aşamasında olan bir ürünün göreceği işlem veya işleme gireceği makine sıralamasının değiştirilebilmesidir. Üretim esnekliği, işletmenin mevcut üretim sistemi ile yeni maliyetlere girmeden farklı ürünler, parçalar veya birimler üretme yeteneğini sağlamaktır. Üretim esnekliği, esnek üretim sisteminin tüm bileşenlerinin yeteneklerinden oluşan bir niteliktir. Yani çeşitli özellikte birçok ürünün veya ürün ailesinin üretilebilmesidir (Maleki, 1991; Delikan, 2010; Kalebek, 2006).

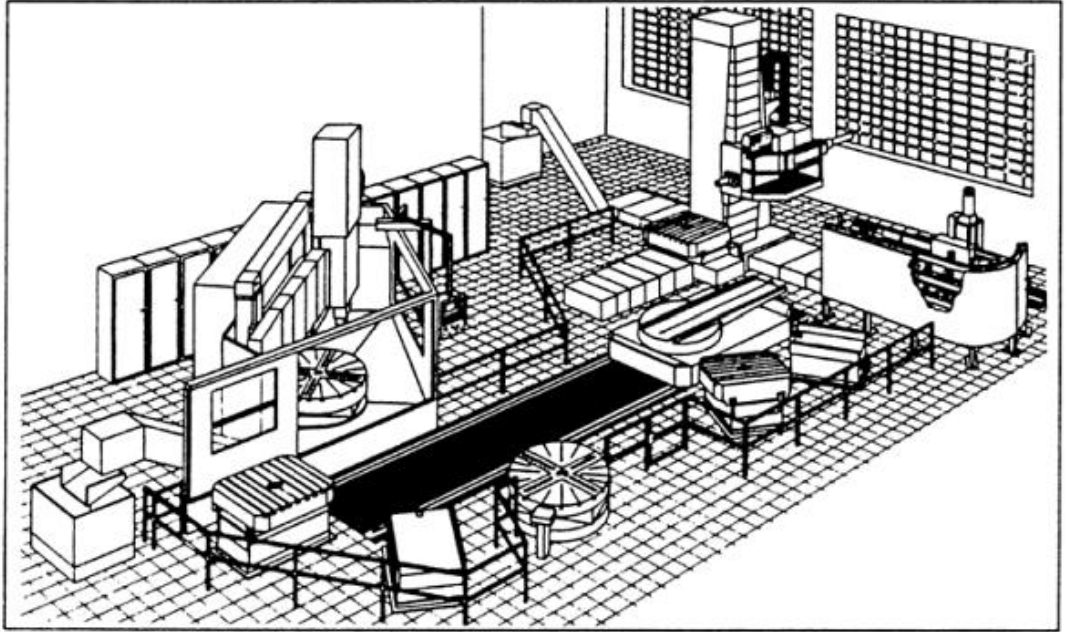
Esnek üretim sisteminin çeşitli kaynaklarda yer alan tanımlarını maddeler halinde verilmektedir.

- Esnek üretim sistemleri, denetleyici bir bilgisayar, otomatik takım tezgâhları ve otomatik malzeme taşıma sistemlerini kapsayan, takımlar ve taşıma donanımlarının istenilen özelliklere uygun ve farklı parçaları üretmek için bilgisayar tarafından yönlendirildiği üretim sistemleridir (Monks, 1987).
- Esnek üretim sistemleri, malzeme taşıma ağlarıyla birbirine bağlanmış yarı bağımsız nümerik kontrollü tezgâhların kullanıldığı bilgisayar kontrollü üretim sistemleri olarak tanımlamıştır (Maleki, 1991).
- Esnek üretim sistemleri, otomatik taşıma sistemleriyle birbirlerine bağlanmış ve iş istasyonlarıyla desteklenen otomatik nümerik kontrollü takım

tezgâhlarının oluşturduğu, merkezi bilgisayar tarafından kontrol edilen, üretim sistemleridir (Askin ve Standridge, 1993).

- Esnek üretim sistemleri, bir grup parçayı işleyebilen sayısal denetimli tezgâhlara otomatize olmuş malzeme taşıma sistemine, üretilebilecek ürün karışımı ve çıktı miktarlarındaki değişimlere sistemin otomatik olarak adapte olabilmesini sağlayacak şekilde üretim kaynaklarını dinamik olarak dengeleyebilen merkezi bilgisayar kontrolüne sahip sistemler olarak tanımlanmıştır (Üster, 1993).

Esnek üretim sisteminin nihai tanımı, robotlar, otomatik malzeme taşıma sistemleri ve nümerik kontrollü tezgâhlarla desteklenmiş, bilgisayar tarafından kontrolü yapılan bir sistem olarak yapılabilir. Şekil 2.1'de örnek bir esnek üretim sistemi verilmektedir.



Şekil 2.1. Esnek üretim sistemi örneği (Tetzlaff, 1990).

Esnek üretim sistemi altyapısını genel anlamda bilgisayar destekli tasarım, üretim ve süreç planlamasının oluşturduğu bilgisayarlı bütünleşik üretim kavramının fiziksel bir uygulaması olarak tanımlamak mümkündür. Esnek üretim sistemlerinin otomasyon derecesi çok yüksek olmakla birlikte, sistemin yönetilmesi ve

ekipmanların bakım onarımı gibi işlerde insanlara hala ihtiyaç duyulmaktadır. Farklılaşan taleplere cevap verebilmek amacıyla geliştirilen esnek üretim sistemleri, her türlü üretim faaliyetinin merkezi bir bilgisayar kontrolü altında olduğu bir sistemdir. Bilgisayarlar üretim yönlendirilmesini, iş bölümünün uygun makinelere dağıtılmasını, uygun tezgâh seçimini, tezgâhlara parça yüklenmesini ve üretim performansının kontrolünü gerçekleştirir. Sistemin bilgisayarla kontrolü, bir parti üretiminden diğerine geçişte yapılması gereken takım değişikliklerinin otomatik olarak yapılmasına imkân vermekte, bekleme ve kayıpları en aza indirmektedir. Böylece birim üretim süresi ve maliyetlerini düşürmektedir (Tetzlaff, 1990; Soba, 2006).

Esnek üretim sistemleri, genel olarak metal işleme, montaj işlemleri ve sac işleme işlemleri alanlarında ve özellikle otomotiv, uzay ve havacılık, zirai donatım, makine ekipmanları, motor, elektrikli aletler ve elektronik aletlerin parçalarının üretim ve montajında yoğunlukla kullanılmaktadır. Esnek üretim sistemlerinin unsurlarına bakıldığında iki alt unsurdan oluşan bir üretim sistemi olarak düşünülebilir; bunlar fiziksel alt sistem ve kontrol alt sistemidir (El-Tamimi vd. 2012).

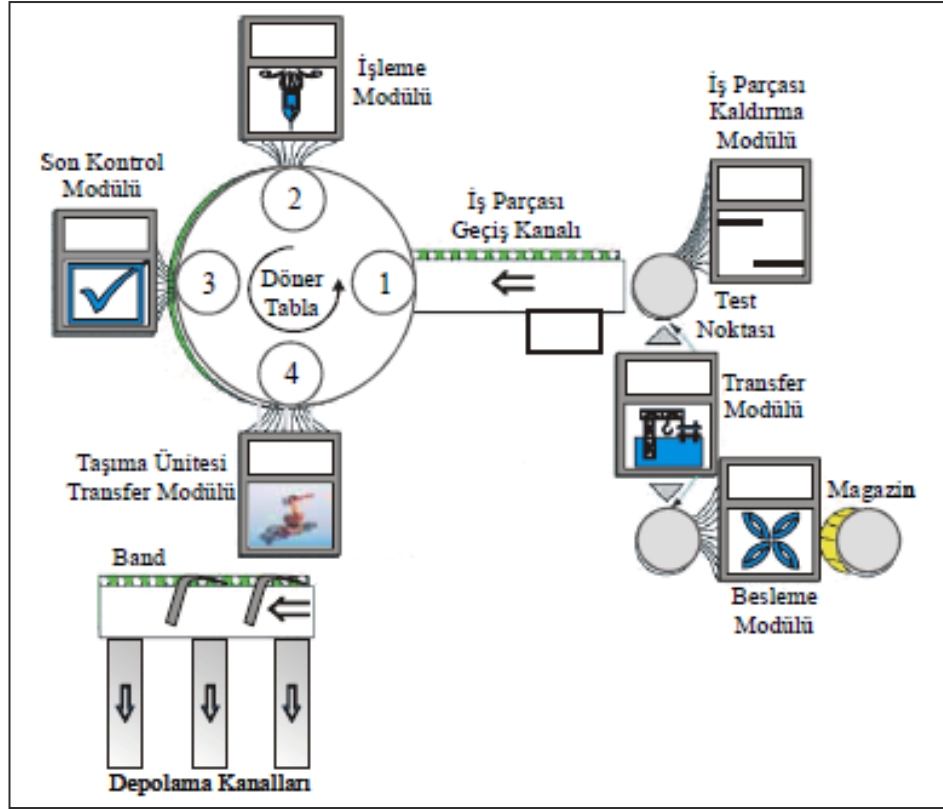
Fiziksel alt sistemler:

- İstasyon; tezgâhlar, muayene cihazları, yıkama alanı, yükleme-boşaltma alanlarından oluşmaktadır (Şekil 2.2).
- Depolama sistemi; her istasyondaki paletler ya da iki işlem arasında parçanın geçici olarak üzerinde stoklandığı herhangi bir düzenektir.
- Malzeme taşıma sistemi; ışık, elektrik ya da lazer kontrollü taşıyıcılar, konveyör bantlar, robotlar ve diğer taşıyıcı araçlardır.

Kontrol alt sistemleri ise:

- Kontrol yazılımı; fiziksel alt sistem işletiminin yönetim mantığını oluşturan bir komut dizini ve dosyalardan oluşmaktadır.

- Kontrol donanımı; yazılımın kullanılabilmesi için gerekli olan bilgisayarlar, bilgi saklama sistemleri, iletişim ağları ve iletişim protokolleri de kontrol donanımı olarak adlandırılır.



Şekil 2.2. İş istasyon örneği (Çimen vd. 2007).

Esnek üretim sistemlerinde, üretim faaliyetlerinin tümü merkezi bir bilgisayar kontrolünde gerçekleşmektedir. Merkezi bilgisayar, üretimi yönlendirmesinin yanında, makinelere uygun iş dağıtılmasını, işleme uygun şekilde tezgâh seçimini, tezgâhlara otomatik malzeme taşıma sistemiyle parça yüklenmesini ve üretim performans ölçütleri olan kalite, verimlilik ve miktar kontrollerini de gerçekleştirmektedir. Üretim süreçlerinde merkezi bilgisayara girilecek bir kod ile ürünü oluşturacak parça ve malzeme kodları, malzeme taşıma, yerleştirme ve depolama sistemine aktarılmaktadır. Bir ürünün imalat talimatı bilgisayarla verildiğinde ürünü oluşturacak hammadde veya yarı mamuller depodan çekilirler, otomatik malzeme taşıyıcılarla tezgâhlardan sırasıyla geçerler ve işlemleri tamamlanan ürün yine otomatik olarak depoya, yükleme veya boşaltma istasyonuna gönderilmektedir. Esnek üretim sistemlerinde süreçler merkezi bilgisayar

kontrolünde gerçekleşmektedir. Tipik bir esnek üretim sisteminin işleyişi maddeler halinde verilmektedir (El-Tamimi vd. 2012):

- Öncelikle nihai bir ürünü oluşturacak parça ve malzemeler malzeme taşıma sistemine yüklenir. Sistemi kontrol altında tutan bilgisayar sistemine üretilecek ürünü tanımlayan bir kod girilir.
- Parçalar sistem boyunca paletler ya da malzeme taşıma sistemi ile taşınır ve üretim sürecine girmesi için makinelerde sıraya sokar.
- Üretilecek ürün için belirlenecek rotalama bilgileri bilgisayar hafızasına önceden yüklenir.
- Otomatik malzeme taşıma sistemi, parçaları bir makineden diğer bir makineye süreç planında belirlenen sıraya göre taşır.
- Üretilecek ürünün özelliğine göre bir parça birden fazla makinelere girebilir.
- Bilgisayar talimatlarıyla bir parti üretiminden diğerine geçişte tezgâhlar üzerinde yapılması gerekli takım değişiklikleri otomatik olarak gerçekleştirilir.
- İşlemi tamamlanan parça, otomatik olarak bir yükleme-boşaltma istasyonuna gönderilir.
- Parça paletten çıkarılır ve yeni parça palete yüklenir.
- Tüm operasyon tamamlandıktan sonra, parçalar diğer bir istasyona gönderilmek üzere malzeme taşıma sisteminden manüel olarak boşaltılabildiği gibi, otomatik depolama ve çekme sistemleriyle de boşaltılabilir.

2.2. MALZEME TAŞIMA SİSTEMLERİ

Esnek üretim sistemin fiziki alt unsurlarından biri olan malzeme taşıma sistemi, üretimi yapılacak parçaları bir makineden diğer bir makineye süreç planında belirlenen sıraya göre taşımaktadır. Bilgisayar kontrolü ile çalışan, konveyörler, robotlar, araba tipi taşıyıcılar ve otomatik yönlendirilen araçlardan oluşmaktadır (Tetzlaff, 1990; Atmaca ve Erol, 2002).

Konveyörler, büyük miktarlarda malzemelerin sabit bir yol üzerinde ve belirli bir yer arasında taşınmasında kullanılan malzeme taşıma sistemleridir. Konveyörler tahrikli ve tahriksiz olmak üzere iki temel bölüme ayrılmaktadır. Tahrikli konveyörler, sabit

bir yol boyunca üzerindeki yükü taşımak için bant, zincir, döner rulo ve diğer ekipmanlardan meydana gelen güç mekanizmasıdır. Tahrikli konveyörler otomatik malzeme taşıma sistemlerinin mevcut olduğu üretim tesislerinde, depolarda ve dağıtım merkezlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Tahriksiz konveyörlerde ise malzemeler insan gücüyle hareket ettirilirlir (Groover, 2001).

2.2.1. Bantlı Konveyörler

Bantlı konveyörler, basit olarak iki tambur arasında gerilmiş bir sonsuz banttın meydana gelerek iletilecek malzeme bir veya birkaç tambur tarafından hareket ettirilen bu bant tarafından taşınmaktadır (Tetzlaff, 1990; Köse vd. 2012). Bandın görevi, iletilecek malzemeyi yükleme yerinden boşaltma yerine taşımaktır. Bu görevi yerine getirebilmesi için bant, amaca uygun bir çelik konstrüksiyon üzerine yerleştirilmiştir. Bu sistemde, biri tahrik sistemi ile irtibatlı tahrik tamburu diğeri gerdirme sistemine bağlanmış olan bir yön değiştirme tamburu vardır. Çelik konstrüksiyon, üst bant hattını taşıyan taşıyıcı makaraları ve alt bant hattını taşıyan geri dönüş makaralarını taşımaktadır. Şekil 2.3’de bantlı konveyörler verilmektedir.



Şekil 2.3. Bantlı konveyörler (Şimşir, 2013).

Bantlı konveyörlerle kuru veya ıslak her türlü malzeme taşıyabilmektedir. Günümüzde özellikle maden ocakları, cevher hazırlama tesisleri, dökümhanelerde kum hazırlama tesisleri, termik santraller, liman yükleme ve boşaltma tesisleri, büyük inşaat tesisleri, beton hazırlama tesisleri, kimya, kâğıt, çimento ve şeker sanayi, tahıl siloları, gıda sanayisi gibi malzemelerin iletiminde kullanılmaktadır (Tetzlaff, 1990; Genççakır, 2013; Şimşir, 2013).

2.2.2. Zincirli Konveyörler

Zincir, bir bantlı konveyörün bant ile karşılaştırıldığında dezavantajları kadar avantajları da vardır. Konveyörlerde zincir kullanımının avantajları maddeler halinde verilmektedir (Ranky, 1986; Manav, 2008).

- Zincirli konveyörler uzun ve orta mesafede bantlı konveyörlere göre daha basit ve ucuzdurlar.
- Bantlı konveyörler çok daha düşük hızlarda çalışma olanağına sahiptirler.
- Çok aşındırıcı ve yüksek sıcaklıktaki malzemelerin taşınması mümkündür.
- Sistem modifikasyonları gerektiğinde bantlı konveyörlere göre çok daha düşük maliyetle yapılabilir.
- Bantlı konveyörlere göre darbeli yüklere karşı çok daha dayanıklıdırlar.
- Zincirlerin uzama miktarı bantlara göre daha düşük olduğundan mekanizma gerdirme gereksinimi duymadan çok daha uzun süre çalışabilirler.

Şekil 2.4'de gösterilen zincirli konveyörler temel olarak; yük taşıma ve çekme elemanı olarak zincir, ara destekler, zincire ilk gerginliğini veren gerdirme düzeni, tahrik düzeni, konstrüksiyon bölümlerden meydana gelmektedir (Tetzlaff, 1990; Azeloğlu, 2006).

Konveyörlerde kullanılan zincirler yapı ve şekil itibariyle yuvarlak baklalı zincirler ve mafsallı zincirler olarak ikiye ayrılabilir (Şekil 2.5). Yuvarlak makaralı zincirler U formuna getirilmiş dairesel kesitli çubuklardan imal edilirler. Mafsallı zincirleri ise pim, burç, makara ve taşıyıcı levhalardan (lamellerden) oluşmaktadır (Tetzlaff, 1990; Azeloğlu, 2006).



Şekil 2.4. Zincirli konveyörün görünüşü (Genççakır, 2013).

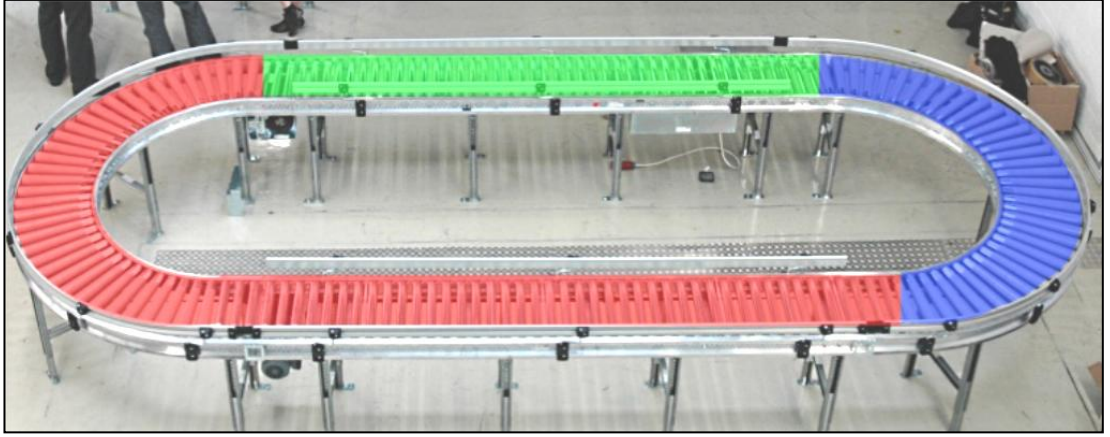
Zincirli konveyör sisteminde tahrik tek motorla yapılabildiği gibi, birden fazla motor da kullanılabilir. Çok motorlu tahrik sistemleri, uzun mesafelerde ağır yüklerin taşınması için projelendirilmiş konveyörlerde geniş bir uygulama alanı bulmaktadırlar (Tetzlaff, 1990; Azeloğlu, 2006).



Şekil 2.5. Konveyörlerde kullanılan zincirler a) yuvarlak baklalı ve b) mafsallı.

2.2.3. Rulolu Konveyörler

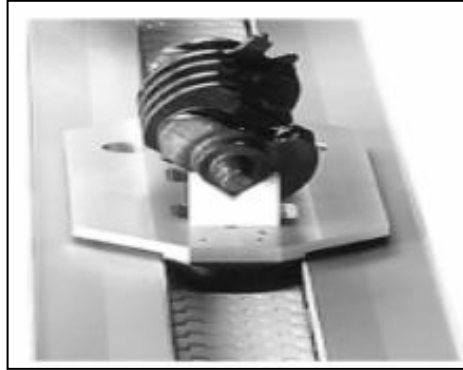
Rulolu konveyörler, üzerlerinde malzemelerin taşındığı rulolara sahip olan hem tahrikli hem de tahriksiz olarak kullanılabilen malzeme taşıma sistemleridir. Tahrikli rulolu konveyörler zincir ya da bant tarafından sürülmektedirler. Tahriksiz rulolu konveyörler ise sıklıkla yerçekiminden yararlanılarak aşağı eğimli bir yol ile ruloların yuvarlanmasıyla malzemelerin taşınmasında kullanılmaktadır. Rulolu konveyörler montaj, paketleme depolama hatları gibi uygulama alanlarında sıklıkla kullanılmaktadır. Şekil 2.6'da rulolu konveyör verilmektedir.



Şekil 2.6. Rulolu konveyör (Beauregard vd. 2012).

2.2.4. Taşıma Paletleri

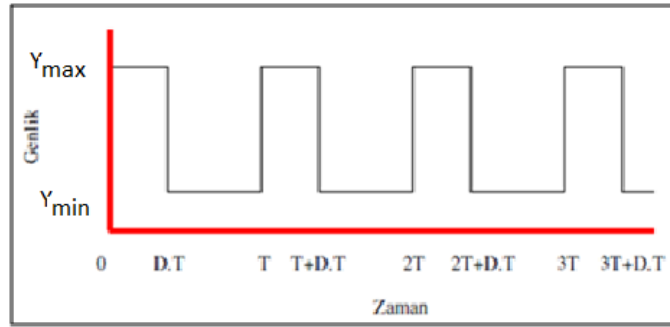
Taşıma paletleri, konveyör üzerinde ürünlerin geometrilerine göre üretilmiş yardımcı elemanlardır. Bunlar taşınacak ürüne özel olarak üretilir ve konveyörün hareket mekanizmasına entegre bir şekilde taşıma işlemini gerçekleştirirler. Şekil 2.7’de konveyöre entegre taşıma paleti verilmektedir.



Şekil 2.7. Taşıma paleti (Azeloğlu, 2006).

Paletler, istasyonlardaki taşıma ve yönlendirme işlemlerini gerçekleştiren esnek üretim sistemlerinin bir parçasıdır. Üretim hatlarında bu taşıma ve yönlendirme görevleri işlem sırası ve sürecine göre belirlenmektedir (Popescu vd. 2015; Fu vd. 2015).

Darbe Genişlik Modülasyonu: DGM (Pulse-Width Modulation- Darbe Genişlik Modülasyonu) birçok alanda yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. DGM, üretilecek olan darbelerin, genişliklerini kontrol ederek, çıkışta üretilmek istenen analog elektriksel değerin veya sinyalin elde edilmesi tekniğidir. DGM üretilen kare dalga darbe sinyallerinin genişliklerinin ortalaması, çıkışta üretilmek istenen analog değerin elde edilmesini sağlar. Şekil 2.8’de örnek kare dalga sinyali gösterilmiştir (Athani, 1197; Özel, 2009).



Şekil 2.8. Örnek kare dalga sinyali.

Kare dalganın frekansına $f(t)$, en düşük genlik değerine y_{min} , en yüksek genlik değerine y_{max} ve sinyal oranına D (Duty cycle) denilmektedir. DGM tekniği, motor sürücülerinde, gerilim düzenleyicilerde, telekomünikasyonda kodlama ve çözme teknikleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Darbe genişlik modülasyonu endüstriyel uygulamalarda geniş bir alan bulmaktadır. Bu alanlar; değişken hızlı sürücüler, indüksiyon ısıtma, ayarlı güç kaynakları, kesintisiz güç kaynakları, güneş pilleri uygulamaları, step motor kontrolü ve benzeri endüstriyel alanlardır. DGM analog devrelerin sayısal çıkışlarla kontrol edilmesinde kullanılan en güçlü tekniktir. Piyasada bulunan birçok mikro denetleyici DGM modülü içermektedir. Bu DGM modülü, frekansı ve sinyal oranı programlanarak çalıştırılabilmektedir (Athani, 1197; Özel, 2009).

2.3. ENDÜSTRİYEL ROBOT KOL TÜRLERİ

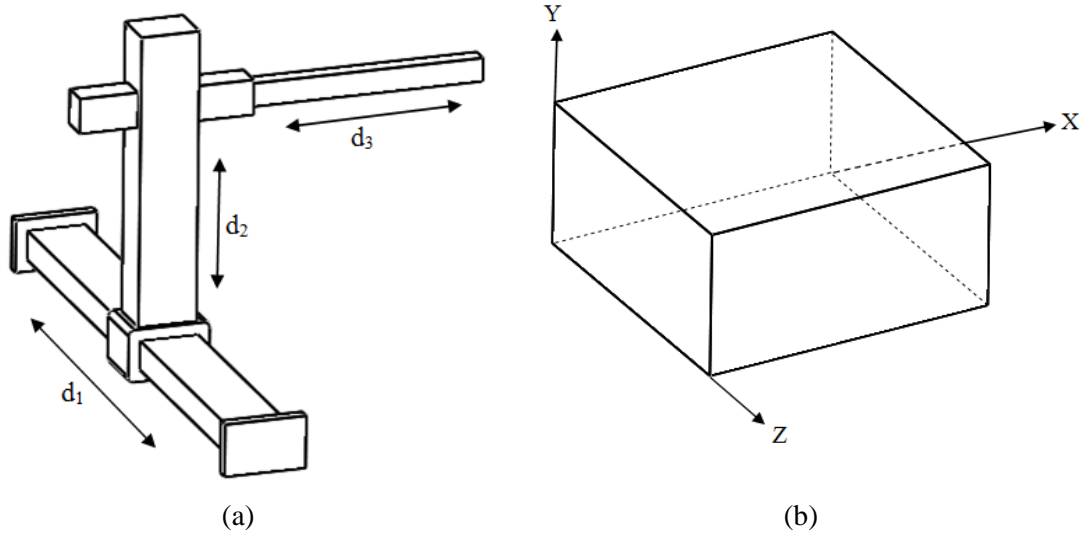
Bir robot, çeşitli işleri yerine getirmek üzere, malzeme, parça veya özel aletleri değişken programlanabilir hareketlerle taşımak üzere tasarlanmış, yeniden

programlanabilir, çok fonksiyonlu bir ayardır. Robot uygulamaları başlica otomotiv, elektrik, elektronik ve mekanik olmak üzere endüstrinin hemen her alanında görülebilmektedir. Günümüzde kullanılan robotlar; eksen takımlarına göre, tiplerine göre, kullanılan tahrik elemanının çeşidine göre sınıflandırılmaktadır. Bunlardan en önemli olan sınıflandırma yöntemleri koordinat sistemlerine göre robotlardır (Craig, 2005; Çengelci ve Çimen, 2005; Akpınar, 2008).

2.3.1. Kartezyen Koordinat Sistemi

Bu sistemde bütün robot hareketleri, birbirlerine karşı dik açılı şekilde olmaktadır. Bu yapılandırma en kısıtlı hareket serbestine sahip robot tasarım şeklidir. Bazı parçaların montajı için gerekli işlemler kartezyen özellikli robotlar tarafından yapılır. Hareketli kısımlar X, Y ve Z kartezyen koordinat sistemi eksenlerine paralel hareket ederler (Şekil 2.9). Robot, üç boyutlu dikdörtgen prizması hacmi içindeki noktalara kolunu hareket ettirebilir. Basit bir yapıya sahip oldukları için hareketlerin planlanması çok kolaydır. Bu tür robotlarda; pozisyon hesaplamaları, robot uç elemanının bulunduğu pozisyon, mafsalların o anda olduğu yerde bulunduğundan çok kolaydır. Çalışma alanları robotun yapısından daha küçüktür. Eğilme ve bükülme işlemlerini gerçekleştiremez. Yük taşıma kapasitesi diğer robot türlerine göre daha büyüktür. İnsan gücünün taşıma kapasitesini aşan yüklerin taşınmasında kullanılır. Bu nedenle genellikle yük araçlarına, yükleme ve boşaltma işlerinde, fabrikalarda ağır yükleri taşımak amacı ile fabrikaların tavanlarına monta edilerek kullanımı yaygındır (Craig, 2005; Akpınar, 2008). Şekil 2.9'da kartezyen robot verilmektedir.

Kartezyen robotların avantajları; kinematik denklemler basit olduğundan kontrolü çok kolaydır, gövde yapısı çok sağlam olduğundan yük kaldırabilme kapasitesi çok iyidir, çalışma uzayının her noktasında geniş çaplı hareket kabiliyeti aynıdır, kinematik yapısı basit olduğundan yeni eleman eklenmesi çok kolaydır. Dezavantajları ise; çalışma uzayının hacmi robotun boyutlarından küçüktür, robot kendi ana gövdesine ulaşamaz, prizmatik eklemlerinin çalışma ortamındaki tozlardan korunması güçtür (Craig, 2005; Bingül ve Küçük, 2005).

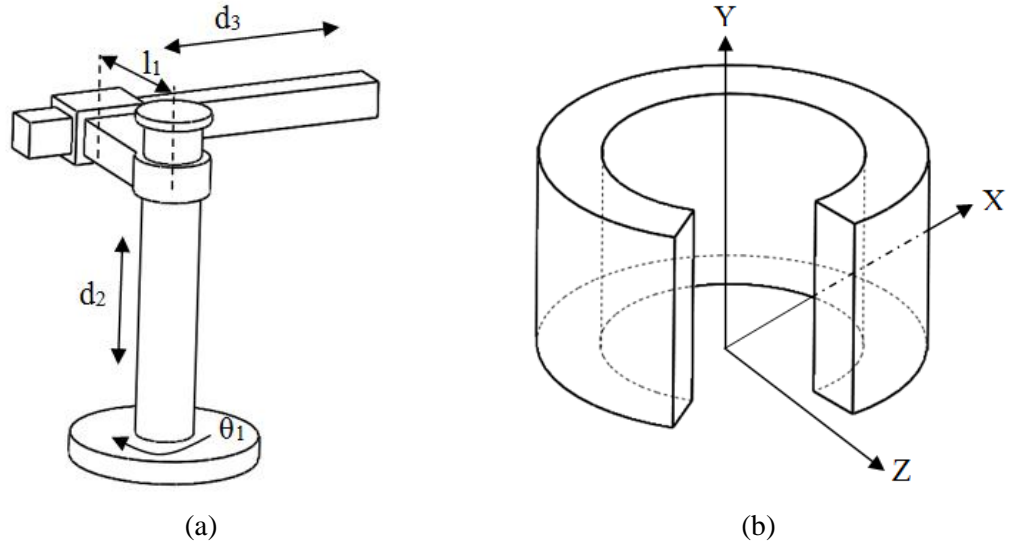


Şekil 2.9. Kartezyen robot a) şematik resmi ve b) çalışma uzayı.

2.3.2. Silindirik Koordinat Sistemi

Bu tip robotlar temel bir yatak etrafında dönebilir ve diğer uzuvları taşıyan ana gövdeye sahip özelliktedirler. Hareket düşeyde ve ana gövde eksen kabul edildiğinde radyal olarak sağlanmaktadır (Şekil 2.10). Dolayısıyla çalışma hacmi içerisinde robotun erişemeyeceği, ana gövdenin hacmi kadar bir bölge oluşur. Ayrıca genellikle, mekanik özelliklerden dolayı gövde tam olarak 360° dönememektedir (Craig, 2005; Akpınar, 2008). Şekil 2.10'da silindirik robot verilmektedir.

Silindirik koordinatlarda tabana dik eksen etrafında dönme ve bu eksen üzerinde öteleme yapılırken bu eksene dik bir eksende de başka bir öteleme hareketi de yapabilmektedir. Dönme serbestliğindeki mekanik engellerden dolayı teorik olarak silindirik bir çalışma alanı oluşması beklenirken bazı bölgelerde silindir yapısı tamamlanamaz. Radyal hareketten dolayı, silindirik koordinatlı robotlar montaj, kalıpcılık gibi alanlarda kullanılabilir. Ancak kartezyen koordinatlı robotlarda olduğu gibi kayar elemanların korozyon ve tozlanmadan korunması gerekir (Craig, 2005; Akpınar, 2008).

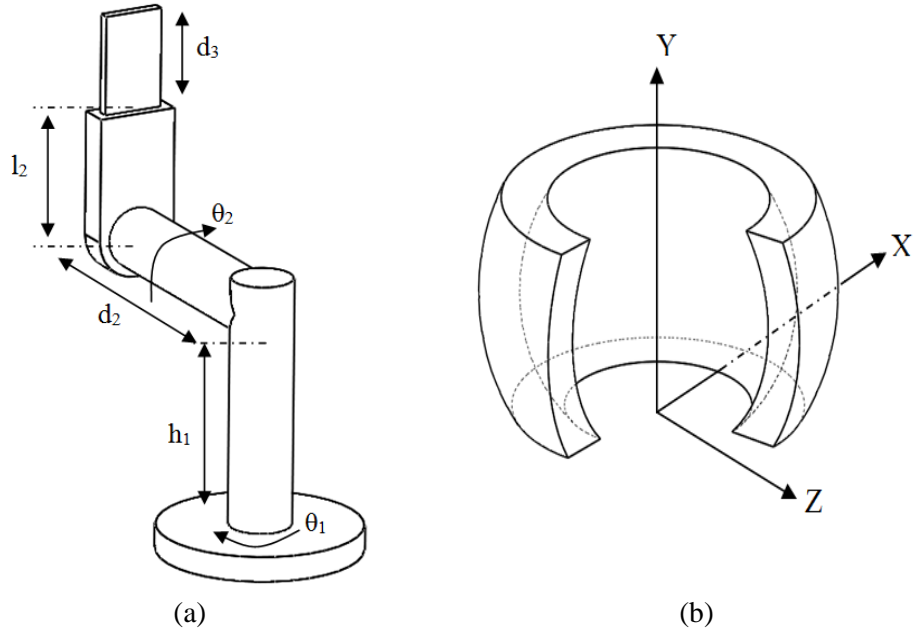


Şekil 2.10. Silindirik robot a) şematik resmi ve b) çalışma uzayı.

Silindirik robotların avantajları; temel çerçevenin dönel olmasından dolayı uç işlevci hızlı hareket etmektedir, kinematik denklemler basit olduğunda kontrolü kolaydır, kartezyen robotlara göre daha büyük çalışma uzayına sahiptirler. Silindirik robotların dezavantajları ise; küresel robotlara göre daha küçük çalışma uzayına sahiptirler, geniş çaplı hareket kabiliyeti kol uzunluğuna göre değişmektedir (Craig, 2005; Akpınar, 2008).

2.3.3. Küresel Koordinat Sistemi

Matematiksel olarak küresel koordinat sisteminin iki tane dairesel ve bir de doğrusal eksen olmak üzere üç tane eksen bulunmaktadır. Robotikte küresel koordinat sistemi en eski koordinat sistemlerinden biridir. Oldukça işlevli, birçok uygulama alanına sahip özelliğinin yanında, yapım ve montaj açısından da oldukça kolaylık sağlamaktadır (Craig, 2005; Akpınar, 2008). Şekil 2.11'de küresel robot verilmektedir.



Şekil 2.11. Küresel robot a) şematik resmi ve b) çalışma uzayı.

Doğrusal hareket aynen kartezyen koordinatlardan herhangi bir koordinatın hareketi gibi davranış gösterir. Kutupsal koordinatlarda çalışan bir robotun çalışma hacmi iki kürenin ara hacminden oluşur. Kollardan biri doğrusal hareket yaparken bunu destekleyen diğer koldan biri tabana dik eksen etrafında, diğeri ise bu eksene dik ve tabana paralel eksen etrafında dönebilmektedir. Küresel robotların avantajı olarak büyük çalışma alanına sahip olmalarıdır. Dezavantajları ise; karmaşık kinematik denklemlere sahip olduğu için kontrolleri de zor olmaktadır ve geniş çaplı hareket kabiliyeti her noktada farklı olabilmektedir (Craig, 2005; Akpınar, 2008).

2.3.4. Robot Kontrol Sistemleri

Bir robotik sistem tasarımında, istenilen hareketlerin elde edilmesi, kontrol ünitelerinin ve programlamanın doğru olarak seçilmeleri gerekmektedir. Kontrol birimindeki bilgisayar sayesinde, bütün alt sistemlerin yönetimi yapılabilmektedir. Uygun şekilde bir araya getirilen elektronik ve mekanik sistemlerin kumanda edilmesi ve robot hareketlerinin düzenli yapılabilmesi için robot sistemine işlem kontrol ve programlama biriminin yerleştirilmesi gerekmektedir. Kontrol birimi, güçlü bir bilgisayardan oluşur ve robotun bütün alt sistemlerinin görevlerini kontrol

eder. Robotun, taşıma işlemlerini belirtilen hata sınırlarında, robottaki dâhili sensörlerle kontrol eder. Robotta harici sensörler kullanılarak çevre ile ilgili kontrol sağlanır. Robotlarda kullanılan kontrol alt sistemleri; açık ve kapalı çevrimli kontrol sistemleridir (Golnazarian, 1995; Akpınar, 2008; Craig, 2005).

Açık çevrimli kontrol sistemlerinde, çıkış hareketinin miktarını algılayacak kontrol birimi yoktur ve genellikle endüstride yapılan işlerin çoğu, insanlar tarafından açık çevrimli kontrolle yapılır. Manuel kontrollü olan tüm mekanizmalar, insan kontrolünde kapalı çevrimli kontrol sistemi gibi olsa da, aslında açık çevrimli kontrol sistemleridir. Kartezyen robotlarda fazla hassasiyet gerektirmeyen eksenlerinde, açık çevrimli kontrol sistemleri ile hareketlerinin kontrolü yapılabilmektedir. Kartezyen robotlar öteleme hareketleri matematiksel olarak pozisyon hesaplamaları en yalın sistemdir. Al ve yerleştir işlemlerinde gerek duyulan eklem hareketinin hesaplanması kolay ve kol hareketleri yük yönlendirilmesine etki etmemektedir. İstenilen işlerin hassasiyetinin düşük olduğu durumlarda açık çevrimli kontrol sistemleri kullanılmaktadır. Kullanım esnasında sistemde, insan faktörü veya kumanda kolları yerine bilgisayar da kullanılabilir. Step (adım) motorları, bilgisayar ile açık çevrimli olarak kumanda edilebilen en iyi sürücülerdir. Elektrik akımı verildiği sürece sabit adımla dönmektedirler. Bilgisayar, step motorları kumanda etmek için en iyi yollardan biridir (Golnazarian, 1995; Akpınar, 2008; Craig, 2005).

Kapalı çevrimli kontrol sistemi, açık kontrol sistemlerine konum ölçü birimi eklenmesiyle mümkün olabilmektedir. Sürücülerin yaptığı hareket miktarını sistem içerisinde algılama ve sürücülere kumanda edilmesi esasına göre çalışmaktadır. (Golnazarian, 1995; Akpınar, 2008; Craig, 2005).

Adım motorlar: Bilgisayar ile açık çevrimli olarak kumanda edilebilen en iyi sürücü, adım motorlarıdır. Açısal konumu adımlar halinde değiştiren, çok hassas sinyallerle sürülen motorlara adım motorları denmektedir. Diğer bir deyişle girişlerine uygulanan dijital darbe dizilerine karşılık analog dönme hareketi yapabilen elektro magnetik elemanlardır. Adım motorları belirli adımlarla hareket ederler. Bu adımlar, motorun sargılarına uygun sinyaller gönderilerek kontrol edilir. Herhangi bir uyarımda, motorun yapacağı hareketin ne kadar olacağı, motorun adım açısına

bağlıdır. Adım açısı motorun yapısına bağlı olarak 90°, 45°, 18°, 7,5°, 1,8° veya daha değişik açılarda olabilir. Motora uygulanacak sinyallerin frekansı değiştirilerek motorun hızı kontrol edilebilir. Adım motorlarının dönüş yönü uygulanan sinyallerin sırası değiştirilerek saat ibresi yönü veya saat ibresinin tersi yönünde olabilir. Adım motorlarının hangi yöne doğru döneceği, devir sayısı, dönüş hızı gibi değerler mikroşlemci veya bilgisayar yardımı ile kontrol edilebilir. Dolayısıyla adım motorlarının hızı, dönüş yönü ve konumu her zaman bilinmektedir. Bu özelliklerinden dolayı adım motorlar çok hassas konum kontrolü istenen yerlerde kullanılırlar (Athani, 1997; Kaygısız, 2010).

Günümüzde adım motorları endüstride birçok kontrol sistemlerinde, hassas konum kontrolü yapmak amacıyla kullanılmaktadır. En çok yazıcılar, çiziciler, disket sürücüler, hard disk sürücüler, kart okuyucular vb bilgisayar çevre cihazlarında bu elemanlardan yararlanılmaktadır. Ayrıca sayısal kontrol sistemlerinde, Bilgisayarlı nümerik kontrol tezgâhlarda, süreç kontrol sistemlerinde, robot teknolojisinde ve uzay endüstrisine ait bir çok sistemde adım motorlar tahrik elemanı olarak yer almaktadır. Adım motorların bu kadar çok kullanım alanı bulmasının nedeni bu motorların bazı avantajlara sahip olmasıdır. Bu avantajlar maddeler halinde verilmektedir (Athani, 1997; Kaygısız, 2010).

- Motorun hareketlerinde konum hatası yoktur.
- Geri beslemeye ihtiyaç göstermezler. Açık döngülü olarak kontrol edilebilirler.
- Adım motorlar dijital bilgiyi işlerler, bu nedenle mikroşlemci veya bilgisayarlarla kontrol için ideal elemanlardır.
- Mekanik yapısı basit olduğundan bakım gerektirmezler.
- Herhangi bir hasara yol açmadan defalarca çalıştırılabilirler.

Adım motorlarının dezavantajları maddeler halinde verilmektedir.

- Aşırı yükler, açık döngülü kontrolde konum hatası meydana getirirler.
- Momenti sınırlıdır. Isındığında verimleri düşer
- Adım açıları sabit olduğundan alınan hareket darbelidir.
- Yüksek atalet momentli yüklerde yetenekleri sınırlıdır.

- İyi kontrol edilmediğinde rezonans meydana gelebilir.
- Yüksek hızlarda çalıştırmak zordur.

2.4. GÖRÜNTÜ İŞLEME

Görüntü işleme, ölçülmüş veya kaydedilmiş olan dijital görüntü verilerini, elektronik ortamda amaca uygun şekilde değiştirmeye yönelik olarak yapılan bilgisayar çalışması olarak tanımlanabilmektedir. Görüntü işleme, verilerin, yakalanıp ölçme ve değerlendirme işleminden sonra, başka bir aygıtta okunabilir bir biçime dönüştürülmesi ya da bir elektronik ortamdan başka bir elektronik ortama aktarmasına yönelik bir işlemdir. Bilgisayar ortamında yapılan bu işlemler maddeler halinde verilmektedir (Pratt, 2007; Akpınar, 2008; Onat, 2008);

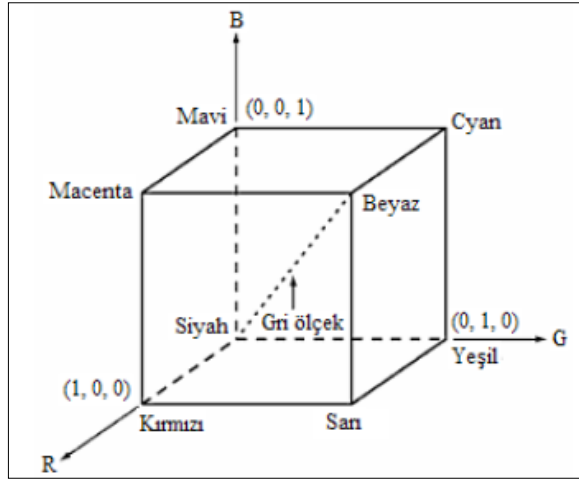
- Görüntü tanımlama ve modelleme,
- Görüntü düzenleme (anlaşılabilir hale getirme),
- Görüntü onarma,
- Görüntüyü yeniden düzenleme,
- Görüntünün veri yapısını düzenleme.

Bir görüntü $f(x,y)$ şeklindeki iki boyutlu bir fonksiyon şeklinde tanımlanabilir. Burada x ve y koordinat bileşenleri olup bu koordinatlara bağlı olarak f fonksiyonunun değeri ise yoğunluk (intensity) veya diğer bir deyişle grilik seviyesi (gray level) olarak isimlendirilir. f fonksiyonunun x,y ve yoğunluk değerlerinin tümü sonlu ise bu görüntü “sayısal görüntü” olarak adlandırılır. Her sayısal görüntü sonlu sayıda elemandan oluşur ve her bir elemanın kendine özel bir yeri ve değeri vardır. Bu elemanlar resim elemanı, en yaygın kullanımı ile piksel olarak adlandırılır (Pratt, 2007; Akpınar, 2008; Onat, 2008).

Görüntüyü seviye olarak üçe ayrılabilir. Renkli görüntü, gri seviyeli görüntü, sadece siyah (0 değeri) ve beyaz (1 değeri) renkleri içeren ikili görüntüdür. Her üç seviyedeki görüntünün sunumu da matris formundadır. Matrisin her hangi bir değeri görüntünün o koordinatlardaki noktanın parlaklık, ısı veya buna benzer farklı niteliklerdeki değeri olabilir (Pratt, 2007; Akpınar, 2008; Onat, 2008).

2.4.1. Renkli Görüntü

Renkli görüntüler bütün pikseller için 3 ya da daha fazla değer içeren renk modelleri kullanılarak ifade edilirler. Bu yüzden renkli görüntüleri ifade etmek için en az üç tane iki boyutlu matris kullanılmalıdır. En popüler kullanılan renkli görüntü sistemlerinin bazıları RGB (Red-Green-Blue, Kırmızı-Yeşil-Mavi) ve CMY (Cyan-Magenta-Yellow, Yeşile çalan mavi-Morumsu kırmızı-Sarı)'dır. 8 bitlik tek renkli görüntü standardını model olarak kullanırsak, karşılık gelen renkli görüntü her piksel için bütün renk bantları (kırmızı, yeşil, mavi) için 8 bittен oluşmak üzere 24 bitlik olmalıdır. Siyah ile mavi arasında, yeşil ile siyah arasında ve siyah ile kırmızı arasında 256 adım vardır. Örneğin, pikseldeki yeşil renk tonu yeşil veriyi içeren dizideki değere karşılık düşen piksel ile belirlenir. Şekil 2.12'de standart renk küpü verilmektedir.

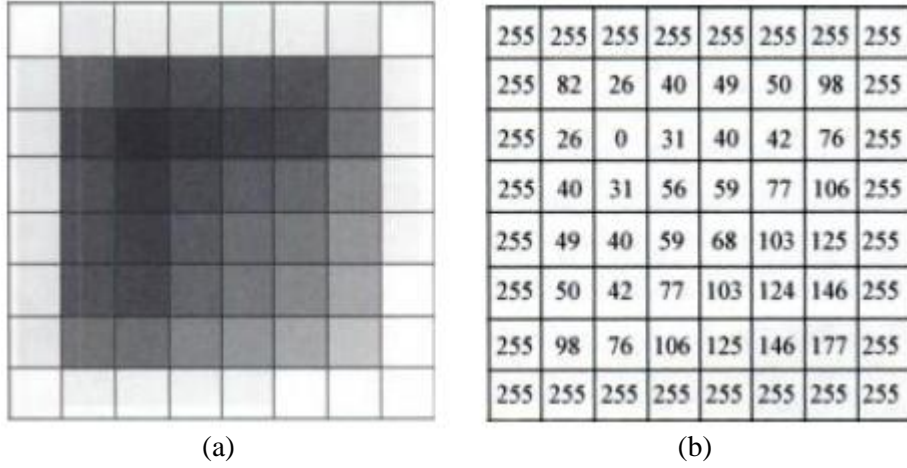


Şekil 2.12. Standart renk küpü (Pratt, 2007).

Gerçek renk bileşenlerine sahip bir resmin işlenmesi, işlem sayısını artırır. Bu sebeple, resmin gri seviyeye ve hatta işlemin amacına göre siyah beyaz ikili forma dönüştürülmesi işlem sayısının asgaride tutulmasını sağlayacaktır (Pratt, 2007; Dinçer, 2009; Boztoprak, 2007).

2.4.2. Gri Seviyeli Görüntü

Gri seviyeli görüntüler tek renkli resim ya da tek renge sahip görüntüyü ifade etmektedirler. Gri seviyeli görüntüler renk bilgisi içermez ve yalnızca parlaklık bilgisini tanımlar. Her piksel için kullanılan bit sayısı mevcut farklı parlaklık seviyelerinin sayısı ile tanımlanır. Tipik bir görüntü her piksel için 8 bit içerir ve bu da bize 256 (0-255) farklı parlaklık (gri) seviyeye sahip olmamıza izin verir. Gri seviyeli dijital görüntüler iki boyutlu ayırık matrisler olarak gösterilmektedir. Şekil 2.13'de gri seviyeli resim ve gri seviye değerleri verilmektedir (Pratt, 2007; Dinçer, 2009).



Şekil 2.13. Gri seviye a) gri seviyeli resim ve b) gri seviye değerleri.

Gri seviye bir resim, her bir piksel için 0 ile 255 arasında bir parlaklık değeri almakta ve 0 değeri siyah, 255 ise beyazdır. Görüntü işlemenin önemli işlemlerinden biri olan eşikleme işlemi, değişik gri ton seviyelerine sahip bir resmi ikilik seviyeye yani; 0 siyah, 1 beyaz rengi göstermek üzere resmi 0 ve 1'lerden oluşan bir matris haline getirir. Eşikleme işlemi yapılırken bir eşik değeri belirlenir ve bu değerın üstündeki değerler için çıkış görüntüsündeki ilgili piksele 1, altındaki değerler içinde 0 değeri atanır. Eşiklemenin genel ifadesi aşağıda verilmiştir (Eşitlik 2.1), (Pratt, 2007; Boztoprak, 2007),

$$\begin{aligned} G(i, j) &= 1, f(i, j) \geq T \text{ için} \\ G(i, j) &= 0, f(i, j) < T \text{ için} \end{aligned} \quad (2.1)$$

Eşitlik 2.1’de T eşik değeri, $G(i, j)=1$ nesnenin görüntü elemanları, $G(i, j)=0$ arka planın görüntü elemanlarıdır. Eğer görüntüdeki nesnelere temassız ve gri seviyeleri açıkça arka planın gri seviyesinden farklı ise eşikleme uygun bir ayrıştırma metodudur. Doğru eşik seçimi başarılı bir görüntünün ayrıştırılabilmesi için gereklidir. Bu seçim çeşitli eşik tanımlama algoritmalarıyla yapılabilmektedir (Pratt, 2007; Boztoprak, 2007).

2.4.2.1. Otsu Eşik Belirleme Yöntemi

Normalde bir gri seviyeli görüntüyü ikili biçime çevirmek için izlenecek yöntem oldukça basittir. Bir eşik değeri belirlenir ve bu eşik değerinin üzerindeki renkler beyaza, altındaki renkler siyaha dönüştürülür. Ancak tüm görüntüler aynı niteliklere sahip değildir. Sabit bir eşik değeri tüm görüntüler üzerinde kabul edilebilir sonuçlar üretemeyebilir. Dolayısıyla eşik değerinin, resmin renk dağılımına uygun olarak belirlenmesini sağlayacak bir yöntem ihtiyacı duyulur. Otsu’nun bölgesel eşikleme algoritması (Otsu, 1979) bu değişken eşik seviyesini bulmak için kullanılır. Bulunan eşik seviyesi $[0,1]$ aralığında, parlaklık parametresidir. Bu eşik değerini bulduktan sonra ise gri resim, siyah beyaza çevrilir.

Otsu’nun bölgesel eşikleme algoritması; görüntüdeki piksel değerlerinin dağılımlarına göre bu piksellerin kümelendirilmesini sağlamaktadır. görüntünün piksel değerleri $L([1, 2, 3, \dots, L])$ gri seviye ile temsil edilirse, i . seviyedeki piksel sayısı n_i olduğunda toplam piksel sayısı aşağıdaki şekildedir (Nabiyev, 2010), (Eşitlik 2.2).

$$N = n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_L, \quad (2.2)$$

Eşitlik 2.2’de, iki seviyeli eşik değeri seçiminde pikseller $[1, 2, \dots, t]$ ve $[t+1, \dots, L]$ gri seviyeli değerlerini içeren C_1 ve C_2 gibi iki sınıfa ayrılmaktadır.

$$p_i = n_i/N \quad (2.3)$$

$$w_1(t) = \sum_{i=1}^t p_i \quad (2.4)$$

$$w_2(t) = \sum_{i=t+1}^L p_i \quad (2.5)$$

Eşitlik 2.3'de p_i , i . seviyeli piksel sayılarının olasılığını, $w_1(t)$ ve $w_2(t)$ iki seviyeli eşik değeri için toplam olasılıkların toplamı olarak tanımlanırsa C_i kümeleri aşağıdaki bağıntılarla verilebilir (Eşitlik 2.6 ve 2.7).

$$C_1 = \frac{p_1}{w_1(t)}, \frac{p_2}{w_1(t)}, \dots, \frac{p_t}{w_1(t)} \quad (2.6)$$

$$C_2 = \frac{p_{t+1}}{w_2(t)}, \frac{p_{t+2}}{w_2(t)}, \dots, \frac{p_L}{w_2(t)} \quad (2.7)$$

Otsu metodu, sınıflar arası dağılımı (σ_B^2) maksimum yapacak optimum t^* eşik değerini belirlemektedir (Eşitlik 2.11).

$$\sigma_B^2 = w_1 w_2 (\mu_1 - \mu_2)^2 \quad (2.8)$$

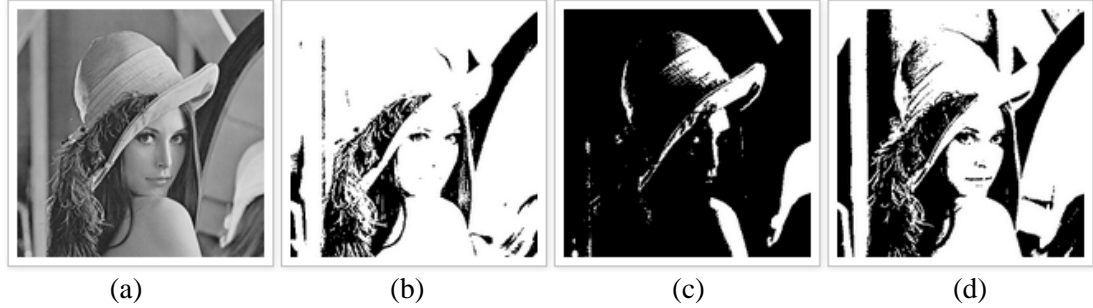
$$\mu_1 = \sum_{i=1}^t ip_i / w_1(t) \quad (2.9)$$

$$\mu_2 = \sum_{i=t+1}^L ip_i / w_2(t) \quad (2.10)$$

$$t^* = \text{ArgMax}\{\sigma_B^2(t)\} \quad (2.11)$$

Şekil 2.4'de seçilen eşik değerinin işlemin sonucuna olan etkisi görünmektedir. Şekil 2.14b'deki resim $t^*=75$ eşik değeri ile eşiklendiğinde yüz kısmında bulunan pek çok veri kaybolmuş, Şekil 2.14c'deki resim yüksek bir eşik değeri $t^*=180$ ile eşiklendiğinde neredeyse tüm bilgiler kaybolmuştur. Şekil 2.14d'deki resim ise Otsu

eşik değeri bulunarak $t^*=115$ eşiklenmiştir ve resim üzerindeki pek çok bilgi korunmuştur (Pratt, 2007).



Şekil 2.14. Eşik değerinin etkisi a) Orijinal resim, b) düşük eşik değeri, c) yüksek eşik değeri ve d) otomatik eşik değeri.

2.4.3. İkili Görüntü

Görüntü bilgisinin en düşük seviyeli sunumuna ikili görüntü denmektedir. Görüntü üzerinde nesneye ait noktalar 1, zemine ait noktalar ise 0 olmak üzere iki gri seviye değeri ile ifade edilir. Görüntü içerisindeki nesnelerin algılanması ve geometrik özelliklerini tanıma süreci, insan görme sisteminde, nesnelerin dış çizgilerine göz gezdirilmesi ile başlar. Bu yaklaşımı yapay görme sistemlerine uyarladığımızda, şayet nesnenin sınırları başarılı bir şekilde izlenirse nesne tanımda çok daha iyi sonuçlar alınabilir. Böylece tanıma olayında nesneye ait kenarların yakalanması işlemi önemli bir rol oynar (Pratt, 2007; Onat, 2008).

Kenar yakalama algoritmaları (KYA) üç farklı yapıya sahip görüntü üzerinde çalıştırılabilir. Bunlardan birincisi, iki seviyeli (siyah-beyaz) görüntüdür. Bu görüntüde nesneye ait bir nokta 1, arka plana ait bir nokta ise 0 olarak kodlanır. İkincisi, gri seviyeli görüntüdür. Bu görüntüdeki tüm noktalar 0-255 arasında gri düzeyli bir renk değerine sahiptir. Üçüncüsü ise renkli görüntülerdir. Bu görüntüdeki her nokta kırmızı, yeşil ve mavi olmak üzere 3 farklı renge ait 0-255 arasındaki değerlerden oluşan bir diziye sahiptir. KYA'da iki önemli özelliğin olması gerekmektedir. Birincisi, nesnenin kenar çizgisinin tek nokta kalınlığında elde edilebilmesidir. Böylece nesneyi işlemek için daha az bilgi kullanıldığından, nesne tanımda oldukça önemli olan hız problemine zamandan tasarruf sağlanarak çözüm

getirilebilir. Aynı zamanda nesne tanımak için oluşturulacak veri tabanları daha kolay oluşturulabilir. İkincisi, kenar yakalama işleminin sonucu, kenar yönlerinden bağımsız olmalıdır. Yani yakalanan kenar bilgisi, kenarı yakalanan nesne yön değiştirdiğinde de değişime uğramamalıdır. Bu yüzden ikili görüntü, kenar yakalama algoritmalarında hem hız hem de veri tabanına kolay ulaşımından dolayı genellikle tercih edilmektedir (Pratt, 2007; Onat, 2008).

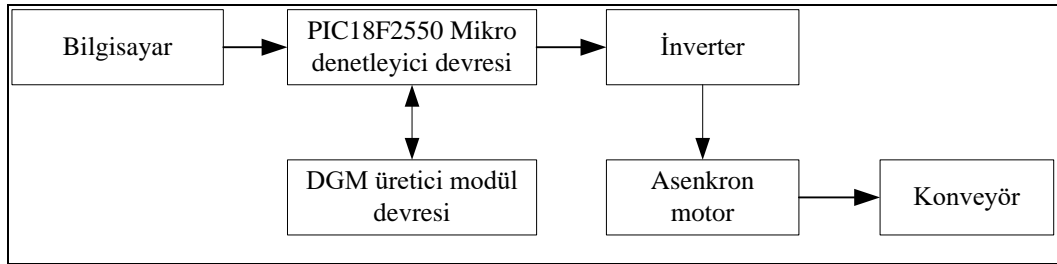
BÖLÜM 3

SÜRÜKLEYEN ZİNCİR PALETLİ KONVEYÖR TASARIMI

Bu bölümde, sürükleyen zincir paletli konveyör tasarımı yapılarak, konveyörün hızını, yönünü bilgisayar arayüzü üzerinden kontrol edilmiş ve mikro denetleyici tabanlı bir sistem gerçekleştirilmiştir.

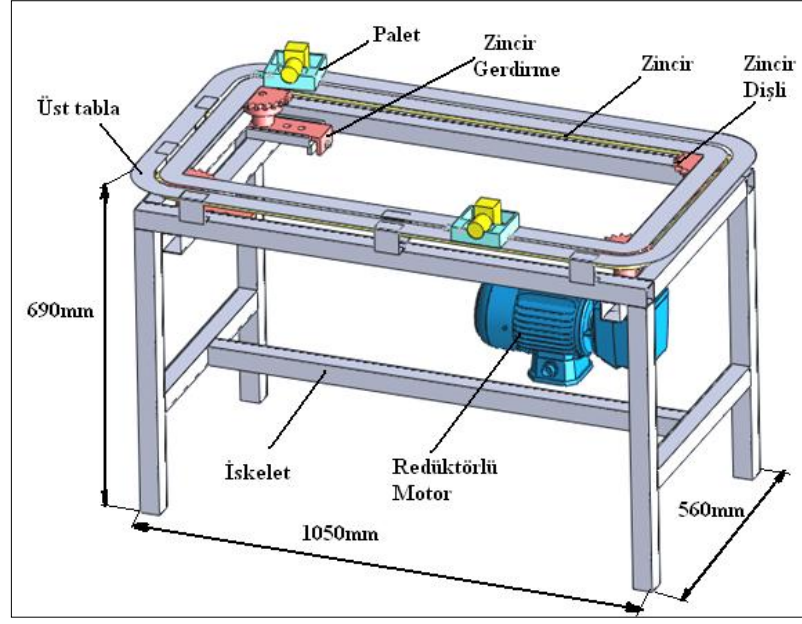
3.1. KONVEYÖR SİSTEMİNİN TASARIMI

Sürükleyen zincir paletli konveyör bir asenkron motor ile tahrik edilmekte ve redüktör sayesinde devri 1/25 oranında düşürülmektedir. Redüktör çıkış miline bağlı olan zincir dişli ile tahrik zincir dişliye aktarılmıştır. Zincir dişliye bağlı olan paletler ise taşıma işlemini gerçekleştirmiştir. Şekil 3.1’de konveyör sisteminin blok diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Konveyör sisteminin blok diyagramı.

Asenkron motorun hız ve yön kontrolü ise inverter ve DGM üretici bir kontrol modülü sayesinde yapılmıştır. Tasarlanan sürükleyen zincir paletli konveyör Şekil 3.2’de verilmektedir. Konveyörün boyutları 1050 mm uzunluğu, 560 mm genişliği ve 690 mm yüksekliğindedir. Sürükleyen zincir paletli konveyör sisteminde pim çıkıntılı zincire palet bağlanarak malzeme taşıma işlemi gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3.2. Tasarlanan sürükleyen zincir paletli konveyör.

Zincirde her 10 baklada bir pim çıkıntısı bulunmaktadır. Pim çıkıntılı zincirin boyu 3079 mm olup, toplamda ardı ardına 18 tane palet zincire bağlanabilmektedir. Palet malzemesi plastik türü olan delrin kullanılmıştır ve kendinden kaydırıcı özelliği ile paletin üst tabla üzerindeki hareketinden dolayı oluşan sürtünmeyi azalmaktadır. Palet, üst tablaya açılan kanal boyunca taşıma işlemini gerçekleştirmektedir. Şekil 3.3'de imal edilen sürükleyen zincir paletli konveyörü gösterilmektedir. Sürükleyen zincir paletli konveyör sisteminin donanım ve yazılım birimlerinden oluşmaktadır.



Şekil 3.3. İmal edilen sürükleyen zincir paletli konveyör.

3.1.1. Tahrik Sistemi

Gücü 0,11 kW olan tek fazlı bir asenkron motor ile tahrik edilen konveyör, redüktör ile 1/25 oranında devir düşürülmüştür. Asenkron motorun hız ve yön kontrolünün bilgisayar üzerinden izlenmesi için PIC (peripheral interface controller – çevre birim arayüz denetleyicisi) kontrollü bir modül tasarlanmıştır. Bu modül ile USB (universal serial bus - evrensel seri veri yolu) üzerinden iletişim sağlanmıştır. Kullanılan asenkron motor ve redüktöre (Şekil 3.3) ait parametreler Çizelge 3.1’de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Asenkron motor ve redüktörün parametreleri.

Asenkron motor	
Tipi	Üç fazlı asenkron motor
Bağlantı türü	Yıldız
Anma akımı	1,15 A
Frekans	60 Hz
Devir sayısı	1390 d/dak
Anma gerilimi	380 V
Güç katsayısı	0,68
Redüktör	
Tipi	Sonsuz dişli
Çevrim oranı	1/25

3.1.2. Frekans Dönüştürücü

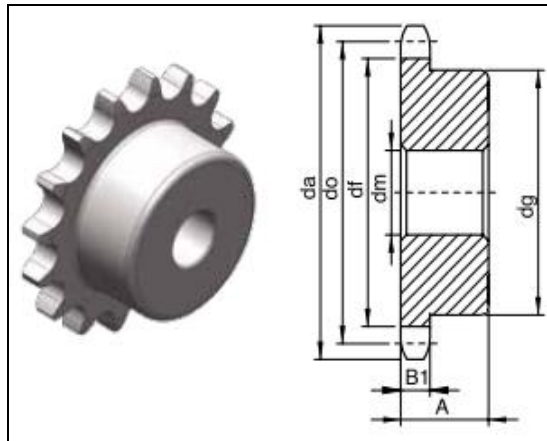
Endüstriyel işletmelerde motorların parametrelerinin izlenmesinde ve kontrolünde frekans dönüştürücü (inverter) yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada Frenic Multi hız kontrol cihazı ailesinden 2,2 kW gücünde bir inverter kullanılmaktadır. İnverter, tek faz gerilim ile çalışmakta ve üç faz motor çıkışı vermektedir. Şekil 3.4’de inverter gösterilmektedir.



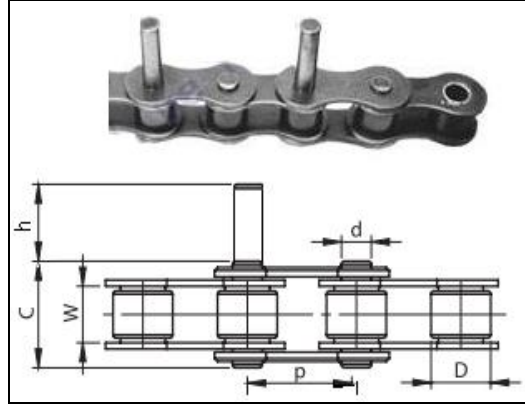
Şekil 3.4. İnverter.

3.1.3. Zincir Dişli ve Pim Çıkıntılı Zincir

Redüktörün çıkış milinden zincir dişliye aktarılan iletimi, pim çıkıntılı zincir sayesinde paletlerin taşınmasını sağlamaktadır. Konveyör üzerinde dört adet zincir dişli bulunmakta ve bu dişlilerin iletimini ise pim çıkıntılı zincir yapmaktadır. Zincir dişlinin adımı 5/8" olup üzerinde 20 diş bulunmaktadır (Çizelge 3.2). Şekil 3.5'de zincir dişli gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Zincir dişli.



Şekil 3.6. Pim çıkıntılı zincir resmi.

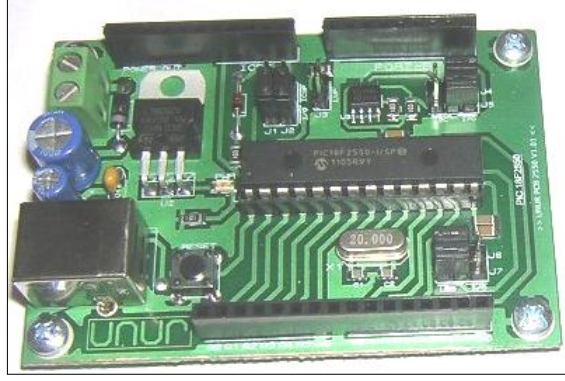
Pim çıkıntılı zincirin adımı da 5/8" olup tek sıralıdır (Çizelge 3.2). Şekil 6'da pim çıkıntılı zincirin resmi gösterilmektedir. Zincirde bulunan pim çıkıntıları üst tabla üzerinde hareket edecek paletlere birleştirilmiştir. Üst tablaya açılan kanal sayesinde paletlerin izleyeceği yol ile iletim sağlanmaktadır.

Çizelge 3.2. Zincir dişli ve pim çıkıntılı zincir parametreleri.

Zincir dişli			Pim çıkıntılı zincir		
Diş üstü çapı	da	108,4 mm	Makara çapı	D_m	10,16 mm
Bölüm dairesi	do	101,48 mm	Adım	p	15,875 mm
Diş dibi çapı	df	91,32 mm	Perno çapı	d	5,08 mm
Delik çapı	dm	16 mm	Pim yüksekliği	h	15 mm
Diş kalınlığı	B1	9,1 mm	Perno yüksekliği	C_p	14 mm
Toplam kalınlık	A	28 mm	Bakla yüksekliği	W_b	9,65 mm
Göbek çapı	dg	83 mm			
Diş sayısı	z	20			

3.1.4. Palet

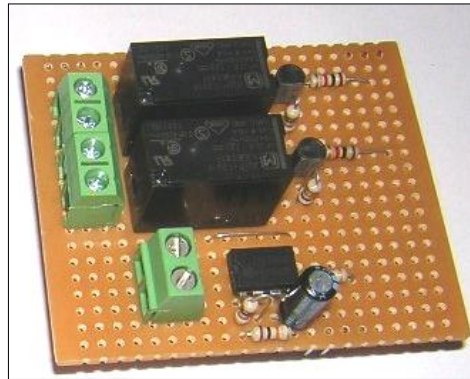
Sürükleyen zincir paletli konveyörde ürünlerin taşınması için pim çıkıntılı zincir dişlinin pimlerine paletler yerleştirilmiştir. Bu paletlerin boyutları 100x100x20 mm'dir. Şekil 3.7'de pim çıkıntılı zincir ile paletin montajı gösterilmektedir.



Şekil 3.9. PIC devresi.

PIC devresine iki röle çıkış ve bir DGM çıkışı olan modül entegre edilmiştir. Bu modül DGM çıkışlarından inverterin analog modülüne bağlanmıştır. DGM çıkışı 0-10 V arasında bir gerilim üretmekte ve inverterin 0-50 Hz arasındaki sinyale dönüştürmektedir. Şekil 3.10'da entegre edilen modül ve Şekil EK A.2. modül devre şeması gösterilmektedir.

Kazma vd. (2009) yaptığı çalışmada tasarlanan modülün röle çıkışları ile asenkron motorun yön kontrolünü yapmaktadır. DGM çıkışlarından üretilen gerilim değerini iki katına yükselten LM358N işlemsel yükselteç kullanılarak (Şekil EK A.2), 0-10 V gerilimi elde edilmektedir. Bu sayede motorun hız ve yön kontrolü tasarlanan modül ile gerçekleştirilmiştir. Bu modül invertere bağlanarak motorun devri PC yardımıyla eş zamanlı olarak değiştirilebilmektedir.



Şekil 3.10. Entegre edilen modül.

3.1.6. Kontrol Arayüzü

Endüstriyel uygulamalarda birimler arasındaki haberleşmeyi sağlamak için bir cihaz veya protokolü yürütecek yazılımlar kullanılmaktadır. Bu çalışmada haberleşme aracı olarak PIC mikro denetleyicisi kullanılmış ve veriler USB port üzerinden gönderilmiştir. Bunun için Visual BASIC dilinde tasarlanan bir arayüz ile konveyörün donanım birimleri arasındaki haberleşmesi ve veri iletişiminin yapılması sağlanmıştır. Tasarlanan arayüz Şekil 3.11’de gösterilmektedir.



Şekil 3.11. Tasarlanan kontrol arayüzü.

Sistemde kullanılan donanım birimlerinin arasındaki entegrasyon sağlanmış ve sistem hazır hale getirilmiştir. Çizelge 3.3’de beş farklı çalışma hızı, ağırlık ve palet sayısı için konveyörün yüklü ve yüksüz çevrim süreleri bulunmuştur (Ayyıldız ve Çetinkaya, 2013).

Çizelge 3.3. Konveyör de kullanılan çalışma parametreleri.

Konveyör hızı (m/s)	Ağırlık (g)	Palet sayısı	Tam Yük Çevrim süresi (s)	Yüksüz Çevrim süresi (s)
0,111	600	1	26,16	26,16
	600	2	26,29	26,46
	300	3	26,30	26,30
	300	4	27,30	27,10
	300	5	27,30	26,52
0,144	600	1	20,29	20,20
	600	2	20,39	20,20
	300	3	20,59	20,80
	300	4	20,56	20,15
	300	5	20,45	20,31
0,179	600	1	16,14	16,21
	600	2	16,30	16,23
	300	3	16,20	16,14
	300	4	16,20	16,40
	300	5	16,30	16,49
0,217	600	1	13,35	13,38
	600	2	13,30	13,40
	300	3	13,38	13,40
	300	4	13,50	13,35
	300	5	13,39	13,37
0,257	600	1	11,43	11,33
	600	2	11,41	11,38
	300	3	11,40	11,34
	300	4	11,40	11,40
	300	5	11,41	11,45

Sistemde yüklü (600g) ve yüksüz bir paletin 0,111 m/s hızla bir turunu yaklaşık 26,16 saniyede tamamlamaktadır. Fakat yüklü (600g) bir paletin 0,144 m/s hızla bir turunu 20,29 saniyede alırken, yüksüz bir palet 20,20 saniyede almaktadır. Sürükleyen zincir paletli konveyör PC aracılığıyla kontrol edilerek, istenilen hızda iletim sağlanması anlık olarak değiştirilebilir. Konveyör ile yapılan deneyler hız, palet sayısı, yüklü ve yüksüz gibi parametreler dikkate alınarak yapılmıştır. Literatürdeki benzer çalışmalarda konveyör tasarımının açık bir hat olarak gerçekleştirilmiştir (Shin vd. 2006). Bu çalışmada tasarlanan sürükleyen zincir paletli konveyörün tasarımı ise kapalı bir hat şeklinde yapıldığından dolayı başka hatları ihtiyaç duymamaktadır.

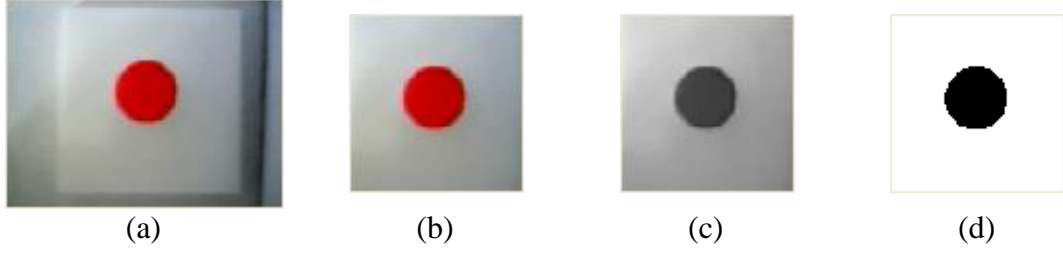
BÖLÜM 4

PARÇA TANIMA SİSTEMİ TASARIMI

Bu bölümde, esnek üretim sisteminde nesnelerin tanınması için gerekli olan parça tanıma sisteminin tasarımı gerçekleştirilmiştir. Parça tanıma sisteminde kullanılan ekipmanlar, kamera, aydınlatma, sensör ve parça tanıma yazılımıdır. Kamera çözünürlüğü 640x480 piksel ve saniyede 30 kare yakalama özelliğine sahip bir kameradır. Parça tanıma sisteminin yazılımı Visual BASIC 6,0'da tasarlanmıştır. Örnek geometrik parçalar olarak daire, üçgen, kare ve dikdörtgen referans alınmıştır. Parça tanıma sistemi arayüzü tasarımında kamera “user32” kütüphanesi kullanılarak programa modül olarak eklenmiştir. Bu modül arayüz ile kamera arasındaki iletişimi kurmak için kullanılmıştır. Tasarlanan arayüze tanıtılan kamera ile görüntü alınabilmektedir. Alınan görüntünün anlamlı bir şekle dönüşmesi için ön işlemler yapılması gereklidir.

4.1. PARÇA TANIMA

Adım 1: Konveyör üzerindeki hareketli paletlerde bulunan geometrik parçalar sensörün algılama alanına girdiği zaman konveyör durmaktadır. Kamera duran paletin üzerindeki geometrik parçanın resmini yakalar. Alınan resmin çözünürlüğü 160x120 pikseldir (Şekil 4.1a). Sonra alınan resim 81x83 piksel boyutlarında kırpılır (Şekil 4.1b). RGB normunda olan kırpılan resim gri seviye ye çevrilir (Şekil 4.1c).



Şekil 4.1. Ön işlemler a) alınan resim, b) kırılan resim, c) gri seviye ve d) otomatik eşikleme.

Adım 2: Otomatik eşikleme için Otsu metodu kullanılarak gri seviyeli resim ikili resime çevrilmiştir (Şekil 4.1d).

Adım 3: Farklı parçaların geometrik şekillerinin çıkarılması için alan, çevre, kompaktlık, uzama, dikdörtgensellik ve dairesellik gibi özelliklerinin tanımlanması gerekmektedir. İkili resmi g olarak varsayarsak, burada $g(m,n)=1$ geometrik şeklin pikselleri, $g(m,n)=0$ ise arka plan pikselleri olarak tanımlanır. Geometrik şeklin alanı (A) ikili resimdeki $g(m,n)=1$ değerlerin toplamına eşittir (Pratt, 2007). Alan formülü Eşitlik 4.1’de verilmiştir.

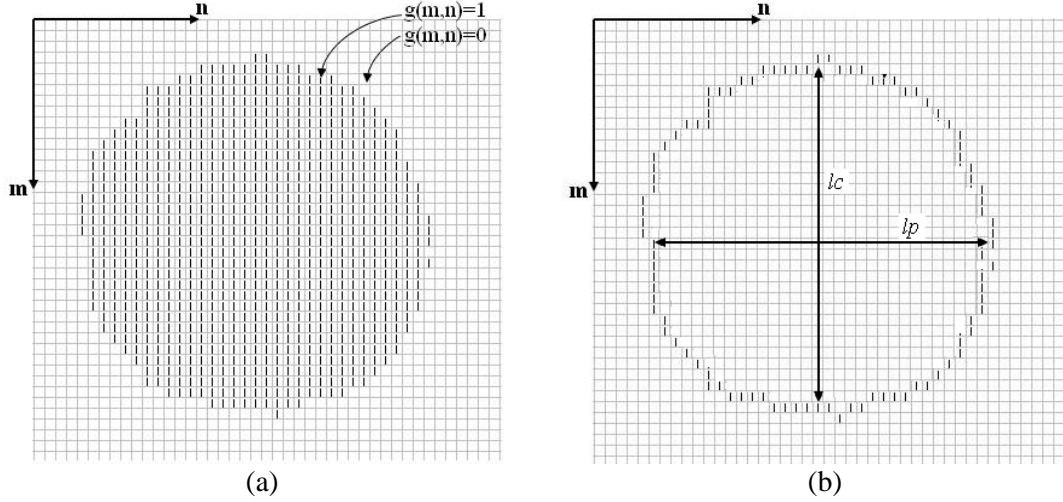
$$A = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n g(m, n) \quad (4.1)$$

Eşitlik 4.1’de m ve n ikili resmin yükseklik ve genişliğini ifade etmektedir. $g(m,n)$ ikili resmin piksel değeridir (Şekil 4.2a). Geometrik şeklin çevresi (P_c) herhangi bir sınır pikselinden itibaren başlayıp geometrik şeklin kenar piksellerinin etrafında dönerek tekrardan bu sınır pikseline gelinceye kadarki piksellerin toplamıdır (Pratt, 2007), (Şekil 4.2b). Kompaktlık (C_k), geometrik şeklin konturlarının karmaşıklığını değerlendirmek için kullanılan bir şekil tanımlayıcısıdır.

Kompaktlığın minimum değerine sahip olan çoğu kompakt alan bir dairedir ve kompaktlığı 4π eşittir. Bu değer yaklaşık 12,56’dır (Selver vd. 2011). Kompaktlık formülü Eşitlik 4.2’de verilmiştir.

$$C_k = \frac{P_c^2}{A} \quad (4.2)$$

Burada P_c çevre, A geometrik şeklin alanıdır.



Şekil 4.2. İki resim a) geometrik şeklin alanı ve b) çevresi, l_c ve l_p .

Geometrik şeklin sınırlarındaki iki pikseli bağlayan çizgi kiriş olarak ifade edilmektedir. Birçok geometrik şekil için en uzun kiriş uzunluğu bize geometrik şeklin özelliği hakkında bilgi vermektedir. Eğer (n_1, m_1) ve (n_2, m_2) sınır pikselleri arasında kiriş uzunluğuna bakılırsa bu l_c olarak tanımlanır ve Eşitlik 4.3'de gibi ifade edilir.

$$l_c = \sqrt{(m_2 - m_1)^2 + (n_2 - n_1)^2}. \quad (4.3)$$

En uzun kiriş iki sınır pikselin tüm olası kombinasyonlarını inceleyerek ve mesafeleri karşılaştırarak bulunabilir. En uzun kirişe dik olan maksimum uzunluk l_p bize ek olarak şekil bilgisini vermektedir. Bir geometrik şekilde uzama, l_c/l_p en uzun kirişin en uzun dik kirişe oranı ile bulunmaktadır (Selver vd. 2011), (Şekil 4.2b). Geometrik şeklin minimum sınırlayıcı çerçeve alanı (A_{\min}), geometrik şekle temas eden kenarlardan meydana gelen bir dikdörtgen olduğundan, $l_c l_p$ ile hesaplanabilir. Bir geometrik şeklin dikdörtgenliği (R_d), geometrik şeklin alanının minimum sınırlayıcı çerçeve alanına oranı A/A_{\min} ile tanımlanır. Bu oran 1 ise geometrik şekil dikdörtgen,

küçük ise diğer şekillerdir. Geometrik şeklin daireselliği (R_n) Eşitlik 4.4'de verilmiştir (Costa ve Junior, 2000).

$$R_n = \frac{4\pi A}{P_c^2} \quad (4.4)$$

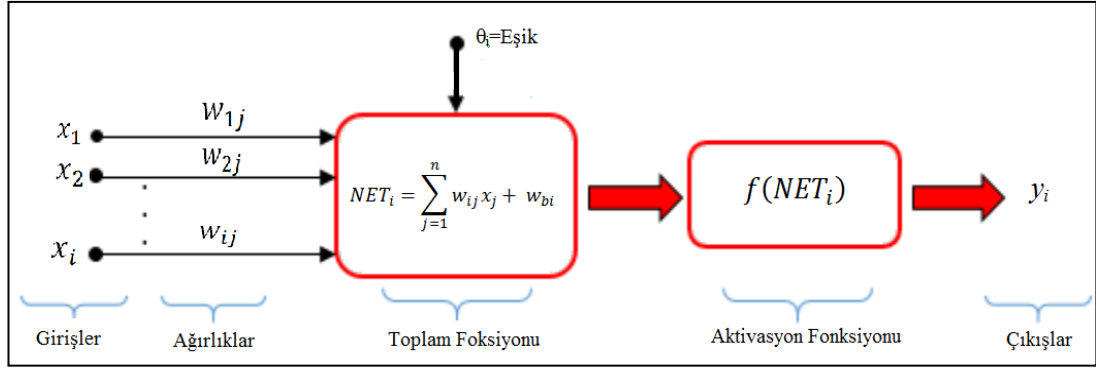
Eşitlik 4.4'de A geometrik şeklin alanı, P_c ise geometrik şeklin çevresini ifade etmektedir.

4.2. YAPAY SİNİR AĞI İLE GEOMETRİK ŞEKLİN TAHMİNİ

Parça tanıma işlemleri ile bulunan geometrik şeklin özelliklerinden (alan, çevre, kompaktlık, uzama, dikdörtgensellik ve dairesellik) matematiksel bir model çıkarılamamaktadır. Bu nedenle, görüntü işlemede yaygın olarak kullanılan yapay zekâ tekniklerinden biri olan yapay sinir ağları kullanılmaktadır. Yapay sinir ağı kullanılarak gerçekleştirilen görüntü tanıma çalışmalarında ileri beslemeli sinir ağları tercih edilmektedir (Carpenter, 1989; Egmont-Petersen vd. 2002; Demir, 2011; Pop vd. 2014; Shah vd. 2016). Bu bağlamda bu çalışmada geometrik şeklin tahmini ileri beslemeli sinir ağı ile gerçekleştirilmiştir. İleri beslemeli sinir ağının hesapsal kolaylığı ve kolay bir şekilde eğitilebilmesi büyük avantaj sağlamaktadır. İleri beslemeli sinir ağları doğrusal olmayan problemlerin çözümünde başarılı sonuçlar üretmektedir (Zurada, 1992; Akbilgiç, 2011; Shah vd. 2016).

Yapay sinir ağı biyolojik sinir yapısının davranışına paralel bir deneysel modelleme aracı olarak kullanılmaktadır (Haykin, 1999). YSA' da biyolojik bir sinir ağını taklit eden basit yapay düğümler yapay sinir hücreleri olarak adlandırılmaktadır. Basit olarak hücreler giriş, ağırlık, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıkıştan oluşmaktadır. Eşitlik 4.5'de görüldüğü gibi toplama fonksiyonu hücrenin net girişini hesaplayan bir fonksiyondur. Şekil 4.3'de İleri beslemeli yapay sinir hücresinin yapısı verilmektedir.

$$NET_i = \sum_{j=1}^n w_{ij}x_j + w_{bi} \quad (4.5)$$



Şekil 4.3. İleri beslemeli yapay sinir hücresinin yapısı.

Burada NET_i girişteki ağırlıklarının toplamıdır. Aktivasyon fonksiyonu hücreye gelen net girdiyi işleyerek hücrenin bu girdiye karşılık üreteceği çıktının belirlenmesini sağlar. Aktivasyon fonksiyonu tanımlamak için eşik fonksiyonu, adım aktivasyon fonksiyonu, sigmoid fonksiyon ve hiperbolik tanjant fonksiyonu mevcuttur. Sigmoid fonksiyon transfer fonksiyonu hesaplamak için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu fonksiyon net girdinin her değeri için 0 ile 1 arasında değer üretir. Bu çalışmada, doğrusal olmayan problemi çözmek amacıyla YSA modeli olarak lojistik sigmoid fonksiyonu kullanılmış ve Eşitlik 4.6'da formüle edilmiştir.

$$f(NET_i) = \frac{1}{1 + e^{-NET_i}} \quad (4.6)$$

YSA farklı öğrenme algoritmaları kullanır. Deneysel verilere yakın çıkış değerleri elde etmek için en iyi öğrenme algoritması ve ağ yapısının seçilmesi gereklidir. Levenberg–Marquardt (LM) algoritması hızlı, kararlı bir şekilde yakınsamakta ve küçük ve orta ölçekli problemlerinin eğitilmesinde kullanılmaktadır (Levenberg, 1944; Marquardt, 1963). LM algoritması temel olarak maksimum komşuluk üzerine kurulmuş en az kareler hesaplama metodudur. Bu algoritma Gauss-Newton ve gradient-descent algoritmalarının en iyi özelliklerinden oluşur ve bu iki metodun kısıtlamalarını kaldırır. Genel olarak bu metot yavaş yakınsama probleminden etkilenmez. Gauss-Newton algoritmasının kombinasyonu olan Levenberg-Marquart algoritması optimizasyon problemlerinde eğimli düşüş algoritmasına göre (gradient descent) daha etkindir ve daha hızlıdır. Bu amaçla, LM algoritması ağ mimarisini ve

öğrenme algoritmasını belirlemek için kullanıldı (Hagan ve Menhaj, 1994; Vas, 1999; Aşkın vd. 2011).

İleri beslemeli sinir ağında kullanılacak gizli katman sayısı ve her gizli katmandaki kaç nöron olacağı probleme göre farklılık göstermektedir. Gizli katmandaki nöron sayısı çözüm aranan probleme, veri miktarına ve tasarımda kullanılan ağ modeline bağlı olarak değişmektedir (Akbiğiç, 2011). İleri beslemeli sinir ağı tasarımında birden fazla gizli katman kullanmak iyi sonuçlar vermemektedir. Ancak öğrenme süresinin çok uzun olması durumunda gizli katman sayısı artırılmalıdır. Üç Katmanlı ileri beslemeli bir sinir ağında m çıkış nöron sayısı, n giriş nöron sayısı ise Gizli Katmandaki Nöron Sayısı (GKNS) Eşitlik 4.7’de verilmektedir.

$$GKNS = \sqrt{mn} \quad (4.7)$$

Eğer gizli katman sayısı iki ise Birinci Gizli Katmandaki Nöron Sayısı (GKNS1) Eşitlik 4.8’de verilmektedir. İkinci Gizli Katmandaki Nöron Sayısı (GKNS2) ise Eşitlik 4.9’da verilmektedir.

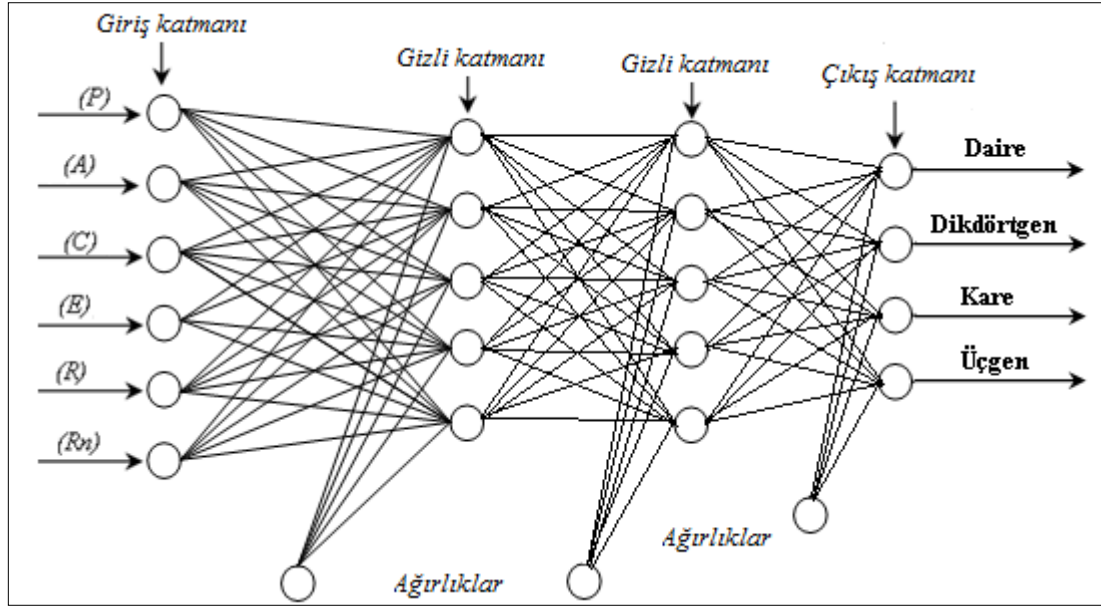
$$GKNS1=mr^2 \quad (4.8)$$

$$GKNS2=mr \quad (4.9)$$

Buradaki r değeri Eşitlik 4.10’da verilmektedir (Masters, 1993; Demir, 2011).

$$r = \sqrt[3]{n/m} \quad (4.10)$$

Bu çalışmada, ağın öğrenme süresini azaltmak için katman sayısı 2 ve gizli katmandaki nöron sayıları ise Eşitlik 4.8 ve 4.9 göre bulunmaktadır. Ağ altı giriş parametresine sahiptir. Bunlar çevre (P), alan (A), kompaktlık (C), uzama (E), dikdörtgensellik (R_d) ve dairesellik (R_n)’tir. Ağ, 10^{-5} hata oranı ile deneme-yanılma yoluyla çalıştırılarak en uygun öğrenme oranını 0,05 ve momentum katsayısını ise 0,9 olarak belirlenmiştir. En iyi ağ yapısı 6-5-5-4 olarak bulundu. Sekil 4.4’de ileri beslemeli sinir ağının yapısı verilmektedir.

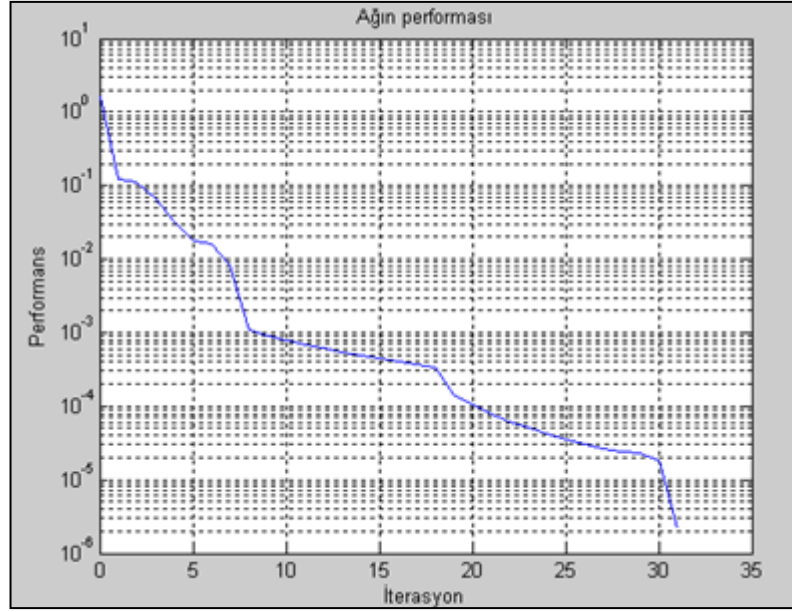


Şekil 4.4. İleri beslemeli sinir ağının yapısı.

YSA için eğitim ve test verileri hazırlanarak 16 test verisi, 48 tane ise eğitim verisi deneysel veriler içinden seçildi. En iyi tahminleri elde etmek için giriş ve çıkış değerleri 0 ile 1 arasında normalize edilmiştir. Çevre, alan, kompaktlık, uzama, dikdörtgensellik, dairesellik ve geometrik şekil sırası ile 200, 2000, 20, 5, 2, 2 ve 5 ile bölünerek normalizasyonları yapıldı. 48 adet geometrik şekil için elde edilen veri setiyle ağın eğitiminin ardından, eğitim verileri için ağın başarımları %96 olarak belirlenmiştir. Ağın eğitiminde kullanılmayan 16 adet veri seti test amaçlı kullanılarak %99 başarıyla tahmin etmiştir. Çizelge 4.1’ de YSA’nın sonuçları verilmektedir. Ağın performans grafiği Şekil 4.5’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. Geometrik şekillerin istatistiksel değerleri.

Öğrenme algoritması	Hücre sayısı	Eğitim verisi		Test verisi	
		MSE	MAPE	MSE	MAPE
LM	6-5-5-4	$9,3 \times 10^{-3}$	1,145	$8,4 \times 10^{-5}$	0,2



Şekil 4.5. Ağın performans grafiği.

Tahmin sonuçlarının doğruluğunun ölçümünde, MSE (Hata Kareleri Ortalaması), ve MAPE (Mutlak Hata Oranları Ortalaması) tekniklerini kullanılmıştır. MSE, MAPE Eşitlik 4.11 ve 4.12’de formüle edilmiştir (Cho 2003; De Lurgio 1998).

$$MSE = \left(\frac{1}{p}\right) \sum_j |t_j - o_j|^2 \quad (4.11)$$

$$MAPE(\%) = \frac{\sum_j (|(t_j - o_j)/t_j|) \times 100}{p} \quad (4.12)$$

Eşitlik 4.11’de t hedef değeri, o çıkış değeri ve p veri sayısıdır. Modelden elde edilen test tahmin değerleri ile gerçek değerler üzerinde yapılan ölçümlerde, MSE=8,4x10⁻⁵, MAPE=%0,8003 bulunmuştur. Elde edilen düşük MSE ve MAPE değerleri, gerçek veriler ile yapay sinir ağı modelinden elde edilen tahmin sonuçları arasındaki sapmaların çok küçük olduğunu görülmektedir. Witt ve Witt, MAPE değerleri % 10’un altında olan tahmin modellerini “yüksek doğruluk” derecesine sahip, % 10 ile % 20 arasında olan modelleri ise doğru tahminler olarak sınıflandırmıştır (Witt ve Witt, 1992). Benzer şekilde (Lewis, 1982), MAPE değeri %10’un altında olan modelleri “çok iyi”, % 10 ile % 20 arasında olan modelleri “iyi” olarak sınıflandırmıştır.

Geometrik şekillerin (GS) tahmini için Matlab yazılımı kullanılmıştır (EK B). YSA çevre, alan, kompaktlık, uzama, dikdörtgensellik, dairesellik giriş katmanı olarak kullanılırken geometrik şekiller (daire, kare, dikdörtgen ve üçgen) çıkış katmanı olarak kullanıldı. Doğru sonuçları elde etmek için 5-5 çift katman kullanıldı. Geometrik şekillerin tahmini için altı giriş parametresinin etki eden faktör arasında olduğu gösterilmektedir. Çizelge 4.2’de giriş katmanı ile 1.gizli katman arasındaki ağırlık ve eşik değerleri verilmektedir. Çizelge 4.3’de 1.gizli katman ile 2.gizli katman arasındaki ağırlık ve eşik değerleri verilmektedir. Çizelge 4.4’de 2.gizli katman ile çıkış katmanı arasındaki ağırlık (w) ve eşik değerleri (θ_i) verilmektedir.

Çizelge 4.2. Giriş katmanı ile 1.gizli katman arasındaki ağırlık ve eşik değerleri.

$F_{1i} = \frac{1}{1 + e^{-(w_1x(P/200) + w_2x(A/2000) + w_3x(C/20) + w_4x(E/5) + w_5x(R/2) + w_6x(Rn/2) + \theta_i)}}$							
i	w ₁	w ₂	w ₃	w ₄	w ₅	w ₆	θ_i
1	7,2571	10,5982	10,3396	-6,1192	7,9464	6,1336	-24,3775
2	-14,8108	-2,5471	-3,5610	12,5577	-27,2277	-9,9201	20,6075
3	6,6815	-8,4694	4,6256	-35,4437	-23,4432	10,010	11,2627
4	9,9325	10,1634	-4,0807	1,4980	-43,1248	1,6395	10,2033
5	4,2409	-15,0402	5,5308	12,3720	-7,81293	5,3668	-1,4235

Çizelge 4.3. 1.gizli katman ile 2. gizli katman arasındaki ağırlık ve eşik değerleri.

$F_{2i} = \frac{1}{1 + e^{-(w_1x(F_{11}) + w_2x(F_{12}) + w_3x(F_{13}) + w_4x(F_{14}) + w_5x(F_{15}) + \theta_i)}}$						
i	w ₁	w ₂	w ₃	w ₄	w ₅	θ_i
1	-3,1443	4,4959	4,4005	3,2895	1,0593	-3,2243
2	-1,9612	-2,6634	-2,0822	-8,6432	-7,3238	6,7945
3	2,5084	-23,2683	-25,5902	-13,5179	4,3374	11,6067
4	2,2080	17,9521	-23,6904	7,6484	11,9211	2,3003
5	-5,3579	19,5486	-18,6361	8,5605	-3,7620	-7,3899

Çizelge 4.4. 2. gizli ile çıkış katmanları arasındaki ağırlık ve eşik değerleri.

	$F_{3i} = w_1x(F_{21}) + w_2x(F_{22}) + w_3x(F_{23}) + w_4x(F_{24}) + w_5x(F_{25}) + \theta_i$					
i	w ₁	w ₂	w ₃	w ₄	w ₅	θ _i
1	-2×10^{-4}	-2×10^{-4}	-3×10^{-4}	-0,9994	-1×10^{-4}	0,9996
2	0,0156	$7,9 \times 10^{-3}$	1,0120	-2×10^{-4}	-6×10^{-4}	-0,0153
3	-0,0151	$-7,8 \times 10^{-3}$	-1,0115	0,9993	-0,9999	0,0154
4	-3×10^{-4}	-1×10^{-4}	-3×10^{-4}	-1×10^{-4}	1,0003	3×10^{-4}

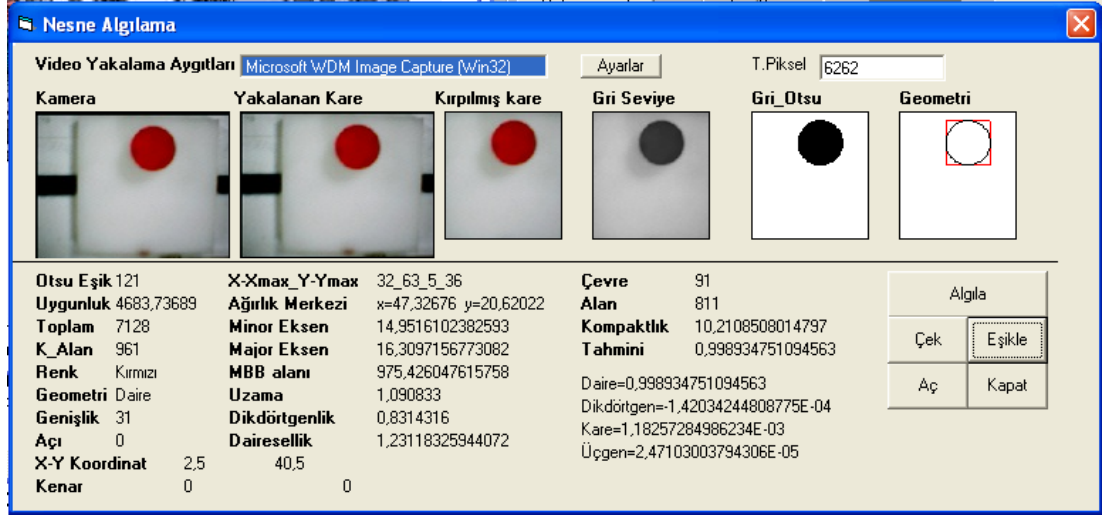
Çizelge 4.4’ de verilen F_{3i} eşitliği ağırlık çıkış katmanındaki geometrik şekilleri (daire, dikdörtgen, kare ve üçgen) için bir matris oluşturmaktadır (Eşitlik 4.9). Bu matris içindeki satırlardan 1’e yakın olan değer geometrik şekli ifade etmektedir.

$$GS = \begin{bmatrix} F_{31} \\ F_{32} \\ F_{33} \\ F_{34} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Daire} \\ \text{Dikdörtgen} \\ \text{Kare} \\ \text{Üçgen} \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

LM öğrenme algoritması, geometrik şekillerin hem test ve hem de eğitim setlerinin tahmin performansları için memnun edici bir doğrulukta olduğunu göstermiştir. Yapay Sinir Ağı ile bulunan Eşitlik 4,9 ile geometrik şeklin tahmini yapılmaktadır.

4.3. PARÇA TANIMA SİSTEMİNİN ARAYÜZÜ

Parça tanıma sistemi için tasarlanan arayüze tanıtılan kamera ile görüntü alınabilmektedir. Alınan görüntünün anlamlı bir şekle dönüşmesi için ön işlemler yapılmış ve parçaların geometrik şekilleri YSA ile eğitilerek tahmin edilmektedir. YSA çevrimdışı olarak arayüzü entegre edilerek çalışması sağlanmıştır. Şekil 4.6’da parça tanıma sistemi için tasarlanan arayüz gösterilmektedir.

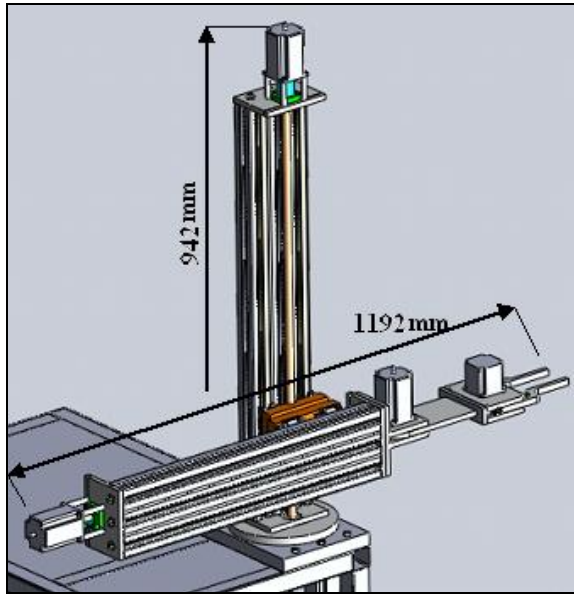


Şekil 4.6. Parça tanıma sistemi için tasarlanan arayüz.

BÖLÜM 5

4-SERBESTLİK DERECELİ ROBOT MEKANİZMASI PROTOTİPİ VE PERFORMANSI

Bu bölümde, esnek üretim sisteminde nesnelerin taşınması için gerekli olan robotik sisteminin tasarımı, kontrolü ve yazılımı gerçekleştirilmiştir. Malzeme taşıma sistemi için 4 serbestlik dereceli bir robot mekanizması gerçekleştirilmiştir. Malzeme taşıma sisteminde kullanılan robotlar, bir konveyörden ya da bir noktadan bir başka noktaya malzeme taşımak için programlanmış çok fonksiyonlu manipülatörler olup bu çalışmada gerçekleştirilen seri robot mekanizması, esnek üretim sisteminde nesnelerin algılanması ve tanımlanan nesnelerin robot ile tutularak depolanmasını amaçlayan bir sistemin parçasıdır. Gerçekleştirilen robot mekanizması içinde yer aldığı sistemin gerektirdiği al ve yerleştir işlemlerinin yapabilmesi amacıyla silindirik bir çalışma uzayına sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Şekil 5.1’de tasarlanan 4 SD’li robot mekanizmasının katı modeli ve prototipi gösterilmektedir.



(a)

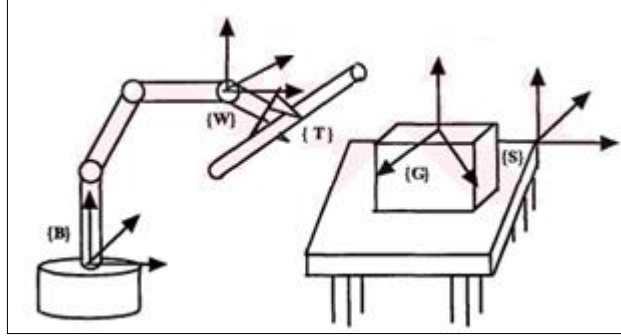


(b)

Şekil 5.1. Tasarlanan 4 SD’li robot a) katı modeli ve b) prototipi.

5.1. ROBOTUN İLERİ YÖN KİNEMATİĞİ

İleri yön kinematığı, robot bağlarının konumları arasındaki ilişkiyle ilgilenir. Bir robot ana çerçevesinden araç çerçevesine doğru birbirine prizmatik veya dönel eklemlerle tutturulmuş seri bağlardan oluşur. İki bağ arasındaki ilişki bir homojen dönüşüm matrisiyle açıklanır. Eklem dönüşüm matrislerinin art arda çarpılmasıyla, ana çerçeveye araç çerçevesi arasındaki ilişki tanımlanır (Şekil 5.2). Bu ilişki araç çerçevesinin yönelimini ve konumu ana çerçeveye göre verir. İleri kinematik denklemler, eklem değişkenlerinin verilmesiyle uç işlevcinin konumunu ve yönelimi ana çerçeveye göre hesaplar (Craig, 2005; Bingöl ve Küçük, 2009).

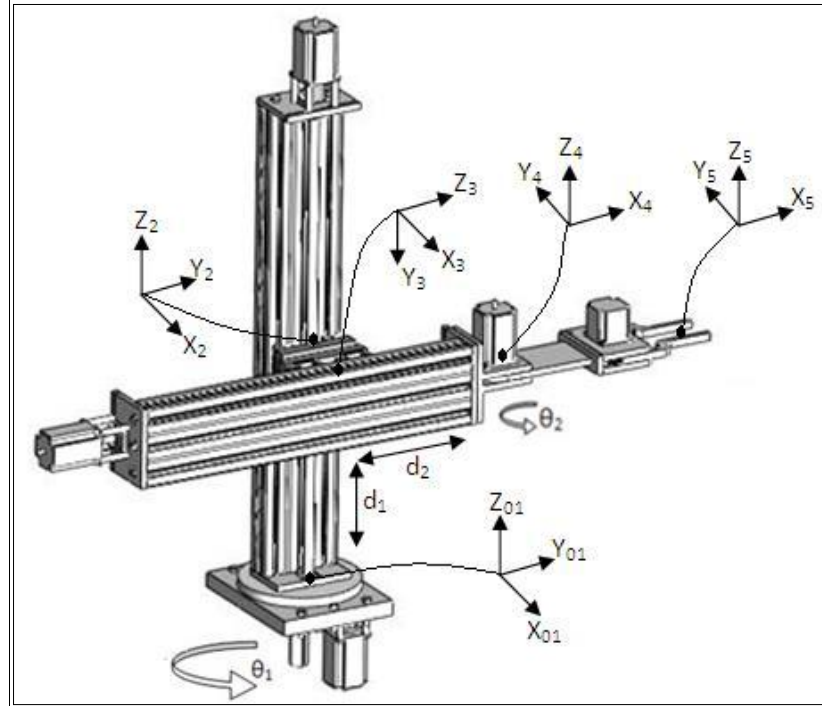


Şekil 5.2. Robot ve çalışma alanı.

Şekil 5.2’de B ana çerçeveyi yani robotun hareket etmeyen parçasını, S_i istasyon çerçevesi, W bilek çerçevesi, T araç çerçevesi, G hedef çerçeveyi ifade etmektedir.

Robotların uzayda kinematik modelini çıkartmak için farklı yöntemler uygulanmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları Denavit-Hartenberg, Üstel yöntem, Sıfır referans konum yöntemi, Pieper-Roth yöntemleridir. Bu yöntemlerden çoğunlukla Denavit-Hartenberg yöntemi kullanılmaktadır. Bu çalışmada Denavit-Hartenberg yönteminde olduğu gibi dört ana değişken kullanılarak robot kinematığı çıkarılır. Bu değişkenler, iki eksen arasındaki bağ uzunluğu a_{i-1} , (i-1) ile i arasındaki bağ açısı α_{i-1} , üst üste çakışan bağlar arasındaki eklem kaçıklığı d_i ve iki bağ arasında oluşan eklem açısı θ_i ’dir. Bu dört değişkene DH değişkeni olarak ifade edilir (Craig, 2005; Bingöl ve Küçük, 2009).

Şekil 5.3’de görüldüğü gibi robot mekanizması 2 dönel ve 2 prizmatik eklemden oluşmuştur. Bu nedenle 4-SD’ne sahiptir. Uç işlevcide yer alan tutucu aparat SD hesabı dışında tutulmuştur. Mekanizmanın eklem yapısı RPPR (R:Dönel eklem, P:Prizmatik eklem) şeklindedir. Şekilde θ_1 , θ_2 ve d_1 , d_2 sırasıyla birinci ve dördüncü dönel eklemler ile ikinci ve üçüncü prizmatik eklem değişkenleridir. Şekil 5.3’de robota ait koordinat sisteminden faydalanarak DH değişkenleri, Çizelge 5.1’deki gibi elde edilir.



Şekil 5.3. Koordinat sistemlerinin yerleştirilmesi.

Çizelge 5.1’deki α_{i-1} ve a_{i-1} robotun hareket etmesiyle değişmeyen sabit parametrelerdir. d_i ve θ_i ise robotun hareketiyle değişen parametrelerdir.

Çizelge 5.1. DH değişkenleri.

Koordinat No	D-H Değişkenler			
	a_{i-1}	α_{i-1}	d_i	θ_i
1	0	0	0	θ_1
2	0	60	d_1	0
3	-90	0	d_2+145	0
4	90	23,5	0	θ_2+90
5	0	360	0	0

Çizelge 5.1’de i eklem sırasını gösterirken, uzunluklar mm cinsinden, açılar ise radyan cinsinden verilmiştir. DH değişkenleri kullanılarak robot mekanizmasının ileri yönlü kinematik denklemlerinin elde edilebilmesi için aşağıda verilen genel dönüşüm (transformasyon) matrisi kullanılabilir (Craig, 2005).

$$T_{i-1}^i = \begin{bmatrix} C\theta_i & -S\theta_i & 0 & a_i \\ S\theta_i C\alpha_i & C\alpha_i C\theta_i & -S\alpha_i & -d_i S\alpha_i \\ S\theta_i S\alpha_i & S\theta_i S\alpha_i & C\alpha_i & d_i C\alpha_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

Eşitlik 5.1’deki C kosinüs, S sinüsü ifade etmektedir. DH parametreleri sırasıyla Eşitlik 5.1’de verilen dönüşüm matrisinde yerine konulursa mekanizmanın her bir eklemi için gerekli ileri yön dönüşüm matrisleri aşağıdaki gibi elde edilir (Ayyıldız ve Çetinkaya, 2015; Ayyıldız ve Çetinkaya, 2014).

1.Eklem için (i=1), $T_{i-1}^i = T_0^1$,

$$T_0^1 = \begin{bmatrix} C\theta_1 & -S\theta_1 & 0 & a_1 \\ S\theta_1 C\alpha_1 & C\alpha_1 C\theta_1 & -S\alpha_1 & -d_1 S\alpha_1 \\ S\theta_1 S\alpha_1 & S\theta_1 S\alpha_1 & C\alpha_1 & d_1 C\alpha_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C\theta_1 & -S\theta_1 & 0 & 0 \\ S\theta_1 & C\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

2.Eklem için (i=2), $T_{i-1}^i = T_1^2$,

$$T_1^2 = \begin{bmatrix} C\theta_i & -S\theta_i & 0 & a_i \\ S\theta_i C\alpha_i & C\alpha_i C\theta_i & -S\alpha_i & -d_i S\alpha_i \\ S\theta_i S\alpha_i & S\theta_i S\alpha_i & C\alpha_i & d_i C\alpha_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 60 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.3)$$

3.Eklem için (i=3), $T_{i-1}^i = T_2^3$,

$$T_2^3 = \begin{bmatrix} C\theta_i & -S\theta_i & 0 & a_i \\ S\theta_i C\alpha_i & C\alpha_i C\theta_i & -S\alpha_i & -d_i S\alpha_i \\ S\theta_i S\alpha_i & S\theta_i S\alpha_i & C\alpha_i & d_i C\alpha_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 145+d_2 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

4.Eklem için (i=4), $T_{i-1}^i = T_3^4$,

$$T_3^4 = \begin{bmatrix} C\theta_i & -S\theta_i & 0 & a_i \\ S\theta_i C\alpha_i & C\alpha_i C\theta_i & -S\alpha_i & -d_i S\alpha_i \\ S\theta_i S\alpha_i & S\theta_i S\alpha_i & C\alpha_i & d_i C\alpha_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C(90+\theta_2) & -S(90+\theta_2) & 0 & 47/2 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ S(90+\theta_2) & S(90+\theta_2) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.5)$$

5.Eklem için (i=5), $T_{i-1}^i = T_4^5$,

$$T_4^5 = \begin{bmatrix} C\theta_i & -S\theta_i & 0 & a_i \\ S\theta_i C\alpha_i & C\alpha_i C\theta_i & -S\alpha_i & -d_i S\alpha_i \\ S\theta_i S\alpha_i & S\theta_i S\alpha_i & C\alpha_i & d_i C\alpha_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 360 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.6)$$

Eşitlikler (5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6)'da verilen matrislerin ileri yönlü çarpılmasıyla mekanizmanın eklem değişkenleri ($\theta_1, \theta_2, d_1, d_2$) verildiğinde uç işlevcinin 3 boyutlu uzaydaki konum ve yönelimini ifade eden ileri kinematik matrisi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$T_0^5 = \begin{bmatrix} T_{(1,1)} & T_{(1,2)} & 0 & T_{(1,4)} \\ T_{(2,1)} & T_{(2,2)} & 0 & T_{(2,4)} \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.7)$$

Eşitlik 5.7’de;

$$T_{(1,1)} = C\theta_1 C(\pi/2 + \theta_2) - S\theta_1 S(\theta_2 + \pi/2) \quad (5.8)$$

$$T_{(1,2)} = -C\theta_1 S(\theta_2 + \pi/2) - C(\theta_2 + \pi/2)S(\theta_1) \quad (5.9)$$

$$T_{(1,4)} = 360C(\theta_1)C(\theta_2 + \pi/2) - S\theta_1(145 + d_2) + (167C\theta_1)/2 - 360S\theta_1 S(\theta_2 + \pi/2) \quad (5.10)$$

$$T_{(2,1)} = C\theta_1 S(\pi/2 + \theta_2) + S\theta_1 C(\theta_2 + \pi/2) \quad (5.11)$$

$$T_{(2,2)} = C\theta_1 C(\theta_2 + \pi/2) - S(\theta_2 + \pi/2)S(\theta_1) \quad (5.12)$$

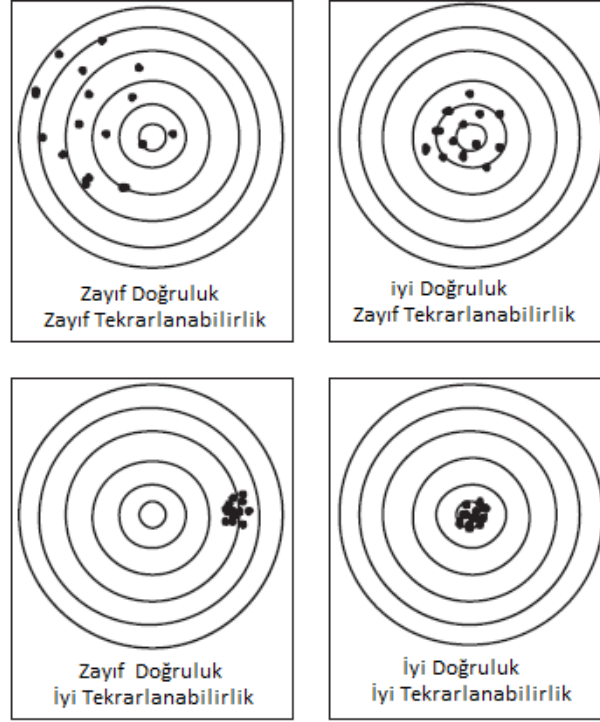
$$T_{(2,4)} = 360C(\theta_1)S(\theta_2 + \pi/2) + (167S\theta_1)/2 + 360C(\theta_2 + \pi/2)S\theta_1 + C\theta_1(145 + d_2) \quad (5.13)$$

Eşitlik 5.7’de verilen T_0^5 matrisinin ilk 3 satır ve sütununda yer alan 3x3’lük matris uç işlevcinin yönelim matrisini verirken, son sütunun ilk 3 elemanı da uç işlevcinin 3 boyutlu uzaydaki konumunu vermektedir. Eşitlik 5.14’de uç işlevcinin konumu ifade edilmektedir.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{(1,4)} \\ T_{(2,4)} \\ d_1 \end{bmatrix} \quad (5.14)$$

5.2. ROBOTUN DOĞRULUĞU VE TEKRARLANABİLİRLİĞİ

Doğruluk ve tekrarlanabilirlik robotun pozisyon performansı ile ilgili parametrelerdir. Doğruluk 3 boyutlu uzayda istenen bir pozisyona hareket etme yeteneği olarak tanımlanır. Tekrarlanabilirlik ise aynı pozisyon ve yönelime tekrarlı olarak robotun gidip gelme hareket yeteneğinin ölçümüdür. Bu parametreler Şekil 5.4’de verilmektedir (Shiakolas, 2002).



Şekil 5.4. Doğruluk ve tekrarlanabilirlik.

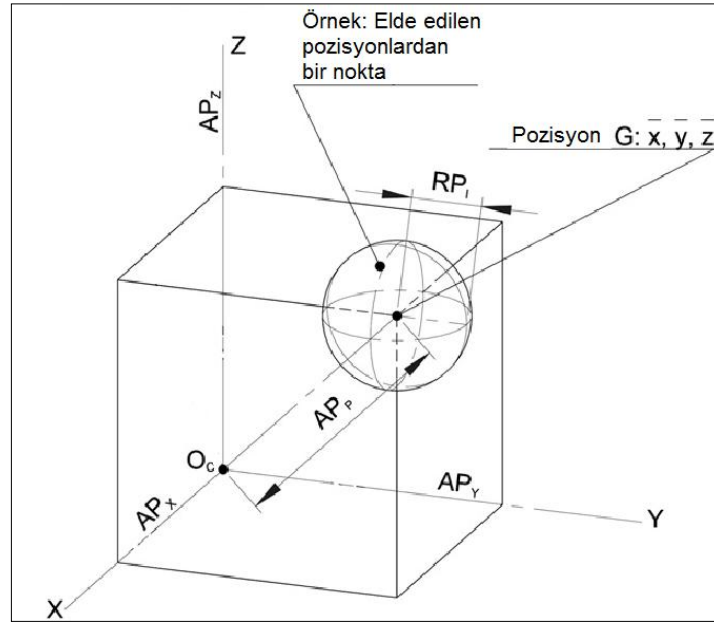
Literatürde açık çevrim metotları ile ilgili görsel sistem olarak kamera (Meng ve Zhuang, 2001), koordinat ölçüm cihazı (Driels vd. 1993; Lightcap vd. 2008) ve lazer takip sistemi (Nubiola, 2011) kullanılmaktadır. Motta vd. (2001) 3 boyutlu bir ölçüm sistemi kullanarak çevrim dışı programlama ile robotun kalibrasyon işlemini ve modelleme tekniklerini sunmuşlardır. Ölçüm sistemi ekonomik, doğru ve taşınabilir olması için robotun tutucusunu bağlanmış bir yükten bağlaşımlı aygıt olan kamera kullanmışlardır. İki farklı ölçüm parametresine göre doğruluk değerleri 0,2- 0,4 mm bulmuşlardır. Mosqueira vd. (2012) altı serbestlik dereceli bir kuka robotun EN ISO 9283 standardına göre döner-lazer ölçü aleti ile açık çevrim kontrol metodunu kullanarak ortalama doğruluğunu 4,53 mm, kapalı çevrim kontrolünü ise ortalama doğruluğu 0,38 mm bulmuşlardır.

Robot üreticileri, ürettikleri her robotun özelliklerini bir standarda göre belirlemektedir. Bu özellikler ISO 9283 standardına göre gerçekleştirilmektedir (Shiakolas, 2002). ISO 9283 göre poz doğruluğu, aynı yönde gönderilen pozlardan elde edilen ortalama poz ile gönderilen poz arasındaki sapma olarak tanımlanmaktadır (Mosqueira, 2012). Bu şu şekilde ifade edilir;

Pozisyon Doğruluğu (APP): Elde edilen pozisyonun ağırlık merkezi ile gönderilen pozun pozisyonu arasındaki farktır (Şekil 5.5).

Poz tekrarlanabilirliği ise aynı yönde gönderilen aynı pozların n tekrarlı olarak gidip gelmesi ile elde edilen pozlar arasındaki uyumun yakınlığı olarak ifade edilmektedir. Verilen bir poz için tekrarlanabilirlik ise;

Yarıçap (RP_i) : Merkezi, ağırlık merkezi olan kürenin yarıçapı olarak tanımlanmaktadır (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. Pozisyon doğruluğu ve pozisyon tekrarlanabilirliği.

5.2.1. Pozisyon Doğruluğunun Hesaplanması

Aynı pozun n defa tekrarlanmasından sonra elde edilen noktalar kümesinin ağırlık merkezinin koordinatları \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} , gönderilen pozun koordinatları x_c , y_c , z_c , elde edilen j.'nci pozun koordinatları x_j , y_j , z_j olarak kabul edilmiştir. Sonra Eşitlik 5.15'e göre pozisyon doğruluğu APP hesaplanmaktadır.

$$AP_p = \sqrt{(\bar{x} - x_c)^2 + (\bar{y} - y_c)^2 + (\bar{z} - z_c)^2} \quad (5.15)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j, \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_j, \bar{z} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n z_j \quad (5.16)$$

Eşitlik 5.16’da \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} koordinatları, n defa tekrarlanan pozun koordinatları olan x_j , y_j , z_j değerlerinin toplamının ortalaması ifade etmektedir.

5.2.2. Pozisyon Tekrarlanabilirliğinin Hesaplanması

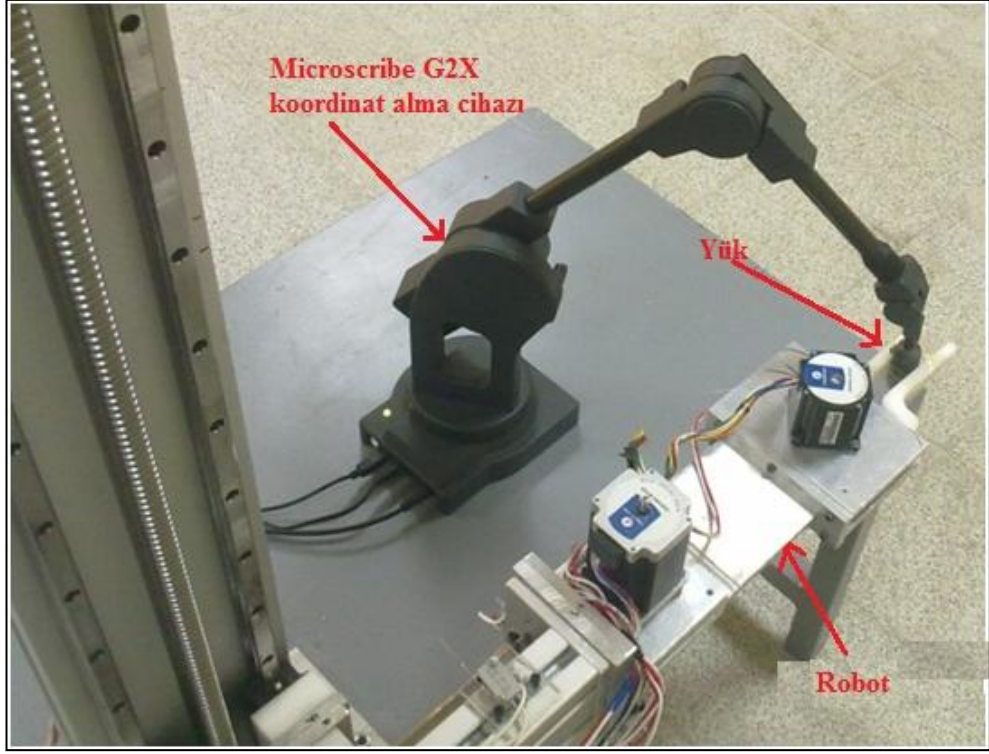
Eşitlik 5.16’da tanımlanan \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} ile x_j , y_j , z_j koordinatları kullanılarak, pozisyon tekrarlanabilirliği RP_1 Eşitlik 5.17’de hesaplanmaktadır.

$$RP_1 = \bar{l} + 3S_l \quad (5.17)$$

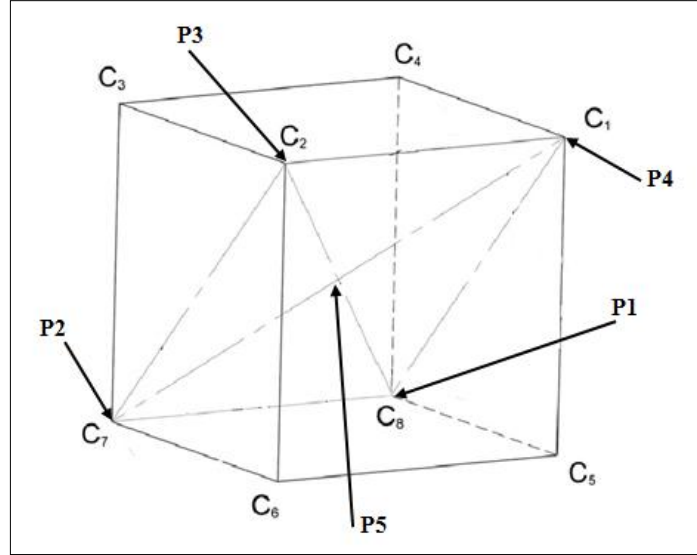
$$\bar{l} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n l_j, l_j = \sqrt{(x_j - \bar{x})^2 + (y_j - \bar{y})^2 + (z_j - \bar{z})^2}, S_l = \sqrt{\sum_{j=1}^n \frac{(l_j - \bar{l})^2}{n-1}} \quad (5.18)$$

Robotun performansını ölçebilmek için Microscribe G2X koordinat ölçme cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz 0,23 mm hassasiyetinde ölçüm yapabilmektedir (Şekil 5.6).

ISO 9283 standardına göre çalışma uzayına yerleştirilen bir küpün eğik düzlemi içinde test edilen noktaların olması gerekmektedir (Mosqueira, 2012). Küpün bir kenarı 100 mm olarak belirlenmiştir. Beş ölçüm noktası P1-P5 ölçüm düzleminin köşegenlerine yerleştirilmiştir. P5 noktası küpün merkezi ve köşegenlerin kesişimidir. P1-P4 noktaları köşegenler üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 5.7). Robot, 140 g ağırlığında yüklenmiş ve 4,3 mm/s hız ile çalıştırılmıştır.



Şekil 5.6. Microscribe G2X koordinat alma cihazı ve sisteme montajı.



Şekil 5.7. Küpün eğik ölçüm düzlemindeki P1-P5 pozları.

Belirlenen beş noktanın koordinatları Çizelge 5.2’de verilmektedir. Bu koordinatlar robotun merkez noktasına göre alınmıştır.

Çizelge 5.2. P1-P5 noktaları.

Robotun merkezi için pozlar	Pozisyon (mm)		
	X	Y	Z
P1	-605	83,5	0
P2	-605,0569	-16,5696	0
P3	-505,0085	-16,5823	100
P4	-505	83,5	100
P5	-555,0211	25,5797	50

Tüm programlanan pozlar, P1 noktasından başlayarak lineer olarak poz poz yolları takip etmektedir. Her poz işleminde koordinat ölçme aleti noktaların koordinatları bularak kaydeder. Bu işlem 30 defa tekrarlanarak devam ettirilmiştir. Çizelge 5.3’de doğruluk ve tekrarlanabilirlik değerleri verilmektedir.

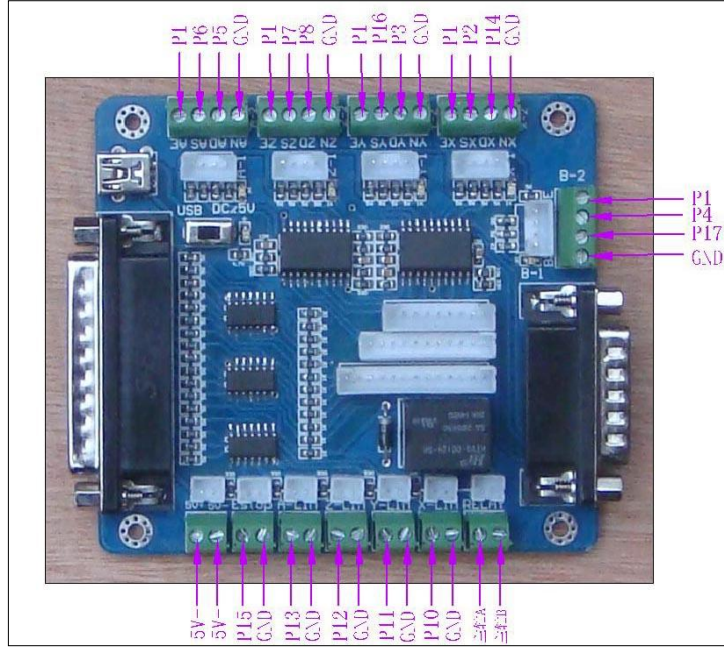
Çizelge 5.3. P1-P5 noktaları için ortalama doğruluk ve tekrarlanabilirlik.

ISO 9283 göre P1-P5 Noktaları için	Pozisyon (mm)	Tekrar sayısı
Ortalama Doğruluk	7,34	30
Ortalama Tekrarlanabilirlik	4,79	30

Çizelge 5.3’de ISO 9283 standardına göre yapılan testlerde robotun ortalama doğruluğu 7,34 mm ve ortalama tekrarlanabilirliği ise 4,79 mm bulunmaktadır. Yapılan testler açık çevrim kontrol metoduyla yapıldığı için literatürdeki çalışmalara benzerlik göstermektedir (Mosqueira, 2012).

5.3. ROBOTUN KONTROLÜ

Robot kontrolünde beş tane step motorun kontrolü için Şekil 5.8’deki paralel port arayüz kartı kullanılmaktadır. Bu kart PC ile paralel port aracılığıyla iletişime geçmektedir.



Şekil 5.8. Paralel port arayüz kartı.

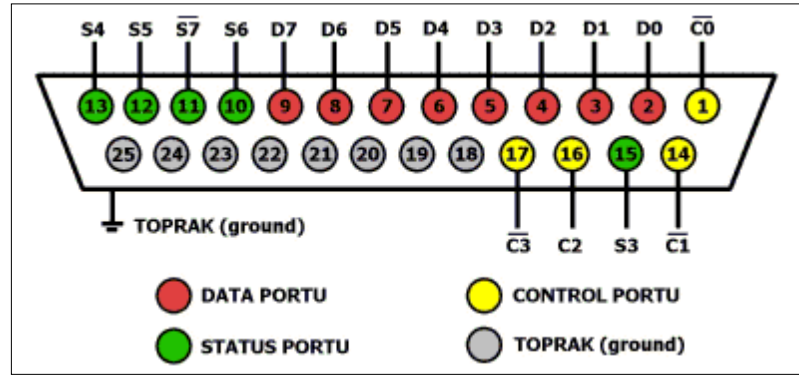
Robotun tüm eksenlerinin ve tutma eksenini ile birlikte hassasiyetleri, hızları ve güçleri Çizelge 5.4’de verilmektedir.

Çizelge 5.4. Eksenlerin hassasiyetleri, hızları ve güçleri.

Eksenler	Hassasiyet (mm)	Hassasiyet (derece)	Hız (mm/s)	Hız (rad/s)	Güç (W)
1	-	0,225	-	0,096	6,88
2	0,00625	-	11,6875	-	6,88
3	0,00625	-	11,6875	-	4,79
4	-	0,225	-	0,192	4,79
Tutma	0,0625	-	5	-	4,22
Tüm Eksenler için Sistemin hızı (mm/s)					
4,3					

Yukarıda hesaplanan robotun ileri yön kinematığından çıkan konum vektörü kullanılarak X, Y, Z koordinatları için bir veritabanı hazırlanmıştır. Bu veritabanı ile eksenlerin alabileceği değerlere göre gideceği koordinatların olasılıkları bulunmuştur. Veritabanı tasarlanan arayüze entegre edilmiştir ve koordinatları veritabanında arayarak gerekli olan eksenlerin dönme ve öteleme değerleri bulunmuştur. Bu haliyle robotun ters kinematığını hesaplamaya gerek kalmamıştır.

Paralel port, 8 bit veri aktarabilen, 25 pinden oluşmaktadır. Veri aktarımı “Data Portu” (2–9 numaralı pinler) üzerinden gerçekleştirilir. Data portu üzerindeki bu 8 pinin değeri özel bir durum olmadığı sürece “0”dır. Bu pinlerden arzu edilenler “1” durumuna getirilerek istenilen veri elde edilebilir. Paralel port üzerinde bir pinin “1” olması, o pinin üzerinde +5 V’luk bir gerilim düşümü oluşmaktadır. Paralel port üzerinde “Data Portu”na ilave olarak “Status” ve “Control” portları da bulunmaktadır. Data, Status ve Control Portlarının dışındaki 18–25 numaralı pinler ise toprak pinleridir (Gadre, 1998; Kaygısız, 2010). Şekil 5.9’da paralel portun yapısı gösterilmiştir.



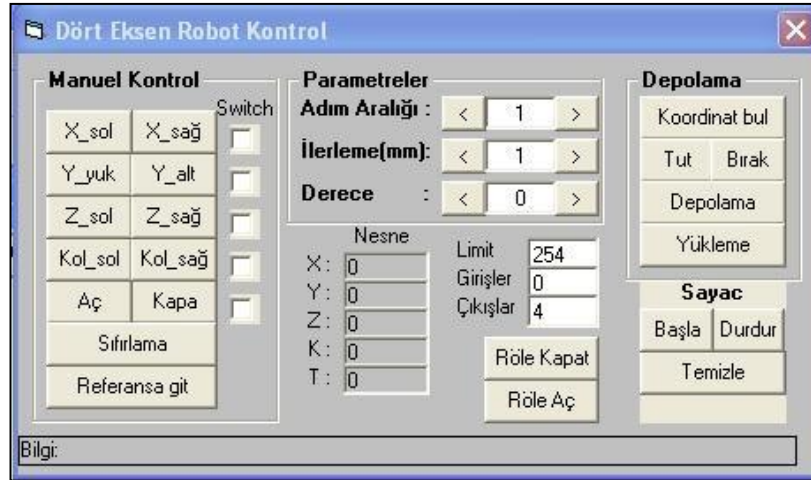
Şekil 5.9. Paralel portun yapısı.

Adım motoru sürücü kartlarının, adım motorlarını istenilen açı ve yönde sürebilmesi ve gerektiği hallerde manüel etkin kılabilmesi için, belirli kontrol sinyallerine ihtiyacı vardır. Bu sinyaller lojik “1” veya “0” şeklindedirler. Ancak gerilim değerleri olarak “+5V” ve “0V” mertebesindedirler. Bu sinyaller (Gadre, 1198; Kaygısız, 2010); Saat darbesi, adım motoru sürücüsü, bu girişe uygulanan her bir sinyal darbesinde adım motorunu bir adım döndürmektedir. Yön, adım motoru sürücüsü, her bir saat darbesinde, motoru bu girişe uygulanan sinyal yönünde göre döndürmektedir (“1” saat yönünde, “0” sıfır saatin tersi yönde).

Çizelge 5.5’de robotu kontrol etmek için kullanılan paralel port arayüz kartının paralel port pin numaraları verilmektedir. Şekil 5.10’da robotu kontrol etmek için geliştirilen arayüz gösterilmektedir.

Çizelge 5.5. LPT arayüz kartının paralel port pin numaraları.

Pin No	Çıkış	Giriş
1	Enabled	-
2	X step	-
3	Y dir	-
4	B step	-
5	A dir	-
6	A step	-
7	Z step	-
8	Z dir	-
9	Spindle motor	-
10	-	X limit anahtar
11	-	Y limit anahtar
12	-	Z limit anahtar
13	-	A limit anahtar
14	X dir	-
15	-	Stop
16	Y step	-
17	B dir	-



Şekil 5.10. Robotu kontrol etmek için geliştirilen arayüz.

BÖLÜM 6

MALİYETİN HESAPLANMASI

Kurulan esnek üretim sisteminde zeki yükleme ve depolama otomasyonu için sürükleyen zincir paletli konveyör, 4 SD'li seri robot ve parça tanıma sisteminden oluşmaktadır. Şekil 6.1'de esnek üretim sisteminin prototipi verilmektedir.



Şekil 6.1. Esnek üretim sisteminin prototipi.

6.1. KONVEYÖRÜN MALİYET HESABI

Sürükleyen zincir paletli konveyör, mekanik kısımlar, palet, tahrik motoru, redüktör, invertör ve kontrol kartından oluşmaktadır. Çizelge 6.1'de konveyör için hesaplanan maliyet verilmektedir.

Çizelge 6.1. Konveyörün maliyet hesabı.

No	Malzemenin Adı	Miktarı	Birim Fiyatı (TL)	Maliyet Fiyatı (TL)	Açıklama
1	0,12 Kw AC Motor + 1/25 Redüktör + 2,2 kW İvertör	1 adet	922	922	09.10.2012 tarihli fiyatlara göre hesaplanmıştır.
2	PIC USB Kontrol devresi	1 adet	100	100	
3	Zincir dişli 5/8x1x20	4 adet	9	36	
4	Pimli zincir 5/8x1	3 metre	17	51	
5	Konveyör mekanik aksamı	8 metre	8	64	
Toplam Maliyet (TL)				1173	

6.2. ROBOTUN MALİYET HESABI

Robot, mekanik kısımlar, step motorlar, step motor sürücüleri, kontrol kartı, pano ve güç kaynaklarından oluşmaktadır. Çizelge 6.2’de robot için hesaplanan maliyet verilmektedir.

Çizelge 6.2. Robotun maliyet hesabı.

No	Malzemenin Adı	Miktarı	Birim Fiyatı (TL)	Maliyet Fiyatı (TL)	Açıklama
1	R1605 SFUD Somun	2 adet	45	90	Robot ekseninin hareket mekanizmasını oluşturmak için kullanılmıştır. 12.07.2012 tarihli fiyatlara göre hesaplanmıştır.
2	R1605 Vidalı Mil	2 metre	61	122	
3	SS15*Ray	3,2 metre	89,06	284,99	
4	FL 15 CA Araba	8 adet	40	320	
5	WBF 12 Uç Yataklama (FF 12)	2 adet	28,5	57	
6	WBK 12 Uç Yataklama (FK 12)	2 adet	65	130	
7	EKL 10 Kaplin (D:32 L:32)	2 adet	38	76	
8	57 HS 30 (3 N.m)Step Motor	4 adet	130	520	
9	57 HS 09 (1,3 N.m)Step Motor	1 adet	70	70	
10	M542 Sürücü	5 adet	105	525	
11	BSG 16 H Somun Gövdesi	2 adet	32	64	
12	Lpt Arayüz	1 adet	182,25	182,25	Robotun mekanik ve kontrolü için kullanılmıştır. 09.10.2012 tarihli fiyatlara göre hesaplanmıştır.
13	48V-10A Güç Kaynağı	1 adet	182,25	182,25	
14	Sigma Profil	2 metre	90	180	
15	Pano	1 adet	180	180	
16	Limit anahtarı	8 adet	1	8	
17	Döner sinyal lambası	1 adet	52	52	
18	Alüminyum levha	7 kg	9	63	
19	Rulman ve yataklar	3 adet	10	30	
20	Robot mekanik aksamı	1 adet	120	120	
21	Depolama ve yükleme rafları	1 adet	100	100	
Toplam Maliyet (TL)				3356,49	

6.3. PARÇA TANIMA SİSTEMİNİN MALİYET HESABI

Parça tanıma sistemi, kamera, aydınlatma, limit sensör ve güç kaynağından oluşmaktadır. Çizelge 6.3'de parça tanıma sistemi için hesaplanan maliyet verilmektedir.

Çizelge 6.3. Parça tanıma sisteminin maliyet hesabı.

No	Malzemenin Adı	Miktarı	Birim Fiyatı (TL)	Maliyet Fiyatı (TL)	Açıklama
1	Kamera	1 adet	20	20	09.10.2012 tarihli fiyatlara göre hesaplanmıştır.
2	Aydınlatma	1 adet	20	20	
3	Limit sensör	3 adet	37	111	
4	Güç kaynağı	1 adet	40	40	
Toplam Maliyet (TL)				191	

6.4. TOPLAM MALİYET HESABI

Toplam maliyet hesabı, sürükleyen zincir paletli konveyör, robot, parça tanıma sistemi ve işçilikten oluşmaktadır. Çizelge 6.4’de toplam maliyet hesabı verilmektedir.

Çizelge 6.4. Toplam maliyet hesabı.

No	Malzemenin Adı	Miktarı	Birim Fiyatı (TL)	Maliyet Fiyatı (TL)	Açıklama
1	Konveyör	1 adet	1173	1173	*İşçilik Düzce ve Karabük Üniversitesi laboratuvar ve atölye imkânlarından yararlanılmıştır.
2	Robot	1 adet	3256,49	3356,49	
3	Parça tanıma sistemi	1 adet	191	191	
4	İşçilik	*	*	*	
Toplam Maliyet (TL)				4720,49	
Toplam Maliyet (TL)+ KDV				5570,18	

Esnek üretim sisteminde zeki yükleme ve depolama otomasyonu için geliştirilen sistemin toplam parça maliyeti 5570,18 TL’dir. Bu yönüyle bakıldığında düşük maliyetli ve ekonomik bir sistemin gerçekleştirildiği görülmektedir.

BÖLÜM 7

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

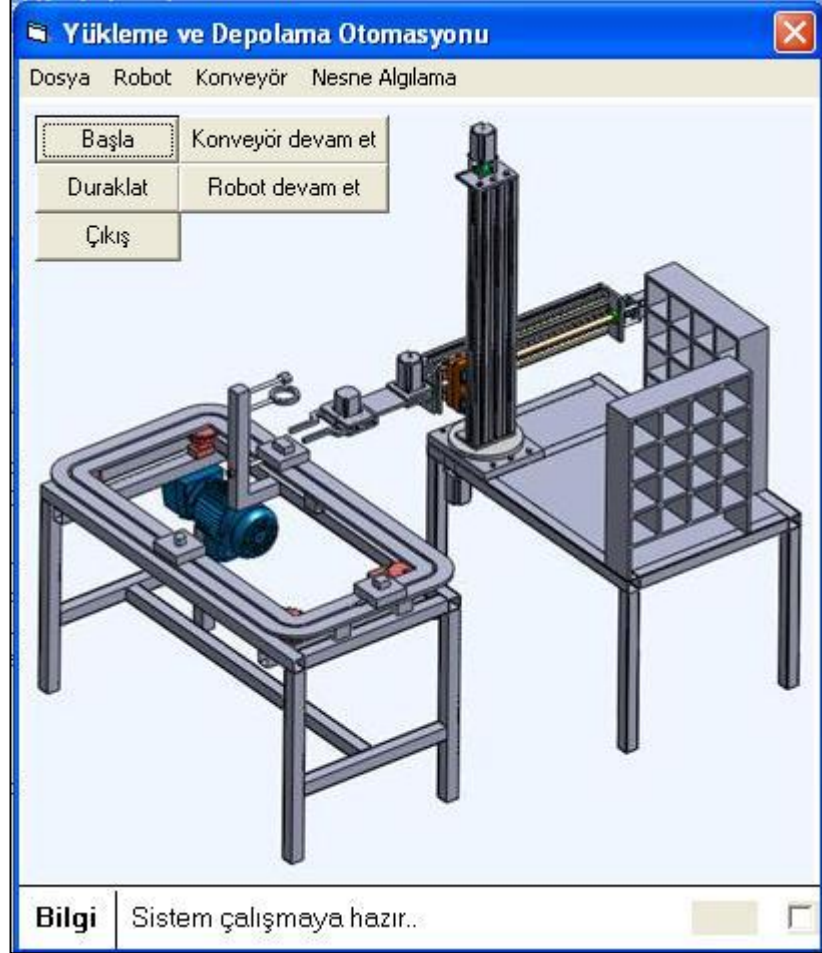
Geliştirilen sistem ile 173,2 mm/s konveyör hızı, 4,3 mm/s robot hızı için geometrik şekillerin raflara depolama ve yükleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Deneylede kullanılan geometrik nesnelere (daire, kare, dikdörtgen ve üçgen) Şekil 7.1’de gösterilmektedir.



Şekil 7.1. Geometrik nesnelere.

Nesnelere dört farklı geometriye ve dört farklı boyuta sahiptir. Nesnelere farklı renklerde boyanarak prototipi yapılan sürükleyen zincir paletli konveyör üzerindeki paletlere konulmuştur. Konveyörün üzerindeki nesnelere sensörün algılamasıyla beraber konveyör durmakta ve parça tanıma işlemi gerçekleştirilmektedir. Tanımlanan nesne ilgili raflara

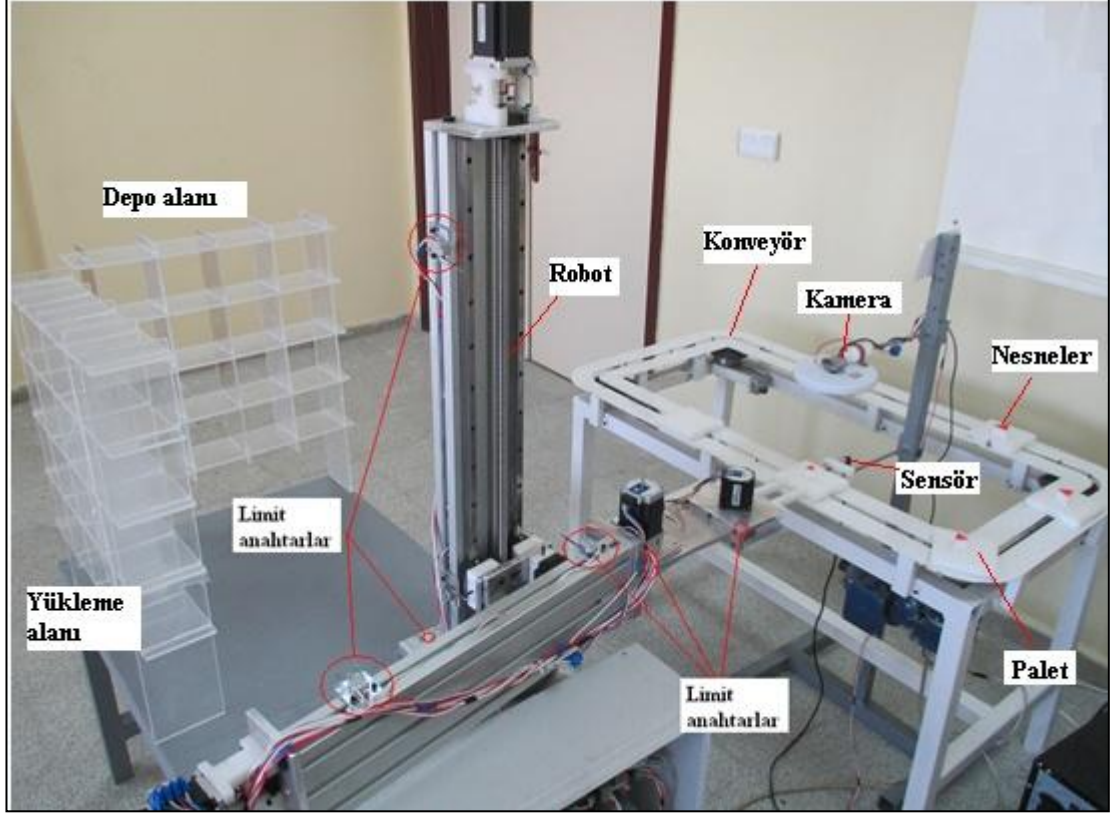
depolanması veya yüklenmesi prototip robot tarafından gerçekleştirilmektedir. Sistemin çalıştırılması için konveyörün, parça tanıma sisteminin ve robotu kontrol eden arayüzler birleştirilerek genel bir arayüzden kontrol edilmiştir. Şekil 7.2’de sistemin kontrolü için tasarlanan genel arayüz verilmektedir.



Şekil 7.2. Sistemin kontrolü için tasarlanan genel arayüz.

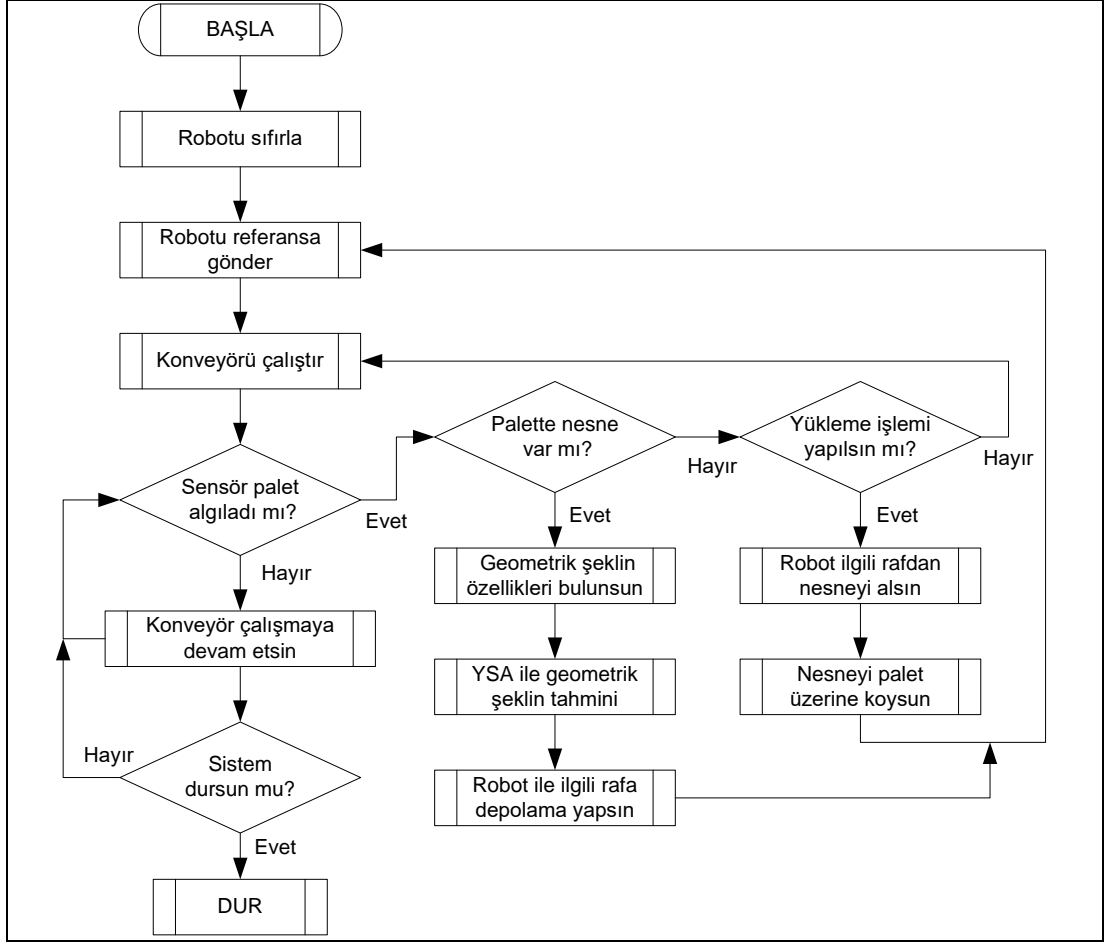
Genel arayüzde, “Başla” düğmesine basıldığında sistem aktif hale gelerek robotun sıfır pozisyonuna gitmesi sağlanmaktadır. Robotun sıfır noktasına gitmesi için her eksene limit anahtarlar yerleştirilmiştir. Bu limit anahtarlar her eksen için tetiklendiğinde o eksenin sıfırlama işlemi yapılmış olacaktır. Şekil 7.3’de eksenlere yerleştirilen limit anahtar gösterilmektedir. Toplamda sekiz adet limit anahtar robotu sıfırlamak için kullanılmıştır. Robotun sıfırlama pozisyonu yapıldıktan sonra konveyör üzerindeki nesnelerin depolanması veya depo alanındaki nesnelerin konveyör üzerine yüklenmesi için robotun bir referans pozisyonunda durması

gerekmektedir. Şekil 7.3’de robotun referans pozisyonu gösterilmektedir. Robotun referans pozisyonunda olması hem konveyör üzerindeki nesnelerin tutulması için hem de depolama alanına ulaşımının kolay bir şekilde gerçekleştirmesi için yapılmıştır. Sistemin akış diyagramı Şekil 7.4’de verilmektedir.

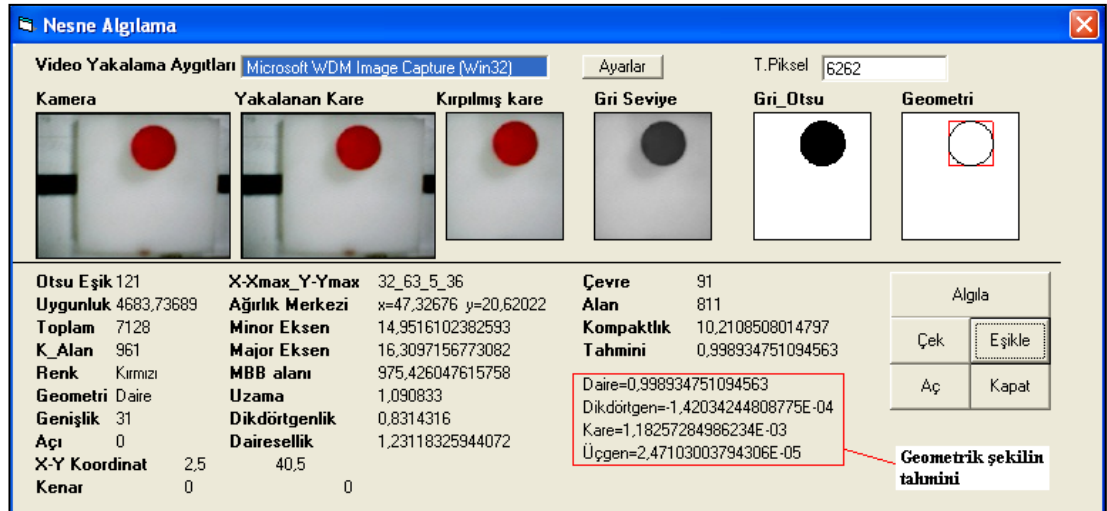


Şekil 7.3. Eksnelere yerleştirilen limit anahtar.

Robotun referans pozisyonu işlemi gerçekleşmesiyle konveyör çalışmaya başlamakta ve paletin sensörde algılanmasıyla konveyör çalışmasını durdurmaktadır. Sensörün algılama işlemi ile parça tanıma sistemi aktif hale gelmektedir. Kamera paletin resmini yakalayıp görüntü işleme metodu uygulanmaktadır. Şekil 7.5’de parça tanıma sisteminin arayüzü ve görüntü işleme metodlarının uygulanması verilmektedir.



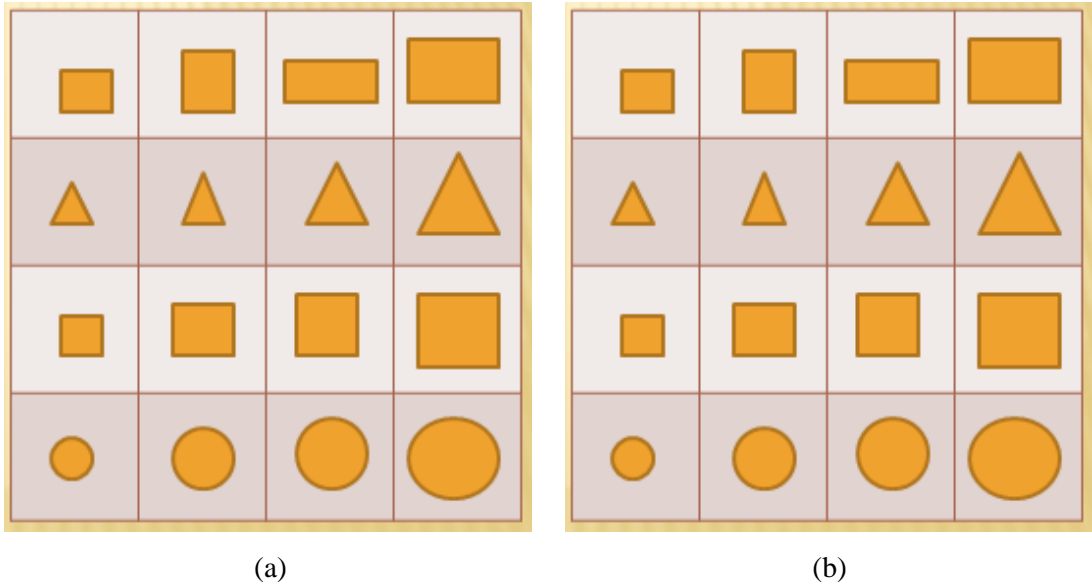
Şekil 7.4. Sistemin akış diyagramı.



Şekil 7.5. Parça tanıma sisteminin arayüzü ve görüntü işleme metotlarının uygulanması.

Eğer palet üzerinde nesne varsa Şekil 7.5’de de görüldüğü gibi görüntü işleme metotları sırasıyla yakalanan kare kırpılır, daha sonra kırpılmış kare (resim) gri seviyeye çevrilir ve Otsu metodu ile eşik değeri otomatik olarak bulunmaktadır (Bkz Bölüm 4). Burada nesnenin, geometrik şekil özellikleri bulunarak YSA için formülize edilen modele girdi olarak kullanılmış ve geometrik şeklin tahmini gerçekleştirilmiştir. Şekil 7.5’e bakıldığında daire, dikdörtgen, kare ve üçgen için YSA bir çıkış vermektedir. Bu çıkışlardan 1’e yakın olan değer geometrik şekili ifade etmekte ve bu uygulamada geometrik şekil olarak “daire” bulunmuştur. Parça tanıma sistemi geometrik şekili artık “daire” olarak algılamakta ve depolama işleminin gerçekleştirme süreci başlamaktadır.

Parça tanıma işlemi yapıldıktan sonra nesnenin robotun uç işlevcisi ile tutularak ilgili rafa depolanması yapılacaktır. Geometrik şeklin alanı ile depolama alanında hangi rafa depolama işleminin gerçekleşeceği bilinmektedir. Şekil 7.6’da depolama alanı ve yükleme alanı için geometrik şekillerin konumları gösterilmektedir.



Şekil 7.6. Geometrik şekillerin konumları a) depolama alanı ve b) yükleme alanı.

Palet üzerindeki nesnenin ağırlık merkezinin X ve Y koordinatları kullanılarak robotun uç işlevcisi tarafından tutulmasında yardımcı olmaktadır. Robotun tutma işlemi gerçekleştirdikten sonra ilgili rafa depolama işlemi yapılmıştır.

Eğer palet üzerinde nesne yoksa parça tanıma sistemi “Geometrik şekil bulunamadı” uyarısını verir ve yükleme işlemi yapılması için ilgili rafın numarasını istemektedir. Yükleme alanından ilgili raf numarasına yönelen robot nesneyi tutarak konveyör üzerindeki palete yüklemektedir.

Çizelge 7.1’de geometrik parça tahmininden, parçanın koordinatlarının bulunmasından, robotun parçayı tutma işleminden, tutulan parçanın depolanması ve yükleme işlemlerinin süreleri verilmektedir.

Çizelge 7.1. Geometrik parçaların raflara depolanması için işlem süreleri.

NO	Geometrik Şekil	Parça Tanıma İşlemi (sn)	Nesne Koordinatlarının Bulunması (sn)	Tutma İşlemi (sn)	Depolama İşlemi (sn)	Yükleme İşlemi (sn)
1	Daire 1	0.280	1.718	17.078	63.297	140.862
2	Daire 2	0.296	3.906	17.969	68.890	129.266
3	Daire 3	0.296	3.421	16.327	72.234	105.100
4	Daire 4	0.296	2.437	18.015	90.937	109.359
5	Kare 1	0.297	3.155	16.671	96.234	162.766
6	Kare 2	0.280	2.905	17.297	102.093	177.100
7	Kare 3	0.281	3.203	18.328	134.359	132.766
8	Kare 4	0.281	2.672	19.078	123.312	146.469
9	Üçgen 1	0.297	2.828	16.218	104.734	183.968
10	Üçgen 2	0.281	2.546	17.390	112.843	223.687
11	Üçgen 3	0.281	2.547	19.093	125.015	154.422
12	Üçgen 4	0.281	3.187	18.358	139.515	164.327
13	Dikdörtgen 1	0.281	2.437	17.390	131.781	175.577
14	Dikdörtgen 2	0.281	3.062	18.796	139.265	217.125
15	Dikdörtgen 3	0.281	2.437	18.812	169.249	141.640
16	Dikdörtgen 4	0.281	2.749	13.359	155.969	180.734

Çizelge 7.1’de bir numaralı örnekte, geometrik şekil için daire nesnesini 0,280 saniyede tanımakta, nesne koordinatlarını 1,718 saniyede bulmakta, tutma işlemini 17,078 saniyede gerçekleştirmektedir. Depolama işlemini ise 63,297 saniyede

depolama alanındaki ilgili rafa yapmaktadır. Aynı şekilde yükleme işlemini ise 140,862 saniyede gerçekleştirmektedir.

BÖLÜM 8

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1. SONUÇLAR

Esnek üretim sisteminde, nesnelerin algılanması, tanımlanan nesnelerin robot ile tutularak depo alanına depolanması ve nesnelerin raflardan alınarak sisteme yüklemesini yapabilen ekonomik bir otomasyon sistemi gerçekleştirilmiştir. Bu sistem, sürükleyen zincir paletli konveyör, 4 SD'li seri robot, görüntü işleme ile parça tanıma ve bunların entegre çalışmasını sağlayacak bir kullanıcı arayüzünden meydana gelmektedir.

Malzeme taşıma sistemi olarak tasarlanan ve prototipi yapılan sürükleyen zincir paletli konveyör, bir asenkron motor ile tahrik edilmekte ve redüktör sayesinde devri 1/25 oranında düşürülmektedir. Redüktör çıkış miline bağlı olan zincir dişli ile tahrik zincir dişliye aktarılmıştır. Zincir dişliye bağlı olan paletler ise taşıma işlemini gerçekleştirmiştir. Asenkron motorun hız ve yön kontrolü ise inverter ve DGM üretici bir kontrol modülü sayesinde yapılmıştır. Bu modül ile USB üzerinden iletişim sağlanmıştır. Tasarlanan sürükleyen zincir paletli konveyör ile yapılan deneylere bakıldığında;

- Konveyörde taşıma işlemini gerçekleştiren paletler, yüklü ve yüksüz olarak çalıştırılmış ve konveyörün 0,111 m/s hızla bir turunu tek bir paletin 600 g yük ile 26,16 saniye çevrim süresinde tamamladığı görülmüştür. Aynı şekilde hızı aynı kalarak tek paletli yüksüz olarak konveyör bir turunu da aynı sürede tamamlamıştır.
- Buna karşın hız aynı kalarak palet sayısı beşe ve ağırlıklar 300 g olduğunda ise çevrim süresi 27,30 saniyeye çıkmaktadır. Yüksüz olarak ise 26,52 saniyede bir turunu tamamlamaktadır.

- Konveyörün hızı 0,257 m/s, palet sayısı bir ve ağırlık 600 g olduğunda konveyör bir turunu 11,43 saniyede, yüksüz olarak 11,33 saniyede tamamlamaktadır.
- Konveyör hızı aynı şekilde kalarak palet sayısı beşe ve ağırlık 300 g olduğunda ise bir turu 11,41 saniyede, yüksüz ise 11,45 saniye tamamladığı görülmüştür.

Konveyör ile yapılan deneyler hız, palet sayısı, yüklü ve yüksüz gibi parametreler dikkate alınarak yapılmıştır. Sürükleyen zincir paletli konveyörün tasarımı kapalı bir hat şeklinde yapıldığından, benzer çalışmalarda konveyör tasarımının açık bir hat olarak gerçekleştirildiği için bu çalışmada tasarlanan konveyörün literatüre katkısı olacağı düşünülmektedir.

Sürükleyen zincir paletli konveyörün üzerindeki nesnelere tanınması için gerekli olan parça tanıma sisteminin tasarımı; kamera, aydınlatma ve parça tanıma yazılımından oluşmaktadır. Parça tanıma sisteminin yazılımı Visual Basic 6,0'da tasarlanmıştır. Örnek geometrik parçalar olarak daire, üçgen, kare ve dikdörtgen referans alınmıştır. Tasarlanan arayüze tanıtılan kamera ile görüntü alınabilmektedir. Alınan görüntünün anlamlı bir şekle dönüşmesi için ön işlemler olan kırpma, gri seviyeye çevirme, otsu metodu ile otomatik eşikleme işlemlerinden geçirilmiştir. Bu ön işlemler sonucunda geometrik parçaların alan, çevre, kompaktlık, uzama, dikdörtgensellik ve dairesellik gibi özellikleri çıkarılmıştır.

Geometrik şekillerin tahmini için Matlab yazılımı kullanılarak Yapay Sinir Ağı eğitilmiştir. Eğitilen yapay sinir ağında çevre, alan, kompaktlık, uzama, dikdörtgensellik, dairesellik gibi parametreler giriş katmanı olarak kullanılırken geometrik şekiller (daire, kare, dikdörtgen ve üçgen) çıkış katmanı olarak kullanılmıştır. Doğru sonuçları elde etmek için ağ yapısı 5-5 çift katman olarak belirlenmiştir. YSA için eğitim ve test verileri hazırlanarak 16 test verisi, 48 tane ise eğitim verisi deneysel veriler içinden seçilmiştir. En iyi tahminleri elde etmek için giriş ve çıkış değerleri 0 ile 1 arasında normalize edilmiştir. Çevre, alan, kompaktlık, uzama, dikdörtgensellik, dairesellik ve geometrik şekil sırası ile 200, 2000, 20, 5, 2, 2 ve 5 ile bölünerek normalizasyonları yapılmıştır. Deney sonuçlarına bakıldığında,

- 48 adet geometrik şekil için elde edilen veri setiyle ağı eğitiminin ardından, eğitim verileri için ağın başarı oranı % 96 olarak belirlenmiştir. Ağı eğitiminde kullanılmayan 16 adet veri seti test amaçlı kullanılarak % 99 başarıyla tahmin etmiştir.
- YSA'dan elde edilen test tahmin değerleri ile gerçek değerler üzerinde yapılan ölçümlerde, $MSE= 8,4 \times 10^{-5}$, $MAPE=\%0,2$ bulunmuştur. Elde edilen düşük MSE ve MAPE değerleri, gerçek veriler ile yapay sinir ağı modelinden elde edilen tahmin sonuçları arasındaki sapmaların çok küçük olduğu görülmektedir.
- MAPE değerleri % 10'un altında olan tahmin modellerini "yüksek doğruluk" derecesine sahip, % 10 ile % 20 arasında olan modelleri ise doğru tahminler olarak sınıflandırmıştır.
- Benzer şekilde Lewis (1982), MAPE değeri %10'un altında olan modelleri "çok iyi", % 10 ile % 20 arasında olan modelleri "iyi" olarak sınıflandırmıştır.

Burada en çarpıcı nokta tahmin değerlerinin deneysel değerlere çok yakın olmasıdır. LM öğrenme algoritması kullanılarak, geometrik şekillerin hem test ve hem de eğitim setlerinin tahmin performansları için memnun edici bir doğrulukta olduğunu göstermiştir. Literatürdeki benzer çalışmalara bakıldığında geometrik şekillerin özelliklerini bulmada standart görüntü işleme metotları kullanıldığı için bu çalışmada YSA ile geometrik şekillerinin tahmininin literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Yapay sinir ağı ile bulunan formülle geometrik şeklin tahmini yapıldıktan sonra nesnelerin taşınması için gerekli olan malzeme taşıma sisteminin tasarımı, kontrolü ve yazılımı gerçekleştirilmiştir. Malzeme taşıma sistemi için 4 serbestlik dereceli bir robot mekanizması tasarlanmıştır. 4 SD'li robotun eksenlerinin hareketi ve uç işlevcinin fonksiyonunu gerçekleştirmesi için step motorlar kullanılmıştır. Step motorları sürmek için M542 step sürücü kullanılmış ve bir paralel port arabirim kartı ile bilgisayardan kontrol edilmiştir. Kontrol yazılımı Visual BASIC 6.0 yazılarak robot eksenlerinin kontrolü yapılmıştır.

Mekanizmanın eklem yapısı RPPR (R:Dönel eklem, P:Prizmatik eklem) şeklindedir. DH değişkenleri kullanılarak robot mekanizmasının ileri yönlü kinematik denklemleri elde edilmiştir. Bu denklem robotun eklem değişkenleri verildiğinde uç işlevcinin 3 boyutlu uzaydaki konum ve yönelimini ifade etmektedir. Robot mekanizmasının ileri yönlü kinematik denklemleri yapılarak;

- Robotun ileri yön kinematiğinden çıkan konum vektörü kullanılarak X, Y, Z koordinatları için bir veritabanı hazırlanmıştır.
- Bu veritabanı ile eksenlerin alabileceği değerlere göre gideceği koordinatların olasılıkları bulunmuştur.
- Veritabanı tasarlanan arayüze entegre edilmiştir ve koordinatları veritabanında arayarak gerekli olan eksenlerin dönme ve öteleme değerleri bulunmuştur.
- Bu haliyle robotun ters kinematiğini hesaplamaya gerek kalmamıştır.

Robot üreticileri, ürettikleri her robotun özelliklerini bir standarda göre belirlemektedir. Bu özellikler ISO 9283 standardına göre gerçekleştirilmektedir. Tasarlanan ve imal edilen robotun performansını ölçebilmek için Microscribe G2X koordinat ölçme cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz 0,23 mm hassasiyetinde ölçüm yapabilmektedir. ISO 9283 standardına göre çalışma uzayına yerleştirilen bir küpün eğik düzlemi içinde test edilen noktaların olması gerekmektedir. Küpün bir kenarı 100 mm olarak belirlenmiştir. Beş ölçüm noktası P1-P5 ölçüm düzleminin köşegenlerine yerleştirilmiştir. P5 noktası küpün merkezi ve köşegenlerin kesişimidir. P1-P4 noktaları köşegenler üzerine yerleştirilmiştir. Robotun doğruluk ve tekrarlanabilirlik deneylerinde;

- Robot, 140 g ağırlığında yüklenmiş ve 4,3 mm/s hız ile çalıştırılmıştır.
- Tüm programlanan pozlar, P1 noktasından başlayarak lineer olarak poz poz yolları takip etmektedir. Her poz işleminde koordinat ölçme aleti noktaların koordinatları bularak kaydetmiştir.
- Bu işlem 30 defa tekrarlanarak devam ettirilmiştir.
- ISO 9283 göre P1-P5 noktaları için robotun ortalama pozisyon doğruluğu 7,34 mm, ortalama tekrarlanabilirliği ise 4,79 mm bulunmuştur.

Kurulan esnek üretim sisteminin prototipi ile 173,2 mm/s konveyör hızı, 4,3 mm/s robot hızı için geometrik şekillerin raflara depolama ve yükleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Geometrik şeklin tahmininden, parçanın koordinatlarının bulunmasından, robotun parçayı tutma işleminden, tutulan parçanın depolanması ve yükleme işlemleri deneylerinde ise;

- Robotun referans noktasının depolama alanına en yakın olan rafı için; palet üzerindeki geometrik şekli tanıma işlemini 0,280 saniyede, nesnenin koordinatlarının bulunması işlemini 1,718 saniyede, robotun nesneyi tutma işlemini 17,078 saniyede, depolama işlemini ise 63,297 saniyede yaparak, toplam 82,373 saniyede gerçekleştirmektedir.
- Aynı şekilde en uzaktaki rafı içinde; palet üzerindeki geometrik şekli tanıma işlemini 0,281 saniyede, nesnenin koordinatlarının bulunması işlemini 2,437 saniyede, robotun nesneyi tutma işlemini 18,812 saniyede, depolama işlemini ise 169,249 saniyede yaparak, toplam 190,449 saniyede işlemini tamamlamaktadır.
- Robotun depo alanından konveyör üzerine yükleme işlemlerinde ise nesnenin geometrik şekline göre en kısa süre olan 105,1 saniyede yükleme işlemini bitirmektedir.
- Buna karşın robotun depo alanından konveyör üzerine yükleme işleminde en uzun süre ise 223,687 saniyede yükleme işlemi gerçekleştirmektedir.

Deneysel parça tanıma işlemi, nesne koordinatlarının bulunması, tutma işlemi, depolama işlemi ve yükleme işlemi gibi parametreler dikkate alınarak yapılmıştır. Bu haliyle bakıldığında robotun eksenlerinde step motor kullanılması ve robotun silindirik bir çalışma uzayına sahip olmasından dolayı robot belli hız sınırları içinde hareket ettirilmiştir. Bundan dolayı optimum sürelerde deneyler yapılmıştır.

Esnek üretim sisteminde zeki yükleme ve depolama otomasyonu için prototipi kurulan sistem; sürükleyen zincir paletli konveyör, 4 SD'li robot mekanizması, parça tanıma sisteminden oluşmaktadır. Tüm sistemin toplam maliyeti 5570,18 TL tutmuştur. Bu yönüyle bakıldığında düşük maliyetli ve ekonomik bir sistemin gerçekleştirildiği görülmektedir.

Prototipi kurulan sistem, hassas ve kırılğan yapıya sahip nesnelere depolanması için kullanılacağı gibi süre sıkıntısı olmayan depolama ve yükleme işlemlerinde de kullanılabilir. Esnek üretim sisteminde zeki yükleme ve depolama otomasyonu için prototipi kurulan sistemin sürekli olarak araştırma ve geliştirmeye açık olduğu için bu çalışma yeni başlayanlara ışık tutacaktır.

8.2. ÖNERİLER

Kurulan esnek üretim sisteminin prototipi ekonomik bir eğitim materyali olarak kullanılabilir yapıdadır. Sürükleyen zincir paletli konveyörde kullanılan motor ve sürücüler servo ya da step motor ve sürücüler seçilerek konumlama ve hız bilgisi hassas bir şekilde alınabilir. Aynı şekilde robot da kullanılan step motorlar yerine servo motorlar kullanılarak sistemin hassas çalışması sağlanabilir. Parça tanıma sisteminde kamera özellikleri ve aydınlatma sistemleri seçiminde profesyonel ekipmanlar kullanılabilir. Robotun kontrolünde kullanılan kontrol kartının işlem hızı arttırılarak sistemin hareket performansı yükseltilerek işlem süresi azaltılabilir.

KAYNAKLAR

Akbilgiç, O., “Hibrit radyal tabanlı fonksiyon ağları ile değişken seçimi ve tahminleme: menkul kıymet yatırım kararlarına ilişkin bir uygulama”, Doktora tezi, *İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İstanbul, Türkiye (2011).

Akpınar, Ö., “Depolama amaçlı görüntü işleme tabanlı bir kartezyen robot tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya (2008).

Askin R. G., and Standridge, C. R., “Modelling Anallysis Of Manufacturing Systems”, *John Wiley*, USA (1993).

Aşkın, D., İskender, İ. ve Mamizadeh, A., “Farklı yapay sinir ağları yöntemlerini kullanarak kuru tip transformatör sargısının termal analizi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26 (4): 905-913 (2011).

Athani, V. V., “Stepper Motors: Fundamentals, Applications And Design”, *New Age International*, New Delhi (1997).

Atmaca, E. ve Erol, S., “Esnek üretim sistemleri ile ilgili literatür araştırması: çok amaçlı karar verme yaklaşımı”, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6 (1): 299-311 (2005).

Atmaca, E. ve Erol, S., “Esnek üretim sistemlerinde yükleme ve rotalama problemleri ile ilgili literatür araştırması”, *SDÜ İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi*, 2 (7): 299-311 (2002).

Ayyıldız, M. ve Çetinkaya, K., “4-Serbestlik dereceli gerçek bir seri robotun ters kinematiğinin QPSO ile çözümü”, *I. Uluslararası Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Sempozyumu (ISIDE14)*, Türkiye, 1-6 (2014).

Ayyıldız, M. and Çetinkaya, K., “Comparison of four different heuristic optimization algorithms for the inverse kinematics solution of a real 4-DOF serial robot manipulator”, *Neural Computing and Applications*, DOI: 10.1007/s00521-015-1898-8 (2015).

Ayyıldız, M., and Çetinkaya, K., “Drag chain pallet transport system design and implementation”, *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, 31 (4): 1845-1850 (2013).

Azeloğlu, C. O., “Çelik ve plastik zincirli konveyörler, bunların tasarım kriterlerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2006).

Bayır, R. ve Güler, İ., “Malzeme taşıma sistemlerinde taşınan değişik boyuttaki ürünlerin boyutunun otomatik olarak tanınması”, *Politeknik Dergisi*, 6 (3): 513-522 (2003).

Beauregard, D., Melot, D., Conradi, A., Benta, B., and Golebiowski, L., “Electromechanical roller conveyor model with enhanced consideration of roller-belt interaction”, *IEEE International Conference on Automation and Logistics*, China, 7-12 (2012).

Bendjedja, M., Ait-Amirat, Y., Walther, B., and Berthon, A., “Position control of a sensorless stepper motor”, *IEEE Transactions on power electronics*, 27(2): 578-587 (2012).

Bingül, Z. ve Küçük, S., “Robot Kinematığı”, *Birsen Yayınları*, İstanbul, 1-7 (2009).

Bingül, Z. ve Küçük, S., “Robot Tekniğı”, *Birsen Yayınları*, İstanbul (2005).

Boztoprak, H., “Gerçek zamanlı taşıt plaka tanıma sistemi”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta (2007).

Canbolat, H., Hu, J., and Dawson, D. M., “A hybrid learning/adaptive partial state feedback controller for rled robot manipulators”, *International Journal of Systems Science*, 27: 1123–1132 (1996).

Carpenter, G., “Neural Network Models For Pattern Recognition And Associative Memory”, *Neural Networks*, 2: 243-257 (1989).

Chang, J. W., Wang, R. J., Wang, W. J., and Huang, C. H., ”Implementation of an object-grasping robot arm using stereo vision measurement and fuzzy control”, *International Journal of Fuzzy Systems*, 17 (2):193–205 (2015).

Chattopadhyay, K., Basu, J., and Konar, A., “An efficient circle detection scheme in digital images using ant system algorithm”, *Proceedings of the IEEE Conference on Computational Intelligence, Control and Computer Vision in Robotics & Automation*, India, 145-148 (2008).

Cho, V., “A comparison of Three Different Approaches to Tourist Arrival Forecasting”, *Tourism Management*, 24 (3): 323-330 (2003).

Collins, C. L., “Forward kinematics of planar parallel manipulators in the clifford algebra of p^2 ”, *Mechanism and Machine Theory*, 37: 799–813 (2002).

Costa, L. D. F., and Junior, R. M. C., “Shape Analysis And Classification: Theory And Practice”, *CRC Press*, Inc. Boca Raton, FL, USA (2000).

Craig, J. J., “Introduction To Robotics Mechanics And Control”, *Pearson ducation*, Inc., Upper Saddle River, New Jersey (2005).

Cunha, J., Ferreira, R., and Lau, N., “Computer vision and robotic manipulation for automated feeding of cork drillers”, *Materials & Design*, 82: 290–296 (2015).

Çengelci, B. ve Çimen, H., “Endüstriyel robotlar”, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2: 69-78 (2005).

Çimen, H., Taşkın, S. ve Yabanova, İ., “Eğitim amaçlı esnek ve modüler üretim sistemlerinin teknik eğitimde kullanılması”, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3: 43-53 (2007).

Das, T., and Dülger, C., “Mathematical modeling, simulation and experimental verification of a scara robot”, *Simulation Modelling Practice and Theory*, 13: 257–271 (2005).

De Lurgio, A. S., “Forecasting Principles And Applications”, *Irwin Mc Graw-Hill*: Singapore (1998).

Delikan, H., “Esnek üretim sistemleri ve üretim işletmelerinde uygulanması ile ilgili alan araştırması”, Yüksek Lisans Tezi, *Atılım Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Ankara (2010).

Demir, B. E.,” Otomatik mozaik dizme makinesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2011).

Denavit, J., and Hartenberg, R. S., “A kinematic notation for lower pair mechanisms based on matrices”, *ASME Journal of Applied Mechanics*, 22: 215-221 (1955).

Dieulot, J. Y., and Colas, F., “Robust pid control of a linear mechanical axis: a case study”, *Mechatronics*, 19 (2): 269-273 (2009).

Dinçer, S., “Dijital görüntü işleme teknikleri ile matlab ve mikrokontrolör kullanılarak iki boyutlu görüntünün çizdirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2009).

Driels, M. R., Swayze, L. W., and Potter, L. S., “Full-pose calibration of a robot manipulator using a coordinate-measuring machine”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 8 (1): 34-41 (1993).

Egmont-Petersen, M., Ridder, D., and Handels H., “Image processing with neural networks—a review”, *Pattern Recognition*, 35: 2279–2301 (2002).

El-Tamimi, A. M., Abidi, M. H., Mian, S. H., and Aalam, J., “Analysis of performance measures of flexible manufacturing system”. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 24 (2):115-129 (2012).

Fu, X., Zhang, B., and Yu, H., “Vehicles routing and scheduling algorithm for an automated storage and retrieval system of a warehouse”, *In Logistics, Informatics and Service Sciences*, Barcelona, 1-6 (2015).

Gadre, D., “Programming The Parallel Port: Interfacing The Pc For Data Acquisition And Process Control”, *CRC Press*, USA (1998).

Genççakır, B. G., “Sabit bantlı konveyörler ve bunlardaki gergi tertibatlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2013).

Golnazarian, W., “Time-varying neural networks for robot trajectory control”, Ph.D. Thesis, *University Of Cincinnati*, USA (1995).

Gonzales, C., and Woods, R., “Digital Image Processing”, *Addison Wesley Publishing Co.*, USA (1993).

Groover, M. P., “Automation, Production Systems, And Computer Integrated Manufacturing”, *Prentice Hall*, China (2001).

Gündüz, F. ve Kahriman, M., "Sayısal görüntü işleme ile geometrik şekil ve rotasyon tespiti", *13. Elektrik, Elektronik, Bilgisayar, Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Kongresi*, Ankara, 1-5 (2009).

Hagan, M. T., and Menhaj, M., “Training feed forward networks with the marquardt algorithm”, *IEEE Neural Networks*, 5(6): 989–993 (1994).

Hashim, H., Abdullah, S. N. H. S., and Prabuwno, A. S., “Automated visual inspection for metal parts based on morphology and fuzzy rules”, *International Conference on Computer Applications and Industrial Electronics*, Malaysia, 527-531 (2010).

Haykin, S., “Neural Network, A Comprehensive Foundation”, *Prentice Hall*, New Jersey (1999).

Horowitz, R., Messner, W., and Moore, J.B., “Exponential convergence of a learning controller for robot manipulators”, *IEEE Transactions on Automatic Control*, 36: 890–894 (1991).

Hu, D., Huang, W., Yang, J., Shang, L., and Zhu, Z., “Shape matching and object recognition using common base triangle area”, *Computer Vision, IET*, 9 (5): 769-778 (2015).

Jia, G. H., “Target location of industrial robot based on vision”, *In Advanced Materials Research*, 945: 1478-1481 (2014).

Jungbeck, M., and Madrid, M.K., “Optimal neural network output feedback control for robot manipulators”, *Proceedings of the Second International Workshop on Robot Motion Control*, Brazil, 85–90 (2001).

Kalebek, B., “Esnek üretim sistemleri ve simülasyon yoluyla iş çizelgelemesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Ankara (2006).

Kaneko, K., And Horowitz, R., “Repetitive and adaptive control of robot manipulators with velocity estimation”, *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 13: 204–217 (1997).

Kaygısız, H., “Eğitim amaçlı masaüstü üç eksenli cnc freze tasarımı ve prototipi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2010).

Kazma, Ç., İleri, F., and Ugurdag, H. F., “Microcontroller based methodology for part tracking in industrial automation”, *13th International Research/Expert Conference Trends in the Development of Machinery and Associated Technology*, Tunisia, 413-416 (2009).

Kim, H. S., and Kim, J. H., “A Two-step circle detection algorithm from the intersecting chords”, *Pattern Recognition Letters*, 22: 787-798 (2001).

Köse, E., Korkmaz, H., Bulut, A., Özer, M., Uzunoğlu, M. ve Tumlukolcu, S., “Otomatik konumlanabilen konveyör sistemi”, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 9 (1): 15-24 (2012).

Kulaksız, A., “Görüntü işleme destekli paralel robot kontrolü”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2010).

Levenberg, K., “A method for the solution of certain problems in least squares”, *Quarterly of Applied Mathematics*, 5: 164–168 (1944).

Lewis, C. D., “Industrial And Business Forecasting Methods”, *Butterworths Publishing*, Londra (1982).

Lewis, F. L. Abdallah, C. T., and Dawson, D. M., “Control Of Robot Manipulators”, *Macmillan*, New York, USA (1993).

Lightcap, C., Hamner, S., Schmitz, T., and Banks, S., “Improved positioning accuracy of the PA10-6CE robot with geometric and flexibility calibration”, *IEEE Transactions on Robotics*, 24 (2): 452-456 (2008).

Lu, G., and Sajjanhar, A., “Region-based shape representation and similarity measure suitable for content-based image retrieval”, *Multimedia Systems*, 7: 165–174 (1999).

Maleki, R., “Flexible Production Systems: The Technology And Management”, *Prentice Hall*, USA (1991).

Manav, Y., “Zincirli konveyörlerde zincirlerin gerilme dağılımlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak (2008).

Marquardt, D., “An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters”, *SIAM Journal on Applied Mathematics*, 11 (2): 431–441 (1963).

Masters, T., "Practical Neural Network Recipes In C++", *Academic Press*, San Diego, CA (1993).

Meng, Y., and Zhuang, Z., "Self-calibration of camera-equipped robot manipulators", *The International Journal of Robotics Research*, 20 (11): 909-921 (2001).

Messner, W., Horowitz, R., Kao, W. W., and Boals, M., "A new adaptive learning rule", *IEEE Transactions on Automatic Control*, 36: 188–197 (1991).

Mingzhu, Z., and Huanrong, C., "A new method of circle's center and radius detection in image processing", *Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics*, China, 2239 – 2242 (2008).

Monks, J. G., "Operations Management: Theory And Problems", *Mcgraw Hill*, New York (1987).

Mosqueira, G., Apetz, J., Santos, K.M., Villani, E., Suterio, R., and Trabasso, L.G., "Analysis of the indoor GPS system as feedback for the robotic alignment of fuselages using laser radar measurements as comparison", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 28: 700–709 (2012).

Musaoğlu, S., "Endüstriyel robotlarda hareket ve kuvvet kontrolü", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2010).

Nabiyev, V. V., "Parmak hareketlerinin bilgisayarlı yorumlanmasıyla tek oktavlı notaların seslendirilmesi", *Çankaya University Journal of Science and Engineering*, 7 (2): 187- 198 (2010).

Nashata, S., Abdullah, A., Aramvith, S., and Abdullah, M. Z., "Support vector machine approach to real-time inspection of biscuits on moving conveyor belt", *Computers and Electronics in Agriculture*, 75: 147–158 (2011).

Ng, H. F., "Automatic thresholding for defect detection", *Pattern Recognition Letters*, 27 (14): 1644–1649 (2006).

Nubiola, A., "Calibration of a serial robot using a laser tracker", PhD Thesis, *École De Technologie Supérieure*, Kanada (2011).

Olson, C. F., "A general method for geometric feature matching and model extraction", *International Journal of Computer Vision*, 45 (1): 39–54 (2001).

Onat, M., "Dijital görüntü eşleme yöntemleriyle lifli beton numunelerindeki çatlakların tespit edilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ (2008).

Oral, A., and İnal, E. P., "Marble mosaic tiling automation with a four degrees of freedom cartesian robot", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 25: 589– 596 (2009).

Otsu, N., “A threshold selection method from gray-level histograms”, *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics*, 9 (1): 62–66 (1979).

Özel, E., “Pwm yöntemi ile dc motorun pc üzerinden kontrolü”, Yüksek Lisans Tezi, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Van (2009).

Pop, C., Grigorescu, S. M., and Lovasz, E. C., “Image processing and artificial neural network for robot application”, *In Applied Mechanics and Materials*, 658: 678-683 (2014).

Popescu, M., Ungureanu-Anghel, D., and Filip, I., “Sequential automata model for transport and routing of pallets to identical stations placed in series on a production line”, *In Applied Computational Intelligence and Informatics*, Timisoara, 73-78 (2015).

Pratt, W. K., “Digital Image Processing: PIKS Scientific Inside”, Fourth Edition, *John Wiley & Sons, Inc.*, Hoboken, NJ, USA (2007).

Queiroz, M. S. D., Dawson, D. M., and Canbolat, H., “Adaptive position/force control of BDC-RLED robots without velocity measurements”, *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, New Mexico, 525–530 (1997).

Rad, A.A., Faez, K., and Qaragozlou, N., “Fast circle detection using gradient pair vectors”, *Proc. VII.th Digital Image Computing: Techniques and Applications*, Sydney, 879-887 (2003).

Ranky, P., “The Design And Operation Of Flexible Manufacturing Systems”, *Prentice-Hall*, USA (1986).

Rustemli, S., Yilmaz, M., and Demirtaş, M., “Ripple reduction at speed and torque of step motors used on a two-axis robot arm”, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 26: 759–767 (2010).

Saad, N., and Arrofiq, M., “A PLC-based modified-fuzzy controller for pwm-driven induction motor drive with constant v/hz ratio control”, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 28: 95–112 (2012).

Schuster, G. M., and Katsaggelos, A. K., “Robust circle detection using a weighted mse estimator”, *International Conference on Image Processing*, 2111-2114 (2004).

Selver, M. A., Akay, O., Alim, F., Bardakçı, S., and Ölmez, M., “An automated industrial conveyor belt system using image processing and hierarchical clustering for classifying marble slabs”, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 27: 164–176 (2011).

Shah, S. A. A., Bennamoun, M., and Boussaid, F., “Iterative deep learning for image set based face and object recognition”, *Neurocomputing*, 174: 866-874 (2016).

Sharan, R. M., and Onwubolu, G. C., “Client-server control architecture for a vision-based pick-and-place robot”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 228:1369-1378 (2012).

Shiakolas, P. S., Conrad, K. L., and Yih, T.C., “On the accuracy, repeatability, and degree of influence of kinematics parameters for industrial robots”, *International Journal of Modelling and Simulation*, 22 (3): 1-10 (2002).

Shin, I. S., Nam, S. H., Yu, H. G., Roberts, R. G., and Moon, S. B., “Conveyor visual tracking using robot vision”, *Conference on Recent Advances in Robotics*, Florida, 1-5 (2006).

Short, M., and Burn, K., “A generic controller architecture for intelligent robotic systems”, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 27: 292–305 (2011).

Sidharatha, R., “Introduction To Materials Handling”, *New Age International*, Delhi (2007).

Soba, M., “Esnek üretim sistemlerinin işletme performansına etkileri ve vestel elektronik a.ş. örneği”, Doktora Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Afyonkarahisar (2006).

Şimşir A., “Bantlı konveyörler ve tahrik mekanizmalarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2013).

Tekerek, M., “Esnek üretim sisteminde görüntü işleme tekniği ile robotik eğitim modeli geliştirilmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü*, Ankara (2006).

Tekin, M., “Esnek üretim sistemlerinde maliyetlerin belirlenmesi, kontrolü ve bir uygulama”, Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Isparta (2005).

Tetzlaff, U. A., “Optimal Design Of Flexible Manufacturing Systems”, *Physica-Verlag HD*, USA (1990).

Üster, H., “Esnek üretim sistemlerinde iş yükü programlaması”, Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Ankara (1993).

Vas, P., “Artificial Intelligence Based Electrical Machines And Drivers”, *Oxford University Press*, New York (1999).

Velioğlu, H. M., “Görüntü işleme teknolojisi ve yapay sinir ağlarının gıda ürünlerinde bazı kalite özelliklerinin belirlenmesinde kullanılması”, Doktora Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekirdağ (2010).

Witt, S. F., and Witt, C. A., “Modeling And Forecasting Demand In Tourism”, *Academic Press*, Londra (1992).

Wu, Y., Klimchik, A., Caro, S., Furet, B., and Pashkevich, A., “Geometric calibration of industrial robots using enhanced partial pose measurements and design of experiments”, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 35: 151-168 (2015).

Xavier, J., Pachecot, M., Castrot, D., Ruanot, A., and Nunes, U., “Fast line, arc/circle and leg detection from laser scan data in a player driver”, *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Spain, 3930-3935 (2005).

Yavuz, Z., İkibaş, C., Şevik, U. ve Köse, C., “Retinal görüntülerde optik diskin otomatik olarak çıkarılması için bir yöntem”, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyum*, Türkiye, 1-5 (2009).

Yu, Z., and Bajaj, C., “Detecting circular and rectangular particles based on geometric feature detection in electron micrographs”, *Journal of Structural Biology*, 145: 168–180 (2004).

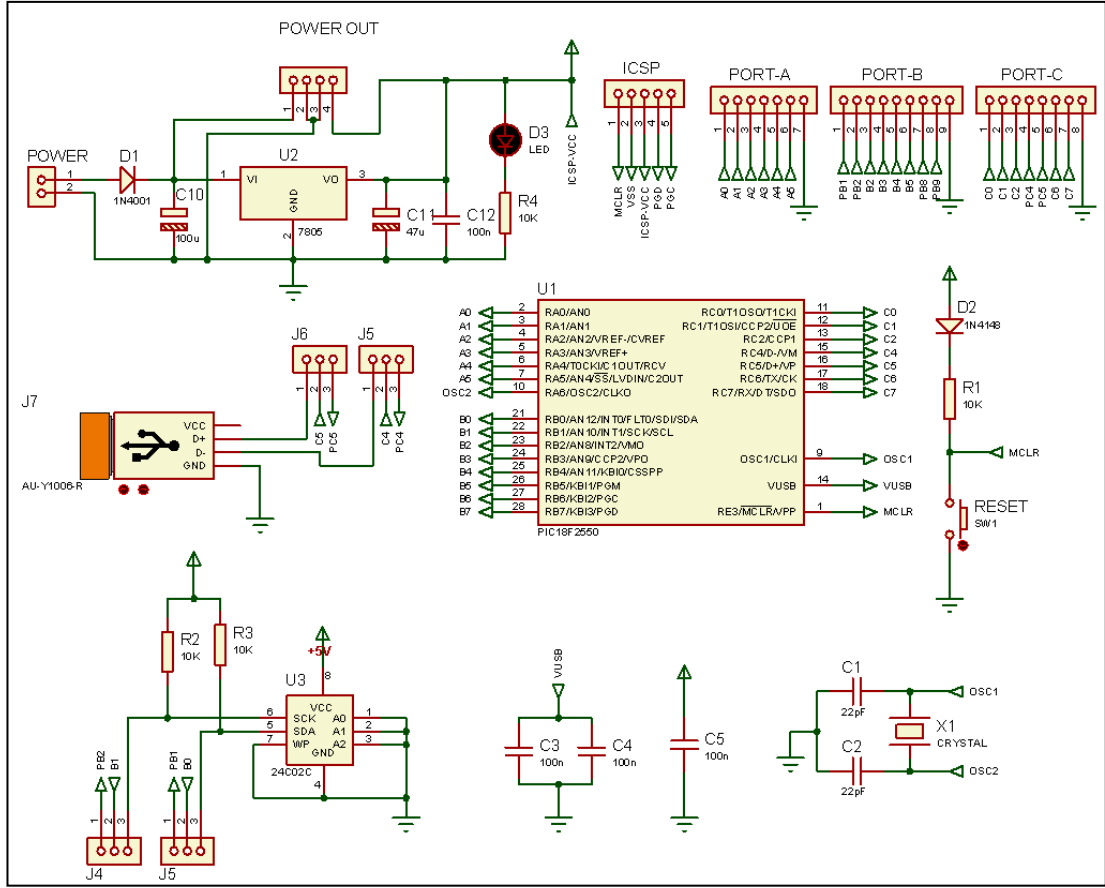
Zhang, D., and Gaoa Z., “Forward kinematics, performance analysis, and multi-objective optimization of a bio-inspired parallel manipulator”, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 28: 484–492 (2012).

Zhou, Y. B., and Xi, F. F., “Exact kinematic analysis of the general 5r Robot”, *Mechanism and Machine Theory*, 33 (1/2): 175-184 (1998).

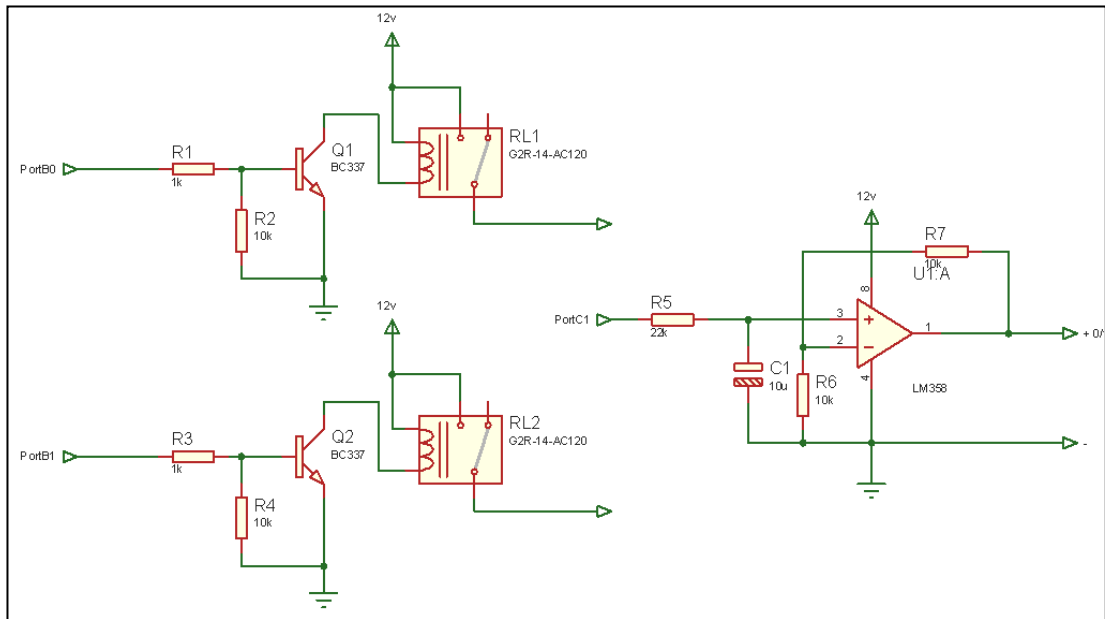
Zurada J, N., “Introduction To Artificial Neural Systems”, *West Publishing Company*, St. Paul (1992).

EK AÇIKLAMALAR A.

PIC DEVRE VE MODÜL DEVRE ŞEMASI



Şekil EK A.1. PIC devre şeması.



Şekil EK A.2. Modül devre şeması.

EK AÇIKLAMALAR B.

YAPAY SİNİR AĞI KODLARI

```
clc
clear
% Eğitim Seti Girişler
p= [Giriş];
t=[Çıkış];
% Test Seti Girişler
tg=[Giriş ];
tc=[Çıkış];
n=5; n2=5;
net=newff(minmax(p),[n,n2,4],{'logsig','logsig','purelin'},'trainlm');
net.trainParam.show = 50;
net.trainParam.lr = 0.05;
net.trainParam.mc = 0.9;
net.trainParam.epochs = 250;
net.trainParam.goal = 1e-5;
net = init(net);
[net,tr]=train(net,p,t);
%Ağın performans grafiği
semilogy(tr.epoch,tr.perf),grid on;
title('Ağın performansı')
xlabel('İterasyon')
ylabel('Performans')
```

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa AYYILDIZ, 1984'de Sinop'ta doğdu. İlk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Sinop Anadolu Meslek Lisesi, Bilgisayar Bölümü'nden mezun olduktan sonra 2003 yılında ZKÜ Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümüne girdi. 2007'de Makine Eğitimi Bölüm birincisi olarak mezun oldu. 2009 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında yüksek lisans programını tamamladı. 2009 yılında girdiği Düzce Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Düzce Üniversitesi
Tel : (380) 542 11 33
E-posta : mustafaayyildiz@duzce.edu.tr