



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**HATALI ÜRÜNLERİN GÖRÜNTÜ İŞLEME
YÖNTEMLERİ İLE TESPİTİ VE DELTA
ROBOT İLE ELENMESİ**

Nazır Can ALADAĞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

**Eylül-2024
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Nazır Can ALADAĞ tarafından hazırlanan “HATALI ÜRÜNLERİN GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMLERİ İLE TESPİTİ VE DELTA ROBOT İLE ELENMESİ” adlı tez çalışması 23/09/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Yusuf UZUN

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Sema SERVİ

İmza

.....

.....

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/.../20.. gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Havvanur UÇBEYİAY
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Nazır Can ALADAĞ

Tarih: 19.09.2024

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATALI ÜRÜNLERİN GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMLERİ İLE TESPİTİ VE DELTA ROBOT İLE ELENMESİ

Nazır Can ALADAĞ

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Yusuf UZUN

2024, 60 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Yusuf UZUN

Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN

Dr. Öğr. Üyesi Sema SERVİ

Gelişen teknolojiyle birlikte Endüstri 4.0 kavramı hayatımıza girmiş ve karanlık fabrika terimi popüler hale gelmiştir. Bu yeni nesil fabrikalarda insan faktörünün en aza indirilmesiyle üretim süreçleri robotik sistemler tarafından gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Ancak, bu otomasyon sürecinde üretimde meydana gelebilecek aksaklıklar, ürünlerin hatalı üretilmesine yol açabilir ve bu durum ürün kalitesi üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir.

Bu tezde, görüntü işleme teknikleri kullanılarak üretilen ürünlerdeki hataların tespit edilmesi ve delta robot kullanılarak bu hatalı ürünlerin ayıklanması üzerine çalışmalar yapılmıştır. Görüntü işleme ile hatalı ürünler algılanmış ve delta robot yardımıyla üretim hattından çıkarılmıştır. Bu sayede, üretim sürecindeki hataların belirlenmesi ve hatalı ürünlerin ayıklanması hedeflenmiştir. Bu çalışmada, robotik sistemlerin entegrasyonu ve etkinliği detaylı bir şekilde incelenmiştir. Görüntü işleme yöntemlerinin ve delta robotun birlikte kullanıldığı sistemde %95 oranında başarı elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Delta robot, Endüstri 4.0, Görüntü işleme, Hata tespiti, Karanlık fabrika, Kalite kontrolü, Otomasyon, Robotik sistemler

ABSTRACT

MS THESIS

**DETECTION OF FAULTY PRODUCTS WITH IMAGE PROCESSING
METHODS AND ELIMINATION WITH DELTA ROBOT**

Nazır Can ALADAĞ

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHATRONIC ENGINEERING**

**Advisor: Asst. Prof. Dr. Yusuf UZUN
2024, 60 Pages**

**Jury
Asst. Prof. Dr. Yusuf UZUN
Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN
Asst. Prof. Dr. Sema SERVİ**

With the advancement of technology, the concept of Industry 4.0 has emerged, popularizing the term "dark factory." In these new-generation factories, production processes are carried out by robotic systems with minimal human intervention. However, this automation process can lead to defects in products, negatively affecting product quality.

This thesis focuses on detecting defects in produced products using image processing techniques and sorting these defective products with a delta robot. Defective products are identified through image processing and removed from the production line with the help of a delta robot. The aim is to identify production process errors and sort out defective products. This study examines the integration and efficiency of robotic systems in detail. In the system where image processing methods and the delta robot are used together, a success rate of 95% has been achieved.

Keywords: Automation, Dark factory, Defect detection, Delta robot, Image processing, Industry 4.0, Quality control, Robotic systems

ÖNSÖZ

Umarım, bu çalışma, alanında uzman akademisyenler, mühendisler ve sektör profesyonelleri için değerli bir kaynak olur ve bu teknolojilerin daha da geliştirilmesine katkıda bulunur.

Bu tezi hazırlarken bana destek olan danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Yusuf UZUN hocama teşekkür ederim. Ayrıca, bu süreçte bana sabırla destek olan aileme, arkadaşlarıma ve nişanlım Damla AYAR'a minnettarım.

Nazır Can ALADAĞ
KONYA-2024



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Görüntü İşleme	2
1.2. Endüstriyel Uygulamalarda Görüntü İşleme	3
1.3. Delta Robotlar	4
1.4. Görüntü İşleme ve Delta Robotların Entegrasyonu	5
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	6
2.1. Görüntü İşleme Tabanlı Hata Tespiti.....	6
2.2. Ambalaj ve Üretim Hatalarının Tespiti	7
2.3. Kalite Kontrol ve Yapay Görme Uygulamaları	8
2.4. Robotlaşma ve Delta Robot Uygulamaları	10
2.5. Yapay Zeka ve Robot Entegrasyonu	13
2.6. Diğer Çalışmalar ve Genel Bilgiler	13
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	16
3.1. Kullanılan Ekipman ve Sistemler	17
3.1.1. Kamera ve ışıklandırma sistemi.....	18
3.1.2. Görüntü işleme birimi	18
3.1.3. Konveyör sistemi	19
3.1.4. Delta robot	19
3.1.4.1. Delta robot yapısal özellikleri.....	20
3.1.4.2. Delta robot çalışma prensibi	20
3.1.4.3. Delta robot avantajları	20
3.1.4.4. Servo motor.....	23
3.1.4.5. Tutucu	23
3.1.5. Mikrodenetleyici	24
3.1.6. Çift yarım köprü motor sürücü modülü	26
3.2. Delta Robot Kinematığı	28
3.3. Görüntü İşleme Süreci	33
3.3.1. Kontrol edilen ürün	35
3.3.2. Dijital görüntü elde etme	35
3.3.3. Segmentasyon ve analiz.....	36

3.3.3.1.	Daire tespiti.....	37
3.3.3.2.	Dikdörtgen tespiti	38
3.3.4.	Kullanılan yöntemler ve algoritmalar	39
3.4.	Modellerin Karşılaştırılması	40
3.4.1.	Geliştirilen modelin özellikleri ve avantajları	40
3.4.2.	Diğer modellerin değerlendirilmesi	41
3.4.3.	Performans analizi ve karşılaştırma	42
3.5.	Seri İletişim.....	42
4.	ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	44
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	45
5.1	Sonuçlar	45
5.2	Öneriler	45
6.	KAYNAKLAR	47
ÖZGEÇMİŞ	50

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

θ_1	: 1. Motor Açısı
x, y, z	: Uzay Koordinatları
x_n	: n. Motorun Oluşturduğu Koordinat Ekseni x Bileşeni
y_n	: Motorun Oluşturduğu Koordinat Ekseni y Bileşeni
E	: Delta Robot Hedef Konumu
E_1	: Motor Alt Tabla Bağlantı Noktası
E'_1	: Motor Alt Tabla Bağlantı Noktası Y-Z Ekseninde İfadesi
EE_1	: Motor Alt Tabla Bağlantı Noktası ve Hedef Konum Arası Mesafe
J_1	: 3B Düzlemde Üst ve Alt Kol Bağlantı Noktası
r_e	: E_1 Ve J_1 Arasındaki Mesafe
F_1	: Motor Pozisyonu
f	: Motorların Birbirine Uzaklığı

Kısaltmalar

2B	: 2 Boyutlu
3B	: 3 Boyutlu
DOF	: Degree of Freedom (Serbestlik Derecesi)
FF	: Fixed Frame (Sabit Çerçeve)
Hz	: Hertz (frekans birimi)
IoT	: Internet of Things (Nesnelerin İnterneti)
MCU	: Microcontroller Unit (Mikrodenetleyici Birimi)
mm	: Milimetre
PLC	: Programmable Logic Controller (Programlanabilir Mantık Denetleyicisi)
PWM	: Pulse Width Modulation (Darbe Genişliği Modülasyonu)
RGB	: Red, Green, Blue (Kırmızı, Yeşil, Mavi) Renk Uzayı
ROI	: Region of Interest (İlgi Alanı)
RPM	: Rotate Per Minute (Dakikadaki Devir Sayısı)
sn	: Saniye
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
V	: Volt (Gerilim)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Görüntünün algılanarak dijital ortama aktarılması (Çetin, 2019)	2
Şekil 3.1. Sistem genel görünümü	16
Şekil 3.2. Sistem akış diyagramı	17
Şekil 3.3. Kamera	18
Şekil 3.4. Konveyör bant	19
Şekil 3.5. Delta robot tasarımı	21
Şekil 3.6. Delta robot	22
Şekil 3.7. Mikrodenetleyici kartı ve motor sürücü kartı bağlantısı	22
Şekil 3.8. Servo motor	23
Şekil 3.9. Elektromanyetik tutucu	24
Şekil 3.10. NUC029KGE mikrodenetleyici kartı	25
Şekil 3.11. Mikrodenetleyici devre şeması	26
Şekil 3.12. Motor sürücü modülü	27
Şekil 3.13. Motor sürücü devre şeması	28
Şekil 3.14. Delta robot basitleştirilmiş gösterimi	29
Şekil 3.15. Y-Z ekseninde delta robot gösterimi	30
Şekil 3.16. Delta robot çalışma uzayı	32
Şekil 3.17. Kontrol ürünü	35
Şekil 3.18. Gri tonlamaya dönüştürülmüş kontrol ürünü	36
Şekil 3.19. Kontrol ürünü için eşikleme işlemi	37
Şekil 3.20. Kontur bulma ve alan tespiti	38
Şekil 3.21. Çalışma kapsamında incelenen model çıktıları	42
Şekil 3.22. NuLink programlayıcı	43

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Kenar tespiti algoritma karşılaştırmaları (Shah ve ark., 2020)	34
Çizelge 3.2. Modeller ve performansları	40

1. GİRİŞ

Görüntü işleme teknikleri ve robotik sistemler, bu çalışmanın temelini oluştururken; hatalı ürün tespiti ve ayıklama faaliyetleri, üretim süreçlerindeki verimliliği artırmak ve ürün kalitesini garanti altına almak için büyük önem taşımaktadır. Çalışma, delta robotlar ve görüntü işleme sistemlerinin entegrasyonunu detaylı bir şekilde inceleyerek, bu teknolojilerin üretim hatlarında nasıl bir fark yaratabileceğini ortaya koymaktadır.

Endüstri 4.0, modern üretim süreçlerinde devrim yaratarak, otomasyon ve veri alışverişi teknolojilerini ön plana çıkarmıştır (Özsoylu, 2017). Bu yenilikler, üretim tesislerinde insan müdahalesinin en aza indirilmesini, üretim hatlarının daha verimli, esnek ve entegre hale gelmesini sağlamıştır (Özsoylu, 2017). Endüstri 4.0 ile, "karanlık fabrikalar" olarak adlandırılan, tamamen otomatikleşmiş ve neredeyse tamamen insansız üretim tesisleri ortaya çıkmıştır (Yıldız, 2018). Bu fabrikalarda üretimden paketlenmeye kadar tüm süreçler robotik sistemler tarafından gerçekleştirilmektedir (Kaptangil, 2024). Bu gelişmeler, üretim verimliliğini artırırken, aynı zamanda ürün kalitesi ve standardizasyonu üzerinde yeni zorluklar doğurmuştur (Kaptangil, 2024).

Ürünlerin paketlenme aşamasının da otonom olarak gerçekleştirilmesi ile insan faktörü en aza indirilmiş, verimlilik ve standardizasyon yükselmiştir. Bu durum üretim sonrası hataların algılanması ve hatalı ürünlerin ayıklanması ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Hatalı ürünler paketlenme aşamasında sorunlara neden olmakta veya standardizasyonu düşürerek müşteri memnuniyetini azaltmaktadır. (Sarıyıldız ve Demirhan, 2021)

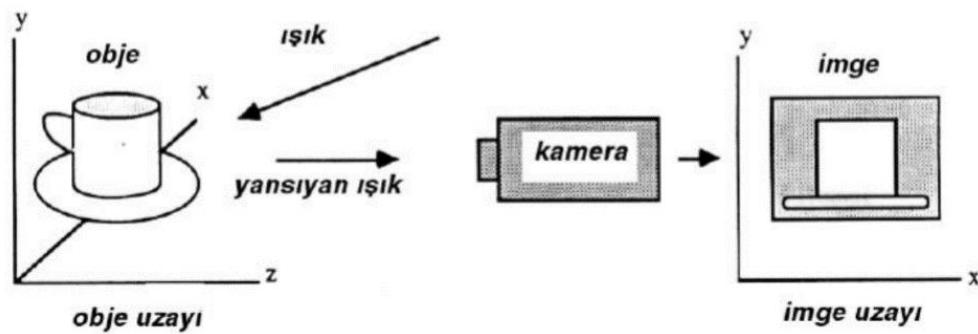
Görüntü işleme ve delta robot teknolojileri, bu yeni nesil üretim sistemlerinin kritik bileşenleridir (Pierrot ve ark, 1990). Görüntü işleme, üretim süreçlerinde ürünlerin yüzeyindeki kusurların yüksek doğrulukla tespit edilmesini sağlar (Şenel ve Çeşitli, 2014). Bu teknoloji, ürünlerin kameralar aracılığıyla alınan görüntülerinin dijital olarak işlenmesi ve analiz edilmesi yoluyla çalışır. Delta robotlar ise, yüksek hız ve hassasiyetle çalışabilen, özellikle paketlenme ve ayıklama işlemlerinde yaygın olarak kullanılan endüstriyel robotlardır (Su ve ark, 2018). Bu robotlar, tespit edilen hatalı ürünleri üretim hattından hızla çıkararak, üretim sürecinin kesintisiz devam etmesini sağlar (Su ve ark, 2018).

Görüntü işleme ve delta robot teknolojilerinin entegrasyonu, modern üretim tesislerinde kalite kontrol süreçlerinin otomatikleştirilmesine olanak tanır (Mohan ve Poobal, 2018). Bu entegrasyon, üretim hatlarında meydana gelebilecek aksaklıkların hızla

tespit edilmesini ve bu hataların etkili bir şekilde giderilmesini sağlar (Mohan ve Poobal, 2018). Görüntü işleme teknikleri ile delta robotların bir arada kullanılması, üretim süreçlerinde insan hatasını en aza indirir ve üretim verimliliğini artırır (Rizvi ve ark, 2017). Bu teknolojiler, medikal uygulamalardan otomotiv endüstrisine kadar birçok alanda kullanılmakta olup, üretim süreçlerindeki hataların tespit edilmesi ve ayıklanmasında kritik bir rol oynar (Su ve ark, 2018.).

1.1. Görüntü İşleme

Görüntü işleme, üretim süreçlerinde ürünlerin yüzeyindeki kusurların yüksek doğrulukla tespit edilmesini sağlayan bir teknolojidir (Samtaş ve Gülesin, 2011). Bu teknoloji, ürünlerin kameralar aracılığıyla alınan görüntülerinin dijital olarak işlenmesi ve analiz edilmesi yoluyla çalışır (Perihanoğlu, 2015). Görüntü işleme, bir algılama cihazı ve bu cihazdan elde edilen görüntü veri paketlerinin analiz edilerek, görüntülenen alana yönelik anlamlı veriler ile genel özelliklerinin ortaya çıkarılması sürecidir (Perihanoğlu, 20215). Dijital görüntü işleme, kameralarla elde edilen dijital verilerin analiz edilmesine dayanır ve bu verilerin anlamlı ve kullanışlı hale getirilmesini sağlar (Bal, 2006). Görüntünün algılanarak dijital ortama aktarılması Şekil 1.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Görüntünün algılanarak dijital ortama aktarılması (Çetin, 2019)

Görüntü işleme, son dönemlerde çok duyulan bir kavramdır. Yapay görme sistemlerinin gelişmesi ile, görüntü işleme endüstriyel alanlarda sıklıkla kullanılmaya başlamıştır (Bayram, 2019). Görüntü işleme temel olarak; bir algılama cihazı ve bu cihazdan elde edilen görüntü veri paketlerinin analiz edilerek görüntülenen alana yönelik anlamlı veriler ile genel özelliklerini ortaya çıkarmaya verilen isimdir (Yıldırım, 2019).

Görüntü işleme yöntemleri temel olarak analog ve dijital görüntü işleme olarak ikiye ayrılmaktadır (Yıldırım, 2019). Analog görüntü işleme, 2B analog sinyaller

kullanılarak gerçekleştirilir. Bu işlem televizyon görüntülerinde olduğu gibi, görüntünün elektrik sinyali üzerinde değişiklikler yapılması prensibine dayanır (Şin ve Kadioğlu, 2019).

Dijital görüntü işleme, kameralar vasıtası ile elde edilen dijital görüntü verisi üzerinde yapılan çalışmalara dayanır. Gelişen teknoloji ile kameralar daha kaliteli bir hal almış ve analog görüntü işleme yerini dijital görüntü işlemeye bırakmıştır (Öztürk, 2015).

Görüntü işleme algoritmaları, ürünlerdeki boyutsal sapmalar, yüzeydeki çatlaklar, renk farklılıkları gibi çeşitli hataları tespit edebilir (Bükücü, 2021). Bu süreç, üretim hatlarının daha verimli ve güvenilir hale gelmesine katkıda bulunur. Görüntü işleme, yüksek hassasiyet ve doğrulukla çalışarak, üretim süreçlerinde kalite kontrolü etkin bir şekilde gerçekleştirir (Çağıl, 2019). Kameralar aracılığıyla elde edilen görüntüler, dijital ortamda işlenerek analiz edilir ve hatalar tespit edilir. Bu sayede, üretim hatlarında meydana gelebilecek kusurlar hızlı bir şekilde tespit edilerek, gerekli önlemler alınabilir (Öztürk, 2015).

1.2. Endüstriyel Uygulamalarda Görüntü İşleme

Gelişen teknoloji endüstri 4.0'ı beraberinde getirerek karanlık fabrika teriminin ortaya çıkmasını sağlamıştır. İnsan faktörünün en aza indirilmesi ile üretim verimlilik artmış ve üretimden paketlemeye her bir işlem robotik sistemler tarafından gerçekleşmeye başlamıştır. Bu üretim ve paketleme sürecinde üretimde meydana gelebilecek aksaklıklar ürünlerin hatalı üretilmesine sebebiyet verebilir. Bu durum ürün kalitesine ve standardizasyona doğrudan etki eder (Sarıyıldız ve Demirhan, 2021).

Görüntü işleme yöntemleri, medikal uygulamalardan uzay araçlarına kadar geniş bir yelpazede kullanılmaktadır (Demircioğlu, 2018). Özellikle otomotiv endüstrisinde, malzeme işleme, boyama, kaynak yapma gibi işlemlerde endüstriyel robotların yönlendirilmesi ve hataların giderilmesi süreçlerinde görüntü işleme teknolojileri kullanılmaktadır. Üretim hatalarında meydana gelebilecek kusurların hızlı ve doğru bir şekilde tespit edilmesi, kalite kontrol ve paketleme uygulamalarının etkinliğini artırır (Bükücü, 2021).

Farklı sektörlerde üretim hatalarının ürün görüntüsü aracılığı ile algılanması, kalite kontrol ve paketleme uygulamaların gerçekleştirilmesi görüntü işleme yöntemleri aracılığı ile gerçekleştirilmektedir. Görüntü işleme ile tüm üretim aşamalarında ürünlerin izlenmesi, kalite güvencesi ve yüksek verimlilik elde edilmesini mümkün kılmıştır. (Demant ve ark, 2013).

Görüntü işleme teknikleri, üretim hattındaki ürünlerin sürekli olarak izlenmesini ve kalite güvencesinin sağlanmasını mümkün kılar (Çayıroğlu, YY). Bu teknolojiler, endüstriyel üretim süreçlerinin verimliliğini artırırken, insan hatasını en aza indirir ve ürün kalitesinin korunmasına yardımcı olur. Üretim hattındaki ürünlerin kameralar aracılığıyla sürekli izlenmesi ve analiz edilmesi, hataların hızlı bir şekilde tespit edilmesine ve ayıklanmasına olanak tanır. Bu sayede, üretim süreçlerinde kalite kontrolü daha etkin bir şekilde gerçekleştirilebilir (Tarı, 2020).

1.3. Delta Robotlar

Delta robotlar aralarında 120 derecelik açılarla yerleştirilmiş üç tahrik aktüatörü bulunan ve 3B uzayda hareket edebilen, çeşitli tutucularla beraber kullanılabilen bir tür robotik yapıdır (Ozan, 2020).

Delta robotlar, endüstriyel üretim süreçlerinde sıkça kullanılan önemli teknolojilerden biridir (Doğan, 2010). Yüksek hız ve hassasiyetle çalışabilen delta robotlar, özellikle paketleme ve ayıklama işlemlerinde yaygın olarak kullanılır (McClintock ve ark, 2018). Üç tahrik aktüatörü ile donatılmış olan delta robotlar, 3B uzayda hareket edebilen tutucularla çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır (Ayyıldız, 2020). Bu robotlar, tespit edilen hatalı ürünleri üretim hattından hızla çıkararak, üretim sürecinin kesintisiz devam etmesini sağlar (Doğan, 2010).

Delta robotların esnekliği ve hızı, üretim hatlarının verimliliğini artırmakta ve hatalı ürünlerin tüketiciye ulaşmasını engellemektedir (Doğan, 2010). Ayrıca, delta robotlar, farklı boyut ve şekillerdeki ürünlerin ayıklanması ve taşınması için çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılabilir (Ayyıldız ve Ayyıldız, 2020). Bu robotlar, üretim süreçlerinde insan müdahalesini en aza indirerek, otomasyon seviyesini artırır ve üretim verimliliğini yükseltir (Doğan, 2010).

Delta robot, üç serbestlik derecesine (DOF) sahip hızlı bir paralel manipülatördür. Bu robot, üç adet eşit uzunlukta bağlantı kolu ile donatılmıştır ve bu kolların her biri, üst sabit platforma, yani merkezi eklemlere monte edilmiştir (Falezza ve ark, 2020). Bu merkezi eklemler, birincil bağlantı kolları ile hareketi aktarır (Doğan, 2010). Her birincil bağlantı kolunun sonunda, ara eklemler bulunur ve bu eklemler, ikincil bağlantı kolları ile bağlantılıdır (Falezza ve ark, 2020). Her ikincil bağlantı kol, bir dört çubuklu paralelogram mekanizması şeklinde düzenlenmiştir ve bu mekanizma, uç efektör olarak adlandırılan hareketli platforma bağlıdır. Uç efektör, uzaysal çevrimsel hareketleri gerçekleştirir. Kinematik analiz iki ana bölümden oluşur (Doğan, 2010):

Ters kinematik, robotun uç efektörünün istenen pozisyonunu sağlamak için gerekli merkezi, ara ve ikincil eklemlerin açılarını hesaplar. Bu, robotun her bir bağlantı kolundaki geometrik ilişkilere dayanarak gerçekleştirilir (Doğan, 2010).

İleri kinematik, verilen eklemlerin açılarından yola çıkarak, uç efektörün uzaydaki nihai konumunu belirler. Bu süreç, bağlantı kollarının uzunlukları ve açıları göz önünde bulundurularak yapılır (Murray, 2004).

1.4. Görüntü İşleme ve Delta Robotların Entegrasyonu

Görüntü işleme ve delta robot teknolojilerinin entegrasyonu, modern üretim tesislerinde kalite kontrol süreçlerinin otomatikleştirilmesine olanak tanır (Kulaksız, 2010). Bu entegrasyon, üretim hatlarında meydana gelebilecek aksaklıkların hızla tespit edilmesini ve bu hataların etkili bir şekilde giderilmesini sağlar (Yıldırım, 2019). Görüntü işleme teknikleri ile delta robotların bir arada kullanılması, üretim süreçlerinde insan hatasını en aza indirir ve üretim verimliliğini artırır (Kulaksız, 2010).

Bu teknolojiler, medikal uygulamalardan otomotiv endüstrisine kadar birçok alanda kullanılmakta olup, üretim süreçlerindeki hataların tespit edilmesi ve ayıklanmasında kritik bir rol oynar (Yıldırım, 2019). Bütünleşmiş sistemler, üretim süreçlerinin daha etkin ve güvenilir hale gelmesini sağlar. Bu sistemler, üretim hatlarındaki ürünlerin sürekli izlenmesini ve kalite güvencesinin sağlanmasını mümkün kılar (Kulaksız, 2010).

Endüstriyel otomasyon sistemlerinde görüntü işleme yöntemlerinin kullanılması ile ürüne yönelik çeşitli kontrollerin ve görevlerin otomatik olarak gerçekleştirilmesi, üretim süreçlerinde kalite güvencesini artırır (Demant, 2013). Delta robotlar ve görüntü işleme tekniklerinin bir arada kullanılması, ürünlerin renk, boyut ve şekil gibi özelliklerine göre sınıflandırılmasını sağlar. Örneğin, Demant ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, endüstriyel kameralar ve görüntü işleme sistemlerinin maliyetlerin düşürülmesi ve üretim performansının artırılmasındaki rolü vurgulanmıştır. Aynı şekilde, delta robotlar üretim bandında ürünlerin hızla ve doğru bir şekilde ayrıştırılmasında etkili olup, üretim verimliliğini en üst düzeye çıkarmaktadır (Demant, 2013).

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Üretim sonrası hatalı ürün tespiti ve ayıklanması konusundaki çalışmalar, üretim hatlarının verimliliği ve ürün kalitesinin artırılması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu alandaki çalışmaları ve bulguları aşağıda detaylandırılmış başlıklar altında ele alınmıştır.

2.1. Görüntü İşleme Tabanlı Hata Tespiti

Shah ve arkadaşları gerçekleştirdikleri bir çalışmada, görüntü işleme alanında kullanılan kenar tespit tekniklerini incelemektedir. Kenar tespiti, bir görüntüdeki nesnelerin sınırlarını belirleyen keskin değişikliklerin algılanmasıdır. Bu makalede, Sobel, Prewitt, Robert, Canny ve Laplace gibi çeşitli kenar tespit algoritmaları incelenmiştir. Farklı görüntüler üzerinde yapılan deneylerde bu tekniklerin performansları karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda, özellikle gürültülü görüntülerde Canny algoritmasının en etkili ve verimli kenar tespit yöntemi olduğu tespit edilmiştir. Diğer yöntemlerin, bulanıklık veya yanlış kenarlar gibi dezavantajları bulunmaktadır (Shah ve ark., 2020).

Balcı, üretim sonrası hatalı ürünlerin tespiti için görüntü işleme tabanlı uygulamaların hız ve verimlilik açısından sağladığı katkıları incelemiştir. Çalışmasında, üretilen ürünlerin hareketli bantlar üzerinde hızla akması esnasında bir kamera vasıtasıyla kaydedilerek görüntü işleme yöntemleri ile hatalı ürünlerin tespiti sağlanmıştır. İlk olarak, rasgele konumlanmış ürünler algılanarak konumdan bağımsız hale getirilmiş ve ardından elde edilen görüntüler ön-işleme tabii tutularak arka plan yok edilmiştir. Gri skala görüntüler elde edilip, boyutları küçültülerek Canny algoritması ile hatalı veya hatasız ayrımı yapılmıştır (Balcı, 2008).

Dijital görüntü işleme tekniklerinin kullanılması ile görüntülerden detay çıkarımı üzerine bir çalışma gerçekleştiren Perihanoğlu, bu çalışma ile dijital görüntü işleme yöntemlerini kullanarak görüntülerdeki özneliklerin tespit edilmesi ve bu görüntülerin anlamlandırılmasını amaçlamıştır. Çalışmada, görüntü zenginleştirme teknikleri, histogram eşitleme, kontrast geliştirme ve morfolojik işlemler gibi yöntemler kullanılmıştır. Görüntü işleme teknikleri, MATLAB yazılımı aracılığıyla uygulanmış ve görüntülerin çeşitli algoritmalarla nasıl iyileştirilebileceği, filtreleme işlemleriyle detayların nasıl netleştirilebileceği gösterilmiştir. Ayrıca, kenar belirleme ve eşikleme yöntemleri kullanılarak görüntülerdeki önemli detayların çıkarılması sağlanmıştır. Bu

çalışma, dijital görüntü işleme tekniklerinin pratikteki uygulanabilirliğini gösterirken, bu tekniklerin özellikle çevre, uydu görüntüleme ve fotogrametri gibi alanlarda kullanımı üzerine de katkı sunmaktadır (Perihanoğlu, 2015).

Coşkun, manuel olarak insan tarafından gerçekleştirilen hata kontrolünün yeterince sağlıklı olmadığını ve insan gözünün kısa sürede yorularak algılamada hata yapacağını belirtmiştir. İnsan kontrolünde yalnızca var-yok bilgisinin elde edilebileceğini, analiz ve sınıflandırma yapılamayacağını ifade etmiştir. Çalışmasında, hata tespiti ve analizi için yapay görme uygulamalarının gerekliliğini vurgulamış ve ürünün fabrika ortamında kullanılacağı göz önüne alınarak toz ve ışık etkenlerine yönelik önlemler alınarak yapay görme ortamı oluşturulmuştur. Hazırlanan ortamda elde edilen karo görüntüleri bilgisayar ortamına aktarılarak ISO10545:2 ve ISO-10545:16 standartlarında yüzey kalitesi ve hassas renk farkı tespiti için görüntü işleme yöntemleri kullanılmıştır. Algoritmalarda Gobar, Wineer Filtre ve Yönlendirilebilir Sayısal Filtre metotları uygulanmıştır (Coşkun, 2022).

Bayram, metal sektörüne yönelik kusurlu ürün tespit sistemi üzerine gerçekleştirdiği çalışmada, sayısal tabanlı hata kontrol sistemlerinin insan kontrolüne oranla daha verimli ve hızlı olduğunu vurgulamıştır. Çalışma iki aşamada yürütülmüştür; ilk aşamada morfolojik işlemler ve Hough dönüşümü kullanılmış ve iki yaklaşımda da %80 üzerinde başarı elde edilmiştir. İkinci aşamada ise Raspberry Pi kullanılarak Hough dönüşümü farklı çözünürlükteki kameralar ile test edilmiş ve 10 MP kamera ile yapılan denemede %96,29 ölçüm başarısı elde edilmiştir (Bayram, 2019).

Kwon ve Kwak, derin öğrenme tabanlı hatalı ürün sınıflandırma sistemi geliştirmiştir. Bu sistemde, programlanabilir mantık denetleyicisi (PLC) yapay zeka gömülü kartı (AI Edge-PLC) kullanılarak hatalı ürünler sınıflandırılmıştır. Görüntülerden ilgi alanı (ROI) çıkarılarak elektrik kabloları verileri toplanmıştır. Deneysel sonuçlar, sistemin gerçek dünyada hatalı ürünleri hızlı ve yüksek doğrulukla sınıflandırabildiğini göstermiştir (Kwon ve Kwak, 2021).

2.2. Ambalaj ve Üretim Hatalarının Tespiti

Ambalaj yüzeyindeki hataların tespit edilmesini amaçlayan bir çalışma gerçekleştiren Çağıl ve arkadaşları, Pycharm Platformunda Python Programlama Dilinde OpenCV Kütüphanesi'ni kullanmışlardır. Çalışma sonucunda, operatörlerin hata tespiti başarısı %78,58 iken, görüntü işleme yöntemiyle yapılan hata tespiti başarısının %90,58 olduğu bulunmuştur. Araştırmacılar, görüntü işleme yönteminin fazladan enerji ve iş

gücü harcamalarını düşürerek firmalara faydalı olabileceğini rapor etmişlerdir (Çağır ve ark, 2019).

Çelikdemir, görüntü işleme uygulamaları olan görüntünün sayısallaştırılması, iyileştirilmesi, koordinatlandırılması, filtrelenmesi ve sınıflandırılması yöntemlerini kullanarak beton yüzeylerinde meydana gelen çatlakları tespit etmeyi amaçlamıştır. Araştırmasını Matlab bilgisayar programı üzerindeki hazır görüntü işleme fonksiyonlarını kullanarak gerçekleştirmiştir. Çalışmada, çatlak boyutlarının ortam ışık şiddeti, görüntüleme mesafesi, görüntüleme yakınlık ayarı, görüntü üzerine düşen gölge miktarı, görüntüleme aralığı ve yüksek sıcaklığa maruz kalma derecesine göre farklılık gösterdiği sonucuna varılmıştır (Çelikdemir, 2015).

Yuanyuan Ding ve arkadaşları, yüzey hatalarının tespiti için derin öğrenme tabanlı yaklaşımları incelemiştir. Çalışmada, denetimli, denetimsiz ve zayıf denetimli yöntemler kullanılarak sanayi ürünlerinin yüzey hatalarının tespiti gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemler, küçük örnek sorunları, küçük hedef sorunları ve dengesiz örnek sorunları gibi kilit sorunların üstesinden gelmek için uygulanmıştır (Ding ve ark, 2021).

2.3. Kalite Kontrol ve Yapay Görme Uygulamaları

Enjektör üretimi yapan bir işletmeye yönelik paketleme öncesi kalite kontrol işlevini yerine getiren bir sistem geliştiren Tarı, çalışma kapsamında görüntü almaya yönelik 12.2 MP çözünürlüğündeki bir kamera yerleştirilen aydınlatılmış bir platform kurmuştur. Problem çözümü için şablon eşleştirme, renk filtreleme, haar-cascade sınırlayıcısı, renk filtreleme ve morfolojik işlemler gibi yöntemler beraber kullanılmıştır. Enjektör ve iğne ucu üzerine yapılan çalışmada, var-yok, ürün adeti veya yabancı madde algılama gibi çıktılar elde edilmiştir (Tarı, 2020).

Bal, malzeme görüntülerinin işlenmesi yoluyla malzeme özelliklerinin tespit edilmesine yönelik bir çalışma gerçekleştirmiştir. Tez çalışmasının temel amacı, görüntü işleme teknikleri kullanılarak malzemenin tane büyüklüğünün analiz edilmesidir. İlk aşamada, model olarak domino taşları seçilmiş ve bu taşlara ait görüntüler dijital kamera aracılığıyla elde edilmiştir. Görüntüler, bilgisayar ortamına aktarılmış ve farklı çözünürlüklerde işlenmiştir. Bu süreçte, her bir taşın sayısal değeri tanımlanmış ve taşların konumuna ve düzenine göre analizler yapılmıştır. Görüntü işleme tekniklerinden görüntü iyileştirme, yapısal düzenleme, bölümlendirme ve filtreleme gibi yöntemler kullanılarak taşların üst ve alt yüzeylerindeki noktalar tespit edilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise, geliştirilen yazılım malzeme görüntüleri için uyarlanmış ve malzemeye

ait küresel grafit alanı yüzdesi gibi faz oranları hesaplanmıştır. Bu aşamada, malzemenin içerisindeki piksel alanlarının oranları belirlenmiş ve istenilen fazın yüzdesel oranı hesaplanmıştır. Çalışmada, görüntü çözünürlüğünün uygulama başarısına olan etkisi özellikle vurgulanmış ve düzgün aydınlatmanın, görüntü bölümlendirme işleminde önemli bir faktör olduğu gösterilmiştir. Ayrıca, malzemeye yönelik uygulanacak örnek hazırlama çalışmalarının, belirlenmek istenen özelliklerin doğruluğunu büyük ölçüde etkilediği belirtilmiştir. Sonuç olarak, hazırlanan yazılım ile malzeme görüntüleri üzerinde yapılan analizlerin, görüntü işleme tekniklerinin malzeme bilimi alanındaki uygulamalarında başarılı sonuçlar verdiği ifade edilmiştir (Bal, 2006).

Başka bir çalışma gerçekleştiren Bükücü, cam ürünlerdeki hataları tespit etmek için görüntü işleme tekniklerini kullanan bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışma, cam yüzeylerinde oluşan hataları tespit etmek amacıyla gömülü sistem tabanlı bir otomatik kontrol sistemi geliştirilmesini hedeflemiştir. Bu doğrultuda, cam fabrikasından alınan ürünler üzerinde hataları tespit etmek için konveyör bant, mikro-sürücü ve kameradan oluşan bir prototip tasarlanmış ve bu sistemde açık kaynak kodlu morfolojik görüntü işleme teknikleri kullanılmıştır. Hata tespitinde Gaussian metodu ile sınır belirleme yapılmış ve sonuçlar, “Destek Vektör Makinesi”, “Kuadratik Diskriminant Analizi” ve “Orta Ölçekli Ağaç” sınıflayıcıları ile analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda, sistemin %93.2 başarı oranı ile cam yüzeylerinde hata tespit ettiği belirlenmiştir. Geliştirilen bu sistemin, manuel kalite kontrol süreçlerine alternatif olarak cam fabrikalarında uygulanabilir bir çözüm sunduğu belirtilmiştir (Bükücü, 2021).

Görüntü işleme uygulamaları birçok sektörde kullanılmaktadır. Rizvi, Khan ve Shafeeq tarafından yapılan çalışmada, demiryolu raylarındaki çatlakları tespit etmek amacıyla görüntü işleme teknikleri kullanılmıştır. Bu çalışmada, geleneksel manuel inceleme yöntemlerinin yerini alabilecek bir bilgisayarla görü tabanlı sistem önerilmiştir. Sistem, demiryolu raylarının periyodik olarak görüntülerini alır ve bu görüntüleri daha önce kaydedilmiş sorunsuz ray görüntüleri ile sürekli olarak karşılaştırarak herhangi bir çatlak tespit edildiğinde otomatik olarak bildirimde bulunur. Bu sayede demiryolu kazalarının önüne geçilmesi hedeflenmiştir. Çalışmacılar, görüntü işleme teknikleri ile rayların daha hızlı, daha verimli ve maliyet etkin bir şekilde incelenebileceğini ve bu sistemin, manuel denetimlerin neden olduğu yorgunluk ve öznel hatalardan arındırılmış sonuçlar sağlayacağını vurgulamıştır. Çalışmada histogram iyileştirme ve morfolojik işlemler gibi yöntemler kullanılarak çatlakların segmentasyonu yapılmış ve bağlantılı bileşenler analizi ile raylarda süreksizlik olup olmadığı tespit edilmiştir. Simülasyon

sonuçları MATLAB yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve geliştirilen sistemin etkinliği başarılı bir şekilde gösterilmiştir (Rizvi ve ark., 2017).

Bir başka çalışmada yine yüzey algılama üzerine çalışan Mohan ve Poobal 2017, yapıların yüzeyindeki çatlakların tespit edilmesi için görüntü işleme tekniklerini analiz ettikleri bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmanın amacı, manuel incelemenin yavaş ve subjektif doğası yerine otomatik görüntü tabanlı çatlak tespiti yöntemlerinin kullanımını önermektir. Çalışmada 50 farklı makale incelenerek çatlak tespitinde kullanılan görüntü işleme teknikleri, doğruluk düzeyleri, hata oranları ve kullanılan veri setleri detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Görüntü tabanlı tespit yöntemlerinin sınıflandırılması, entegre algoritmalar, morfolojik yaklaşımlar, perkolasyon tabanlı yöntemler ve pratik teknikler başlıkları altında gerçekleştirilmiştir. Yazarlar, bu tekniklerin başarılarını inceleyerek, görüntü işleme tabanlı çatlak tespiti konusunda gelecekteki araştırmalar için çeşitli önerilerde bulunmuştur (Mohan ve Poobal, 2017).

Görüntü işleme teknikleri ile algılanan üretim hataları, sisteme uygun robotik uygulamalar ile bütünleştiğinde işe yarar sonuçlar doğurmaktadır. 2015 yılında Şenel ve Çetişli, görüntü işleme ve beş eksenli robot kol kullanarak üretim hattında nesne denetimi üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, üretim bandı üzerinde hareket eden ürünler, gömülü sistemler yardımıyla sınıflandırılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan sistem, FriendlyARM firmasının geliştirdiği mini6410 kartını ve beş eksenli ED-7220C model robot kolunu içermektedir. Görüntü işleme teknikleriyle, bant üzerinde ilerleyen ürünlerin hatalı olup olmadığı tespit edilmiştir. Geliştirilen sistemle, 60 adet ürün üzerinde yapılan deneylerde %100 başarı oranı elde edilmiştir. Sonuçlar, görüntü işleme algoritmalarının sanayide verimliliği artırmada önemli bir rol oynadığını göstermiştir. İlerleyen çalışmalarda, daha çeşitli ürün gruplarıyla sistemin performansını artırmayı hedeflemektedirler (Şenel ve Çetişli, 2015).

2.4. Robotlaşma ve Delta Robot Uygulamaları

Geçmişten günümüze robotlaşma sürecini araştıran Ozan, kullanım alanlarına göre robotların mekanik yapıları hakkında detaylı incelemeler yapmıştır. Sanayide sıklıkla kullanılmaya başlayan delta robotlar üzerinde durarak, çalışma yapıları incelenmiş ve gerçekleştirilen hesaplamalar doğrultusunda delta robot katı modeli oluşturulmuştur. Ayrıca, elektronik donanım eklenerek delta robot uygulamaları gerçekleştirilmiştir (Ozan, 2020).

Delta robotların henüz yaygınlaşmadığı yıllarda Pierrot, Reynaud ve Fournier, Delta robotun mekanik yapısını ve bu yapının sağladığı avantajları ele alan bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, Delta robotun paralel bir yapıya sahip olduğu ve bu sayede yüksek hız ve hassasiyet ile çalıştığı vurgulanmıştır. Delta robotun kinematik ve dinamik modelleri ele alınmış ve bu modellerin doğrudan ve ters kinematik hesaplamalarının nasıl yapılabileceği açıklanmıştır. Yazarlar, özellikle bu modellerin hesaplamalarını sadeleştirmek amacıyla kinematik parametrelerin dikkatlice seçildiğini ve bunun sonucunda hızlı ve verimli bir hesaplama sürecine ulaşıldığını belirtmişlerdir. Çalışmada, robotun özellikle düşük maliyetli donanımlar üzerinde yüksek performansla çalışabilmesi için uygun denklemler ve algoritmalar geliştirilmiştir. Ayrıca, Delta robotun SCARA tipi robotlarla kıyaslandığında, X, Y ve Z eksenlerinde hareket kabiliyetine sahip olması ve düşük hareketli kütle avantajı ile öne çıktığı belirtilmiştir (Pierrot ve ark., 1990).

Murray, Clavel'in Delta adını verdiği, üç bacaklı paralel mimarili yüksek hızlı endüstriyel montaj robotlarının kinematik analizlerini ele almıştır. Çalışmasında, robotun merkezi eklemler olarak adlandırılan sabit üst platformdan, uç efektör olarak adlandırılan hareketli platforma kadar uzanan bağlantı kollarının geometrik yerleşimini analiz ederek, bu yapıların mekansal konumlarının hesaplanması için basit geometrik çözümler sunmuştur. Ters ve ileri kinematik analizler, lineer ve küresel geometrilerin kesişimi ile çözülebilmekte ve bu işlemler sabit bir referans çerçevesinde verimli bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Murray, robotun eklemleri arasındaki bağlantıyı ve hareket transferini açıklarken, dört çubuklu paralelogram mekanizmasının kinematik yapıda nasıl bir işlev gördüğünü detaylandırmıştır. Çalışma, Delta robotlarının programlanması ve kullanılması için gerekli olan kinematik bilgileri sağlamayı amaçlamaktadır (Murray, 2004).

Delta robota dair ileri ve ters kinematik hesaplamaların gerçekleştirildiği bir çalışma yapan Doğan, eklemlerde eksen konumlandırmaları ve eklemler arası dönüşüm matrisleri üzerinde durarak temel bilgiler sunmuştur. Çalışma sonucunda, robot eklemlerine koordinat sistemlerinin bağlanması ile ileri ve ters kinematik hesaplamalar ortaya çıkarılmıştır (Doğan, 2010).

Su ve arkadaşları, delta robotların sanayideki kullanımlarını ve mekanik yapılarını incelemişlerdir. Delta robotlar, üç serbestlik derecesine sahip paralel kinematik yapıya sahip olup, yüksek hız ve hassasiyetle çalışabilen sistemlerdir. Bu robotlar, ürünlerin hızla ve doğru bir şekilde sınıflandırılması ve taşınmasında kullanılmaktadır (Su ve ark., 2021).

Erpolat, robotik sistemlerde görüntü işleme üzerine yaptığı çalışmada, robot kolu kullanarak bir tut ve bırak uygulaması geliştirmiştir. Çalışmada, bir kamera yardımıyla elde edilen görüntüler işlenmiş ve nesnelerin tanınması, konumlarının belirlenmesi sağlanmıştır. Bu işlem için Simulink yazılımı kullanılmış ve robotla görüntü işleme sistemi arasında bir bağlantı kurularak, nesnelerin pozisyonlarının tespiti ve robota iletilmesi sağlanmıştır. Simulink yazılımının robota doğrudan destek vermemesi nedeniyle, Visual Basic kullanılarak bir arayüz programı geliştirilmiştir. Bu program, Simulink'ten alınan verileri Ethernet protokolü aracılığıyla robota aktarmış ve robotun nesneyi güncel konumundan alarak belirlenen yere taşımış olmasını sağlamıştır. Çalışmada, ışıklandırmadan kaynaklanan parlamaların ve gölgelerin önlenmesi amacıyla zemin beyaz renkle kaplanmış ve cisimlerin düşük yüksekliklerde olması tercih edilmiştir. Bu düzenlemeler sayesinde, sistemin daha stabil ve doğru çalışması hedeflenmiştir (Erpolat, 2008).

Görüntü işleme yöntemleri ile gerçekleştirilen sistemler hata algılamının yanı sıra ürünleri de sınıflandırabilmektedir. Buna örnek olarak Taşçı, dijital görüntü işleme teknikleri ve yapay zeka algoritmaları kullanarak endüstriyel uygulamalarda nesne sınıflandırma ve denetimi üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, beş eksenli robot kol ve gömülü sistemler yardımıyla üretim bandı üzerinde geçen ürünler hatalı ve hatasız olarak sınıflandırılmıştır. Gömülü sistem olarak ARM tabanlı mini6410 geliştirme kartı ve Linux tabanlı bir işletim sistemi kullanılmıştır. Üretim bandında hareket eden nesnelere, görüntü işleme algoritmaları ile analiz edilmiş ve hata tespit edildiğinde robot kolu aracılığıyla hatalı ürünler ayrıştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda, görüntü işleme tekniklerinin üretim hatlarındaki verimliliği artırmada önemli bir rol oynadığı, sistemin yüksek doğrulukla çalıştığı ve %100 başarı oranı sağladığı görülmüştür. Bu çalışmanın gelecekteki uygulamalarında, farklı ürün gruplarıyla sistemin performansını artırmak ve genişletmek hedeflenmektedir (Taşçı, 2015).

Sınıflandırma yeteneğine sahip görüntü işleme sistemleri, robotik sistemler ile donatıldığında, ürünleri verilen parametreler doğrultusunda fiziksel olarak sınıflandırabilmektedir. Sarıyıldız ve Demirhan, görüntü işleme teknikleri ve robot kol kullanarak endüstriyel üretim hattında nesnelere renklerine göre sınıflandırma üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmanın amacı, konveyör bant üzerinde ilerleyen nesnelere, kamera ve gömülü sistemler yardımıyla algılayıp, robot kol kullanarak önceden belirlenmiş renk kodlarına göre sınıflandırmaktır. Sistem, renk sensörleri yerine görüntü

işleme tekniklerini kullanarak daha hızlı ve çok yönlü bir sınıflandırma gerçekleştirmiştir. RGB renk modeli ile çalışan sistemde, nesnelerin rengi tespit edilip robot kol ile ilgili koordinatlara taşınmıştır. Çalışmada 15 nesne üzerinde testler gerçekleştirilmiş ve %100 başarı oranıyla nesneler doğru kutulara yerleştirilmiştir (Sarıyıldız ve Demirhan, 2021).

2.5. Yapay Zeka ve Robot Entegrasyonu

Erdoğan, nesnelerin görüntü içerisindeki konumu ve açısından bağımsız olarak nesnelerin tanınması, parametrelere göre sınıflandırılması ve bu doğrultuda robot ile belirli noktalara ayrılması üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışma kapsamında, bir kamera sistemi kullanılarak yapay sinir ağları algoritmalarından yararlanılmıştır. Sistemde, robot kol açı hesaplamaları, konveyör hızı ve haberleşme sistemleri için mikrodenetleyici tabanlı bir kontrol ünitesi üretilmiştir (Erdoğan, 2012).

2.6. Diğer Çalışmalar ve Genel Bilgiler

Görüntü işleme, modern üretim süreçlerinde kritik bir rol oynamaktadır. Bu teknoloji, üretim süreçlerinde ürünlerin yüzeyindeki kusurların yüksek doğrulukla tespit edilmesini sağlar. Görüntü işleme, bir algılama cihazı ve bu cihazdan elde edilen görüntü veri paketlerinin analiz edilerek, görüntülenen alana yönelik anlamlı veriler ile genel özelliklerinin ortaya çıkarılması sürecidir. Dijital görüntü işleme, kameralarla elde edilen dijital verilerin analiz edilmesine dayanır ve bu verilerin anlamlı ve kullanışlı hale getirilmesini sağlar (Yıldırım, 2019).

Görüntü işleme algoritmaları, ürünlerdeki boyutsal sapmalar, yüzeydeki çatlaklar, renk farklılıkları gibi çeşitli hataları tespit edebilir. Bu süreç, üretim hatlarının daha verimli ve güvenilir hale gelmesine katkıda bulunur. Görüntü işleme, yüksek hassasiyet ve doğrulukla çalışarak, üretim süreçlerinde kalite kontrolü etkin bir şekilde gerçekleştirir. Kameralar aracılığıyla elde edilen görüntüler, dijital ortamda işlenerek analiz edilir ve hatalar tespit edilir. Bu sayede, üretim hatlarında meydana gelebilecek kusurlar hızlı bir şekilde tespit edilerek, gerekli önlemler alınabilir (Öztürk, 2015).

Görüntü işleme yöntemleri, medikal uygulamalardan uzay araçlarına kadar geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Özellikle otomotiv endüstrisinde, malzeme işleme, boyama, kaynak yapma gibi işlemlerde endüstriyel robotların yönlendirilmesi ve hataların giderilmesi süreçlerinde görüntü işleme teknolojileri kullanılmaktadır. Üretim hatalarında meydana gelebilecek kusurların hızlı ve doğru bir şekilde tespit edilmesi, kalite kontrol ve paketleme uygulamalarının etkinliğini artırır (Demant ve ark., 2013).

Özsoylu, Endüstri 4.0 üzerine yaptığı çalışmada, bu yeni sanayi devrimini ve temel bileşenlerini ele almıştır. Endüstri 4.0, sanayileşmenin dördüncü evresi olarak tanımlanmakta ve nesnelere interneti ile bağlantılı akıllı üretim sistemlerine dayanmaktadır. Bu dönemde, akıllı fabrikalar, siber fiziksel sistemler ve bulut bilişim gibi teknolojiler üretim süreçlerinde devreye girmektedir. Özsoylu, çalışmasında, Endüstri 4.0'ın akıllı üretim, büyük veri, siber güvenlik ve nesnelere interneti gibi temel unsurlarını vurgulamış ve bu unsurların sanayi üretiminde nasıl bir dönüşüm yarattığını açıklamıştır. Ayrıca, bu yeni üretim anlayışının küresel rekabetçiliği artıracak ve iş gücü taleplerinde önemli değişikliklere neden olacağını belirtmiştir (Özsoylu, 2017).

Kaptangil, endüstri devrimleri ve özellikle Endüstri 4.0 ile ortaya çıkan "karanlık fabrikalar" üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada, karanlık fabrikaların teknolojik gelişmeler doğrultusunda nasıl evrildiği ve bu üretim sistemlerinin avantajları ele alınmıştır. Karanlık fabrikalar, insan müdahalesi olmadan tamamen otomatikleşmiş üretim süreçlerini ifade etmekte olup, akıllı makineler ve yapay zeka sistemleri ile çalışmaktadır. Kaptangil, çalışmasında Endüstri 1.0'dan 4.0'a kadar olan süreçleri değerlendirmiş, Endüstri 4.0 ile ortaya çıkan esnek ve dijital üretim sistemlerinin karanlık fabrikaların temelini oluşturduğunu belirtmiştir. Özellikle üretimde verimlilik, hız ve maliyet avantajlarının sağlanmasının yanı sıra, insan sağlığını tehdit eden unsurların ortadan kalkması gibi önemli avantajlar da vurgulanmıştır (Kaptangil, 2023).

Yapılan çalışmalar endüstri 4.0 için önemli gelişmelerdir. Yıldız, Endüstri 4.0 ve akıllı fabrikalar üzerine yaptığı çalışmada, sanayi devrimlerinin tarihsel gelişimini ve Endüstri 4.0'ın temel bileşenlerini incelemiştir. Çalışmada, bu yeni sanayi devrimi ile robotların, siber-fiziksel sistemlerin ve nesnelere interneti (IoT) gibi teknolojilerin üretim süreçlerine nasıl entegre edildiği açıklanmıştır. Endüstri 4.0, sensörlerle donatılmış makinelerin birbirleriyle haberleşerek üretim süreçlerini optimize etmesini ve kararları merkezi olmayan bir şekilde alabilmesini sağlamaktadır. Ayrıca, bu teknolojilerin işletmelerin rekabetçiliğini artırması ve sürdürülebilir üretim modelleri oluşturması açısından önemli bir fırsat sunduğu vurgulanmıştır. Çalışmada, akıllı fabrikaların üretim süreçlerine getirdiği yenilikler, enerji ve maliyet tasarrufu gibi avantajlarla ele alınmış, özellikle Almanya'nın bu alanda öncü olduğu belirtilmiştir (Yıldız, 2018).

Kaynaklardan elde edilecek bilgiler doğrultusunda çıkarım yapılacak olursa, görüntü işleme ve delta robot teknolojilerinin entegrasyonu, modern üretim tesislerinde kalite kontrol süreçlerinin otomatikleştirilmesine olanak tanır. Bu entegrasyon, üretim

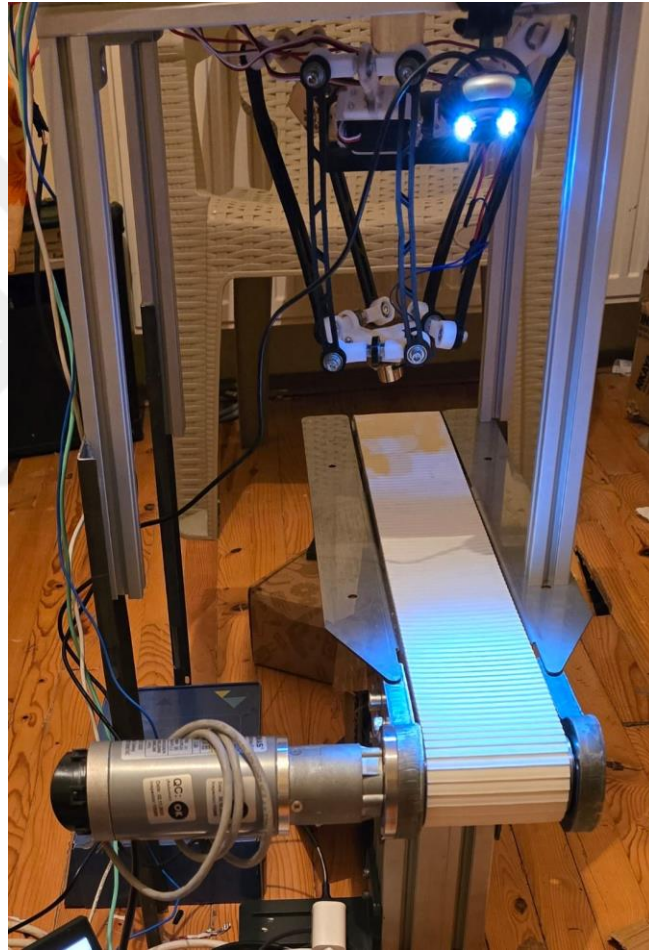
hatlarında meydana gelebilecek aksaklıkların hızla tespit edilmesini ve bu hataların etkili bir şekilde giderilmesini sağlar. Ek olarak kalite kontrol yöntemlerinin gelişmesi ile üretimde, parça üretim hatalarından dolayı ortaya çıkan hatalar engellenerek standardizasyon büyük ölçüde artırılır.

Görüntü işleme teknikleri ile delta robotların bir arada kullanılması, üretim süreçlerinde insan hatasını en aza indirir ve üretim verimliliğini artırır. Bu teknolojiler, medikal uygulamalardan otomotiv endüstrisine kadar birçok alanda kullanılmakta olup, üretim süreçlerindeki hataların tespit edilmesi ve ayıklanmasında kritik bir rol oynamaktadır. Bütünleşmiş sistemler, üretim süreçlerinin daha etkin ve güvenilir hale gelmesini sağlar. Üretimde kalite ve standardizasyon büyük ölçüde artırılmış olur.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

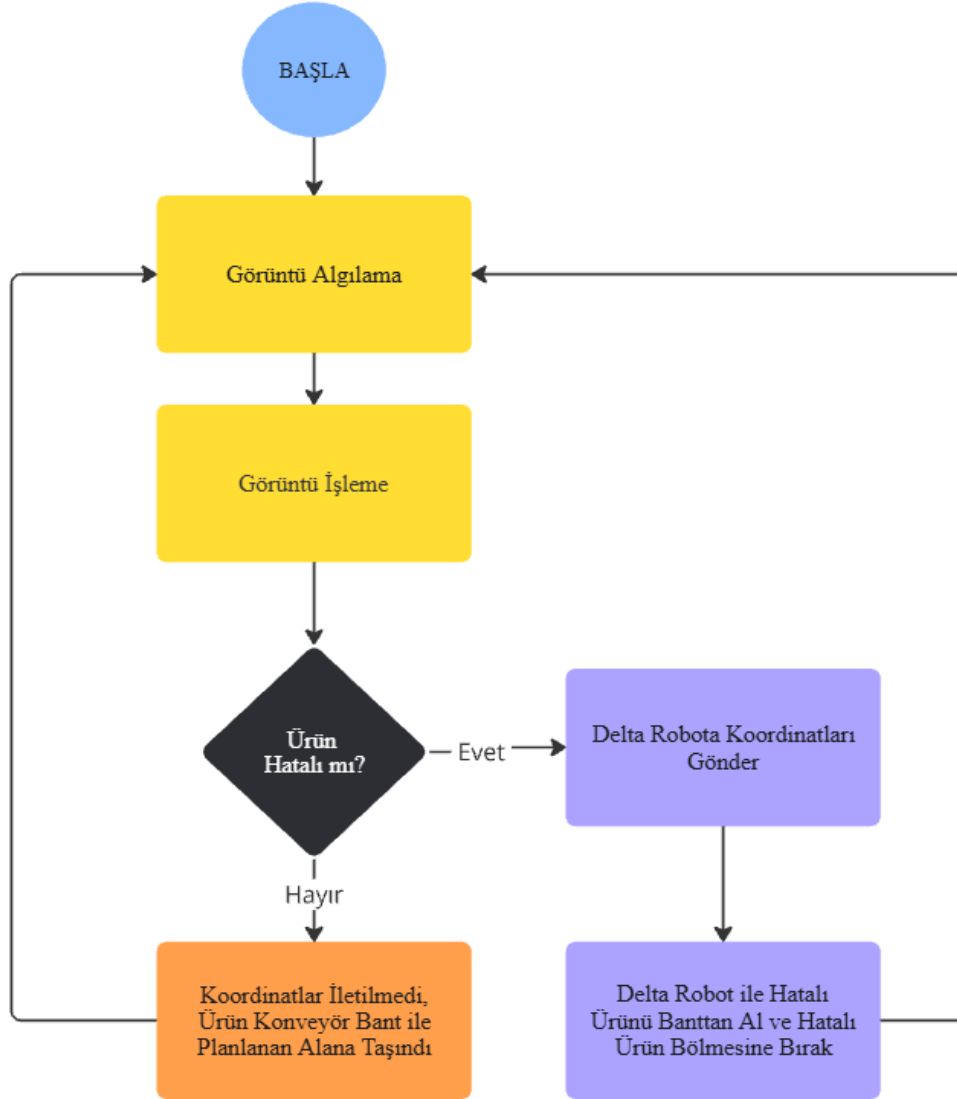
Görüntü işleme, yapay görme sistemlerinin gelişmesiyle endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Görüntü işleme, bir algılama cihazı ile elde edilen görüntü veri paketlerinin analiz edilerek anlamlı veriler ve genel özelliklerin ortaya çıkarılması sürecidir. Bu çalışmada, üretim sonrası hatalı ürünlerin tespiti ve ayıklanması için görüntü işleme algoritmaları ve delta robot kullanılmıştır. Çalışma kapsamında geliştirilen sistem Şekil 3.1.'de görülmektedir.



Şekil 3.1. Sistem genel görünümü

Proje kapsamı, üretim sonrası konveyör bant üzerinde yer alan ürünlerin kamera vasıtasıyla dijital ortama aktarılması, görüntü işleme yöntemleriyle hatalı ürünlerin tespit edilmesi ve bu ürünlerin delta robot tarafından ayıklanmasını içerir. Bu süreçte, dijital görüntü işleme ve robotik sistem kontrolü, ters kinematik ve sistemlerin birbiriyle

entegrasyonu, üretim hatalarının etkin bir şekilde tespit edilmesi ve ayıklanması için kritik bir rol oynar. Sistem akış diyagramı Şekil 3.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Sistem akış diyagramı

3.1. Kullanılan Ekipman ve Sistemler

Gerçekleştirilen çalışma ile konveyör bant üzerindeki kontrol ürünü algılanarak hata tespiti gerçekleştirilir. Görüntü işleme yöntemleri ile tespit edilen hatalı ürün koordinatları bilgisayar tarafında seri iletişim ile mikrodenetleyici kartına iletilir. Mikrodenetleyici bünyesinde koordinatlar ile ters kinematik hesabı gerçekleştirilir ve tutucu uç hatalı ürünü bulunduğu konumdan alarak ayıklama işlemini tamamlar. Bu

işlemi gerçekleştirmek için çalışma bünyesinde konveyör bant, delta robot, mikrodenetleyici kart, kamera ve alt bileşenler yer alır.

3.1.1. Kamera ve ışıklandırma sistemi

Projede, metal ürünlerin yüzey hatalarını tespit etmek için hata toleransını algılamaya yetecek seviyede bir kamera kullanılmıştır. Kullanılan kamera, parlamayı engelleme amacı ile ışıklandırma sistemiyle beraber dikey olarak 20 derece açı ile konveyör banttan 35 cm yukarıya yerleştirilmiştir. Işıklandırma sistemi, kameraların en verimli şekilde görüntü alabilmesi için gerekli ortamı sağlar. Işıklandırma için kullanılan 6 adet beyaz led geçirdikleri akımla orantılı olarak 13-15 lümen aralığında ışık sağlar. Görüntü algılama için kullanılan kamera Şekil 3.3.'te verilmiştir.



Şekil 3 3. Kamera

3.1.2. Görüntü işleme birimi

Konveyör bant üzerinden elde edilen ürün görüntüleri, ana işlem birimi olarak kullanılan bir bilgisayar tarafından işlenir. Bu bilgisayar, görüntü işleme algoritmalarını çalıştırarak hatalı ürünleri tespit eder. Dijital görüntü işleme için gerekli işlemler, görüntülerin alınması, ön-işleme tabii tutulması, segmentasyon ve analiz aşamalarını içerir. Bu aşamalar algoritma amacına ve yapısına göre değişiklik gösterir.

3.1.3. Konveyör sistemi

Teknolojik gelişmeler ile üretim bandında yer alan ürünlerin sınıflandırılması için birçok elektromekanik sistem kullanılmaktadır. Bunlara örnek olarak akıllı konveyör bant sistemleri, pnömatik ekipmanlar, robotik kollar gösterilebilir (Balcı, 2008).

Sistem konveyör bant sistemi üzerinde çalışır. Bütünleştirilen tüm ekipmanlar ile oluşan sistem, bant üzerinde ilerleyen hatalı ürünleri ayıklar. Sistem bünyesindeki konveyör bant; 24 v gerilime ve 300 rpm devre sahiptir. PWM, dijital sinyalin görev döngüsünü değiştirerek güç kontrolü sağlayan bir tekniktir (Aladağ ve ark., 2023). PWM ile hız kontrolü yapılan konveyör bant 60 RPM hızında kullanılmıştır. Bu sayede konveyör ilerleme hızı 110 mm/sn olarak ayarlanmıştır. Kullanılan konveyör bant Şekil 3.4.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Konveyör bant

3.1.4. Delta robot

Robotik ayıklama sistemi olarak Delta Robot kullanılmaktadır. Delta robotlar, yüksek hız ve hassasiyet gerektiren endüstriyel uygulamalarda sıklıkla tercih edilen,

paralel kinematik yapıya sahip robotik sistemlerdir. Özellikle "al ve bırak" işlemlerinde etkin performans sergileyen bu robotlar, üretim hatlarının verimliliğini artırmada önemli bir rol oynar.

3.1.4.1. Delta robot yapısal özellikleri

Paralel kinematik mekanizma: Delta robotun temel yapısı, üst platforma sabitlenmiş üç adet motor ve bu motorlara bağlı hafif kolların oluşturduğu bir mekanizmadan oluşur. Kolların alt uçları, hareketli bir platform olan uç efektöre (end-effector) bağlanır. Bu yapı, robotun hızlı ve hassas hareket etmesine olanak tanır.

Hareketli platform (uç efektör): Uç efektör, robotun etkileşimde bulunduğu ve nesnelere manipüle ettiği kısımdır. Genellikle kavrayıcılar, vakumlu tutucular veya özel uç birimleri ile donatılır. Uç efektörün hareketi, kolların senkronize hareketi ile sağlanır.

Hafif ve dayanıklı Kollar: Robotun kolları genellikle karbon fiber, alüminyum veya sert plastik gibi hafif ve dayanıklı malzemelerden üretilir. Bu sayede, hareketli parçaların kütlesi azaltılarak daha yüksek hız ve ivmelenme değerlerine ulaşılır.

Sabit Motorlar: Motorların robotun üst kısmında sabitlenmiş olması, hareketli kütleyi minimize eder. Bu yapı, enerji verimliliğini artırırken, aşınma ve yıpranmayı da azaltır.

3.1.4.2. Delta robot çalışma prensibi

Delta robotlar, paralel kinematik yapıları sayesinde üç boyutlu uzayda hızlı ve hassas hareketler gerçekleştirebilir. Üç adet motorun her biri, bağlı oldukları kolu yukarı veya aşağı hareket ettirir. Bu hareketlerin kombinasyonu ile uç efektörün X, Y ve Z eksenlerindeki konumu kontrol edilir. Paralel mekanizma, geleneksel seri kinematik robotlara göre daha düşük atalet ve daha yüksek rijitlik sunar.

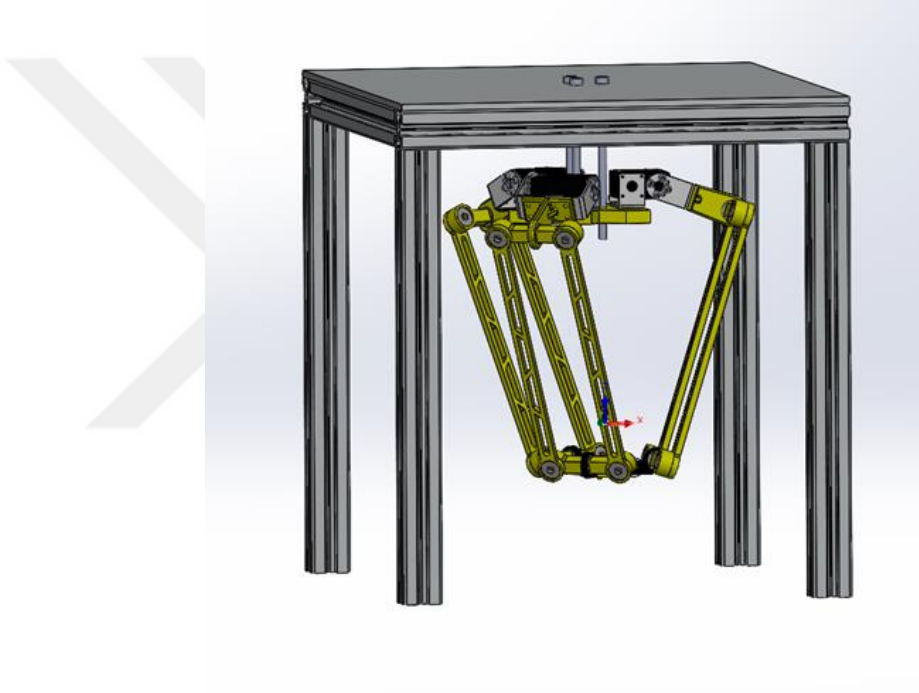
Projede delta robot kullanılması, sistemde birçok avantajı da beraberinde getirmektedir.

3.1.4.3. Delta robot avantajları

- **Yüksek Hız ve İvme:** Hafif hareketli parçalar sayesinde delta robotlar, saniyede yüzlerce işlem yapabilme kapasitesine sahiptir.
- **Yüksek Hassasiyet:** Paralel yapı, titreşim ve sapsmaları en aza indirerek milimetre altı hassasiyet sağlar.

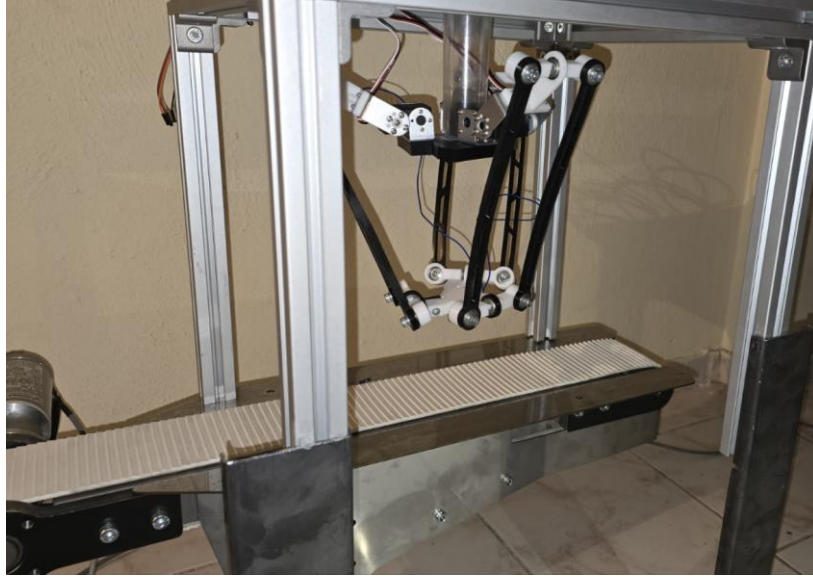
- **Enerji Verimliliği:** Sabit motorlar ve hafif kollar, enerji tüketimini azaltır ve daha sürdürülebilir bir operasyon sunar.
- **Düşük Bakım İhtiyacı:** Basit ve dayanıklı mekanik tasarım, bakım maliyetlerini düşürür ve operasyonel sürekliliği artırır.

Delta robot, hatalı ürünleri konveyör banttıan elektromanyetik tutucu ile alarak istenilen hazneye yerleştirir. Robotun dış kabini, sigma profillerden, ana yapısı plastik malzemeden üretilmiştir. Bu yapısal özellikler, robotun hem hafif hem de dayanıklı olmasını sağlar. Delta robotun tasarımı Şekil 3.5.'te görölmektedir.



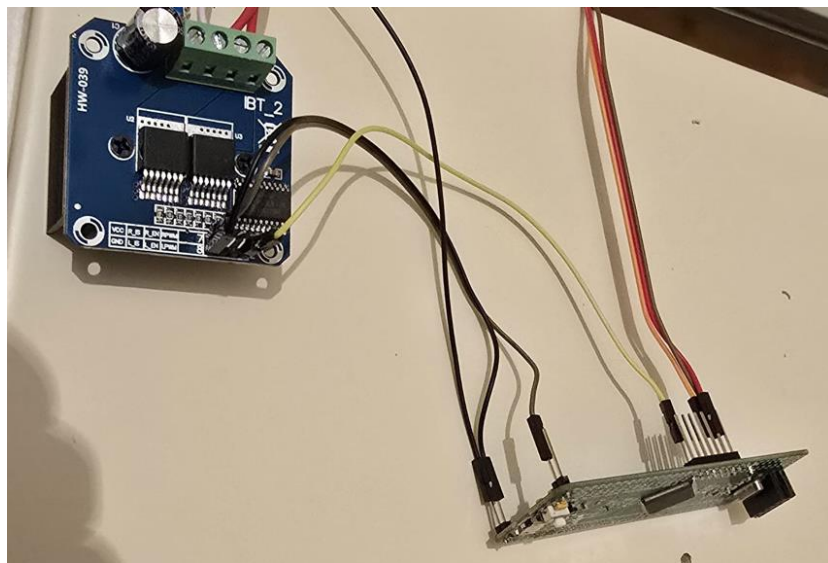
Şekil 3.5. Delta robot tasarımı

Delta robot 3B baskı yöntemleri kullanılarak üretilmiştir. Üretilen delta robot Şekil 3.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Delta robot

Delta robot kontrolü için NUC029KGE MCU kartı kullanılmıştır. Keil ortamında C dilinde yazılmış olan program, görüntü işleme sonuçlarına göre algılanan hatalı ürün koordinatlarını seri iletişim aracılığıyla almakta ve her motoru 50 Hz. frekansında PWM dalgaları ile kontrol edilir. Kontrol çıktısının çözünürlüğü 180 derece hareket için 10.000'de bir hassasiyete sahiptir. Kontrol kartı, ayrıca elektromanyetik tutucuyu da yönetir. Bu süreçte, IBT-2 motor sürücü kartı kullanılarak akım ve gerilim kazancı sağlanır. Motor sürücü kartı ve mikrodenetleyici kartı Şekil 3.7.'de görülmektedir.



Şekil 3.7. Mikrodenetleyici kartı ve motor sürücü kartı bağlantısı

3.1.4.4. Servo motor

Delta robotun tahrik sistemi için 17 kilogramlık RDS3115MG servo motorlar kullanılmıştır. Bu motorlar PWM sinyali ile kontrol edilmekte ve 4.8-6.8 volt gerilime ihtiyaç duymaktadır. Motorlar, hatalı ürünlerin hızlı ve hassas bir şekilde ayıklanması amacıyla uygun olarak seçilmiştir. Şekil 3.8.'de servo motor görseli yer almaktadır.



Şekil 3.8. Servo motor

3.1.4.5. Tutucu

Delta robot sisteminde hatalı ürünlerin kavranması ve taşınması amacıyla elektromanyetik tutucular tercih edilmiştir. Bu tutucular, özellikle metal nesnelerin hızlı ve güvenilir bir şekilde taşınması gereken uygulamalarda etkili bir çözüm sunmaktadır. Elektromanyetik tutucuların tercih edilme nedenleri arasında, yüksek hızlara kolaylıkla uyum sağlayabilmeleri, güvenilir kavrama yetenekleri ve diğer kavrama sistemlerine kıyasla sağladıkları çeşitli avantajlar yer almaktadır.

Elektromanyetik tutucuların çalışma prensibi, elektrik akımı uygulandığında manyetik bir alan oluşturarak metal nesnelere çekme esasına dayanır. Bu basit fakat etkili çalışma mekanizması, karmaşık mekanik parçalara veya ek kavrama mekanizmalarına duyulan ihtiyacı ortadan kaldırır. Ayrıca bu sistemler, düşük bakım gereksinimleri ve uzun çalışma süreleri ile işletme maliyetlerini azaltarak yüksek verimlilik sağlar. Çalışmada kullanılan elektromanyetik tutucu, 12 voltluk gerilimle çalışmakta ve 3 kilograma kadar yük taşıma kapasitesine sahiptir. Bu kapasite, hatalı ürünlerin güvenli bir şekilde taşınmasını ve hedeflenen konuma ulaştırılmasını sağlamaktadır.

Diğer kavrama sistemleriyle kıyaslandığında, elektromanyetik tutucuların belirgin avantajları öne çıkmaktadır. Örneğin, vakumlu tutucuların etkin çalışabilmesi için sızdırmaz bir ortam ve pürüzsüz yüzeyler gerekmektedir. Pürüzlü veya delikli yüzeylerde ise performansları düşmekte ve sürekli enerji tüketimi gerektirmektedir. Mekanik kavrayıcılar ise karmaşık yapıları ve çok sayıda hareketli parça içermeleri sebebiyle daha fazla bakım ve ayarlama gerektirebilir. Buna karşın elektromanyetik tutucular, sade tasarımları ve düşük bakım gereksinimleri sayesinde daha güvenilir ve uzun ömürlü bir çözüm sunmaktadır.

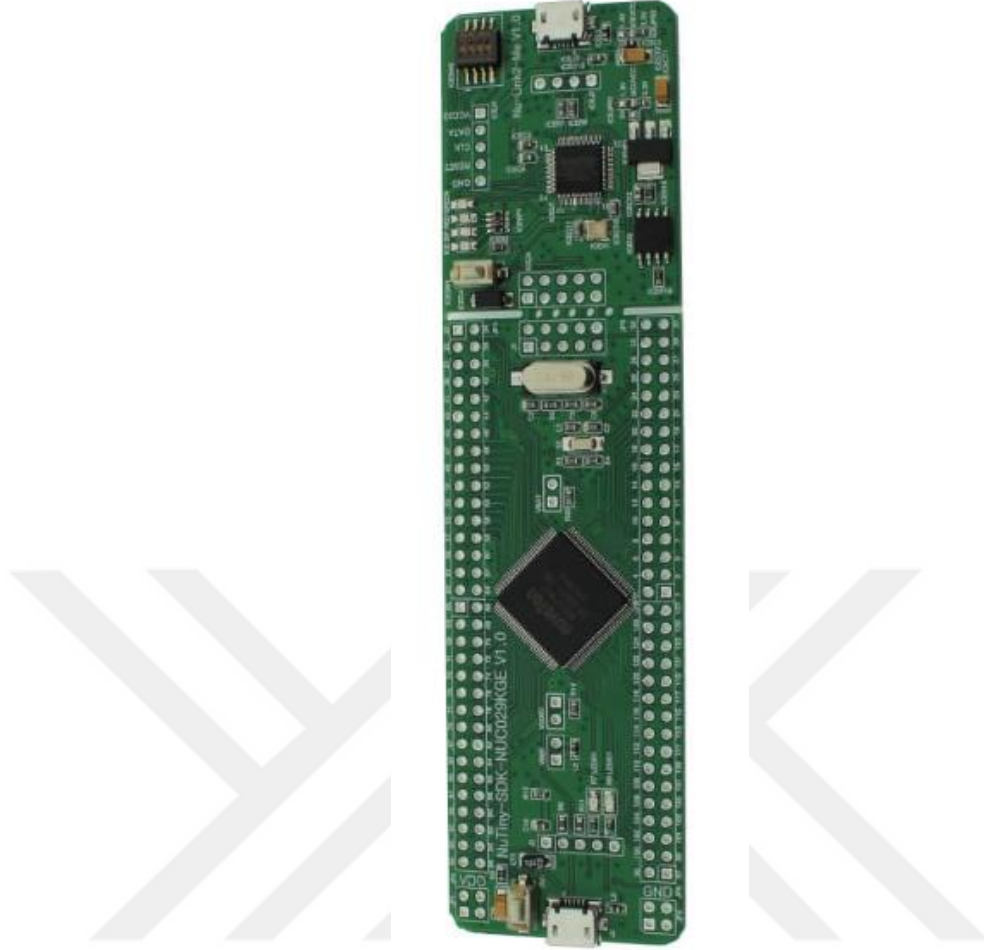
Sonuç olarak, elektromanyetik tutucuların yüksek performansı ve düşük bakım gereksinimi, uzun vadede işletme maliyetlerini azaltarak ekonomik fayda sağlamaktadır. Şekil 3.9'da kullanılan elektromanyetik tutucunun görseli yer almaktadır.



Şekil 3.9. Elektromanyetik tutucu

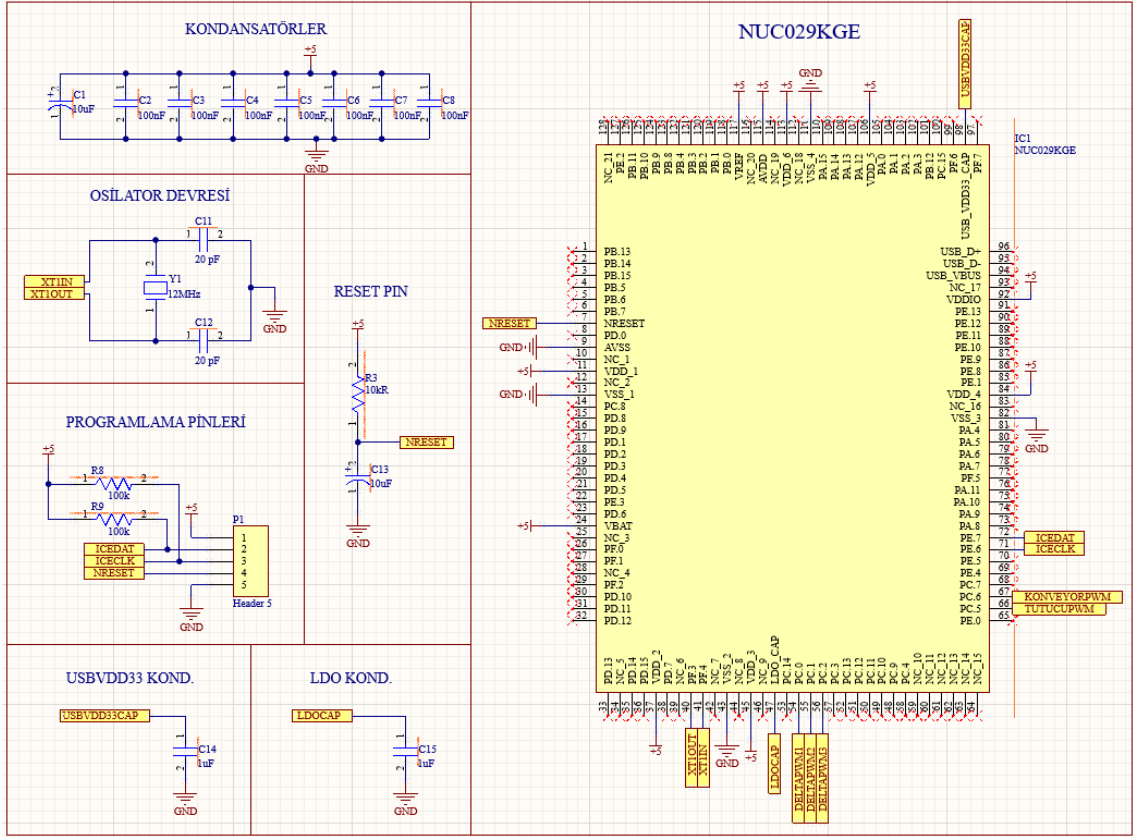
3.1.5. Mikrodenetleyici

Delta robotun kontrolü için, NUVOTON029kge serisi bir mikrodenetleyici kart kullanılmıştır. Bu kart, ana işlem bilgisayarından aldığı komutları işleyerek delta robotun uygun şekilde yönlendirilmesini sağlar. Kullanılan olan mikrodenetleyici kartı Şekil 3.10.'da görülmektedir.



Şekil 3.10. NUC029KGE mikrodenetleyici kartı

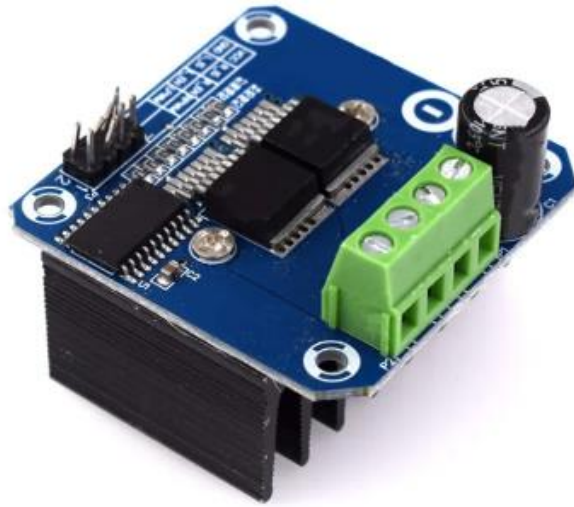
Mikrodenetleyici üzerinde 5 adet PWM çıkışı kullanılmıştır. 3 adet 10.000'de bir çözünürlüğe sahip 50 Hz. sinyaller delta robot servo motorlarını sürer. 2 adet 1 kHz PWM sinyali ise motor sürücü kartı vasıtası ile elektromanyetik tutucu ve konveyör bandı sürmektedir. Şekil 3.11.'de kullanılan MCU devre şeması verilmiştir.



Şekil 3.11. Mikrodenetleyici devre şeması

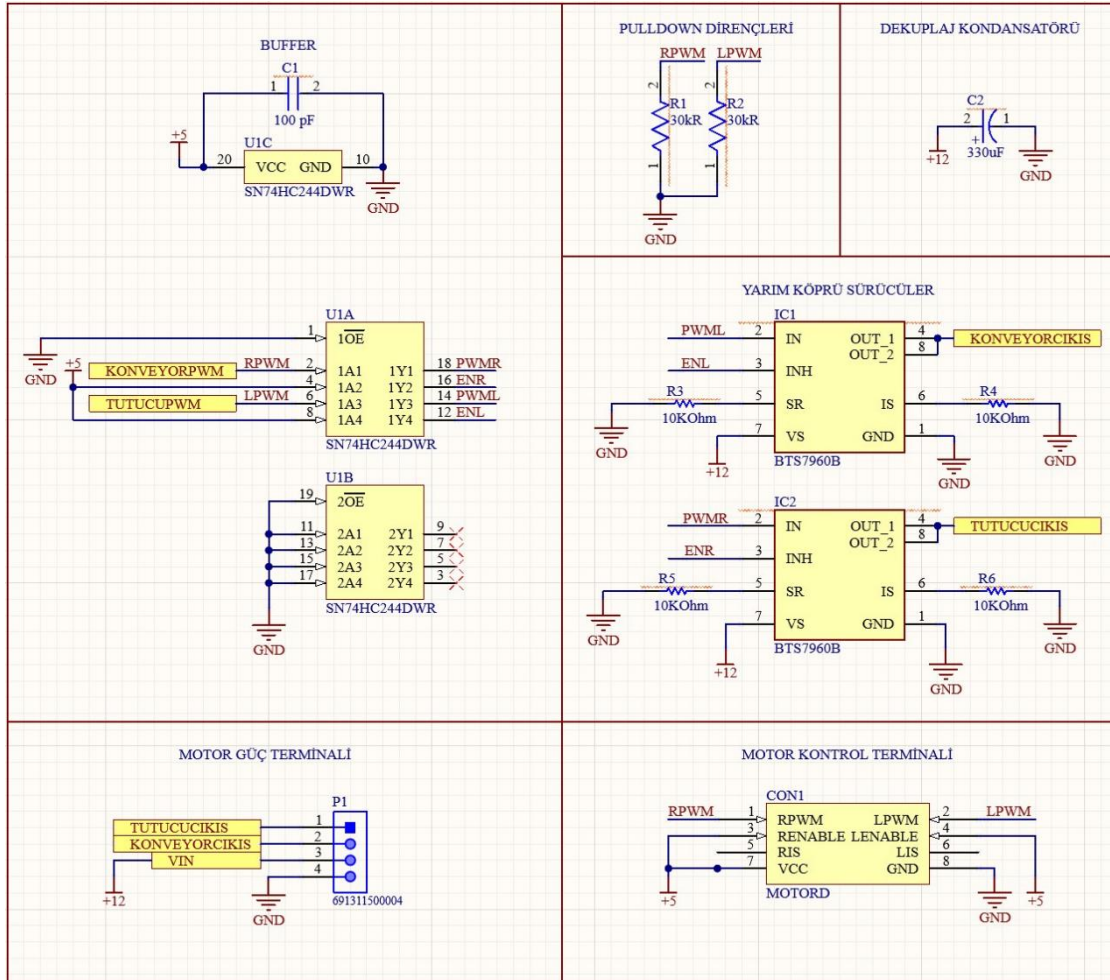
3.1.6. Çift yarım köprü motor sürücü modülü

Gerçekleştirilen çalışmada DC konveyör bant ve elektromanyetik tutucuyu beslemek amacı ile üzerinde 2 adet yarım H köprü motor sürücü entegresi bulunan IBT-2 motor sürücü kartı kullanılmıştır. H köprü motor sürücü bir motoru çift yönlü sürmek için değil, konveyör bandı farklı hızlarda te yön kontrol etmek ve elektromanyetik tutucuyu enerjilendirmek için kullanılmıştır. Modül NUC029KGE mikrodenetleyici kartı tarafından algoritma doğrultusunda kontrol edilir. Şekil 3.12.'de motor sürücü modülü gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Motor sürücü modülü

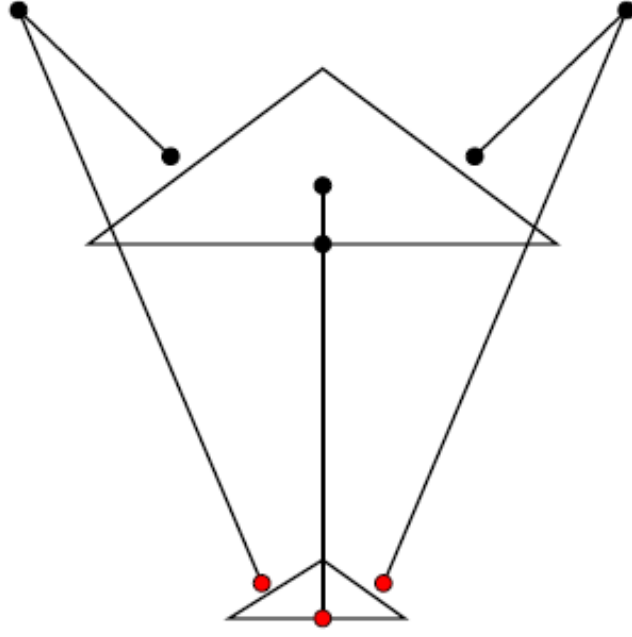
Motor sürücü modülü mikrodnetleyici kartından gelen PWM sinyalleri doğrultusunda delta robot motorlarını ve konveyör bant motorunu kontrol etmektedir. Motor sürücü devre şeması Şekil 3.13.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Motor sürücü devre şeması

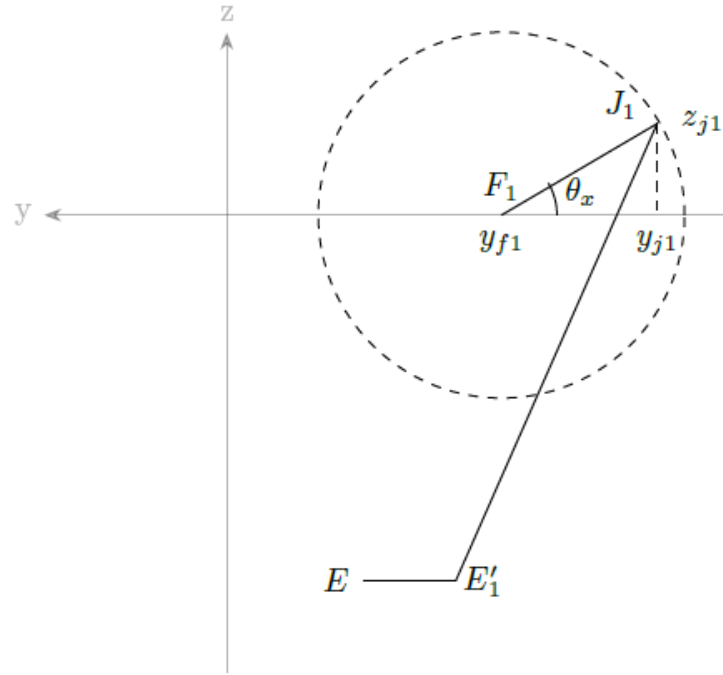
3.2. Delta Robot Kinematığı

Delta robotun yapısı, sabit bir üst platform, hareketli bir alt platform ve bu iki platformu birbirine bağlayan üç adet paralel koldan oluşur. Üst platform motorların yer aldığı sabit bir yapıdır. Motorlar, delta robotun hareketini kontrol eden kollara bağlanmıştır. Alt platform ise robotun iş yapacak uç birimini (örneğin bir tutucu) taşıyan, hareketli yapıdır. Üç paralel kol, motorların açılma hareketleriyle alt platformun uzayda doğrusal hareket etmesini sağlar. Delta robot basitleştirilmiş gösterimi Şekil 3.14.'te verilmiştir.



Şekil 3.14. Delta robot basitleştirilmiş gösterimi

Delta robotun alt tablasını uzayda belli bir konuma (x_0 , y_0 , z_0) hareket ettirebilmek için, delta robotun üst tablasında bulunan motorların belirli açılarda (θ_1 , θ_2 , θ_3) hareket etmesi gerekir. Uzaydaki sabit konuma karşılık gelen açı değerlerini hesaplamak için ters kinematik hesaplaması yapılır. Delta robot mimarisinde ters kinematik hesaplaması yalnızca Y-Z eksenine indirgenerek kolaylaştırılabilir. Y-Z ekseninde delta robot Şekil 3.15.'te görüldüğü gibidir.



Şekil 3.15. Y-Z ekseninde delta robot gösterimi

Delta robotun hedef konumu (E) üç boyutlu uzayda bir noktayı ifade eder.

$$E = (x_0, y_0, z_0) \quad (1)$$

Delta robotun hedef konumu ile hesaplanan motorun alt tablaya olan bağlantı noktasının (E_1) uzaklığı EE_1 ile ifade edilir.

$$EE_1 = \frac{e}{2} \tan(30) = \frac{e}{2\sqrt{3}} \quad (2)$$

Üç boyutlu uzayda ifade edine E_1 noktasının Y-Z ekseninde karşılığı E'_1 kabul edilirse,

$$E_1 = \left(x_0, y_0 - \frac{e}{2\sqrt{3}}, z_0 \right) \quad (3)$$

$$E'_1 = \left(0, y_0 - \frac{e}{2\sqrt{3}}, z_0 \right) \quad (4)$$

Delta robotun kolunun Y-Z eksenlerinde ifade edilen alt tabla ile bağlantı noktasının (E'_1), üç boyutlu düzlemde ifade edilen üst ve alt kolları birleştiren bağlantı noktasına (J_1) olan uzaklığı, E_1 noktası ile J_1 arasındaki mesafe (r_e) ile hedef konumun x eksenindeki pozisyonunun (x_0) ile ifade edilir.

$$E_1 E'_1 = x_0 \rightarrow E'_1 J_1 = \sqrt{E_1 J_1^2 - E_1 E'_1^2} = \sqrt{r_e^2 - x_0^2} \quad (5)$$

Delta robotun kolunun motor pozisyonu F_1 , motorların birbirine uzaklığı f ile ifade edildiğinde;

$$F_1 = \left(0, -\frac{f}{2\sqrt{3}}, 0\right) \quad (6)$$

Pisagor teoremi kullanılarak üst ve alt kolların bağlantı noktası bileşenleri $J_1 = (0, y_{J_1}, z_{J_1})$ çözümlenebilir.

$$(y_{J_1} - y_{F_1})^2 + (z_{J_1} - z_{F_1})^2 = r_f^2 \quad (7)$$

$$(y_{J_1} - y_{E'_1})^2 + (z_{J_1} - z_{E'_1})^2 = r_e^2 - x_0^2 \quad (8)$$

$$\left(y_{J_1} + \frac{f}{2\sqrt{3}}\right)^2 + z_{J_1}^2 = r_f^2 \quad (9)$$

$$\left(y_{J_1} - y_0 + \frac{e}{2\sqrt{3}}\right)^2 + (z_{J_1} - z_0)^2 = r_e^2 - x_0^2 \quad (10)$$

Elde edilen çözüm kullanılarak, delta robotun istenen pozisyona ulaşması için bir tek bir motorun açısı (θ) hesaplanabilir.

$$\theta_1 = \arctan\left(\frac{z_{J_1}}{y_{F_1} - y_{J_1}}\right) \quad (11)$$

Kalan motor açılarının hesaplanması için X-Y koordinat eksenini, Z eksenini etrafında 120 derece döndürülmelidir. Diğer motor açılarının hesabı aşağıdaki gibidir.

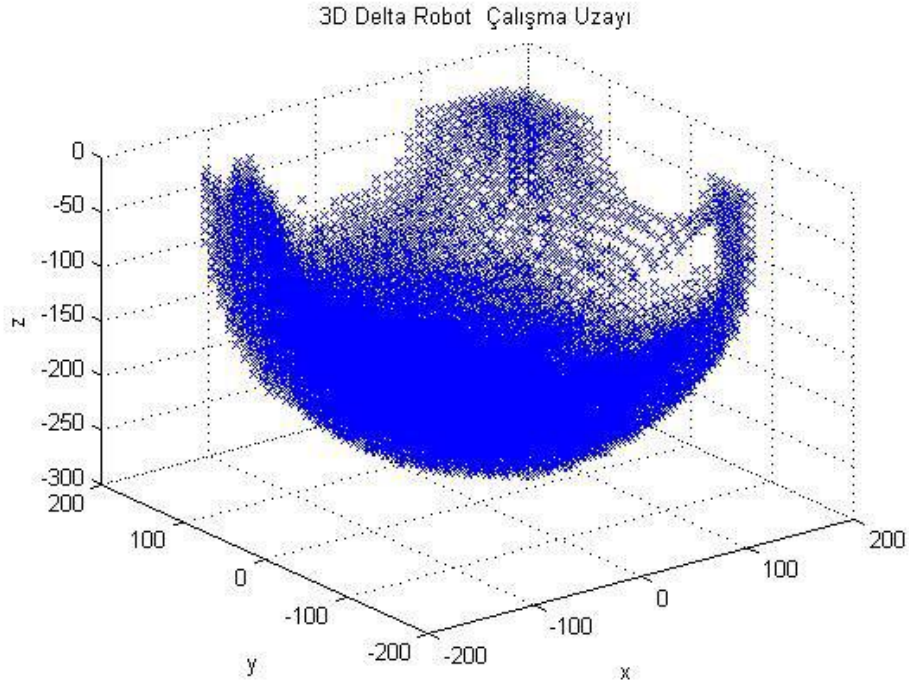
$$x_2 = x \cos(120) + y \sin(120) \quad (12)$$

$$y_2 = -x \sin(120) + y \cos(120) \quad (13)$$

$$x_3 = x \cos(120) - y \sin(120) \quad (14)$$

$$y_3 = x \sin(120) + y \cos(120) \quad (15)$$

Üretilen delta robota ait matematiksel hesabın kullanılması ile bilgisayar ortamında elde edilen çalışma alanı Şekil 3.16.'da yer almaktadır.



Şekil 3.16. Delta robot çalışma uzayı

Delta robotların analizi, kinematik denklemlerin çözülmesini ve robotun her bir pozisyon ve yönelim için gerekli motor hareketlerinin hesaplanmasını içerir. Bu hesaplamalar, robotun verimliliğini ve işlevselliğini optimize etmek için kritik öneme sahiptir. Sistemde; görüntünün algılanması ile elde edilen koordinatlar bilgisayar

tarafından delta robotu kontrol eden mikrodenetleyici kartına gönderilir. Mikrodenetleyici kartı ters kinematik işlemini gerçekleştirir ve ürünün uygun konuma gelmesi için konveyör hızına bağlı olarak belirli bir süre bekler. Gerekli bekleme süresi sonrası delta robot alanına gelen ürün, hesaplamalar sonucu elde edilen açı değerlerine göre alınarak hatalı ürün alanına bırakılır ve ayıklama işlemi tamamlanır.

3.3. Görüntü İşleme Süreci

Görüntü işleme süreci, üretim hattındaki hatalı ürünlerin tespit edilmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Bu süreçte, ürünlerin dijital görüntüleri işlenerek kusurların tespiti sağlanmakta ve böylece kalite kontrolü yapılmaktadır. Görüntü işleme algoritmalarının her biri, ürün kalitesini belirleme aşamalarında önemli bir etkiye sahiptir. Bu çalışmada, dijital görüntü işleme tekniklerinin çeşitli aşamaları detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

Kenar tespiti, görüntüdeki nesnelerin sınırlarının belirlenmesi açısından önemli bir adım olup, bu işlemde nesnelerin etrafındaki keskin değişiklikler algılanmaktadır. Kenar tespiti teknikleri arasında Sobel, Prewitt, Robert, Laplacian of Gaussian (LoG) ve Canny yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. (Shah ve ark., 2020).

Deneysel sonuçlar, özellikle gürültülü görüntülerde Canny algoritmasının diğer tekniklere kıyasla daha başarılı olduğunu ortaya koymuştur. Canny algoritması, zayıf ve güçlü kenarları aynı anda tespit edebilme yeteneğine sahiptir ve bu özellik, gürültünün fazla olduğu durumlarda avantaj sağlamaktadır. Bununla birlikte, Sobel, Prewitt ve Robert yöntemleri daha hızlı ve basit olmalarına rağmen, özellikle gürültülü görüntülerde keskin kenarları doğru bir şekilde tespit etmekte yetersiz kalmaktadırlar. Laplacian of Gaussian (LoG) yöntemi geniş alanlarda kenar tespitini doğru yapabilmekle birlikte, kenarların yönelimini belirleyememekte ve yanlış kenar tespiti gibi sorunlarla karşılaşmaktadır (Shah ve ark., 2020).

Kenar tespiti için kullanılan algoritma karşılaştırmaları Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Algoritma	Avantajları	Dezavantajları
Sobel Algoritması	<ul style="list-style-type: none"> - Basit ve Hızlı: Uygulaması kolaydır ve düşük hesaplama maliyeti vardır. - Kenar Yönelim Bilgisi Sağlar: Yatay ve dikey kenarları tespit eder. 	<ul style="list-style-type: none"> - Gürültüye Duyarlı: Gürültülü görüntülerde performansı düşer. - Kenar Kalınlığı: Tespit edilen kenarlar kalın ve belirsiz olabilir.
Prewitt Algoritması	<ul style="list-style-type: none"> - Kolay Uygulama: Basit yapısı sayesinde hızlıdır. - Temel Kenar Tespiti: Yatay ve dikey kenarları belirler. 	<ul style="list-style-type: none"> - Düşük Hassasiyet: İnce ve detaylı kenarları tespit etmede yetersizdir. - Gürültüye Hassasiyet: Gürültülü ortamlarda doğru sonuçlar vermez.
Canny Algoritması	<ul style="list-style-type: none"> - Yüksek Doğruluk: İnce ve keskin kenarları tespit eder. - Gürültüye Dayanıklı: Ön işleme adımları sayesinde gürültünün etkisini azaltır. - Çift Eşikli Yapı: Yanlış pozitifleri azaltır. 	<ul style="list-style-type: none"> - Hesaplama Maliyeti: Diğer basit algoritmalara göre daha yavaştır. - Parametre Ayarları: Doğru sonuçlar için hassas parametre ayarları gerektirir.
Laplacian ve LoG	<ul style="list-style-type: none"> - İkinci Türev Kullanımı: Kenarların bulunduğu noktaları net bir şekilde belirler. - Detaylı Kenar Tespiti: İnce detayları ortaya çıkarır. 	<ul style="list-style-type: none"> - Gürültüye Duyarlılık: Gürültülü görüntülerde yanlış tespitler yapabilir. - Ön İşleme İhtiyacı: Doğru sonuçlar için gauss bulanıklaştırma gibi ön işlemler gerektirir.
Roberts Cross	<ul style="list-style-type: none"> - Basit ve Hızlı: Çok düşük hesaplama maliyeti vardır. - Köşe Tespiti: Keskin köşeleri belirlemede etkilidir. 	<ul style="list-style-type: none"> - Gürültüye Karşı Hassas: Gürültülü görüntülerde performansı düşüktür. - Sınırlı Uygulama Alanı: Modern uygulamalarda nadiren kullanılır, çünkü daha gelişmiş algoritmalar mevcuttur.

Çizelge 3.1. Kenar tespiti algoritma karşılaştırmaları (Shah ve ark., 2020).

Bu bağlamda, Canny algoritması, özellikle gürültü içeren ve karmaşık görüntülerin yer aldığı üretim süreçlerinde hatalı ürünlerin tespitinde en uygun yöntem olarak öne çıkmaktadır. Yapılan çalışmalar üzerine gerçekleştirilen araştırmalar göz önüne alınarak, sistemde kullanılacak kenar tespiti için Canny algoritmasının kullanılmasına karar verilmiştir.

3.3.1. Kontrol edilen ürün

Üretim sonrası hata algılama için bir firmadan temin edilen 50x40x10 boylularında üzerinde bir adet 13 mm çapında delik bulunan yaklaşık 400 gram ağırlığında kesilmiş saç parçalar kullanılmıştır. Söz konusu saç parçalar, seri üretimde oldukça önemli bir noktada kullanılmaktadır. Üzerinde bir adet delik bulunan ürün için boyut, şekil, delik çapı ve delik konumu kontrolü yapılmıştır. Kontrol edilen ürün Şekil 3.17.'de görüldüğü gibidir.



Şekil 3.17. Kontrol ürünü

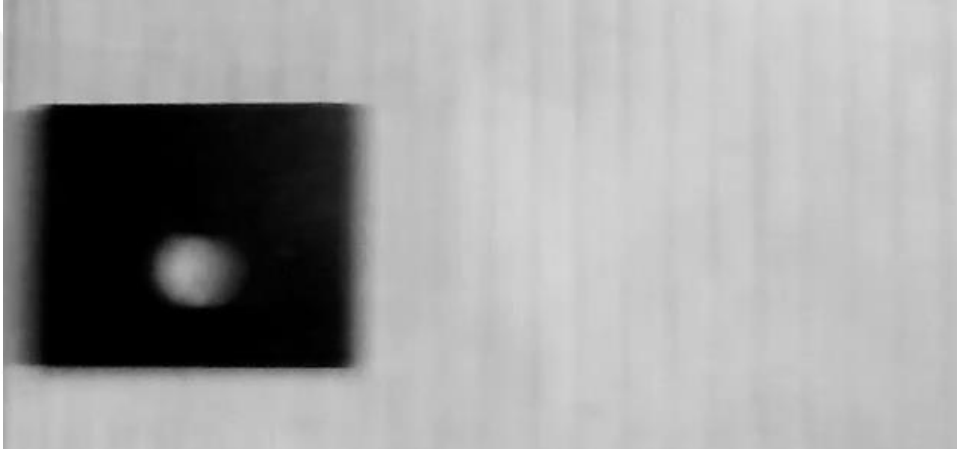
3.3.2. Dijital görüntü elde etme

Görüntü işleme sürecinin başlangıcında, gerçek dünyadaki nesnelere yansıyan ışığın iki boyutlu (2B) bir düzleme aktarılması gerekir. Bu işlem, nesnelere dijital sinyallere dönüştürülmesiyle gerçekleşir. Projede, görüntü kaynağı olarak doğrudan bir kamera kullanılmıştır. Kamera aracılığıyla elde edilen dijital görüntü verileri, anlamlı bilgiye dönüştürülmesi amacıyla çeşitli görüntü işleme algoritmalarına tabi tutulmuştur.

İlk adım olarak, görüntülerdeki parlamaları ve gürültüleri azaltmak hedeflenmiştir. Bu amaçla, görüntülere Gauss bulanıklaştırma filtresi uygulanmıştır. Gauss bulanıklaştırma, yüksek frekanslı gürültülerin süzülmesine yardımcı olarak, görüntünün daha pürüzsüz ve analiz için uygun hale gelmesini sağlar. Bu işlem, sonraki adımlarda daha doğru sonuçlar elde edilmesine katkı sağlamaktadır.

Bulanıklaştırma işleminin ardından, görüntüler gri tonlamaya dönüştürülür. Renkli bir görüntünün gri tonlamaya çevrilmesi, her pikselin renk bileşenlerinin belirli bir ağırlıkla ortalamasının alınmasıyla gerçekleşir. Bu dönüşüm, görüntüdeki renk bilgilerini tek bir kanal üzerinde toplayarak, işlemeyi hızlandırır ve karmaşıklığı azaltır.

Gürültülerin ve istenmeyen küçük detayların daha etkili bir şekilde giderilmesi için morfolojik açma işlemi uygulanmıştır. Bu işlem, görüntüdeki küçük nesnelere ve gürültüleri ortadan kaldırmak için erozyon ve genişleme adımlarını içerir. Sonuç olarak, hedeflenen nesnelere daha belirgin hale getirilmiş ve analiz için uygun bir görüntü elde edilmiştir. Şekil 3.18'de, bu ön işleme adımlarının uygulanmasının ardından elde edilen gri tonlamalı kontrol ürünü gösterilmektedir.



Şekil 3.18. Gri tonlamaya dönüştürülmüş kontrol ürünü

3.3.3. Segmentasyon ve analiz

Ön-işlemeden sonraki aşama segmentasyondur. Segmentasyon, nesne ve arka planın ayrılması veya görüntüde ihtiyaç duyulan özelliklerin birbirinden ayrılması işlemidir. Bu aşamadan sonra ilgili bölümlerin ön plana çıkarılması sağlanır ve analiz edilerek bilgi elde edilir. Görüntü işleme algoritması bu aşamada görsele bir eşikleme uygular. Söz konusu işlem, görüntüdeki pikselleri belirli bir değere göre ayırarak nesne ve arka plan ayrımını sağlar. Gri tonlama sonrası eşiklemeye tabi tutulan kontrol ürünü görseli Şekil 3.19.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.19. Kontrol ürünü için eşikleme işlemi

Bu süreçte, Canny kenar tespit algoritması kullanılarak görüntüdeki keskin geçişlerin ve kenarların belirlenmesi sağlanmıştır. Canny algoritması, görüntüdeki yoğunluk değişimlerini analiz ederek, nesnelerin sınırlarının hassas bir şekilde tespit edilmesine olanak tanır.

Kenar tespitinin ardından, kenarların daha belirgin hale getirilmesi ve küçük boşlukların doldurulması için dilatasyon (genişletme) işlemi uygulanmıştır. Bu işlem, kenarların kalınlaştırılmasını ve kopuklukların giderilmesini sağlar. Daha sonra, morfolojik kapama işlemi ile nesnelerin bütünlüğü korunarak, iç kısımlardaki boşluklar doldurulmuştur. Kapama işlemi, dilatasyon ve ardından erozyon adımlarını içerir ve nesnelerin daha sağlam bir yapıya kavuşmasını sağlar.

Sonraki işlemde, kontur bulma yöntemi ile nesnelerin dış hatları belirlenmiştir. Konturlar, nesnelerin şekil ve boyut bilgilerinin elde edilmesinde kritik bir rol oynar. Bulunan konturlar, geometrik özelliklerine göre analiz edilerek daire veya dikdörtgen gibi şekiller olarak sınıflandırılmıştır.

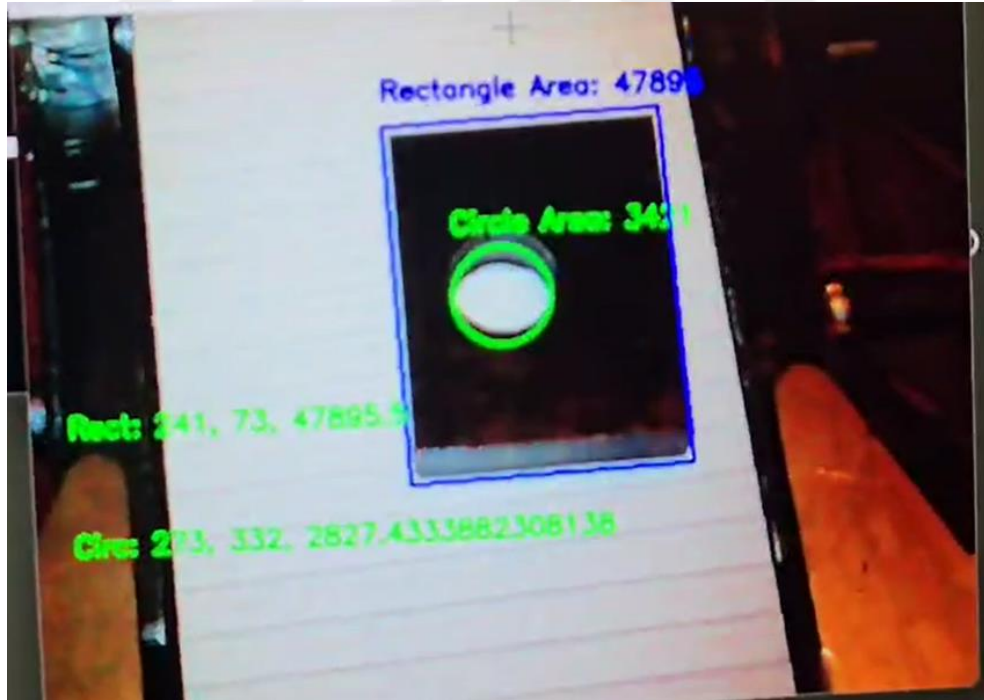
3.3.3.1. Daire tespiti

Dairelerin tespiti için, konturların çevre uzunluğu ve alanı kullanılarak dairesellik değeri hesaplanmıştır. Dairesellik, bir konturun ne kadar daireye benzediğini ölçen bir metriktir ve 1'e ne kadar yakınsa, kontur o kadar daire şeklindedir. Belirlenen eşik değerin üzerinde daireselliğe sahip konturlar, daire olarak kabul edilmiştir. Ayrıca, konturların etrafına en küçük çevreleyen daireler çizilerek merkez ve yarıçap bilgileri elde edilmiştir. Bu bilgiler, nesnelerin konum ve boyutlarının belirlenmesinde kullanılmıştır.

3.3.3.2. Dikdörtgen tespiti

Dikdörtgenlerin tespiti için, konturların çokgen yaklaştırması yapılmış ve kenar sayıları analiz edilmiştir. Dört kenarlı konturlar, potansiyel dikdörtgen veya kareler olarak değerlendirilmiştir. Bu konturların en ve boy ölçüleri alınarak en-boy oranları hesaplanmış ve 1'e yakın oranlar kare, diğerleri ise dikdörtgen olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca, dikdörtgenlerin alanları hesaplanarak belirlenen minimum ve maksimum değerler arasında olup olmadıkları kontrol edilmiştir. Sınırdaki bulunan veya çok küçük alanlı konturlar, analiz dışı bırakılarak hata payı azaltılmıştır.

Alan kıyaslaması öncesi kameranın yerleşiminden kaynaklı görüş açısı dikkate alınarak interpolasyon uygulanmıştır. Şekil boyutları oranlanmış ve her konumda doğru boyutlar elde edilmiştir. Her bir tespit edilen şekil için alan hesaplamaları yapılmış ve bu alanlar referans değerlerle karşılaştırılmıştır. Alan hesaplamaları, nesnelerin gerçek boyutları hakkında önemli bilgiler sağlar ve kalite kontrol süreçlerinde belirleyici bir faktördür. Şekil 3.20'de, kontur bulma ve alan tespiti işlemlerinin sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 3.20. Kontur bulma ve alan tespiti

Tespit edilen şekillerin ve hesaplanan alanların belirlenen tolerans değerleri ile kıyaslanmasının ardından, ürünün kalite durumu değerlendirilmiştir. Eğer ürün, belirlenen kriterlere uygun ve sorunsuz ise, herhangi bir müdahale yapılmaksızın

konveyör bant üzerinde ilerlemeye devam etmiştir. Ancak, tolerans dışı veya hatalı olarak algılanan ürünlerin koordinat ve durum bilgileri, ürünün görüntüde yer alan sınır bölgesini geçmesi ile sistemde tanımlanan seri iletişim protokolü üzerinden paketlenerek delta robotuna iletilmiştir.

3.3.4. Kullanılan yöntemler ve algoritmalar

- **Gauss Bulanıklaştırma:** Görüntüdeki yüksek frekanslı gürültülerin azaltılması için kullanılmıştır. Bu işlem, görüntünün daha pürüzsüz bir hale gelmesini sağlar ve parazitleri ortadan kaldırır.
- **Gri Tonlama Dönüşümü:** Renkli görüntülerin işlenmesini kolaylaştırmak amacıyla, RGB renk uzayından gri tonlama (grayscale) uzayına dönüşüm yapılmıştır. Bu sayede, işlem yükü azaltılarak daha hızlı ve etkili analiz yapılabilmektedir.
- **Morfolojik İşlemler:**
 - **Açma (Opening):** Küçük gürültülerin ve nesnelerin kaldırılması için kullanılmıştır. Erozyon ve ardından genişleme adımlarını içerir.
 - **Kapatma (Closing):** Nesnelerin içindeki küçük deliklerin kapatılması ve kenarların düzgünleştirilmesi amacıyla uygulanmıştır. Genişleme ve ardından erozyon adımlarını içerir.
 - **Genişletme (Dilatasyon):** Kenarların kalınlaştırılması ve kopuklukların giderilmesi için kullanılmıştır.
- **Kenar Tespit:** Görüntüdeki kenarların belirlenmesi için Canny algoritması kullanılmıştır. Bu algoritma, yoğunluk değişimlerini ve gradyanları analiz ederek nesnelerin sınırlarını hassas bir şekilde tespit eder.
- **Kontur Bulma:** Bu çalışmada, nesnelerin şekillerini tespit etmek ve sınıflandırmak için kontur tespitine dayalı bir yöntem uygulanmıştır. İkili hale getirilmiş görüntüler üzerinde, Suzuki ve Abe tarafından geliştirilen sınır izleme algoritmasını temel alan bir fonksiyon kullanılmıştır. Bu fonksiyon, görüntüdeki nesnelerin dış ve iç sınırlarını belirleyerek, konturların hiyerarşik yapısını ortaya koyar (Suzuki ve Abe, 1985). Elde edilen konturlar, şekil analizi ve sınıflandırma adımlarında kullanılmıştır.

- **Geometrik Şekil Analizi:**
 - **Dairesellik Hesaplaması:** Konturların ne kadar daireye benzediğini ölçmek için kullanılmıştır. Çevre uzunluğu ve alan değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.
 - **Çokgen Yaklaştırma:** Konturların kenar sayılarının belirlenmesi ve şekillerin sınıflandırılması için uygulanmıştır.
 - **En-Boy Oranı Hesaplaması:** Dikdörtgen ve karelerin ayırt edilmesinde kullanılmıştır.
- **Seri İletişim:** Ürünlerin kalite durumuna göre delta robotuna bilgi iletimi için seri iletişim protokolü kullanılmıştır.

3.4. Modellerin Karşılaştırılması

Bu çalışmada, üretim hattındaki hatalı ürünlerin tespiti ve ayıklanması amacıyla, farklı nesne tespit modelleri üzerinde deneyler yapılmış ve performansları karşılaştırılmıştır. Kullanılan modeller arasında YOLOv9, YOLOv8x, RetinaNet, Mask R-CNN gibi derin öğrenme tabanlı yaklaşımlar ile geliştirilen özel model yer almaktadır. Modellerin hız (FPS) ve doğruluk (Precision) kriterlerine dayalı olarak performansları değerlendirilmiş ve sonuçlar Tablo 3.2'de sunulmuştur.

Model	FPS	Doğruluk (Precision)
YOLOv9	45	0.87
YOLOv8x	50	0.86
RetinaNet	35	0.81
Mask R-CNN	20	0.83
Geliştirilen Model	55	0.83

Çizelge 3.2. Modeller ve performansları

3.4.1. Geliştirilen modelin özellikleri ve avantajları

Geliştirilen model, OpenCV tabanlı algoritmalar kullanılarak optimize edilmiş ve gerçek zamanlı uygulamalar için uygun hale getirilmiştir. Modelin en önemli avantajlarından biri, üretim hattında gerçek zamanlı işlem gerektiren uygulamalarda yüksek performans sunmasıdır. Özellikle 55 FPS'lik kare hızına sahip olması, modelin diğer benzer modellere göre daha hızlı çalışmasını sağlamakta ve bu da üretim

süreçlerinde büyük bir avantaj sunmaktadır. Yüksek hız, hızlı veri işleme ve ürün değerlendirme gerektiren endüstriyel uygulamalarda modelin etkinliğini artırmaktadır.

Ayrıca model, hatalı ürünleri tespit etmede %83 doğruluk (precision) oranı ile çalışmaktadır. Bu doğruluk oranı, üretim sürecindeki hatalı ürünlerin büyük bir kısmını başarılı bir şekilde ayırt etmesini sağlar. Hatasız ürünlerin yanlış bir şekilde hatalı olarak sınıflandırılması oldukça düşük bir oranla gerçekleşirken, hatalı ürünlerin hatasız olarak algılanması ise nadiren karşılaşılan bir durumdur. Genel anlamda, modelin tespit ettiği hatalar arasında bu tür yanlış sınıflandırmaların çok az yer alması, modelin performansını olumlu yönde etkilemekte ve sonuçların güvenilirliğini artırmaktadır.

Modelin bir diğer avantajı ise düşük hesaplama maliyeti ile çalışmasıdır. Derin öğrenme tabanlı modellerin aksine, bu model daha az hesaplama gücü gerektirir ve bu sayede daha mütevazı donanımlarla kullanılabilir. Bu da düşük maliyetli donanım seçenekleriyle daha geniş bir kullanım alanı sunmakta, endüstriyel uygulamalarda maliyet etkin çözümler oluşturmayı mümkün kılmaktadır. Model, yüksek hız, yeterli doğruluk ve düşük hesaplama gücü ile üretim süreçlerinde etkili ve verimli bir kalite kontrol sistemi olarak işlev görmektedir.

3.4.2. Diğer modellerin değerlendirilmesi

YOLOv9 ve YOLOv8x modelleri, yüksek doğruluk ve hız dengesi ile öne çıkmaktadır. Ancak, güçlü donanım gereksinimleri ve eğitim sürecinin karmaşıklığı, uygulama maliyetlerini artırmaktadır. RetinaNet, karmaşık sahnelerde yüksek doğruluk sunmasına rağmen, FPS değeri daha düşüktür ve gerçek zamanlı uygulamalarda yeterli hızda çalışmayabilir. Mask R-CNN modeli ise nesne tespitinin yanı sıra segmentasyon da yapabilmektedir fakat düşük FPS değeri nedeniyle gerçek zamanlı uygulamalarda yetersiz kalmaktadır. Çalışma kapsamında incelenen diğer modeller üzerinde gerçekleştirilen çalışmalara ait, aynı görüntü üzerinde yapılan tespit ve segmentasyon çıktıları Şekil 3.21.'de görülmektedir.



Şekil 3.21. Çalışma kapsamında incelenen model çıktıları

3.4.3. Performans analizi ve karşılaştırma

Geliştirilen modelin performansı, gerçek zamanlı nesne tespiti ve ayıklama işlemleri için uygunluğunu göstermektedir. Modelin yüksek FPS değeri, üretim hattındaki hızlı akışı desteklerken, doğruluk oranının kabul edilebilir seviyede olması kalite kontrol süreçlerine katkı sağlamaktadır.

Diğer modellerle karşılaştırıldığında, geliştirilen modelin en belirgin avantajı, düşük hesaplama maliyeti ve yüksek hızıdır. Derin öğrenme tabanlı modellerin eğitim ve işletim maliyetleri göz önüne alındığında, geliştirilen model maliyet etkin bir çözüm sunmaktadır.

3.5. Seri İletişim

Sistemde seri iletişim için nuvoton MCU'lar için kullanılan NuLink programlayıcı kartı yer alır. Programlayıcı kartı sanal port oluşturmak için ayarlanır ve uygun seri port bilgisayar yazılımına girilerek seri iletişim kurulur. Hatalı ürünün algılanması ve sınır bölgeyi geçmesi ile hazır konumda bekleyen delta robota koordinatlar gönderilir. Konveyör bant hızını referans alan delta robot, hatalı ürünü ilerleyen konveyör bant üzerinden alarak başka bir alana taşır. NUC029KGE MCU kartına program yükleme ve sanal seri port oluşturma işlemleri için kullanılan NuLink programlayıcı Şekil 3.21.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.22. NuLink programlayıcı



4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada kullanılan görüntü işleme teknikleri, kenar algılama ve delik çapı ölçümünde etkili olmuştur. Gauss bulanıklaştırma, gri tonlama, morfolojik işlemler, kenar tespiti, kontur tespiti, şekil analizi ve seri iletişim gibi yöntemlerin entegre bir şekilde kullanılması, sistemin doğruluk ve güvenilirliğini artırmıştır. Bu sayede, üretim süreçlerinde verimlilik sağlanmış ve kalite standartlarına uygunluk garanti altına alınmıştır. Görüntü işleme yöntemleri aracılığıyla elde edilen veriler, ürünlerin belirlenen kalite standartlarına uygunluğunu kesin bir şekilde doğrulamıştır. Delta robot teknolojisi ise, görüntü işleme sistemi tarafından tespit edilen hatalı ürünleri doğru ve hızlı bir şekilde üretim bandından ayıklama kapasitesine sahip olduğunu kanıtlamıştır.

Görüntü işleme tekniklerinin yüksek doğrulukta kenar ve delik çapı tespiti yapabilmesi, üretim süreçlerinde kalite kontrolünün ne kadar kritik olduğunu göstermektedir. Ayrıca, delta robotların entegrasyonu, üretim süreçlerinde otomasyonun önemini ve üretim hattının kesintisiz çalışmasını sağlama potansiyelini ortaya koymaktadır. Ancak, ışıklandırmanın veya kamera açısının yanlış ayarlanması, sistemin doğruluk oranını oldukça düşürmektedir. Sistemin kurulum aşaması doğru gerçekleşmelidir. Ek olarak bu sistemlerin karmaşık geometrilerle çalışma kabiliyeti sınırlı olabilir, bu da 3B görüntüleme tekniklerinin entegrasyonunun gerekliliğini gündeme getirir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, görüntü işleme teknikleri ve delta robot entegrasyonu kullanılarak üretim hattındaki hatalı ürünlerin tespiti ve ayıklanması başarıyla gerçekleştirilmiştir. 20'si hatalı olmak üzere toplamda 100 adet ürün üzerinde gerçekleştirilen test ve deneyler sonucunda, görüntü işleme algoritmalarının özellikle kenar algılama ve delik çapı ölçümünde yüksek doğruluk sağladığı görülmüştür. Bu çalışmada, nesne tespit modelleri üzerinde yapılan detaylı karşılaştırmalar ve performans analizleri sonucunda, geliştirilen modelin gerçek zamanlı endüstriyel uygulamalarda kullanılmak üzere verimli bir sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Özellikle hız ve doğruluk açısından dengeli bir performans sunması, Delta robot entegrasyonu ile sistemin üretim hatlarında başarılı bir şekilde kullanılmasına olanak sağlamıştır. Diğer modellere kıyasla sunduğu düşük gecikme ve yüksek doğruluk sayesinde, üretim hattında kalite kontrol süreçlerinde etkili bir rol oynayacağı düşünülmektedir. Yapılan diğer çalışmalara kıyasla görüntü işleme ve delta robot eleme sisteminin bir arada kullanılması, sistemin daha etkin ve hızlı olmasını sağlamıştır. Delta robotun diğer robot sistemlerine oranla daha hızlı ve hassas çalışma kabiliyeti, hatalı ürünlerin üretim hattından ayıklanmasında etkili olmuştur.

- Görüntü işleme algoritmaları, %95 doğrulukla hatalı ürünleri tespit etmiştir. Toplamda 20 hatalı ve 80 hatasız ürün testinin gerçekleştiği çalışmada 4 kez hatasız ürünün hatalı olarak algılandığı, 1 kez ise hatalı ürünün hatasız olarak algılandığı görülmüştür.
- Delta robot, yüksek hız ve hassasiyeti sayesinde üretim sürecinde aksama olmadan çalışmıştır.
- Üretim hattındaki hatalı ürünlerin zamanında tespiti, ürün kalitesinin artırılmasına ve müşteri memnuniyetinin sağlanmasına katkı sağlamıştır.

5.2 Öneriler

Bu çalışmanın sonuçlarına dayanarak, üretim süreçlerinde 3B görüntüleme sistemlerinin entegrasyonu üzerinde durulabilir. Bu teknoloji, özellikle karmaşık geometriler ve yüzey detayları olan parçalar için daha detaylı hata analizleri yapılabilmesini sağlayacaktır. Ayrıca, delta robot teknolojisinin çeşitli üretim süreçlerine uyarlanması ve uygulama alanlarının genişletilmesi, genel üretim verimliliğini daha da

artırabilir. Gelecekteki araştırmalar, bu teknolojilerin farklı endüstriyel ortamlarda uygulanabilirliğini test etmeli ve potansiyel iyileştirmeler için detaylı değerlendirmeler yapmalıdır.



6. KAYNAKLAR

- Aladağ, N. C., Taşkıran, A., Akgül, G., & Yalçın, B., 2023, Tarımsal İlaçlamada Kullanılmak Üzere GPS Destekli Oransal Kontrolcü Biriminin Geliştirilmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 10(3), 481-490.
- Ayyıldız, M., & Ayyıldız, E. A., 2020, Lineer Delta Robotun Doğruluk ve Tekrarlanabilirlik Performansı. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(1), 869-879.
- Bal, H., 2006, Kamera ile görüntü işleme teknikleriyle malzeme tane büyüklüğü analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Balcı, K., 2008, Üretim otomasyonunda görüntü tabanlı hata tanıma sistemi, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul
- Bayram, R. B., 2019, Metal Sektörü İçin Görüntü İşleme Tabanlı Bir Kusurlu Ürün Tespit Sistemi, Yüksek Lisans Tezi, *Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa.
- Bükücü, Ç. C., 2021, Görüntü İşleme Teknikleri İle Cam Ürünlerde Hata Tespiti. Doktora Tezi, *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Tokat.
- Chen, Y., Ding, Y., Zhao, F., Zhang, E., Wu, Z., & Shao, L., 2021, Surface defect detection methods for industrial products: A review. *Applied Sciences*, 11(16), 7657.
- Çetin, Ö., 2019, Görüntü İşleme. [PDF belgesi] <http://www.omercetin.com.tr/DERS/IP/Sunumlar/h1.pdf?i=1>
- Coşkun, H., 2022, Endüstriyel Karo Üretiminde Kalite Kontrol Sürecinin Yapay Görme Ve Derin Öğrenme Teknikleri İle Dijitalleştirilmesi, Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta.
- Çağıl, G., Okcu, F., & Güngör, N. H. 2019, Ambalaj Yüzeyindeki Hataların Görüntü İşleme Tekniği ile Tespiti. *Sakarya: Zeki Sistemler Teori ve Uygulamaları Dergisi*.
- Çayiroğlu, İ. (yy). Görüntü İşleme Temel Kavramlar. Ders Notları, Karabük Üniversitesi.
- Çelikdemir, M. Y., 2015, Yüksek Sıcaklığa Maruz Kalmış Betonlarda Meydana Gelen Çatlakların Görüntü İşleme Tekniği İle Tespit Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.
- Demant, C., Bernd, S. A., & Garnica, C., 2013, Industrial Image Processing: Visual Quality Control in Manufacturing. Berlin: Springer Berlin Heidelberg.
- Demircioğlu, P., 2018, Diş Ve İmplant Mikromorfolojik Yapıların Sinyal Ve Görüntü İşleme Yöntemleri İle Değerlendirilmesi. *El-Cezeri*, 5(3), 741-748.
- Doğan, E. 2010., Delta Paralel Robot İleri Ve Ters Kinematik Hesaplamaları, Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir.

- Erdoğan, T., 2012, Hareketli Konveyör Üzerinde Kamera Görüntüsü İle Nesne Tanıma Ve Nesnelere Yerine Koyma Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- Erpolat, E. 2008, *Robotik sistemlerde görüntü işleme*, Master's thesis, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- Falezza, F., Vesentini, F., Di Flumeri, A., Leopardi, L., Fiori, G., Mistrorigo, G., & Muradore, R., 2022, A novel inverse dynamic model for 3-DoF delta robots. *Mechatronics*, 83, 102752.
- Kaptangil, Ö. Ü. K., 2024, Yeni Evrende Karanlık Fabrikalar. *Yönetim ve Organizasyon Çalışmaları Güncel ve Gelecek Odaklı Bağlam*, 2.
- Kulaksız, A., 2010. *Görüntü işleme destekli paralel robot kontrolü*, Master's thesis, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- McClintock, H., Temel, F. Z., Doshi, N., Koh, J. S., & Wood, R. J., 2018,. The milliDelta: A high-bandwidth, high-precision, millimeter-scale Delta robot. *Science Robotics*, 3(14), eaar3018.
- Mohan, A., & Poobal, S., 2018, Crack detection using image processing: A critical review and analysis. *alexandria engineering journal*, 57(2), 787-798.
- Nguyen, H. T., Shin, N. R., Yu, G. H., Kwon, G. J., Kwak, W. Y., & Kim, J. Y., 2020, Deep learning-based defective product classification system for smart factory. In The 9th International Conference on Smart Media and Applications (80-85).
- Ozan, E., 2020, Robotlar ve Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman.
- Özsoylu, A. F., 2017, Endüstri 4.0. *Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21(1), 41-64.
- Öztürk, Ş., 2015. Cam üretim hatalarının görüntü işleme tabanlı bulunması, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Perihanoglu, G. M., 2015, Dijital Görüntü İşleme Teknikleri Kullanılarak Görüntülerden Detay Çıkarımı, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Pierrot, F., Reynaud, C., & Fournier, A., 1990, DELTA: a simple and efficient parallel robot. *Robotica*, 8(2), 105-109.
- Rizvi, A. R., Khan, P. R., & Ahmad, S., 2017, Crack detection in railway track using image processing. *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology*, 3(4), 489-496.

- Shah, B. K., Kedia, V., Raut, R., Ansari, S., & Shroff, A., 2020, Evaluation and comparative study of edge detection techniques. *IOSR Journal of Computer Engineering*, 22(5), 6-15.
- Samtaş, G., & Gülesin, M., 2011, Sayısal görüntü işleme ve farklı alanlardaki uygulamaları. *Ejovoc (Electronic Journal of Vocational Colleges)*, 2(1), 85-97.
- Su, T., Cheng, L., Wang, Y., Liang, X., Zheng, J., & Zhang, H., 2018, Time-optimal trajectory planning for delta robot based on quintic pythagorean-hodograph curves. *IEEE Access*, 6, 28530-28539.
- Suzuki, S., 1985, Topological structural analysis of digitized binary images by border following. *Computer vision, graphics, and image processing*, 30(1), 32-46.
- Şenel, F. A., & Cetişli, B., 2015, Görüntü İşleme Ve Beş Eksenli Robot Kol İle Üretim Bandında Nesne Denetimi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(5), 158-161.
- Şin, B., & Kadioğlu, İ., 2019, İnsansız hava aracı (İHA) ve görüntü işleme teknikleri kullanılarak yabancı ot tespitinin yapılması. *Turkish journal of weed science*, 22(2), 211-217.
- Tarı, M., 2020, Görüntü İşleme Teknikleri ile Enjektör Üretiminde Kalite Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, *Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Konya.
- Taşçı, İ., 2015, Yonga levha üretim sistemlerinde görüntü işleme tabanlı hata denetimi, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta.
- Sarıyıldız, S. Ö., & Demirhan, A., 2021. Görüntü İşleme Teknikleri Ve Robot Kol İle Nesnelere Kategorilerine Ayırma, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 547-556.
- Yıldırım, O., 2019, Görüntü İşleme Tabanlı Delta Robot Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.
- Yıldız, A., 2018, Endüstri 4.0 ve akıllı fabrikalar. *Sakarya University Journal of Science*, 22(2), 546-556.
- Zsombor-Murray, P. J., 2004, Descriptive geometric kinematic analysis of clavel's "Delta" Robot. Centre of Intelligent Machines, McGill University.