



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



PLC TABANLI OTOMATİK GÖRÜNTÜ
İŞLEME İLE HATALI PLASTİK
ENJEKSİYON PARÇALARIN TESPİTİ

Ayşegül İNCEKARA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz-2025
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Ayşegül İncekara tarafından hazırlanan “PLC Tabanlı Otomatik Görüntü İşleme İle Hatalı Plastik Enjeksiyon Parçaların Tespiti” adlı tez çalışması 18/07/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Adem GÖLCÜK

.....

Danışman

Prof. Dr. Sabri KOÇER

.....

Üye

Doç. Dr. Murat KARAKOYUN

.....

Üye

Doç. Dr. Adem GÖLCÜK

.....

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.

Ayşegül İNCEKARA

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PLC TABANLI OTOMATİK GÖRÜNTÜ İŞLEME İLE HATALI PLASTİK ENJEKSİYON PARÇALARIN TESPİTİ

Ayşegül İNCEKARA

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Sabri KOÇER

2025, 75 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Sabri KOÇER

Doç. Dr. Murat KARAKOYUN

Doç. Dr. Adem GÖLCÜK

Günümüz endüstriyel üretim süreçlerinde, verimlilik ve kalite kontrolünün optimizasyonu kritik bir gereklilik haline gelmiştir. Plastik enjeksiyon sektöründe, ürün kalitesinin tutarlılığını sağlamak, üretim verimliliği açısından büyük öneme sahiptir. Geleneksel kalite kontrol yöntemlerinin yetersiz kaldığı ve insan kaynaklı hataların yüksek olduğu durumlarda, otomasyon tabanlı sistemlerin geliştirilmesi kaçınılmazdır. Bu çalışmada, plastik enjeksiyon üretim hattında kalite kontrolünü otomatikleştirmek amacıyla PLC (Programlanabilir Lojik Kontrolör) tabanlı bir görüntü işleme sistemi tasarlanmış ve uygulanmıştır. Sistem, üretim bandındaki parçaların renk ve şekil analizini gerçek zamanlı olarak yaparak hatalı ürünlerin tespitini ve ayrıştırılmasını sağlamaktadır. OpenCV kütüphanesi kullanılarak geliştirilen görüntü işleme algoritmaları, web kamera ile elde edilen görüntüler üzerinde renk eşleştirme (HSV tabanlı segmentasyon) ve kontur analizi (kenar tespiti, geometrik şekil tanıma) işlemlerini gerçekleştirir. Tespit edilen nesnelere, önceden tanımlanmış tolerans değerlerine göre sınıflandırılır. Sistemin kullanıcı arayüzü, Python Tkinter ile geliştirilmiş olup, operatörlerin; şekil ve renk eşik değerlerini ayarlamasına, algılama parametrelerini optimize etmesine, gerçek zamanlı proses izleme ve veri loglama yapmasına olanak tanımaktadır. Hatalı parçalar, PLC'ye seri haberleşme üzerinden gönderilen dijital sinyallerle otomatik olarak ayıklanarak üretim sürekliliği sağlanır. Sonuç, sistem 5 adet numune parça üzerinde 50 tekrarlı test edilmiştir. Mavi daire, sarı üçgen ve turuncu kare sınıflarında %100 doğruluk ile başarı oranı sağlamıştır. Yeşil yıldız sınıfında ise doğruluk oranı %80 olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar, geliştirilen sistemin endüstriyel ölçekte yüksek hassasiyetle çalıştığını ve insan hatalarını minimize ettiğini göstermiştir. Bu tez çalışması, geliştirilen sistemin tasarımını, algoritmaların işleyişini ve endüstriyel kalite kontrol uygulamalarındaki potansiyel kullanım alanlarını detaylı bir şekilde sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Endüstriyel Görüntü İşleme, OpenCV, PLC Otomasyonu, Seri Haberleşme, Tkinter GUI.

ABSTRACT

MS THESIS

DETECTION OF DEFECTIVE PLASTIC INJECTION PARTS WITH PLC BASED AUTOMATIC IMAGE PROCESSING

Ayşegül İNCEKARA

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

Advisor: Prof. Dr. Sabri KOÇER

2025, 75 Pages

Jury

Prof. Dr. Sabri KOÇER

Assoc. Prof. Dr. Murat KARAKOYUN

Assoc. Prof. Dr. Adem GÖLCÜK

In today's industrial manufacturing processes, optimizing efficiency and quality control has great importance. In the plastic injection molding sector, ensuring consistent product quality is vital for production efficiency. In cases where traditional quality control methods prove inadequate and human-induced error rates remain high, the development of automation-based systems becomes inevitable. In this study, a Programmable Logic Controller (PLC)-based machine vision system was designed and implemented to automate quality control in a plastic injection molding production line. The system performs real-time color and shape analysis of parts on the conveyor belt, enabling the detection and segregation of defective products. The image processing algorithms, developed using the OpenCV library, perform color matching (HSV-based segmentation) and contour analysis (edge detection, geometric shape recognition) on images captured by a web camera. Detected objects are classified according to predefined tolerance thresholds. The system's user interface, developed with Python Tkinter, allows operators to: adjust shape and color threshold values, optimize detection parameters, monitor the process in real time and log data. Defective parts are automatically removed via digital signals transmitted to the PLC through serial communication, ensuring uninterrupted production. As a result, the system was tested with 5 sample parts over 50 repetitions. It achieved 100% accuracy in the classes of blue circle, yellow triangle, and orange square. In the green star class, the accuracy was calculated as 80%. The results show that the developed system operates at industrial scale with high precision and minimizes human errors. This thesis presents in detail the design of the developed system, the operation of the algorithms and its potential applications in industrial quality control applications. The results demonstrate that the developed system operates with high precision on an industrial scale, significantly reducing human errors.

Keywords: OpenCV, PLC Automation, Serial Communication, Tkinter GUI, Industrial Machine Vision.

ÖNSÖZ

Tez sürecim boyunca değerli bilgi, tecrübe ve yönlendirmeleriyle bana rehberlik eden, yol gösteren ve sabırla desteğini esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Sabri Koçer'e;

Çalışmada kullanılan PLC temini konusunda sağladıkları destek için Arvesis Yazılım firmasından Hakan Yel'e;

Tezimin olgunlaşmasına katkı sağlayan çok değerli abim Mehmet Özdoğan'a;

Bugünlere gelmemde büyük emeği olan, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen gerek zor günlerimde gerek mutlu günlerimde her zaman arkamda olan çok sevdiğim değerli ailem, sevgili annem Selma Akman, babam Yakup Doğan Akman, kardeşim İlayda Akman'a;

Tezin tüm aşamalarında bana gösterdiği destek ve sabırdan ötürü değerli eşim Dr. Öğr. Üyesi Yaşar İncekara'ya

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezin bundan sonraki çalışmalara katkı sağlaması temennisiyle.

Ayşegül İNCEKARA
KONYA-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM	10
3.1. Plastik Enjeksiyon Süreci ve Parçaları	11
3.1.1. Enjeksiyon Kalıplama Temelleri	12
3.1.2. Plastik Enjeksiyon Parametleri	16
3.1.2.1. Sıcaklık	16
3.1.2.2. Basınç	17
3.1.2.3. Zaman	18
3.1.2.4. Hız	18
3.1.3. Plastik Enjeksiyon Prosesinde Kusur Tipleri	19
3.1.3.1. Yanık İzleri	20
3.1.3.2. Çapaklı Ürün	20
3.1.3.3. Birleşme İzleri	21
3.1.3.4. Eksik Ürün	21
3.1.3.5. Siyah Leke ve Çizgiler	22
3.1.3.6. Solma	22
3.1.3.7. Hava Kabarcıkları	22
3.2. Görüntü İşleme Sistemi Tasarımı ve Konveyör Sistemi.....	23
3.2.1. Görüntüleme Donanımı Seçimi	23
3.2.2. Programlanabilir Lojik Kontrol (PLC).....	26
3.2.3. Aydınlatma Sistemi ve Yerleşimi	27
3.2.4. Konveyör Sistemi Tasarımı	29
3.2.5. Görüntü Yakalama Prosedürü	31
3.3. Görüntü İşleme	32
3.3.1. Görüntü Türleri	33
3.3.1.1. İkili (Binary) Görüntü	33
3.3.1.2. Gri Seviyeli Görüntü	34
3.3.1.3. Renkli Görüntü	34
3.3.2. Görüntü Özellikleri	34
3.3.2.1. Çözünürlük	35
3.3.2.2. Histogram	35

3.3.2.3. Parlaklık.....	35
3.3.2.4. Karşıtlık	36
3.3.3. Renk Uzayları	36
3.3.3.1. RGB Renk Uzayı.....	36
3.3.3.2. HSV Renk Uzayı.....	38
3.4. Görüntü İşleme Algoritmaları	39
3.4.1. RGB Renk Uzayından HSV Renk Uzayına Dönüşüm	40
3.4.2. Görüntü Bölütleme.....	42
3.4.3. Morfolojik İşlem	43
3.4.4. Nesne Algılama.....	44
3.4.5. Şekil Tanıma.....	45
3.4.6. Nesne Konumlandırma ve Merkez Uzaklık Kontrolü	48
3.5. PLC ile Entegrasyon	50
3.5.1. Kontrol Ünitesi	50
3.5.2. Sistem Bileşenleri Arası Haberleşme.....	53
3.5.3. PLC Programlama Mantığı.....	55
3.6. Hatalı Parça Ayırma Ünitesi	56
3.6.1. Pnömatik Silindirin Teknik Özellikleri.....	58
3.7. Grafikselle Kullanıcı Arayüzü	58
3.7.1. Gerçek Zamanlı Kamera Görüntüsü ve Nesne Algılama.....	59
3.7.2. Algılama Parametrelerinin Kullanıcı Tarafından Belirlenmesi.....	60
3.7.3. Kontrol Butonları ve Haberleşme Yönetimi.....	60
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	61
4.1. Performans Metrikleri.....	61
4.1.1. Doğruluk (Accuracy)	62
4.1.2. Kesinlik (Recall)	62
4.1.3. Duyarlılık (Recall)	63
4.1.4. Hassasiyet(Precision)	63
4.1.5. F-1 Skoru.....	63
4.2. Numune Parçaların Algılanma Doğruluğu ve Test Sonuçları.....	64
4.3. İşlem Süresi(ms).....	65
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	67
5.1 Sonuçlar	67
5.2 Öneriler	68
6. KAYNAKLAR.....	69

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

°C	Santigrat Derece
f	Fonksiyon
°	Derece
Δ	Delta
ε	Epsilon
V	Volt
mm	Milimetre
cm	Santimetre
ms	Milisaniye

Kısaltmalar

PLC	Programmable Logic Controller
Modbus	Modicon Bus
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
CCD	Charge Coupled Device
CMOS	Complimentary Metal Oxide Semiconductor
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ALU	Arithmetic and Logic Unit
RAM	Random Access Memory
DDR4	Double Data Rate Fourth Generation
USB	Universal Serial Bus
I/O	Input/Output
LED	Light Emitting Diode
HSV	Hue Saturation Value
RGB	Red Green Blue
CMY	Cyan Magenta Yellow
GUI	Graphical User Interface
CPU	Central Processing Unit
DC	Direct Circuit
RS-232	Recommended Standard-232

ŞEKİLLER TABLOSU

Şekil 3.1. Sistem Tasarımı.....	10
Şekil 3.2. Plastik Enjeksiyon Makinesi Bölümlerinin Gösterimi.....	12
Şekil 3.3. Enjeksiyon Ünitesi Bileşenleri ve Rezistanslar.....	14
Şekil 3.4. Hammadde Hazne Tasarımı.....	15
Şekil 3.5. Tipik Enjeksiyon Vidası Tasarımı.....	15
Şekil 3.6. Vida Isıtma Sistemi.....	16
Şekil 3.7. Basınç Gösterimi.....	18
Şekil 3.8. Enjeksiyon Hata Oranları.....	19
Şekil 3.9. PA Malzemedeki Yanık İzleri.....	20
Şekil 3.10. Çapak.....	20
Şekil 3.11. Birleşme İzleri.....	21
Şekil 3.12. Eksik Ürün.....	21
Şekil 3.13. Siyah Leke ve Çizgiler.....	22
Şekil 3.14. Hava Kabarcığı.....	23
Şekil 3.15. Çalışmada Kullanılan Web Kamerası.....	25
Şekil 3.16. Konveyör Bandında Kameranın Konumu.....	25
Şekil 3.17. PLC Sistem Yapısı.....	27
Şekil 3.18. Kamera ve LED Sisteminin Kutu İçindeki Konumu.....	28
Şekil 3.19. Kamera ve LED Sisteminin Dış Görünümü.....	28
Şekil 3.20. Konveyör Bantı.....	30
Şekil 3.21. Redüktörlü DC Motor.....	30
Şekil 3.22. Kontrol Kutusu.....	31
Şekil 3.23. Örnek Dijital Görüntü ve Seçili Alan Matrisi.....	33
Şekil 3.24. Elektromanyetik Spektrumda İnsan Gözünün Görme Aralığı.....	37
Şekil 3.25. RGB – CMYK Renk Modelleri.....	37
Şekil 3.26. HSV Uzayında Renk Oluşumları.....	38
Şekil 3.27. Parçaların HSV ve İkili Maske Dönüşümleri.....	39
Şekil 3.28. Parçaların Kontur Alanlarının Belirlenmesi.....	45
Şekil 3.29.(a) Turuncu Kare Nesne Tanıma.....	47
Şekil 3.29.(b) Sarı Üçgen Nesne Tanıma.....	47
Şekil 3.29.(c) Yeşil Yıldız Nesne Tanıma.....	48
Şekil 3.29.(d) Mavi Daire Nesne Tanıma.....	48
Şekil 3.30. Mikroişlemci Kontrollü I/O Kartı.....	50
Şekil 3.31. PLC Bağlantısı.....	51
Şekil 3.32. USB-RS232 Dönüştürücü.....	52
Şekil 3.33. PLC Tabanlı Sistemin Elektriksel Bağlantıları.....	52
Şekil 3.34. PLC Akış Diyagramı.....	56
Şekil 3.35. Konveyör Bandında Pnömatik Silindirin Konum Taslağı.....	57
Şekil 3.36. Arayüz Görüntüsü.....	59
Şekil 3.37. Hata Matrisi.....	65

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 4.1. Numune Parçaların Gruplandırılması	64
Çizelge 4.2. Renk ve Şekil Kombinasyonlarından Elde Edilen Performans Sonuçları ..	65

1. GİRİŞ

Teknolojinin hızla gelişmesi, endüstriyel üretim süreçlerinde köklü değişimlere yol açmıştır (Kuncan, 2013). Özellikle plastik ürünlerin giderek artan kullanımı ve üretim hacimleri, kalite kontrol süreçlerinin otomasyonunu zorunlu kılmaktadır. Modern üretim tesislerinde, maliyetlerin minimize edilmesi, yüksek kaliteli ürün eldesi ve üretim süreçlerinin otomasyonu temel gereklilikler haline gelmiştir (Aminabadi vd., 2022; Ohshima ve Tanigaki, 2000).

Günümüz endüstriyel üretim süreçlerinde kalite kontrol faaliyetleri, ürün güvenilirliği ve müşteri memnuniyetini sağlamak adına büyük önem taşımaktadır (Montgomery, 2020). Özellikle otomotiv, beyaz eşya ve medikal gibi sektörlerde yaygın olarak kullanılan plastik enjeksiyon yöntemi, yüksek hacimli üretimlerde hassas toleranslara sahip ürünlerin imal edilmesini mümkün kılmaktadır (Ozçelik ve Sonat, 2009). Ancak bu üretim sürecinde; malzeme kalitesi, kalıp sıcaklığı, enjeksiyon basıncı ve soğuma süresi gibi değişkenlerden kaynaklanan renk farklılıkları, şekil bozuklukları veya yüzey kusurları gibi hatalı ürünler ortaya çıkabilmektedir (Bryce, 1998; Çakır, 2000; Fei vd., 2013).

Geleneksel kalite kontrol yöntemleri, insan gözüne dayalı incelemelerle sınırlı kalmakta ve bu durum hata tespitinde gecikmelere, üretim verimliliğinin düşmesine neden olabilmektedir. Bu sorunların üstesinden gelmek için endüstriyel otomasyon ve makine görüşü teknikleri, kalite kontrol süreçlerinde giderek daha fazla kullanılmaktadır. Makine görüşü sistemleri, plastik ürünlerdeki hataları sürekli olarak izleyebilmekte ve insan gözüne kıyasla çok daha hızlı, güvenilir ve tutarlı sonuçlar sunmaktadır (Şenel ve Cetişli, 2015).

Bu tür kusurların manuel olarak tespiti hem zaman alıcı hem de insan hatasına açık bir yöntem olduğundan, görüntü işleme sistemleri ile desteklenen otomatik kalite kontrol çözümleri ön plana çıkmaktadır (Arora, 2023). Görüntü işleme teknikleri, üretim hattına entegre edilen kamera sistemleri sayesinde ürünlerin yüksek hızlı analizi ve sınıflandırılması için etkili bir çözüm sunmaktadır (Golnabi ve Asadpour, 2007). Özellikle renk ve şekil tabanlı analiz, plastik enjeksiyon ürünlerindeki yüzeysel ya da yapısal kusurların güvenilir şekilde tespit edilmesini mümkün kılmaktadır (Xie, 2008; Saad vd., 2017).

Otomatik görüntü işleme sistemleri, üretim hatlarında yüksek hızda, hassas ve tekrarlanabilir kalite kontrolü sağlayarak insan kaynaklı hataları en aza indirmektedir

(Joseph Perumadan, 2025). Aynı zamanda bu sistemler, insan müdahalesi olmadan kesintisiz çalışabilme özelliği sayesinde yüksek hacimli üretim hatlarında verimliliği ve maliyet etkinliğini artırmaktadır.

Plastik enjeksiyon gibi seri üretim süreçlerinde her bir parçanın manuel olarak kontrol edilmesi hem zaman alıcı hem de hata oranını artıran bir faktördür (Gaub, 2016). Otomatik görüntü işleme sistemleri, her bir parçanın istenilen kalite standartlarına uygunluğunu anlık olarak değerlendirerek bu sorunları ortadan kaldırmaktadır. Böylece hatalı parçalar hızla ayıklanabilmekte, üretim kesintisiz devam edebilmekte ve genel verimlilik artırılabilir.

Bu bağlamda, görüntü işleme algoritmaları ile birlikte çalışan Programlanabilir Lojik Kontrolörler (PLC), gerçek zamanlı ürün ayrıştırma işlemini yüksek hassasiyetle gerçekleştirebilmektedir (Xiong ve Ye, 2021). PLC'nin üretim hattındaki diğer otomasyon bileşenleri ile uyum içinde çalışabilmesi, sistemin hızını ve verimliliğini önemli ölçüde artırmaktadır (Dhameliya, 2023). Bu çalışmada, plastik enjeksiyon ürünlerinde renk ve şekil analizi temelinde hatalı ürünlerin otomatik olarak tespit edilmesini ve ayrıştırılmasını sağlayan bir sistemin tasarımı ele alınacaktır. Sistem, görüntü işleme modülü ile PLC kontrolü altında entegre edilerek, hatalı ürünlerin üretim süreci içinde anlık olarak dışlanmasını hedeflemektedir.

Bu sistemler, renk ve şekil tanıma yetenekleriyle genişletilerek PLC tabanlı otomasyon sistemlerine entegre edilebilmektedir (Çiçek, 2006; Kervancıoğlu vd., 2008). Bu entegrasyon sayesinde sistemler, gerçek zamanlı olarak hata analizi yapabilmekte, hatalı ürünleri tespit edebilmekte ve üretim hattını durdurmadan bu ürünleri ayırabilmektedir.

Plastik enjeksiyon süreçlerinde renk sapmaları ve şekil bozuklukları gibi kalite problemlerinin erken tespiti etkili bir üretim süreci için önemlidir. Makine görüşü ve PLC tabanlı otomasyon sistemlerinin entegrasyonu sayesinde, bu tür hatalar anında tespit edilebilmekte ve gerekli ayarlamalar otomatik olarak yapılabilir. Böylece sistem hızı ve verimliliği artarken, insan müdahalesine olan ihtiyaç en aza indirgenmektedir.

Bu tez çalışması, plastik enjeksiyon üretim süreçlerinde makine görüşü ve PLC tabanlı otomasyon sistemlerinin entegrasyonu ile nasıl daha verimli ve hatasız üretim yapılabileceğini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında, plastik enjeksiyon parçalarının üretim sürecinin son aşaması olan kalite kontrol işlemi için, plastik nesnelerin renk ve geometrik şekil bilgilerine dayalı olarak hatalı ürünlerin otomatik dışlanması sağlanmıştır.

Tez beş bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünde, tezin amacı, kapsamı ve plastik enjeksiyon süreçlerinde kalite kontrol ihtiyacına yönelik motivasyon açıklanmıştır. Kaynak araştırması bölümünde, literatürde yer alan görüntü işleme teknikleri, makine görüşü sistemleri ve PLC tabanlı otomasyon uygulamalarına ilişkin çalışmalar incelenmiştir. Materyal ve yöntem bölümünde, kullanılan yöntem ve teknolojiler detaylandırılmış; görüntü işleme algoritmaları, donanım bileşenleri ve sistemin genel mimarisi açıklanmıştır. Araştırma sonuçları bölümünde, sistemin test sonuçları, performans analizleri ve değerlendirmeleri sunulmuştur. Son olarak, sonuç ve öneriler bölümünde çalışmadan elde edilen bulgular özetlenmiş ve ileriye dönük önerilerde bulunulmuştur. Her bölüm, konunun bütüncül ve anlaşılır bir biçimde ele alınmasını sağlayacak şekilde yapılandırılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bilgisayarla görme ile ilgili literatüre katkısı olan birçok çalışmanın olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, aynı konu başlığı altında yer alan öznelik çıkarımı, ürün tanıma ve hata tespiti gibi alanlardaki mevcut araştırmalar incelenmiş ve bu çalışmaların genel çerçevesi bu bölümde ele alınmıştır.

2006 yılında Serdar Çiçek tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışmasında; endüstride kullanılan yürüyen bant üzerindeki malzemeleri renk parametrelerine göre robot kol ile ayırıp taşıma işlemi yapılmıştır. Robot kol, renk algılayıcılar ve mikrodenetleyiciler yoluyla kırmızı, yeşil ve mavi renkteki malzemeleri ayırmıştır. Servo motor robot kolun hareketi için kullanılmıştır. PIC mikro işlemcisi kontrolör olarak kullanılmış ve robot kendi ekseninde taşıma işlemi yapmıştır (Çiçek, 2006).

2008 yılında Kervancıoğlu ve ark. PLC kontrollü, görüntü işleme tekniklerinin elektro-pnömatik sistemleriyle robot analizlerinin, endüstriyel çalışmalarda performans artışını ortaya çıkarmıştır. Çalışmada, yüksek maliyet içeren görüntü işleme sistemleri yerine webcam gibi ucuz maliyeti kullanarak çeşitli geometrik şekillerin incelenmesi ele alınmıştır. Alüminyum küp şeklindeki cismin üzerinde bulunan geometrik toleranslar, kameradan alınan görüntüler ile OpenCV kütüphanesiyle işlenmiştir. Görüntü segmentasyonu için OpenCV’de “Thresholding”, görüntünün netliği sağlanması için “Sharpen” algoritmaları kullanılmış ve görüntüdeki bazı ayrıntıları yalıtma için Hough dönüşümü yapılmıştır. Hough dönüşümünde elips, daire vb. gibi şekillerden elde edilen koordinatlardan doğru denklemine bakılmıştır. Sonuca göre, hatalı parça yada hatasız parça olarak ayrıştırılmak üzere, pnömatik tahrikli kol, PLC kontrolünde robot kol tarafından yapılmıştır (Kervancıoğlu vd., 2008).

2008 yılında Adamo ve ark. mikrodenetleyici tabanlı hata bulma denetimi yapmışlardır. Sistem, RS485 seri veri yolu kullanarak cam yüzeylerde dalgalanmalar, çizikler gibi görsel anormallikler analiz edilmiştir. Camdaki anormallikler kamera lazerler ile taranmış ve hataların iç parçaları algoritmalar ile doldurulmuştur. Bu yöntem ise anormalliklerin iç parçaları dolgunlaştığı için, bu parçaları daha kalın göstermiştir. Görsel anormallikler sınırlarıyla birlikte alanlar hesaplandığında, kusur aralığının çokluğu daha büyük algılanmıştır (Adamo vd., 2008).

2008 yılında Al Kamal ve ark. metal kapakların kauçuk kaplamalardaki kusurları tespit etmek için çevrim içi bir makine görme sistemi tasarımı sunulmuştur. Sistem, CDD sensörüne sahip kamera ile IEEE 1394 (FireWire) arayüzü üzerinden bir PCI FireWire

kartı ile bilgisayara bağlanarak sağlanmıştır. Görüntü işleme ve analiz işlemleri basamakları; görüntü alma, görüntü iyileştirme, eşikleme ve şekil eşleştirme ile sağlanmıştır. Basit, düşük maliyetli ve verimli bir çözüm sunmayı hedeflemiştir (I. Al Kamal ve Al-Alaoui, 2008).

2008 yılında Sawadisavi ve ark. demiryolu hatlarının bakım ve güvenliğini arttırmak amacıyla makine görme teknolojilerini kullanarak raylardaki kusurların lazer tabanlı otomatik tespiti hedeflenmiştir. Görüntü işleme algoritmaları kullanılarak raydaki çatlaklar, bağlantı elemanlarındaki eksiklikler ve diğer yapısal kusurlar tespit edilmiştir. Makine öğrenmesi ve sınıflandırma teknikleri kullanılarak kusurlar otomatik olarak tespit edilmiştir. Bu sistem, demiryolu hatlarının düzenli ve etkin bir şekilde izlenmesi sağlayarak, manuel denetim süreçlerini hızlandırmış ve insan hatası riskini azaltmıştır (Sawadisavi vd., 2008).

2009 yılında Maldonado ve ark. yaptıkları çalışmada, görüntü analizi ve desen tanıma teknikleri kullanılarak geri dönüştürülmüş kağıt sayfalarının belirli bir kalite özelliğini değerlendirmek üzere tasarlanmıştır. Üretim sahasında, kağıt sayfaların yüzeyinde üretimden kısa bir süre sonra ya da zamanla ortaya çıkabilecek makroskobik dalgalanmaların varlığının erken tespiti için bilgisayarla görü ve istatistiksel desen tanıma yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda kalite kontrol için geri dönüşüm kağıtları sınıflandırılmıştır (Maldonado ve Graña, 2009).

2009 yılında Adamo ve ark. çalışmalarında cam yüzeylerde hata tespiti için iki adet kamera kullanılmış ve kamera altında bulunan cam tabakasından görüntüler alınmıştır. Görüntünün işlenmesinde OpenCV kütüphanesinden Canny kenar bulma algoritmasından yararlanılmıştır (Adamo vd., 2009).

2011 yılında Huang ve ark. gerçek zamanda kameradan alınan görüntüler aracılığıyla nesnelere şekillerine göre ayrıştırılmıştır. Ayrıştırılan nesne, yatay hareket eden robot kol yardımı ile başka bir yere iletilmiştir. Görüntü işleme tekniklerinden kenar bulma algoritması kullanılarak yuvarlak nesne tespiti yapılmıştır. Robot kol belirlenen nesnenin konum bilgileri doğrultusunda nesneyi kavrayarak başka bir yere ayırtmıştır (Huang vd., 2011).

2011 yılında Zheng ve ark yaptıkları çalışmada, ARM tabanlı bir gömülü sistem kullanarak kameradan gerçek zamanlı görüntü alınmış ve hareketli parçaların tespiti gerçekleştirilmiştir. Kamera görüntülerinden, arka plan çıkarılarak hareket algılama işlemi yapılmıştır. Algılanan hareketler, TCP/IP protokolü internet üzerinden iletilmiştir.

Karşılıklı bilgisayardan alınan görüntüler, internet explorer veya firefox tarayıcıları kullanılarak gerçek zamanlı olarak sunulmuştur (Rong vd., 2011).

2012 yılında Turgay Erdoğan tarafından yapılan çalışmada, Matlab yazılımı ile nesne tanıma ve çalıştırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Sistem, yürüyen bir bant üzerinden alınan kamera görüntüsü ile nesne tanınması yapılmıştır. Görüntü işleme süreçleri arasında gri tonlama, eşik belirleme, kenar algılama ve özellik çıkarımı yer almıştır. Aynı zamanda yapay sinir ağı kullanılarak nesnelerin doğru şekilde tespit edilmesi robot kol yardımıyla gerçekleştirilmiştir (Erdoğan, 2012).

2014 yılında Erhan Kahya'nın kivi hasadı için özel olarak tasarlanmış bir robotik tutucu geliştirmiştir. Robotik tutucu, kivi meyvelerini ağaç üzerindeyken tanıyabilmek için görüntü işleme tekniklerinden yararlanmıştır. Bu bağlamda, nesne tanıma algoritmaları meyvenin pozisyonunu, büyüklüğünü ve olgunluğunu belirleyerek robotik sistemin doğru hasat yapmasına olanak tanımıştır (Kahya, 2014).

2014 yılında Nashat ve ark. yaptıkları çalışmada, düzensiz renk dağılımları ve dokulu yüzeylere sahip bisküvilerdeki küçük çatlakların tespiti için bir makine görme sistemi geliştirmeyi amaçlamışlardır. Çalışmalarında, çatlakları vurgulamak ve gürültüyü azaltmak için Canny-Deriche filtresi kullanılmıştır. Destek Vektör Makineleri kullanılarak çatlak tespiti gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarında, %98 özgüllük, %96 duyarlılık ve %97'nin üzerinde doğru sınıflandırma sonucuna ulaşılmıştır (Nashat vd., 2014).

2015 yılında Şaban Öztürk tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışmasında cam üretme hataları olan çizik, kırık, hava parçaları vb. için otomatik tespit ile görüntü işleme teknikleri kullanılmıştır. Dijital kamera aracılığıyla renksiz düz ve buzlu camlardaki elde edilen görüntülerdeki kusurlar algılanarak ürün kalitesi artırılması hedeflenmiştir (Öztürk, 2015).

2016 yılında Balcı ve ark. çalışmalarında Türkiye'de yetiştirilen Napolyon kirazlarının boyutlarının tespit edilmesi hedeflenmiş ve görüntü işleme teknoloji kullanılarak istenmeyen kirazlar daha doğru bir şekilde sınıflandırılması amaçlanmıştır (Balcı vd., 2016).

2018 yılında Turan ve ark. tarımsal ürünlerin durumu hakkında bilgi toplamak amacıyla bir gezgin robot yardımıyla elde edilen görüntülerin işlenmesi ve analiz edilmesi üzerine odaklanmıştır. Gezgin robot, belirlenen bir tarım alanında dolaşarak domates bitkisinin görüntüleri toplanmış ve bu görüntüler üzerinde çeşitli analizler

yaparak ürünlerin sağlık durumu ve gelişim süreçleri hakkında bilgi sağlanmıştır (Turan ve Aydın, 2018).

2018 yılında Kürşad Uçar tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışmasında, silindirik şekillerin düzgünlüğü ve üretim aşamasında hatalı parçaların toplanması OpenCV gibi görüntü işleme kütüphaneleri ile analiz edilmiştir. Tespit edilen hatalar ürün kalite kontrollerde otomatik olarak belirlenip, gerekli ayrıştırma işlemi yapılmıştır. Çalışmada kullanılan kenar algılama, şekil analizi ve renklerin saklanması algoritmaları yer almakta olup, bu teknikler ile silindirik parçaların değişmesi muhtemel bozulmalar, kırılmalar veya üretim hataları tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlarla, otomatik kalite kontrol veriminin artırılması ve insan hatalarının en aza indirilmesi amaçlanmıştır (Uçar, 2018).

2019 yılında yapılan bu çalışmada döküm sektöründe üretilen parçaların kalite kontrol süreçlerinde görüntü işleme tekniklerinin kullanılabileceği sistem önerilmiştir. Görüntü işleme teknikleri kullanılarak bu sürecin otomatikleştirilmesi hedeflenmiştir. OpenCV gibi kütüphanelerle geliştirilen algoritmalar, döküm parçalarının yüzeyindeki hataları renk kontrastı kullanarak istenmeyen üretim kusurlarını tespit etmek amacıyla kullanılmıştır. Çalışmada tek sensör yerine bir kameraya indirgeyerek yüksek performans sağlanmıştır. Sisteme, kameralar ve ışıklandırma düzenekleri entegre edilmiş ve gerçek zamanlı olarak çalışacak şekilde tasarlanmıştır (Köse vd., 2019) .

2019 yılında Güvenoğlu ve ark. dokuma kumaşlar üzerinde gerçek zamanlı hata tespiti yapmak için görüntü işleme teknikleri kullanılarak bir sistem tasarlanmıştır. Sistem, yüksek verimli bir kamera aracılığıyla anlık olarak alınan dokuma kumaş bölümleri üzerinde, Shearlet hesabı ile öznetelik çıkarma işlemlerini kullanarak hata kontrolü yapabilen bir düzenek sağlanmıştır. Gerçek zamanlı hata tespitine yönelik yapılan deneylerde, delik, yırtık ve leke gibi kumaş hataları tespiti yapılmaya çalışılmıştır (Güvenoğlu ve Bağırhan, 2019).

2020 yılında Şengül ve ark. tarafından yapılan çalışmada, S7-1200 PLC ile kontrol edilen bir konveyör sisteminde, Matlab ve OPC iletişimi aracılığıyla renk bazlı gerçek zamanlı nesne sınıflandırma ve fiziksel ayırma işlemi yapılmıştır. Sistem; PLC-Matlab entegrasyonu, gerçek zamanlı veri işleme ve renk analiziyle prototip düzeyinde başarılı sonuçlar elde etmiştir (Şengül vd., 2020).

2020 yılında Bilgin Dallı tarafından yapılan yüksek lisans çalışmasında, otomotiv güvenliği için kritik bir plastik enjeksiyon parçası (yan yolcu hava yastığı kalıbı) üzerinde, proses parametreleri (sıcaklık, basınç, zaman, mesafe) değerlendirilerek bir

görüntü işleme tabanlı kusur tespit ve sıralama sistemi tasarlanmıştır. Parçaya özel algoritmalarla şekil ve yüzey hataları otomatik olarak tespit edilmiş, sistem mekanik ve otomasyon bileşenleriyle bütünleştirilmiştir (Dallı, 2021).

2021 yılında yapılan makalede, PLC destekli tam otomatik taşıma sistemi içeren plastik tampon aplikatörleri üzerine bir endüstriyel görüntüleme sistemi ele alınmıştır. Edge Computing Device (ECD) ile derin öğrenme tabanlı kusur sınıflandırması yapılmakta ve PLC tarafından yönlendirilen bir NG ayırıcı ile hatalı parçalar ayrıştırılmaktadır. Sistem, gerçek üretim şartlarında uygulanmış, ışık yansımaları gibi zorluklar için CLAHE ön işleme ve YOLACT – TensorRT tabanlı örnek segmentasyon stratejileri kullanılmıştır (Im vd., 2021).

2021 yılında Yan ve ark. enjeksiyon parçalarında oluşan yüzey ve şekil kusurlarını, endüstriyel kamera ve daha sonra ağ yapısının (CNN) optimize edilmesiyle tespit eden bir derin öğrenme tabanlı yöntem sunulmuştur. Veri artırma (augmentation), görüntü iyileştirme ve CNN parametre ayarı süreçlerine yer verilmiştir. Sonuçta, geleneksel yöntemlere kıyasla daha yüksek başarı oranı elde edilmiştir (Yan vd., 2021).

2022 yılında Bahadır Elmas tarafından yapılan çalışmada, mermer yüzeylerin kaliteye dayalı bir şekilde sınıflandırılması için bir sistem oluşturulmuştur. Ana hedef, mermerin kalite kontrol sürecini otomatikleştirmek ve ayırmaktır. Çalışma, mermer yüzeylerinin renk ve pürüzlülük olarak görsel özelliklerini analiz etmiştir. Görüntü işleme ile elde edilen özellikler, makineyle üretilen modeller kullanılarak analiz edilmiş ve mermer yüzeyler kaliteye göre sınıflandırılmıştır (Elmas, 2022).

2024 yılında Shi ve ark. tarafından yapılan çalışmada, plastik enjeksiyonla üretilen dişlilerin yüzey kusurlarını tespit edebilen, gerçek zamanlı görsel denetim sistemi sunulmuştur. YOLOv5 tabanlı geliştirilen PGD-net modeli, FasterNet ve CoordConv modeliyle optimize edilmiştir. Focal-IoU kayıp fonksiyonu sayesinde zor örneklerde başarı sağlanmıştır. Sistem, kamera ve pnömatik ayırıcılar ile parçaları %95.6 doğrulukla tarayarak üretim hattına entegre edilmiştir (Shi vd., 2024).

2024 yılında Rotter ve ark. çalışmalarında, enjeksiyon parçalarında oluşan oksit kusurlarını tespit etmek için kenar maskeleme destekli bir görüntü işleme yöntemi sunulmuştur. SqueezeNet tabanlı CNN ile parça tanımlaması yapılmıştır. Referans kenar maskesi ile geometrik eşleme gerçekleştirilmiştir. Maskeleme sonrası kalan bölge anomaliler tespit edilmiştir. Sistem, %100 doğrulukla kusurları algılamıştır (Rotter vd., 2024).

2025 yılında Petersen ve ark. çalışmalarında, PLC kontrollü konveyör sisteminde monokrom kamera ve renkli ışık kaynakları (RGB LED + filtre sistemi) kullanılarak farklı renklerdeki plastik parçaların ayrımı gerçekleştirilmiştir. PLC, HMI ve robota entegrasyonu sağlanmış ve renk analizi ile gerçek zamanlı kategorize edilmiş ürünler robota yönlendirilmiştir (Petersen vd., 2025).

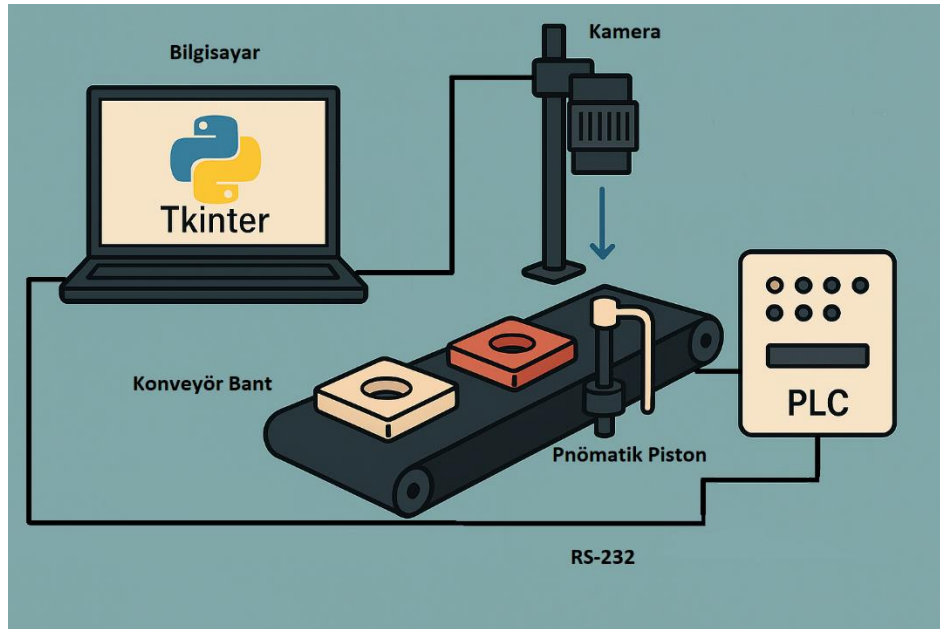
2025 yılında Arslan ve ark. plastik enjeksiyon kalıplama sürecinde kalite kontrol için yapay zeka destekli bir sistem geliştirilmiştir. Makine öğrenmesi için öznelik matrisi çıkarılıp eğitilmiş ve CNN tabanlı model %98 doğruluk ile sonuçlanmıştır (Arslan vd., 2025).

2025 yılında Almtireen ve ark. tarafından yapılan çalışmada, YOLOv8 tabanlı görüntü işleme ile atık materyaller (metal, plastik, kağıt) sınıflandırılmıştır. PLC kontrollü konveyör sistem üzerinden gerçek zamanlı sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Derin öğrenme modeliyle elde edilen sınıflandırma sonuçları, PLC'ye aktararak pnömatik piston yardımıyla fiziksel ayrıştırma gerçekleştirilmiştir. Sonuç, plastik şişede %91, metalde %88 ve kağıtta %75 doğruluk sağlanmıştır (Almtireen vd., 2025).

Literatür incelendiğinde plastik enjeksiyon alanında, nesnelerin, renk ve şekillerinin bir arada hata unsuru olarak kabul edildiğine yönelik çalışmaların çok az olduğu görülmüştür. Bu sebeple plastik enjeksiyon parçaları için, PLC tabanlı görüntü işleme uygulama adımları kullanılmıştır. Seri port üzerinden PLC ile haberleşme sağlanarak parçalar için belirlenen renk ve geometrik şekile göre hata unsuru sayılarak ayırma işlemi gerçekleştirilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Tez çalışmasının bu bölümünde, plastik enjeksiyon süreçleri ve görüntü işleme tekniklerine ilişkin bilgiler sunulmaktadır. Tasarlanan sistemde, yüksek çözünürlüklü bir kamera nesnelerin görüntülerini gerçek zamanlı olarak yakalamakta ve elde edilen verileri analiz amacıyla bilgisayara aktarmaktadır. Görüntü işleme algoritmalarının yürütülmesi ile grafiksel kullanıcı arayüzünün yönetimi bilgisayar ortamında gerçekleştirilmiştir. Donanım ile bilgisayar arasındaki veri iletimi, COM4 portu üzerinden kurulan Modbus RS-232 seri haberleşme iletim hattı aracılığıyla sağlanmaktadır. Sistemin şematik düzeni Şekil 3.1’de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Sistem Tasarımı

Yazılım geliştirme sürecinde Python programlama dili tercih edilmiş ve uygulama Jupyter Notebook ortamında gerçekleştirilmiştir. Python dili ve Jupyter Notebook ortamı, esnek bir geliştirme süreci sağlarken, kodların görsel olarak izlenebilmesine de olanak tanımaktadır. Görüntü işleme uygulamalarında OpenCV kütüphanesinden yararlanılmış; bu kapsamda renk algılama ve geometrik şekil tanıma işlemleri başarıyla gerçekleştirilmiştir. Matris işlemleri ve renk aralıklarının tanımlanmasında ise NumPy kütüphanesi kullanılmıştır. NumPy, özellikle renk filtreleme, piksel düzeyinde karşılaştırmalar ve matris tabanlı görüntü işleme işlemlerinde etkin bir şekilde kullanılmıştır.

Kullanıcı etkileşimi sağlanmak amacıyla Tkinter kütüphanesi ile bir grafiksel kullanıcı arayüzü (GUI) geliştirilmiştir. Tkinter kullanılarak görsel bir arayüz tasarlanmıştır; kullanıcılar burada işlem yapılacak renk aralıklarını belirleyebilmekte, eşik değerlerini girebilmekte ve anlık görüntüleri izleyebilmektedir. Seri port üzerinden veri gönderilip alınması işlemleri, pyserial kütüphanesi ile sağlanmıştır. Ayrıca, sistemin eşzamanlı olarak hem video işleme hem de kullanıcı arayüzü işlemlerini yürütebilmesi için threading modülü ile çok iş parçacıklı (paralel) çalışma yapısı oluşturulmuştur.

Kamera, plastik enjeksiyon hattı üzerine yerleştirilmiş ve parçaları yukarıdan gözlemleyecek şekilde konumlandırılmıştır. Elde edilen görüntüler kesintisiz olarak bilgisayara aktarılmaktadır. Donanım tarafında iletişimin sağlanması için dELab MultiDAS endüstriyel kontrol ünitesi kullanılmıştır. MultiDAS endüstriyel kontrol ünitesi, bilgisayardan gelen analiz sonuçlarını alarak sisteme müdahalede bulunmakta, örneğin hatalı parça algılandığında bir piston veya elektromekanik sistemle ayrıştırma işlemi başlatılabilmektedir. MultiDAS, RS-232 haberleşme protokolü üzerinden COM4 portuna bağlanarak sistemin merkezi bir kontrol birimi olarak görev yapmaktadır.

3.1. Plastik Enjeksiyon Süreci ve Parçaları

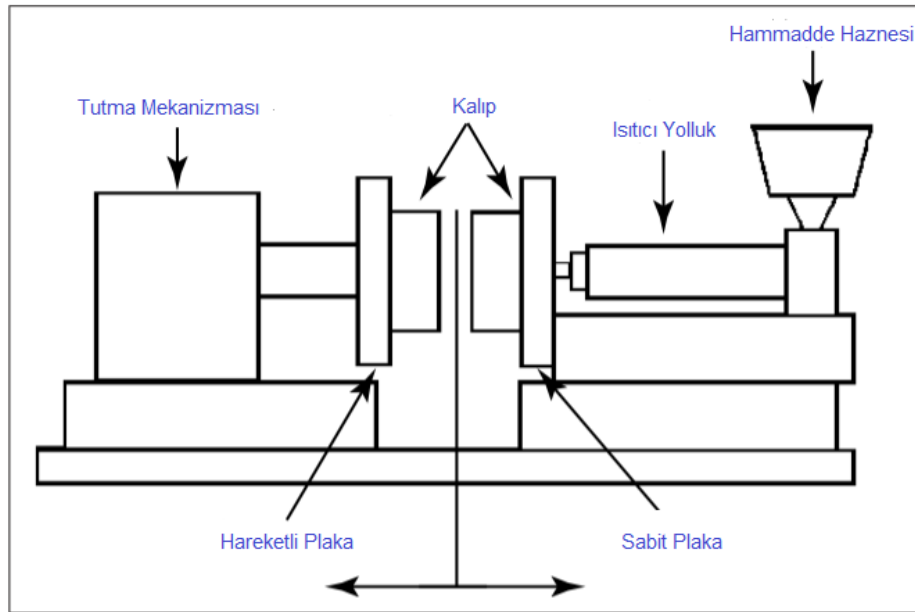
Plastik enjeksiyon, seri üretime uygunluk ve karmaşık geometrilere sahip parçaların yüksek hassasiyetle üretilebilmesi gibi avantajları nedeniyle endüstride yaygın olarak kullanılan bir üretim teknolojisidir (Miles ve Briston, 1996). Bu yöntem, termoplastik malzemelerin belirli sıcaklıklarda eritilerek kalıp boşluğuna enjekte edilmesi, ardından soğutulularak katılaştırılması prensibine dayanmaktadır (M. R. Kamal vd., 2002). Özellikle seri üretim gereksinimlerinin bulunduğu uygulamalarda yüksek verimlilik ve üretim tekrarlanabilirliği sağlamaktadır.

Plastik enjeksiyon yöntemiyle üretilen parçalar; beyaz eşya, otomotiv, elektronik ve medikal gibi birçok sektörde taşıyıcı ya da işlevsel parçalar olarak kullanılmaktadır. Bu kapsamda, parçaların şekil stabilitesi, renk bütünlüğü ve yüzey kalitesi son ürün performansı açısından kritik öneme sahiptir. Parçaların kullanım alanlarına göre üretimde tercih edilen plastik malzeme türü (ABS, PP, PC vb.), kalıp tasarımı ve enjeksiyon parametreleri özenle belirlenmelidir (Ozçelik ve Sonat, 2009). Bu parametrelerin uygun şekilde seçilmemesi durumunda, üretim sürecinde çeşitli kusurların (örneğin yüzey bozuklukları, şekil sapmaları veya renk farklılıkları) ortaya çıkması kaçınılmaz hale gelmektedir.

3.1.1. Enjeksiyon Kalıplama Temelleri

Plastik enjeksiyon, termoplastik malzemelerin belirli sıcaklıklarda eritilerek kalıp boşluğuna enjekte edilmesi ve ardından soğutularak katılaştırılması esasına dayanan bir üretim yöntemidir. Bu süreç, yüksek hacimli üretimlerde hassasiyet ve tekrarlanabilirlik sağlaması nedeniyle endüstride yaygın olarak tercih edilmektedir. Plastik enjeksiyon makineleri, termoplastik hammaddenin hedeflenen kalıp geometrisine uygun şekilde tek adımda şekillendirilmesini mümkün kılmaktadır. Genellikle sonrasında ek bir işleme ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu özellikleri, yöntemi seri üretim için son derece elverişli hale getirmekte ve aynı döngü içerisinde çoklu parça üretimine olanak tanımaktadır (Bryce, 1998).

Enjeksiyon makineleri, başlıca bileşenleri birleştirmeyi sağlayan birleştirme ünitesi ve kalıbın kapalı tutulması için kalıp kapama (sıkıştırma) ünitesinden oluşmaktadır. Birleştirme ünitesi, eritilmiş plastiği kalıba enjekte ederken; sıkıştırma ünitesi, kalıbın enjeksiyon süreci boyunca kapalı kalmasını sağlamaktadır. Söz konusu enjeksiyon makinesine ilişkin genel bir görünüm Şekil 3.2’de sunulmuştur (Bryce, 1998; Tang vd., 2006).



Şekil 3.2. Plastik Enjeksiyon Makinesi Bölümlerinin Gösterimi

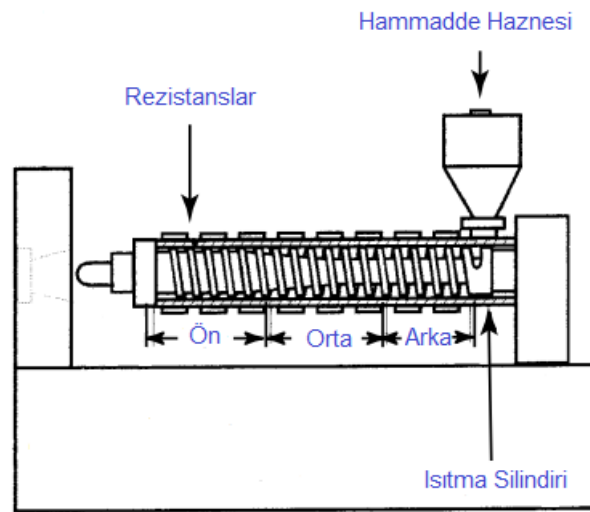
Bir plastik parçanın üretim süreci genel olarak dört temel aşamadan oluşmaktadır: plastik ürün tasarımı, enjeksiyon kalıp tasarımı, enjeksiyon proses parametrelerinin

belirlenmesi ve kalite kontrol faaliyetleri. Bu aşamalar, birbirinden bağımsız fakat birbiriyle ilişkili süreçler olarak plastik üretiminin başarısını doğrudan etkilemektedir (Kamber, 2008).

Enjeksiyon ünitesi, her iki tam çevrimde kullanılacak toplam malzeme miktarını depolayabilecek kapasitede tasarlanmaktadır. Bu süreçte, her çevrimin sonunda enjeksiyon silindirinin kapasitesinin yaklaşık %50'sinin boşaltılması gerekmektedir. Bu boşaltma işlemi sırasında kalıba aktarılan malzeme miktarı, “makinenin atış miktarı” olarak tanımlanmaktadır. Örneğin, bir çevrimde kullanılan toplam malzeme miktarı 56,7 gram ise, ilgili enjeksiyon işlemi için uygun silindir hacmi yaklaşık 113,4 gram olmalıdır. Atış miktarının belirlenmesinde en kritik faktörlerden biri, kullanılan plastik malzemenin ısıl stabilitesidir. Bazı termoplastikler yüksek sıcaklıklara karşı oldukça duyarlıdır ve kısa süreli ısı maruziyetinde bile bozunabilirken, bazı malzemeler yüksek sıcaklıklara daha uzun süre dayanım gösterebilmektedir. Bu nedenle, malzemenin ısıya uygunluk düzeyi, şekillendirme sürecinde kalıpta ne kadar süre bozulmadan kalabileceğini doğrudan belirlemektedir. Isıl bozunmaya uğramış malzemeler, ürün kalitesinde düşüşe ve proses verimliliğinde azalmaya yol açmaktadır. Bu bağlamda, söz konusu %50 boşaltım kuralı, malzemenin kalıp içerisinde aşırı süre kalmasını ve dolayısıyla ısıl bozulmaya uğramasını önlemek amacıyla geliştirilmiş bir önlemdir. Bu kural, malzemenin kalma süresinden bağımsız olarak kalite güvence açısından standart bir uygulama olarak kabul görmektedir (Bryce, 1998).

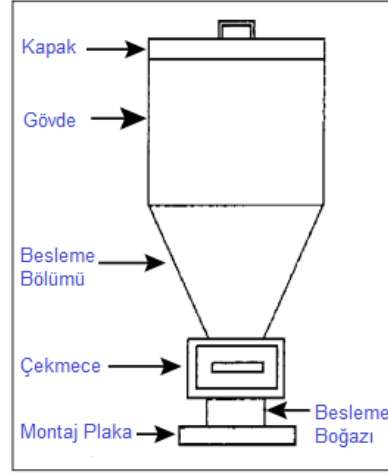
Enjeksiyon ünitesi, enjeksiyon makinesinin birçok temel işlevini yerine getiren kritik bir bileşen olarak öne çıkmaktadır. Bu işlevlerin gerçekleşmesi için pek çok parça bulunmaktadır. Söz konusu bileşenler Şekil 3.3.'te ayrıntılı biçimde gösterilmektedir. Ünitenin en önemli parçası, yenilenebilir ısıtma silindiridir. Silindir, uzun ve yuvarlak bir boru şeklinde tasarlanıp dayanıklı ve maliyeti düşük çelikten üretilmektedir. Isıtma silindirinin iç yüzeyi, üretim sürecinde meydana gelen sürtünme ve aşınmaya karşı direnç gösterebilmesi amacıyla, yüksek kaliteli takım çeliği ile kaplanmış ince bir tabaka ile güçlendirilmiştir. Isıtma silindiri üzerine yerleştirilen rezistanslar bulunmaktadır. Bu rezistanslar elektrikle çalıştırılmakta ve silindirik boyunca minimum temel bırakılarak dizilmektedir. Silindirde üç farklı ısıtma sistemi vardır. Silindirin uzunluğuna bağlı olarak, bir bölge üç veya daha fazla rezistansın kontrolünü sağlamaktadır. Bu rezistanslar, makinenin kontrol panelinde var olan elektrikli ünite tarafından bağımsız olarak yönetilmektedir (Dallı, 2021). Her sıcaklık kontrol ünitesi, yönlendirilmiş bölgenin ısını sağlamak için silindirin iç duvarındaki bir delikte bulunan bir termokupl'tan bilgi

almaktadır. Belirlen sıcaklığa ulaşıldığında, termokupl, sıcaklık tekrar düşüncüye kadar rezistanslara elektrik kapasiteleri kesen kontrol ünitesine bilgi iletilmekte ve bu döngü, sıcaklık yeniden yükselinceye kadar tekrar etmektedir. Kontrol ünitesinde minimum ve maksimum sıcaklık değerleri ayarlanabilmektedir. Bu değerler rezistanslara enerji verilip verilmemesi bildirimini belirlemektedir. Her bir sıcaklık kontrol ünitesi ve termokupl, yalnızca bir ısıtma bölgesinden sorumludur. Ancak her bölgede üç veya daha fazla direnç bulunduğundan, aynı anda bir kontrol ünitesi üç veya daha fazla rezistans kontrolünden sorumludur (Bryce, 1998).



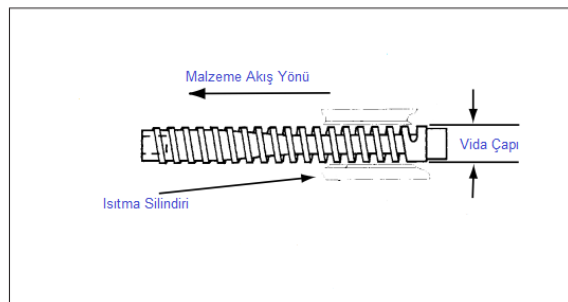
Şekil 3.3. Enjeksiyon Ünitesi Bileşenleri ve Rezistanslar

Şekil 3.3.'ün sağ üst bölümünde hammadde haznesi yer almaktadır. Aynı zamanda huni olarak adlandırılmaktadır. Huni, plastik ham maddenin ısıtma silindirene iletilmeden önce depolandığı alandır. Şekil 3.4. incelendiğinde, hammaddenin, ısıtma silindirene düşmesinin kolay olmasını sağlamak için huninin parçaların daraltılıp sivrileştirilmiştir. Hazne, ilgili makine için yaklaşık iki saatlik hammadde depolamaya sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu kapasite, standart çevrim sürelerine ve genellikle bu tür makinelerde üretilen parçaların ortalama ağırlıklarına dayanmaktadır (Bryce, 1998).



Şekil 3.4. Hammadde Hazne Tasarımı

Enjeksiyon vidası, ısıtma tamburunun içinde yer alan burğu şeklinde çubuğa denilmektedir (Dallı, 2021). Vidanın temel görevi, hammaddenin ısıtılmasını sağlamaktır. Bunun yanında, erimiş plastiklerin dayanıklı, homojen bir yapı elde edilmesini sağlamakta bir diğer işlevidir. Bununla beraber vida, plastiğin genişliğinin artırılması amacıyla ısı değişimleri oluşturmaktadır. Kullanılan malzeme vida boyunca itilerek sıkıştırılmakta ve plastiğin sıcaklığı artmaktadır. Rezistanslar plastikleri yumuşatmak için gereken ısının büyük kısmını sağlamaktadır. Şekil 3.5.'te tipik bir enjeksiyon vidası tasarımı gösterilmektedir. Vidanın arka kısmı, ön kısmına göre daha geniş bir çapa sahiptir. Orta bölüm (eriyik bölgesi), arka ve ön kısım arasında bir geçiş alanı oluşturmaktadır. Bu tasarım ile plastik korunması gereken ölçüde giderek küçülmekte ve sıkışma etkisi artmaktadır.



Şekil 3.5. Tipik Enjeksiyon Vidası Tasarımı

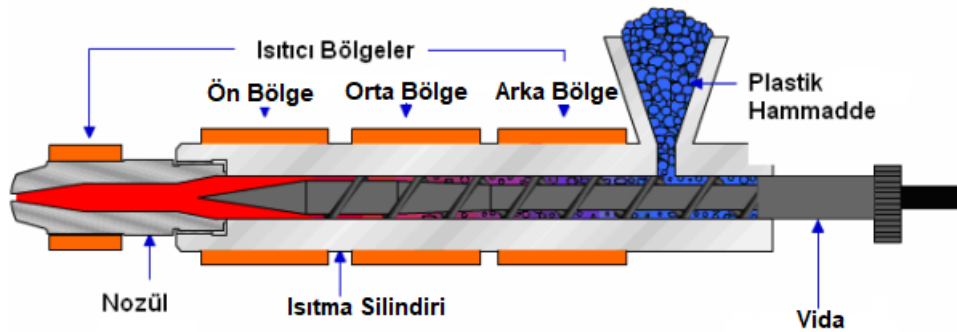
3.1.2. Plastik Enjeksiyon Parametreleri

Enjeksiyon kalıplama sürecinde birbirine bağılı birçok parametreler vardır. Süreç, sıcaklık, basınç, zaman ve mesafe temel kategorilerden oluşmaktadır. Bu kategorideki birinden olan değişiklik diğerini de etkilemektedir. Çevresel faktörler, su basıncı, ve ortam sıcaklığı gibi değişkenler parametrelerin değişmesine neden olmaktadır (Bryce, 1998; Fei vd., 2013). Sürecin kontrol edilmesi için değişkenlerin en kritik olanları belirlenmekte ve optimize edilmesi gerekmektedir. Bu sayede hem ürün kalitesi arttırılmakta hem de maliyette etkin bir üretim sağlanmaktadır.

3.1.2.1. Sıcaklık

Enjeksiyon sürecini doğrudan değiştiren önemli parametrelerden biri sıcaklıktır (Cihan vd., 2008). Bu süreçte plastik parçanın doğrudan veya dolaylı olarak farklı sıcaklık türleri bulunmaktadır. Eriyik sıcaklığı, hidrolik sistem sıcaklığı, kalıp sıcaklığı ve çevre sıcaklığı bu tür sıcaklıklara örnek verilmektedir (Fei vd., 2013). Bu sıcaklıkların her biri, plastik parçaların parlaklık belirlemede kritik bir role sahiptir.

Eriyik sıcaklığı, plastik malzeme değiştirme işlemi sırasında akış yolu boyunca sahip olduğu sıcaklık olarak değişmektedir. Bu yol, plastik malzeme hammadde hunisinden dönüşüm ünitesindeki ısıtma silindrine aktarılmaktadır. Ardından, ısıtma silindirinden makinedeki nozula aktarılmakta ve kalıba enjekte edilmektedir. Şekil 3.6.'da sistem gösterilmektedir (Kamber, 2008). Bu noktada yolluk sistemi üzerinden ilerleyerek kalıptaki işlenmiş şekillere dolması gerekmektedir. Eriyik sıcaklığı, ısıtma silindirinden tüm akış yolu boyunca kontrol edilmelidir.



Şekil 3.6. Vida Isıtma Sistemi (Kamber, 2008)

Plastik malzemeler cinsine göre erime sıcaklığı 150°C ile 400°C arasında değişmektedir. Erimiş plastik, erimesinin biraz altında kalıba basılmakta ve soğuyarak katılaşmaktadır (Kamber, 2008). Eriyik malzemenin ocak bölümünden geçiş süresi, plastik malzeme hunisinden vida ısıtma silindiri sistemi girişinden başlayarak, nozul bölgesinden çıkışa kadar vida ısıtma silindirin ömrü toplam süre olarak alınmaktadır. Bu süre birkaç saniyelik süredir.

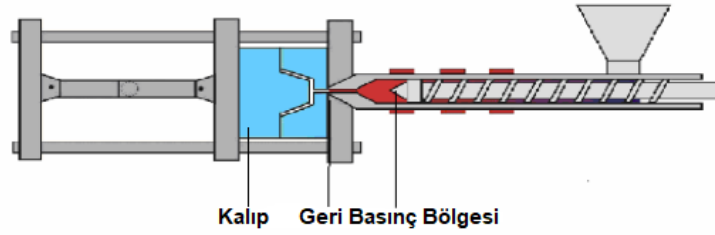
Sistemin çalışması sırasında değişken bekleme süresi, plastik malzemelerde renk değişimlerine yol açmakta ve malzemeler üzerinde değişimler parça halinde belirlenmektedir. Eğer renkli boyalı bir malzeme kullanılacaksa bozulmayı önlemek için bekleme süresi son derece hassas şekilde ayarlanmaktadır.

Yüksek sıcaklıkta çalışmanın bir diğer önemli sorunları arasında şekil bozuklukları yer almaktadır. Plastik malzemenin kalitesinden kaynaklı, fazla sıcaklık dağılımına sahip eriyikler, aşırı türbülanslı yapıya sahip olmaktadır. Türbülanslı akış sırasında hava ve gazlar eriyik bolluğu içinde sıkışıp kalmakta ve bu durumda, parça içerisinde baloncuklar şeklinde kendini göstermektedir.

Sıcaklık kontrolündeki başarısızlıklar, parçalarda gerilim farklılıkları, hatalı kesimler, çökme izi, yüzey kalitesi gibi şekil bozuklukları hatalı üretimlere neden olmaktadır. Düşük kalıp sıcaklıklarda ise yapılan şekillendirmede, kalıba giren eriyik plastik katmanları hızla soğuyarak yeterince kaynaşmamaktadır. Parçalar kalıptan çıkarıldığında, bu parçalanmış katmanlar birbirinden ayrılmakta ve birleşme yerinden kopmaktadır (İçten, 2004).

3.1.2.2. Basınç

Enjeksiyon kalıplama yöntemi, plastik hammaddenin eritilip karıştırılması, dahili kalıpların toplanması ve kalıbın açılıp kapanması işlemlerini enjeksiyon makinesi üstlenmektedir. Enjeksiyon basıncı ise enjeksiyon vidası önünde beklemekte eriyik plastik malzemenin bir piston gibi hareket etmesi ile malzemenin kalıp içine itilme işlemidir (Çakır, 2000). Basıncın ana hedefi eriyik malzemeyi en kısa süre içinde kalıba göndermektir. Enjeksiyon basıncı yüksek seçildiğinde çevrim süresinin kısalmasını sağlarken düşük seçilmesi durumunda malzemede bozuk ve kötü yüzeyler elde edilmektedir. Geri basınç hareketi Şekil 3.7’de gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Basınç Gösterimi (Kamber, 2008)

3.1.2.3. Zaman

Enjeksiyon işleminde paralel çalışan prosesler ile seri çalışan prosesler yer almaktadır. Gerçekleşen proseslerin her birinin ayrı süreleri vardır (İçten, 2004). Enjeksiyon zamanı ise malzeme kalıba dolmaya başladığı an ile tutma basınçları arasındaki zamana denilmektedir. Ürünün iyi kalitede olması için kalıptaki malzemenin her tarafında ortalama sıcaklık sabit tutulmaktadır (Akyüz, 2001). Enjeksiyon zamanı kısa tutulur ise malzeme ilerlerken akış yolunun sonundaki sıcaklık değeri, malzemenin yolda ilerlerken sürtünmeden kaynaklı sıcaklık değeri farklı daha yüksek olmaktadır. Eğer uzun tutulursa da tam tersi meydana gelmektedir. Enjeksiyon sıcaklığıyla malzeme akış yolunun uç noktasındaki sıcaklığın aynı olması ürünün boyutsal kararlılığı için önemlidir. Malzemenin akışı sırasında boyutsal bozulmaların olmaması için akış boyunca zaman sabit ve düşük tutulmalıdır.

Enjeksiyon işlemi sonrasında direkt olarak parça kalitesine etki eden parametrelerden biri de soğuma zamanıdır. Soğuma zamanı, basınç sonrasında kalıp içerisinde eriyik plastiğin katılaşması sonucu kalıptan çıkacak kıvama gelmesine kadar beklenilmesi için geçen süreye denilmektedir (Chen vd., 2000). Parça yeteri kadar soğumamışsa kalıptan çıkarken deformasyonlara uğramaktadır. Soğuma esnasında ise gerilmeden kaynaklı çatlaklar ve burkulmalar oluşabilmektedir.

3.1.2.4. Hız

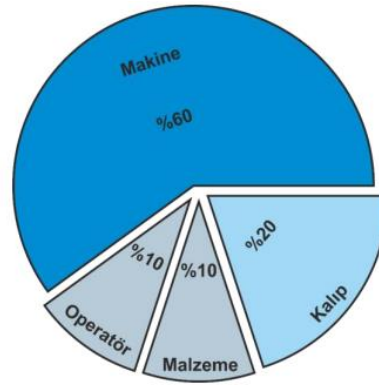
Enjeksiyon işlemi tamamlanıp parça soğumaya bırakıldığında, vidanın bir sonraki baskı için besleyiciden plastik granülleri alıp vida silindir ısıtma sistemi boyunca dönme hareketi ile kalıba iletildiği bilinmektedir (Kamber, 2008). Enjeksiyon vidasında bu işlem belirli hızla yapılmaktadır. Vida hızı, renklendirilmiş parça üretiminde görülen renk

karışımları problemlerini oluşturmaktadır. Parça üzerinde renk farklılıkları ve koyu çizgiler şeklinde kendini gösteren problemlerin asıl kaynağı vida hızıdır. Yüksek vida hızı renkteki homojenliği bozmaktadır.

Vida geri dönüş hızında parçada etken unsurlardan biridir. Dönüş hızı, basılan parçanın homojen olmasında ve görüntüyü etkilediği için hız tespiti çok iyi yapılmalıdır. Eğer vida yüksek hızda geri dönerse fazla ısıdan kaynaklı parçada yanma ve bozulma gibi renk sorunları ortaya çıkmaktadır. Vida düşük hızda çalıştığında ise ısıtma silindirinin sıcaklığı artmakta ve buna bağlı olarak eriyik oranı artmaktadır. Düşük vida hızı homojenleşmesi için daha fazla vakit bulacağından daha iyi sonuçlar verebilmektedir (Donovan vd., 1971).

3.1.3. Plastik Enjeksiyon Prosesinde Kusur Tipleri

Enjeksiyon yöntemi kullanılarak üretilen plastik parçaların kusurları, 30 yılı aşkın süredir Texas Plastic Technologies tarafından yapılan çalışmalar sonucunda, kusurların nedenleri analiz edilmiştir. Şekil 3.8.'de hata oranlarının dağılımları verilmiştir.



Şekil 3.8. Enjeksiyon Hata Oranları

Kalite sorunlarının sebeplerinden bazıları, yetersiz iletişim ve yanlış anlaşılmalardan kaynaklanmaktadır. Ayrıca depolar ve mühendislik ekipleri kaliteyi sağlayan önemli unsurlar arasında bulunmaktadır. Bu nedenle, özellikle depo yönetimi ve mühendislik ekipmanları kalite optimizasyonunda ilk sırada yer almıştır.

3.1.3.1. Yanık İzleri

Eriyik malzeme kalıp boşluğunu doldurduğunda, sıkışan havanın çıkmamasından kaynaklı yüksek sıcaklıkta, sıkışan hava ile tepkimeye girmekte ve yanmaktadır. Yanan parça üzerinde sarımtırak veya siyah izler oluşmaktadır (Mourya vd., 2023). Şekil 3.9'da yer almakta olan, %30 cam elyaf takviyeli PA malzemedeki ve yüksek eriyik sıcaklığının gözenekli yanık izi oluşmuştur.



Şekil 3.9. PA Malzemedeki Yanık İzi (Pınar, 2010)

3.1.3.2. Çapaklı Ürün

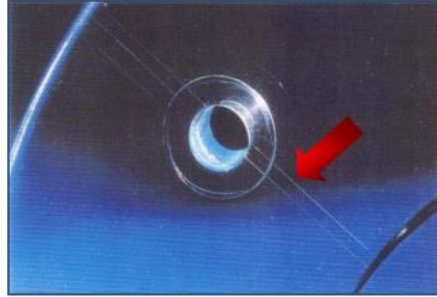
Çapaklı bozulmalar genelde kalıptan kaynaklıdır. Kalıbın boyutları sabit tutulmalı, birleşme yüzeyleri doğru şekilde yapılmalı ve ayırım yüzeylerinde aşındırma olmamalıdır (Bull vd., 2000). Aksi takdirde çapaklı ürün kaçınılmaz olmaktadır. Şekil 3.10'da çapaklı ürün oluşumuna bir örnek verilmiştir.



Şekil 3.10. Çapak (Dallı, 2021)

3.1.3.3. Birleşme İzleri

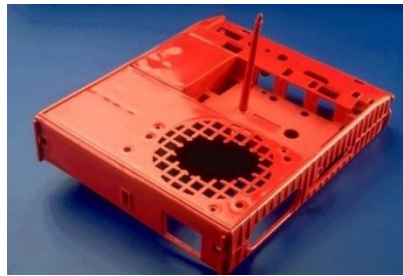
Birden fazla eriyik malzeme akış yolunun birleştiği bölgelerde, malzeme akışlarının tam olarak kaynaşmaması sonucunda birleşme izleri (weld lines) oluşmaktadır. İçerisinde birden fazla yolluk girişi mevcutsa veya akış yolunu bölen geometrik engeller mevcutsa, eriyik malzemenin birleşme çizgisi boyunca tam olarak kaynaşmadan donması durumunda parçada derin ve uzun bölünmeler meydana gelmektedir. Bahsedilen birleşme görüntüsü Şekil 3.11’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Birleşme İzi (Pınar, 2010)

3.1.3.4. Eksik Ürün

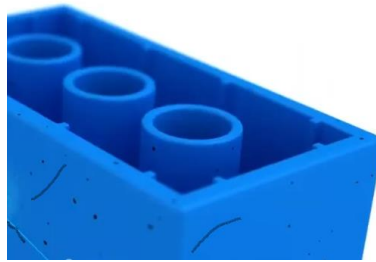
Eriyik malzemenin kalıp boşluğunu tamamen doldurmadan önce katılaşması durumunda, eksik ürün enjeksiyonu (short shot) meydana gelmektedir. Bu durumun bir diğer olası nedeni ise, kalıp içerisinde yeterli şekillenmeyi engelleyen yetersiz iç basınçtır. Kalıp boşluğunun tam olarak dolmaması, parçanın istenilen geometrik formda üretilmesini engelleyerek hem boyutsal hatalara hem de işlevsel yetersizliklere yol açabilmektedir. Şekil 3.12’de Raspberyy Pi kutusu üzerinde eksik enjeksiyon gösterilmektedir.



Şekil 3.12. Eksik Ürün (Pınar, 2010)

3.1.3.5. Siyah Leke ve Çizgiler

Hammadde malzemenin, kalıba enjekte edilmeden önce ısıtma silindiri içerisinde gereğinden uzun süre kalması durumunda, termal bozunmalar meydana gelmektedir. Bu bozunmalar, plastik malzemenin karbonize olmasıyla sonuçlanmakta ve genellikle siyah renkli kümeler şeklinde görülmektedir. Bozulmuş malzeme, enjeksiyon sürecinde eriyik akışı boyunca parça üzerinde lekeler, çizgiler veya renk bozulmaları şeklinde kendini göstererek ürün kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Şekil 3.13'de siyah leke ve çizgiler gösterilmektedir.



Şekil 3.13. Siyah Leke ve Çizgiler

3.1.3.6. Solma

Plastik malzemenin ısıtma silindiri içerisinde gereğinden uzun süre kalması ya da kalıp sıcaklığının uygun aralıkta olmaması durumunda, üretilen parçalarda renk solmaları gözlemlenmektedir. Bu tür termal bozulmalar, koyu renkli parçalarda rengin açılarak grileşmesine, açık renkli parçalarda ise rengin koyulaşmasına yol açmaktadır. Söz konusu renk değişimleri, hem estetik açıdan hem de ürün kalitesinin sürekliliği açısından istenmeyen bir durumdur.

3.1.3.7. Hava Kabarcıkları

Yüksek sıcaklıklarda eriyik plastiğin viskozitesi önemli ölçüde azalarak aşırı akışkan hâle gelmektedir. Bu durum, kalıp içerisinde eriyik malzemenin türbülanslı (çalkantılı) bir akış sergilemesine neden olmaktadır. Çalkantılı akış sırasında kalıp boşluğundaki hava ve gazlar yeterince tahliye edilemezse, bu gazlar sıkışarak ürün içerisinde hava kabarcıkları (voids) oluşmasına yol açmaktadır. Bu kabarcıklar, hem

parça mukavemetini azaltmakta hem de yüzey kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Şekil 3.14’de sıkışan gazın hava kabarcığı oluşurması görülmektedir.



Şekil 3.14. Hava Kabarcığı

3.2. Görüntü İşleme Sistemi Tasarımı ve Konveyör Sistemi

Endüstride yaygın olarak kullanılan görüntü işleme sisteminin tasarım süreci, çeşitli teknik ve donanımsal bileşenlerin belirlenmesini gerektiren aşamalardan oluşmaktadır. Bu süreç kapsamında:

- Kullanılacak kamera türünün belirlenmesi,
- Görüş alanının tanımlanması,
- Gerekli çözünürlük değerlerinin hesaplanması,
- Uygun lens seçiminin yapılması,
- Kamera modeli, mekanik tutucular ve ilgili donanım bileşenlerinin belirlenmesi,
- Optimum aydınlatma koşullarının oluşturulması,
- Mekanik ve elektriksel arayüz özelliklerinin tasarlanması,
- Görüntü işleme algoritmalarını içeren yazılımın geliştirilmesi gibi temel adımlar yer almaktadır.

Endüstride görüntü işleme sisteminin tasarım sürecinde, sistemin görev ve çalışma koşullarının detaylı bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir. Bu değerlendirme, sistemin amaçlarına uygun olarak en verimli çözümün geliştirilmesini sağlamaktadır.

3.2.1. Görüntüleme Donanımı Seçimi

Görüntü işleme, hata analizi ve kalite kontrol süreçlerinde, kameralar tarafından elde edilen görsellerin kalitesi sistemin doğruluğu açısından kritik bir rol oynamaktadır.

Görüntü işleme algoritmaları, analizlerini bu görseller üzerinden gerçekleştirerek karar mekanizmasını oluşturduğu için düşük kaliteli ve eksik veri içeren görüntüler yanlış değerlendirmelere sebep olmaktadır. Çevresel koşullardan kaynaklanan gürültü, aydınlatma farklılıkları ve kontrast gibi faktörler, analiz süreçlerini doğrudan etkileyerek sistemin güvenilirliğini azaltmaktadır. Bu nedenle, elde edilen görüntünün kalitesi ile görüntü işleme algoritmalarının başarımı arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır (Öztürk, 2015).

Kameralar, görüntü işleme yoluyla elektriksel sinyallere dönüştürme işlevini yerine getirirken, temel olarak cisimden yansıyan lensler aracılığıyla algılanmasına dayanmaktadır. Görüntü sensörleri, bir görüntüyü oluşturan en küçük birim olan piksel adı verilen elemanları algılamaktadır. Günümüzde görüntü sensörlerinde yaygın şekilde kullanılan iki teknoloji vardır bunlar CCD ve CMOS teknolojisidir (Öztürk, 2015). Çalışmada, CMOS sensörü kullanılmıştır.

CMOS sensörleri, düşük üretim maliyetleri ve entegre yapıdaki elektronik devre tasarımları sayesinde görüntüleme sistemlerinde yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu sensörler, her bir pikselin kendi içinde elektronik olarak işlenebilmesini ve diğer piksellerle doğrudan iletişim kurabilmesini sağlayan bir prensip doğrultusunda çalışmaktadır (Çan, 2021). Bu çalışmada, hata tespiti için yüksek çözünürlüklü web kamerası kullanılmıştır. Kameranın teknik özellikleri şu şekildedir: Basler kamera modeli, CMOS görüntü sensörü ve USB 3.0 bağlantı arayüzüne sahiptir. Kamera, plastik parçaların renk tanımlaması ve geometrik şekil algılamasının hassas bir şekilde gerçekleştirilebilmesi amacıyla, yüksek kontrastlı görüntüler elde edecek şekilde sisteme optimize edilerek konumlandırılmıştır. Bu yerleşim, görüntü işleme algoritmalarının doğruluk ve kararlılığını artırmak üzere tasarlanmıştır. Plastik parçalar kamera önünden geçerken görüntüler alınmıştır. Çözünürlük parça boyutuna ve kusur türüne uygun seçilmiştir. Plastik parçaların renk tanıma ve şekil algılanmasında bir hata olmaması için kamera dışına Şekil 3.15'te gösterildiği gibi 22 mm punc ile delinmiş bir plastik kapak yerleştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan kamera, nesneye dik açıyla konumlandırılarak cismin doğrudan karşıdan görüntülenmesi sağlanmıştır.



Şekil 3.15. Çalışmada Kullanılan Web Kamerası

Konveyör bant yüzeyinde yer alan nesnelerin algılanması amacıyla konveyör sisteminin üst kısmına bir kamera modülü entegre edilmiştir. Şekil 3.16'da gösterilen kamera, belirlenen nesnelere algılamak ve görüntü işleme algoritmalarıyla analiz etmek için konumlandırılmıştır. Kamera sistemi, metal profiller ve bağlantı elemanları kullanılarak mekanik stabilite sağlayacak şekilde sabitlenmiştir. Ayarlanabilir açılı bir mekanizma ile nesnelerin en iyi şekilde algılanması sağlanmıştır. Görüntü işleme yazılımı aracılığıyla, bant üzerinde hareket eden nesnelerin renk ve şekil özellikleri belirlenmesi için kameradan görüntüler alınmıştır.



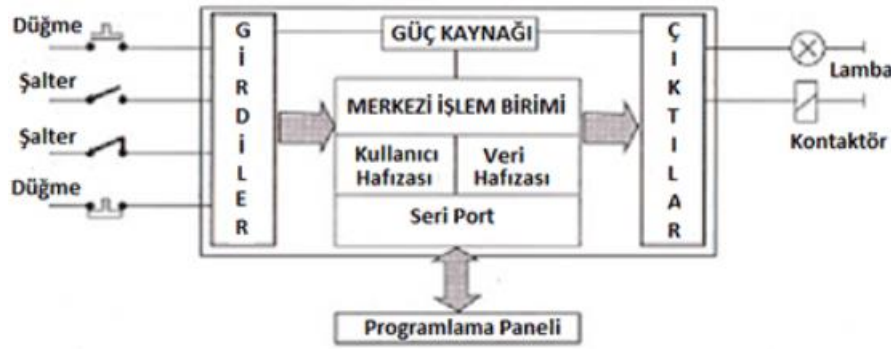
Şekil 3.16. Konveyör Bandında Kameranın Konumu

3.2.2. Programlanabilir Lojik Kontrol (PLC)

Programlanabilir Lojik Kontrolörler (PLC'ler), endüstriyel otomasyon sistemlerinde kontrol, izleme ve karar alma süreçlerini gerçekleştirmek amacıyla tasarlanmış, mikroişlemci tabanlı özel kontrol birimleridir. İlk olarak 1968 yılında General Motors tarafından, geleneksel röleli sistemlere alternatif olarak geliştirilen bu yapılar; esnek programlanabilirlikleri, yüksek güvenilirlikleri ve bakım kolaylıkları sayesinde endüstride hızla yaygınlaşmıştır (Kocer vd., 2021).

Başlangıçta yalnızca dijital (aç/kapa) sinyalleri kontrol etmek amacıyla kullanılan PLC'ler, 1970'li yıllarda entegre devrelerin gelişmesi ve mikroişlemci teknolojisinin yaygınlaşmasıyla birlikte daha gelişmiş kontrol işlevlerini yerine getirebilecek yapılar hâline gelmiştir. 1980'li yıllara gelindiğinde ise artan bellek kapasiteleri, A/D ve D/A dönüştürücüler gibi donanımsal geliştirmeler sayesinde analog kontrol yetenekleri de kazandırılmıştır (Romero Segovia ve Theorin, 2012). Böylece PLC'ler, yalnızca dijital değil, analog sinyalleri de doğrudan işleyebilir hâle gelmiş ve daha kapsamlı endüstriyel süreçlerde kullanılmaya başlanmıştır.

Günümüzde PLC'ler; üretim hatları, robotik sistemler, enerji yönetimi ve makine otomasyonu gibi çok çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kontrolörler, sahadan topladıkları dijital veya analog verileri belirlenen programlama dili (örneğin Ladder Diagram, Structured Text, Function Block) ile çalıştırılan algoritmalar aracılığıyla milisaniyeler düzeyinde işlemektedir. İşlem sonuçlarını çıkış birimlerine aktararak sistemin fiziksel kontrolünü sağlamaktadır. PLC'lerin bu gerçek zamanlı karar alma yetenekleri, karmaşık üretim süreçlerinin kesintisiz, güvenilir ve optimize biçimde yürütülmesine olanak tanımaktadır (Ülküer, 2020). PLC sistemleri genel olarak dört temel bileşenden oluşmaktadır bunlar: Merkezi İşlem Birimi (CPU), Giriş-Çıkış arayüzleri (I/O), güç kaynağı ve programlama ünitesidir (Harris vd., 1995). Şekil 3.17'de sistem mikroişlemci tabanlı PLC tarafından yönetilmektedir. PLC, giriş birimlerinden aldığı verileri milisaniye mertebesinde (3-10 ms) belirlenen algoritmalara göre işleyerek elde edilen işlem sonuçlarını çıkış birimlerine iletmektedir (Kafalı vd., 2019). Sistem sürekliliğini sağlamak için güç kaynağı, tüm bileşenlere gerekli enerjiyi sağlayarak kesintisiz ve güvenilir bir çalışma ortamı oluşturmaktadır.



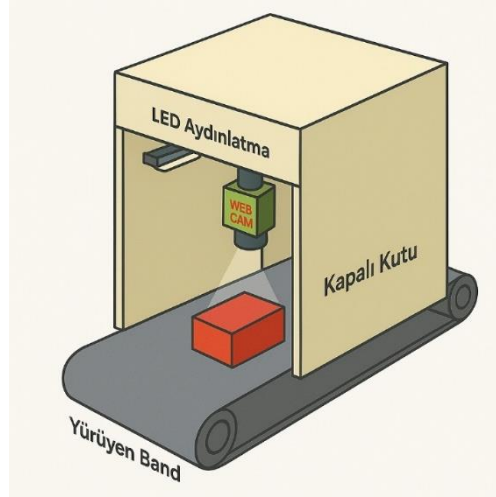
Şekil 3.17. PLC Sistem Yapısı [URL-3]

3.2.3. Aydınlatma Sistemi ve Yerleşimi

Görüntü işleme ve hata analizlerinin doğruluğu, kameralar aracılığıyla elde edilen görsel veriler kalitesine doğrudan bağlıdır. Görüntü işleme algoritmaları, bu veriler üzerinden analiz gerçekleştirerek karar üretmektedir. Görüntüdeki bilgi eksiklikleri veya bozulmalar, değerlendirme sürecinde yanlış sonuçlara yol açabilmektedir. Bu nedenle görüntü işleme sistemlerinde en temel ve kritik aşamalardan biri, dış ortandan gelen görsel verinin mümkün olan en doğru ve net biçimde elde edilmesidir (Öztürk, 2015). Doğru ve işlenebilir nitelikte görüntü elde edilebilmesi için, görüntüleme sürecinde analizde kullanılacak özneliklerin ön plana çıkarılması, kullanılmasına gerek duyulmayan detayların ise mümkün olduğunca bastırılması gerekmektedir. Bu nedenle görüntü işleme sisteminin tasarımı, bu prensipler doğrultusunda şekillendirilmelidir. Planlama sürecinde iki temel unsur öne çıkmaktadır: aydınlatma sisteminin yapılandırılması ve kamera konumunun doğru biçimde belirlenmesi. Ürünün geometrik yapısı, ortam yapısı ve ışıklandırma düzeni dikkate alınması gereken parametrelerdir.

Işık kaynağı, kullanılan nesnenin yüzey özelliğine uygun seçilmektedir. Yüzeyin rengi, açık ya da koyu tonlarda olması ve ışığı yansıtma kapasitesi gibi faktörler, nesnenin üzerine düşen ışık miktarını doğrudan etkilemektedir (Şentürk ve Satıcı, 2022). Bu bağlamda kamera görüntüsünde en yüksek görüntü yoğunluğu elde edildiğinde, optimum kontrast seviyesi sağlanmalıdır. Gün ışığının renk sıcaklığı ve yoğunluğu; günün saati, mevsimsel değişiklikler ve hava koşulları gibi çevresel faktörlere bağlı olarak sürekli değişkenlik göstermektedir. Bu durum, çevresel aydınlatmanın görüntü işleme sistemlerinde güvenilir bir ışık kaynağı olarak kullanılmasını büyük ölçüde kısıtlamaktadır. Kontrol edilemeyen doğal ışık koşullarının hakim olduğu yerlerde, görüntü işleme performansı düşmekte ve sistemin doğruluğunu olumsuz etkilemektedir.

Yapılan çalışmada aydınlatma sistemi olarak beyaz şerid LED kullanılmıştır. Kullanılan beyaz LED ışık bir kutunun içine nesneye 90° açıyla konumlandırılmıştır. Kutunun iç yüzeyi beyaz kağıtla kaplanmıştır. Böylece olası ışık yansımaları ve parlamaları minimum seviyeye getirilmiştir. LED ve kameranın kutu içine konumlandırılması Şekil 3.18’de verilmiştir. Ortam aydınlatması sabit tutularak görüntünün doğru işlenmesi ve analizi sağlanmıştır. Şekil 3.19’da sistemin dış görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.18. Kamera ve LED Sisteminin Kutu İçindeki Konumu



Şekil 3.19. Kamera ve LED Sisteminin Dış Görünümü

3.2.4. Konveyör Sistemi Tasarımı

İkinci Sanayi Devrimi'nin başlangıcında, üretim süreçlerine konveyör bantlarının entegre edilmesiyle birlikte konveyör sistemlerin kullanımına ilk olarak Ohio, Cincinnati'deki mezbahalarda başlanmıştır. Bu dönemde seri üretim tekniklerinin geliştirilmesi hız kazanmakta aynı zamanda sanayi alanında önemli bir dönüm noktası olmuştur. Sürekli üretim hatlarının ve konveyör bant sistemlerinin yaygın olarak kullanılması, seri üretimin sağladığı avantajlar sayesinde üretim kapasitesinde önemli artışlar sağlanmıştır. Üçüncü sanayi devrimini şekillendiren PLC'nin geliştirilmesiyle ivme kazanan modern otomasyon sistemleri, genellikle konveyör sistemleriyle birlikte kullanılmıştır (Drath ve Horch, 2014).

Konveyör bant sistemleri, üretim tesisleri ve atölyelerde malzeme taşımacılığında önemli bir oynamaktadır. Motor tarafından tahrik edilen gerilimli kayış mekanizması, nesnelerin belirlenen güzergah boyunca taşınmasını mümkün kılmaktadır. Bu sistemlerde, motor hızları, mekanik düzenekler veya elektronik hız kontrol cihazları aracılığıyla istenilen seviyeye ayarlanabilmektedir.

Tez çalışması kapsamında kullanılan konveyör sistemi, otomatik nesne algılama ve sınıflandırma süreçlerine entegre edilmek üzere tasarlanmıştır. Konveyör mekanizması, Şekil 3.20'de gösterildiği üzere motor tahrikli bir bant sistemi üzerine kurulmuştur. Farklı renk ve şekillerdeki nesnelerin taşınmasını sağlayan temel bileşen bant mekanizmasıdır. Bu bant, sistemin her iki ucunda bulunan tahrik ve serbest rulolar entegre edilmiştir. Tahrik rulosu konveyör bileşenini hareket ettiren ana bileşendir. Motor tarafından döndürülen bu silindirik bileşen, bandın ilerlemesini sağlamaktadır. Serbest rulo ise konveyör bandının diğer ucunda bulunan, kendi eksenini etrafında serbestçe dönebilen rulodur. Bandın düzgün bir şekilde hareket etmesine yardımcı olmakta ve bandın gerginliğini korumaktadır. Silindirlerin dönmesiyle bant hareket etmekte ve üzerine yerleştirilen nesneyi hattın başlangıç noktasından son noktasına ileterek taşınmasını gerçekleştirmektedir. Bantın ölçüleri 50x20 cm'dir. Ayrıca konveyördeki sarsıntıların önlenmesi için konveyöre kauçuk ayaklar takılmıştır.



Şekil 3.20. Konveyör Bantı

Sistemin hareketi redüktörlü DC motor aracılığıyla sağlanmakta olup Şekil 3.21’de gösterilmiştir. Motorun hızı elektronik sürücüler kullanılarak kontrol edilmiştir. Konveyör bantı hareket ettiren motor, PLC tarafından kontrol edilmektedir. Motor sürücüsü, konveyörün durdurulması ve başlatılması için gerekli sinyalleri almış ve uygulamıştır. Motorun güç kaynağında olarak 5V, 20A değerinde bir besleme hattı kullanılmıştır. Şekil 3.22’de gösterildiği üzere sistemin güç kaynağı ve kontrol bileşenleri, yan kısımda konumlandırılmış bir kontrol kutusu içerisinde toplanmıştır. Bu kontrol kutusu, PLC tabanlı bir kontrol mekanizması ile çalışmakta, Modbus RS-232 protokolü aracılığıyla bilgisayar ile haberleşilmektedir.



Şekil 3.21. Redüktörlü DC Motor



Şekil 3.22. Kontrol Kutusu

3.2.5. Görüntü Yakalama Prosedürü

Görüntü işleme sistemlerinde yüksek doğrulukta işlemler için en önemli basamaklardan biri, iyi kalitede ve tutarlı görüntülerin elde edilmesidir. Görüntünün kalitesini şu parametreler etkilemektedir; çözünürlük, kontrast, netlik ve aydınlatma koşulları (Esmeray, 2014). Özellikle endüstride kullanılan hareket üretim hatlarında görüntü alma işlemi, nesnenin konumuna bağlı olmak üzere hassas zamanlamayla gerçekleştirilmektedir. Aksi halde görüntüde bulanıklık, bozulma ya da kontuar dışına taşma gibi problemler meydana gelmektedir (Varol, 2014). Bu sebeplerden görüntü yakalama süreci sadece kamera performansına değil, aynı zamanda sistemin tetikleme yapısı, aydınlatma kaynağının yerleşimi ve çevresel etkenlerden yalıtılmış ortamın sağlanmasına bağlıdır.

Bu çalışmada kullanılan nesne algılama sistemi, gerçek zamanlı görüntü işleme yeteneğine sahip bir kamera modülü ile desteklenmiştir. Sistem renk ve şekil temelli ayrıştırma amacıyla yapılandırılmıştır. Görüntü yakalama süreci, OpenCV kütüphanesi aracılığıyla kameradan alınan video akışının sürekli olarak analiz edilmesi prensibine dayanmaktadır. Sistem bir konveyör hattı üzerinden geçen nesnelerin canlı görüntülerini yakalayıp, kullanıcı tarafından belirlenen hatalı renk ve şekil özelliklerine sahip nesnelere tespit ederek ayrıştırmaktadır. Kamera her karede (frame) görüntüyü yakalayıp RGB renk uzayından HSV renk uzayına dönüşüm sağlamaktadır. Dönüşüm sayesinde renkler daha kararlı ve ayrıştırılabilir biçimde analiz edilmektedir. Tanımlı olan HSV renk aralıklarına göre maskeleyiş işlemi gerçekleştirilmektedir. Tanımlı olan renge

ait nesnelere görüntü üzerinden ayrıştırılmaktadır. Her maskeleyme işleminden sonra, elde edilen ikili (binary) görüntüde kontur (kenar) tespiti yapılmaktadır. Kontur tespiti yapılan her nesne kontur alanı belirli bir eşik değerinin üzerindeyse, şekil sınıflandırılması yapılır. Böylece, her nesnenin renk ve geometrik şekline göre tanımlanmış olmaktadır. Görüntü işleme sürecinde her nesnenin görüntüdeki merkezi hesaplanmaktadır. Merkezin kamera görüntü alanının merkezine olan uzaklığı dikkate alınmaktadır. Algılanan nesne, kullanıcı tarafından seçilen GUI üzerinden renk ve şekil ile eşleşiyorsa ve merkeze belirli bir yakınlıktaysa sistem bu nesneyi hedef olarak tanımaktadır. Tanımlı bir gecikme süresinin ardından, belirli sıralı komutlar seri port üzerinden dış donanıma iletilmektedir. Bu yapı sayesinde, konveyör üzerinde hareket eden nesnelerin yüksek doğruluk ve düşük gecikmeyle algılanması sağlanmıştır.

3.3. Görüntü İşleme

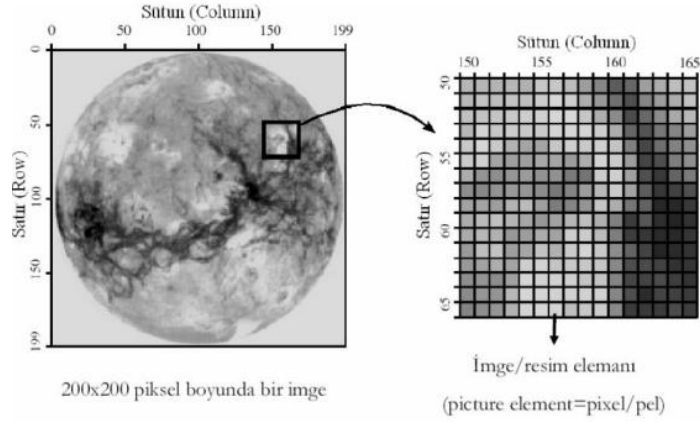
Bilgisayar ortamında, el yordamı ile ya da otomatik çalıştırılan gerçek veya sanal grafiklerden oluşan resmin her karesi görüntü olarak adlandırılır (Köse vd., 2019). Bilgisayardaki her görüntü bir matrise karşılık gelirken, gerçek hayatta üç boyutlu nesnelere oluşan her bir kare basit iki değişkenli fonksiyonlara karşılık gelmektedir. Pikseller görüntüyü barındırmaktadır (Yılmaz, 2016). Bilgisayar ortamında matrisin her bir hücresi bir piksele denk gelmektedir. Çözünürlük arttıkça piksel sayısı da artmaktadır.

Görüntü işleme, bir görüntü yakalanarak başka bir cihazda okunabilir hale getirilmesi, bir elektronik ortamdan başka elektronik ortama görüntü verilerinin aktarılmasıyla mevcut parametreleri ve çeşitli teknikleri kullanarak görüntünün analiz edilerek işlenmesi anlamına gelmektedir. Kaydedilmiş görüntüleri işlemek, sınıflandırmak ve iyileştirmek için kullanılmaktadır (Karakoç, 2011).

Dijital görüntü işleme, algılayıcılardan gelen görüntü verisinin bilgisayar ortamında işlenerek çıkışa iletilmesi işlemine denilmektedir (Gonzalez vd., 2002). Her görüntünün elde edilmesi yazılım ve donanım kaynağına göre değişmektedir. Kamera gibi görüntüleme araçları üç boyutlu nesnelere dijital dönüşmektedir.

Dijital görüntü, satır ve sütun indisleriyle herhangi bir noktayı sağlayan matris olarak parçalanmaktadır. Şekil 3.23'de gösterilen bir dijital görüntü verilmektedir. (Perihanoğlu, 2015). Matrisin her bir elemanı, ilgili noktanın rengi hakkında bilgi içermekte ve bu bilgiler bir araya getirilerek görsel bütünlük oluşturmaktadır. Ayrıca

matris yapısındaki bu elemanlar sayesinde görüntüler sayısal olarak birleştirilip işlenebilir, analiz edilebilir ve çeşitli uygulamalar da kullanılabilir.



Şekil 3.23. Örnek Dijital Görüntü ve Seçili Alan Matrisi

3.3.1. Görüntü Türleri

Görüntüler, ikili, gri seviyeli ve renkli olmak üzere üç farklı türde sınıflandırmaktadır. İkili görüntüler sadece siyah ve beyaz renklerden oluşan ve iki farklı seviyeden elde edilen görüntülerdir. Gri seviyeli görüntüler, siyah ile beyaz arasındaki tüm seçenekleri içeren ve piksel değerleri 0 ile 255 arasında gerçekleştirilebilen görüntülerdir. Renkli görüntüler ise, mavi, yeşil ve kırmızı olmak üzere üç ana renk bileşeninin kombinasyonudur (Yılmaz, 2016).

3.3.1.1. İkili (Binary) Görüntü

İkili görüntünün piksel değeri karşılığı 0 veya 1 bitleriyle temsil edilmektedir. 1 beyazı, 0 siyahı simgelemektedir. Görüntüdeki her piksel 0 veya 1 olmaktadır. Görüntüdeki '1' değeri, beyaz rengin piksel karşılığı olan 255'i temsil etmektedir. Bu durumda, arka plan siyah renkte gösterilirken, hedef nesnelere beyaz renkte görünmektedir. İkili görüntülerde her piksel, 1 bitlik alan kaplamaktadır (Perihanoğlu, 2015).

3.3.1.2. Gri Seviyeli Görüntü

Sadece grinin tonlarından oluşan görüntülerdir. 0 ile 255 arasında 256 farklı piksel değerlerine sahip olan gri tonlamalı görüntüler, her bir değeri grinin farklı bir tonunu ifade eden 8 bitlik alanlarla temsil edilmektedir. Piksel değeri '0' siyahı, '255' ise beyazı simgelemektedir (Yılmaz, 2016).

Renkli görüntüler, her piksel için üç bileşenli bir vektör içerirken, gri seviyeli görüntüler tek bir skalar değer taşımaktadır. Bu nedenle gri seviyeli görüntüler, işlem karmaşıklığını ve hesaplama yükünü azaltmak amacıyla tercih edilmektedir. Ayrıca birçok görüntü işleme algoritması (örneğin kenar tespiti), renk bilgisine ihtiyaç duyulmadan etkili şekilde çalışabilmektedir. Renkli bir görüntü gri seviyeye dönüştürülürken, genellikle insan gözünün renk hassasiyetine göre ağırlaştırılmış RGB kanalları kullanılmaktadır. Bu dönüşüm, yapısal bilgiyi korurken veriyi sadeleştirmekte ve işlem verimliliğini artırmaktadır (Gezer, 2021).

3.3.1.3. Renkli Görüntü

Renkli görüntüler, kırmızı, mavi ve yeşil olmak üzere üç ana bileşenden meydana gelmektedir. Her bir bileşen, gri tonlu görüntülerde olduğu gibi, "0 ile 255" arasında bir değer almakta ve bu üç bileşenin birleşimiyle tüm renkler oluşmaktadır. Renkli görüntüler, üç bileşenden oluştuğundan, her bir piksel 24 bitlik bir alan kullanmaktadır. Görüntüdeki toplam piksel sayısı ve gri ton seviyeleri, hem görüntü kalitesini hem de dosya boyutunu etkilemektedir. Bu görüntüler, R(Kırmızı), G(Yeşil) ve M(Mavi) olarak adlandırılan üç farklı gri tonlu görüntü bileşeninden oluşmaktadır (Yılmaz, 2016). Üç farklı dalga boyundan elde edilen gri tonlu görüntüler üst üste getirilerek renkli bir görüntü oluşmaktadır. Bu dalga boyları şu şekilde sınıflandırılır; 0,4-0,5 mm aralığındaki dalga boyu mavi rengi, 0,5-0,6 mm aralığı yeşil rengi ve 0,6-0,7 aralığı ise kırmızı rengi temsil etmektedir (Aktepe, 2005).

3.3.2. Görüntü Özellikleri

Bir görüntüdeki her bölge, ayırt edici özellikleri ile görüntü özneliklerini oluşturmaktadır. Görüntü özellikleri, hem genel anlamda görüntü özneliklerini ifade edebilmekte hem de yalnızca bir nesne veya belirli bir bölgeye ilişkin olabilmektedir.

Piksel yoğunluğu, histogram, parlaklık, çözünürlük, renk ve şekil gibi unsurlar, görüntü özneliklerini oluşturan temel faktörlerdir.

3.3.2.1. Çözünürlük

Bir görüntünün sahip olduğu tüm özneliklerin toplamı çözünürlük olarak ifade edilmektedir. Bu bağlamda çözünürlük, görüntüyü meydana getiren piksellerin toplam sayısını ifade etmektedir. Sayısal görüntüdeki detayların ayrımını sağlayan çözünürlük, görüntüdeki piksel miktarıyla doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle bir görüntünün çözünürlüğünü belirlemek için toplam piksel sayısının hesaplanması gereklidir. Sayısal bir görüntü, her bir piksel değerinin 'f(x,y)' fonksiyonu ile ifade edildiği iki boyutlu bir matris olarak tanımlanmaktadır. Başka bir deyişle, 'x' piksel yüksekliği ve 'y' piksel genişliği olan bir görüntünün çözünürlüğü, bu iki değer çarpımı sonucu elde edilmektedir (Esmeray, 2014; Toyran, 2008).

3.3.2.2. Histogram

Sayısal görüntülerde, her piksel değerinin görüntüdeki dağılımını gösteren grafik, histogram olarak adlandırılmaktadır. Histogramlar her türlü görüntü için oluşturulmakta ve bu grafikler sayesinde görüntünün parlaklık seviyesi, kontrastı ve tonları hakkında bilgi edinilmektedir (Esmeray, 2014). Ayrıca, görüntü bölütleme işlemlerinde uygun eşik değeri belirlenmekte ve nesnenin tespiti amacıyla histogram grafiklerinden yararlanılmaktadır.

3.3.2.3. Parlaklık

Sayısal görüntülerde siyah bölgelerin tamamen siyah, beyaz bölgelerin ise tamamen beyaz olma durumunu parlaklık olarak isimlendirilmektedir. Aynı parlaklık değerine sahip bölgeler, görüntü histogramı kullanılarak eşikleme yöntemiyle seçilmekte ve bu bölgeler, belirlenen amaçlar doğrultusunda işlenebilmektedir (Hammett vd., 2003).

3.3.2.4. Karşıtlık

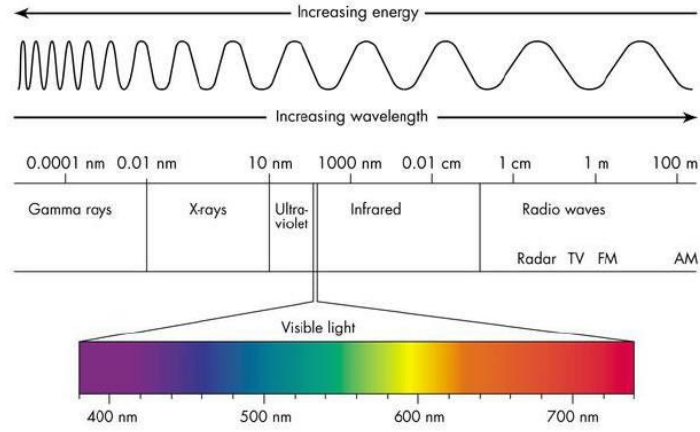
Görüntüdeki en koyu ve en parlak bölgeler arasındaki fark, karşıtlık kavramı ile tanımlanmaktadır. Karşıtlık işlemi sayesinde, gölgeler koyulaştırılarak parlaklık artırılmaktadır. Görüntü işleme sürecinde, karşıtlık düzenlemesinin amacı, hedef görüntüyü daha belirgin hale getirerek görüntünün bölütlenmesini kolaylaştırmaktır (Hammett vd., 2003).

3.3.3. Renk Uzayları

Renk, farklı dalga boylarına sahip ışığın göz retinasına ulaşması sonucu oluşan görsel bir algıdır. Renk uzayı, renklerin sayısal olarak ifade edilmesini ve bu renklerin bir sistemde temsil edilmesini sağlayan matematiksel bir modeldir (Yılmaz vd., 2002). Renk uzayları, bilgisayar grafikleri, görüntü işleme, fotoğrafçılık ve televizyon gibi bir çok alanda kullanılmaktadır. Her renk uzayı, renklerin nasıl temsil edildiği konusunda farklı bir yöntem sunmaktadır. Renk uzayları oluşturulurken, başka bir renk uzayına dönüşüm sağlanabilmektedir. RGB, CMY, HSV ve HLS gibi birçok renk uzayı bulunmaktadır. Bu çalışmada, RGB ve HSV renk uzayları kullanıldığından bunlar hakkında bilgi verilecektir.

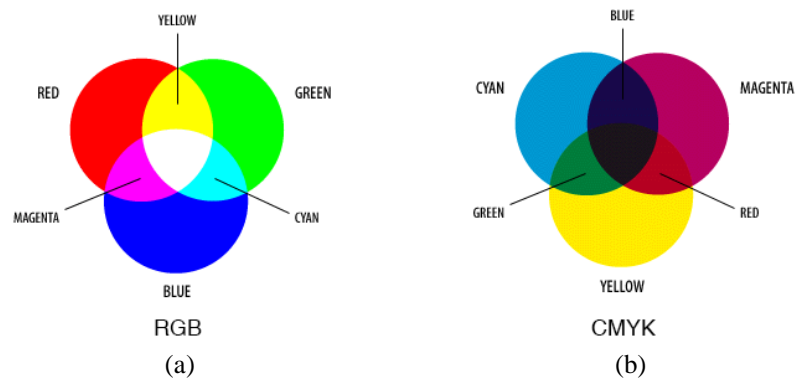
3.3.3.1. RGB Renk Uzayı

Bilgisayar ortamında, insan gözü tarafından algılanabilen elektromanyetik spektrumun maksimum ve minimum dalga boyları arasındaki renkler temel alınarak dijital renkler oluşturulmaktadır. İnsan gözü, elektromanyetik spektrumda 400nm ile 700nm arasındaki dalga boylarını algılamaktadır. Bir rengin sahip olduğu dalga boyunun grafiksel eğrisi ise o rengin spektral tanımı olarak adlandırılmaktadır (Katircioğlu, 2007). Doğadaki tüm renkler, belirli bir spektrum aralığında yer alan üç temel rengin farklı oranlarda birleşmesiyle meydana gelmektedir. İnsan gözünün algılayabildiği elektromanyetik spektrumun görünür ışık aralığı ise Şekil 3.24'te gösterilmektedir (Katircioğlu, 2007; URL-1).



Şekil 3.24. Elektromanyetik Spektrumda İnsan Gözünün Görme Aralığı (Esmeray, 2014)

RGB renk uzayı, bir birim küp içerisinde kırmızı, yeşil ve mavi renklerin belirli oranlarda karıştırılmasıyla renklerin oluşturulması prensibine dayanmaktadır. Şekil 3.25'te renk modellerine ait iki farklı yaklaşım görsel olarak sunulmuştur. Şekil 3.25(a)'da yer alan RGB (Red-Green-Blue) renk modeli, kırmızı, yeşil ve mavi olmak üzere üç ana rengin birleşiminden oluşmaktadır. Bu renklerin farklı oranlarda karıştırılmasıyla ikincil renkler olan camgöbeği (cyan), macenta (magenta) ve sarı (yellow) elde edilmektedir. Tüm ana renklerin eşit düzeyde birleştirilmesiyle ise beyaz renk oluşmaktadır. Bu model, ışık temelli sistemlerde (ekranlar, kamera sensörleri, dijital görüntüleme vb.) yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 3.25(b)'de ise CMYK (Cyan-Magenta-Yellow-Black) renk modeli yer almakta olup, baskı ve yazıcı teknolojilerinde kullanılan renk uzayını temsil etmektedir. Bu modelde camgöbeği, macenta ve sarı ana renkler olarak kabul edilmekte; bu renklerin farklı oranlarda birleştirilmesiyle kırmızı, yeşil ve mavi gibi ikincil renkler elde edilmektedir. Tüm renklerin karışımı ise teorik olarak siyah (black) renk oluşturmaktadır (Katırcıoğlu, 2007).

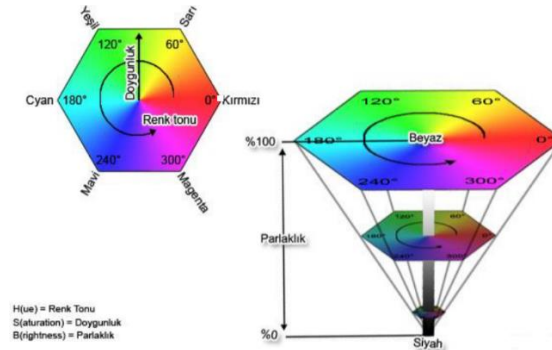


Şekil 3.25. RGB – CMYK Renk Modelleri

3.3.3.2. HSV Renk Uzayı

HSV renk uzayı, bir rengin görsel özelliklerinin üç temel bileşenden oluştuğu prensibine dayanarak, renkler üzerinde daha sezgisel işlemler gerçekleştirmek amacıyla kullanılmaktadır. Uzay bileşenleri, renk adı (H: hue), doygunluk (S: saturation) ve değer (V: Value) bileşenlerinden oluşmaktadır (Yılmaz vd., 2002). RGB renk uzayından farklı olarak, HSV renk uzayında renkler matematiksel denklemler kullanılarak oluşturulmaktadır. Genellikle kullanıcıların renkleri doğrudan görerek seçmesini gerektiren uygulama çalışmalarında tercih edilmektedir.

HSV renk modelinde ‘Hue’ bileşeni, renk tonlarını açısal olarak belirler; 0 derece kırmızı, 120 derece yeşil ve 240 derece maviye karşılık gelmektedir. ‘Saturation’, koninin merkezinden kenarına doğru renk doygunluğunu ifade ederken, ‘Value’ bileşeni parlaklık seviyesini belirlemektedir (Yılmaz vd., 2002). Merkez beyaz olmakta, kenarlara doğru renklerin tam tonları görülmektedir. Koninin tepe noktasında minimum parlaklıkla siyah renk oluşurken, alt kısmında daha parlak tonlar oluşmaktadır. Şekil 3.26’da konik HSV renk uzay görüntüsü verilmiştir (Esmeray, 2014).



Şekil 3.26. HSV Uzayında Renk Oluşumları (Esmeray, 2014)

Bu çalışmada, konveyör üzerinde bulunan nesnenin HSV renk uzayı trackbar üzerinden deneme yanılma sonucu bulunmuştur. Kapalı kutu içindeki aydınlatmanın etkisiyle en iyi sonucun alındığı renklerin HSV değerleri şu şekildedir;

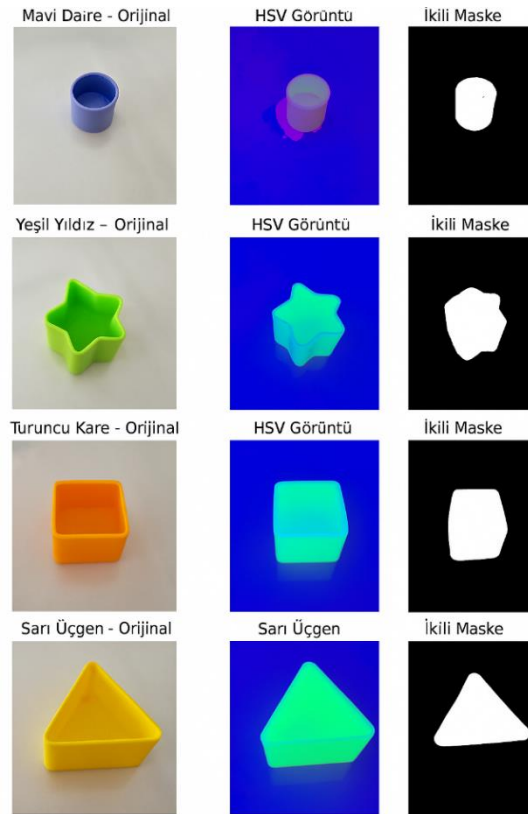
Sarı: ([24, 90, 0] , [32, 255, 255])

Yeşil: ([39, 95, 0] , [59, 255, 255])

Turuncu: ([11, 50, 160] , [25, 255, 216])

Mavi: ([0, 49, 56] , [179, 255, 255])

Hareketli konveyör üzerinde bulunan nesnelerin, kameradan alınan video akışında her karede görüntüler yakalanmıştır. Yakalanan görüntüde RGB renk uzayından HSV renk uzayına dönüşüm sağlanmıştır. Bu dönüşümle beraber renkler daha doğru ayrıştırılmıştır. Çalışmada kullanılan plastik parçaların uzay dönüşüm görüntüleri Şekil 3.27’de verilmiştir.



Şekil 3.27. Parçaların HSV ve İkili Maske Dönüşümleri

3.4. Görüntü İşleme Algoritmaları

Görüntü işleme teknikleri, belirli uygulama alanlarına göre çeşitli yöntemlerin entegrasyonunu, ayarlanabilir olması ile sistemlere dahil edilmesini ve işlem hızlarının optimize edilmesini sağlamaktadır. Görüntü işleme algoritmaları işleme hızını arttırmak için çeşitli yaklaşımları bir araya getirirken yararlı ölçümleri de dahil ederek eldeki belirli soruna göre uyarlanmaktadır. Görüntü işleme amaca yönelik görüntü yakalama, renk alanı dönüştürme, renk segmentasyonu, kontur tespiti, şekil tanıma ve geometrik şekil sınıflandırılması ölçümleri gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Ayrıca, görüntü modelleme, analizden veri çıkarma, karşılaştırma, benzerlik, geri alma ve eşleştirme gibi alanlarda uygulanabilmekte aynı zamanda çözünürlük, bit derinliği ve gürültü gibi

görüntü özelliklerine göre seçilmektedir. Bu çalışmada görüntü işleme algoritmaları arasından HSV renk uzayı dönüşümü, kenar belirleme, kontur analizi ve morfolojik işlemler kullanılmıştır.

3.4.1. RGB Renk Uzayından HSV Renk Uzayına Dönüşüm

Renkler insanın algısına göre kendi içinde ayrı olarak formüle edilmektedir. Çalışmada, RGB formatından alınan görüntüler işlenmeden önce HSV renk uzayına dönüştürülmektedir. Renk özü, 0° ile 360° arasında bir değere sahipken, doygunluk ve parlaklık bileşenleri 0 ile 100 arasında değişmektedir. RGB'den HSV'ye dönüşümde yeni oluşacak renk uzayı için her piksel yeniden belirlenmektedir. OpenCV kütüphanesinde renk özü, doygunluk ve parlaklık değerleri 8 bitlik bir formatta temsil edilmekte ve her biri 0 ile 255 arasında bir değer alacak şekilde ölçeklendirilmektedir (Chernov vd., 2015). Çalışmada, OpenCV'de bu dönüşüm işlemi "cvtColor" fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Fonksiyonun çalışma formülleri, dönüşüm sırasında optimize edilen denklemler ile işlemler yapılmaktadır. Dönüşüm işlemi aşağıda denklemler ile adım adım verilmiştir (Saravanan vd., 2016).

$$C_{max} = \max(R, G, B) \quad (3.1)$$

$$C_{min} = \min(R, G, B) \quad (3.2)$$

$$\Delta = C_{max} - C_{min} \quad (3.3)$$

Denklem 3.1 ve 3.2'de RGB bileşenleri arasındaki en büyük ve en küçük değerler belirlenir. Bu adım, renk tonunun belirlenmesi ve parlaklık ve renk doygunluğunun hesaplanması için önemlidir. Denklem 3.3'de bu iki değer arasındaki farkı, renk yoğunluğunu belirleyen Δ (delta) farkı olarak hesaplanmaktadır.

- $\Delta = 0$ ise, tüm R,G,B bileşenleri eşittir, bu durumda renk özü(H) tanımsızdır ve $H = 0^\circ$ olarak atanmaktadır.

$$H = \begin{cases} 0^\circ, & \text{eğer } \Delta = 0 \\ 60^\circ * \left(\frac{G-B}{\Delta} \bmod 6\right), & \text{eğer } C_{max} = R \\ 60^\circ * \left(\frac{B-R}{\Delta} + 2\right), & \text{eğer } C_{max} = G \\ 60^\circ * \left(\frac{R-G}{\Delta} + 4\right), & \text{eğer } C_{max} = B \end{cases} \quad (3.4)$$

Hue(H), rengin tonunu belirten bileşendir ve 0° - 360° aralığı ile ifade edilmektedir. Denklem 3.4'de görüldüğü üzere Hue hesaplama denklemi, maksimum bileşene bağlı olarak farklı formüller kullanmaktadır. Bu ifadelerde:

- $C_{max} = R$ ise, kırmızı dominant renktir ve H değeri G ve B farkına bağlıdır.
- $C_{max} = G$ ise, yeşil dominant renktir ve H değeri B ve R farkına bağlıdır.
- $C_{max} = B$ ise, mavi dominant renktir ve H değeri R ve G farkına bağlıdır.
- $\Delta = 0$ ise, gri tonlu renkleri temsil etmektedir.

Bu formüller, RGB bileşenlerinin birbirine göre farkını kullanarak rengin tonunu belirlemektedir.

$$S = \begin{cases} 0, & \text{eğer } C_{max} = 0 \\ \frac{\Delta}{C_{max}}, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (3.5)$$

Denklem 3.5'te doygunluk(S), rengin saflığını temsil etmektedir. 0 ile 1 arasında değer almaktadır. Bu durumda:

- $C_{max} = 0$ ise, renk yoktur yani tam siyahtır bu sebepten $S = 0$ kabul edilmektedir.
- Δ büyüdükçe, renk doygunluğu artmaktadır.

Eğer $C_{max} = C_{min}$ ise yani renk farkı yoksa gri tonlar görünmektedir. C_{max} büyük ve C_{min} küçükse, S daha yüksek olur bu da rengin daha belirgin hale gelmesi demektir.

$$V = C_{max} \quad (3.6)$$

Denklem 3.6'da parlaklık(V), rengin genel parlaklık seviyesini gösterir ve 0 ile 1 arasında değişmektedir. Formül, en parlak bileşenin doğrudan parlaklığı belirlediğini göstermektedir.

RGB'den HSV'ye dönüşüm, renk tabanlı görüntü işleme algoritmalarında önemli bir rol oynamaktadır. Bunun nedeni aydınlatma koşullarındaki değişimlere karşı daha yüksek bir dayanıklılık sunmaktadır. Renk bazlı nesne tespitinde daha yüksek doğruluk sağlamaktadır. Ayrıca, renk bilgisi ve parlaklık bileşeni birbirinden bağımsız olarak

işlendiği için, nesne tespiti ve sınıflandırma süreçlerinde daha hassas analizler yapılmasına olanak tanımaktadır.

Çalışmada, HSV renk uzayına dönüştürülen görüntüde, belirli bir renk spektrumuna ait piksellerin tespit edilmesi gerekmektedir. Bu işlem OpenCV’de “inRange” fonksiyonu kullanarak gerçekleştirilmiştir. Fonksiyon, bir görüntüde belirlenen alt ve üst eşik değerleri arasında kalan pikselleri tespit etmek için kullanılan bir eşikleme yani thresholding işlemini yapmaktadır. Bu alt ve üst eşik değerleri video akışından belirli renkleri algılamak için kullanılmıştır. Aşağıda belirtilen renk aralıkları, sistemin algılayacağı renkler için tanımlanmıştır:

- Sarı: ([24, 90, 0] , [32, 255, 255])
- Yeşil: ([39, 95, 0] , [59, 255, 255])
- Turuncu: ([3, 90, 0] , [50, 255, 255])
- Mavi: ([0, 49, 56] , [179, 255, 255])

Renk aralıklarının doğru bir şekilde ayarlanması, algılama sisteminin doğruluğunu etkilemektedir. Yukarıda verilen renk aralıkları her pikselin belirlenen HSV veya RGB aralığı içinde olup olmadığını kontrol etmekte ve sonucu ikili (binary) bir maske olarak döndürmektedir. İlgili aralıktaki pikseller 1(beyaz), diğerleri 0(siyah) olarak işaretlenmektedir. Bu işlem, maskelenen görüntüden renk tespiti yapabilmeyi sağlamaktadır.

3.4.2. Görüntü Bölütleme

Görüntü bölütleme, bilgisayarla görü ve görüntü işleme alanlarında yaygın olarak kullanılan tekniktir. Spesifik görüntü işleme uygulamalarında, bölütleme yöntemi kullanılarak görüntülerden anlamlı bilgilerin çıkarılması sağlanmaktadır. Bölütleme işlemi sonucunda elde edilen her bir bölgedeki pikseller, ortak özniteliklere sahip kümelere ayrılmaktadır. Bu süreç, görüntü üzerinde her biri belirli bir etikete atanmış piksel gruplarının oluşturulmasını sağlamaktadır. Böylelikle görüntü kesişmeyen ama birbirine bağlı bölgeleri temsil etmektedir (Arslan, 2011).

Hedef takibi, nesne sınıflandırma, örüntü tanıma ve görüntü kodlama gibi çeşitli uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Bölütleme algoritmaları, genellikle yüksek seviyeli sayısal görüntü işleme yöntemlerinin temel aşamalarından biri olarak değerlendirilmektedir.

Görüntü bölütleme algoritmalarının arasında en popüler aktif kontur algoritmasıdır. Aktif kontur algoritması, nesne tespiti alanında kullanılan etkin sonuçlar üreten bir yöntemlerden biridir. Bu yöntem, genellikle nesnenin kenarlarını belirlemek için iteratif bir süreçle çalışan “şerit” şeklinde bir sınır (contour) oluşturmaktadır. Bu şerit, nesnenin etrafından başlar ve her adımda nesnenin kenarlarına doğru yaklaşarak nesneye daha yakın hale gelmektedir. Böylece şerit nesnenin kenar bölgesini tespit etmektedir (Kass ve Witkin, 1988). Yapılan çalışmada bu algoritma kullanılmıştır.

Birçok kullanım alanı olmakla beraber çalışmada kullanılan renk segmentasyonundan elde edilen ikili maske üzerinde nesnelerin dış hatlarını belirlemek amacıyla aktif kontur tespiti algoritması kullanılmıştır. OpenCV kütüphanesinde “findContours” fonksiyonu ile her nesnenin sınır koordinatları belirlenmiştir. Matematiksel olarak kontur tespiti Denklem 3.7’de verilmektedir.

$$C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\} \quad (3.7)$$

Burada:

- C , görüntüdeki kontur kümesini ifade etmektedir.
- c_i , i ’inci nesnenin kontur noktalarını temsil etmektedir.
- n , görüntüde tespit edilen toplam nesne sayısını belirtmektedir.

Kullanılan bu yöntem, görüntü üzerindeki farklı nesnelere ayrı ayrı işleyerek daha hassas hata tespiti yapılması sağlanmıştır.

3.4.3. Morfolojik İşlem

Görüntülerdeki gürültüyü gidermek, iç içe geçmiş nesnelere birbirinden ayırmak veya ayrı nesnelere tek bir bütün haline getirmek amacıyla morfolojik işlemler kullanılmaktadır. Morfolojik işlemler, matematiksel fonksiyonlara dayanan işleme tekniklerinden biridir. Esas olarak geometrik yapılar üzerine inşa edilmiştir (Yılmaz, 2016).

Çalışmada, kontur analizi sırasında, yalnızca belirli bir eşik değeri üzerine sahip nesnelere dikkate alınarak, düşük alanlı konturların gürültü olarak değerlendirilmesi sağlanmıştır. Bu doğrultuda belirlenen alan eşik değeri şu şekilde tanımlanabilir:

$$A(c_i) > A_{min} \quad (3.8)$$

Denklem 3.8’de:

- $A(c_i)$, i ’inci konturun alanını temsil etmektedir.
- A_{min} , belirlenen minimum alan eşiğidir.

Çalışmada, Denklem 3.8’de verilen işlemde kontur eşik değeri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 500 pikselden küçük alanlara sahip konturların gürültü olarak değerlendirilip elenmesi sağlanmıştır. Bu yöntemin uygulanması ile istenmeyen küçük konturların etkisi azaltılarak, yalnızca belirlenen nesnelere tespit edilmesi sağlanmıştır.

3.4.4. Nesne Algılama

Görüntü işleme ve bilgisayarla görü alanlarında nesne tespiti, sınıflandırma ve izleme gibi uygulamalarda nesnelere konumlarının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, OpenCV’de “boundingRect” fonksiyonu, bir nesneyi kapsayan minimum eksen hizalı dikdörtgenin koordinatlarını ve boyutlarını belirlemek için kullanılan temel fonksiyonlardan biridir (Liang vd., 2018). Çalışmada nesne tespiti için bu fonksiyon kullanılmıştır.

Fonksiyon, verilen bir konturun veya ikili (binary) görüntüdeki nesnenin en küçük dikdörtgen sınırlayıcısını hesaplamaktadır. Matematiksel olarak, bir konturun c , çevreleyen en küçük eksen hizalı dikdörtgeni B şu şekilde tanımlanır:

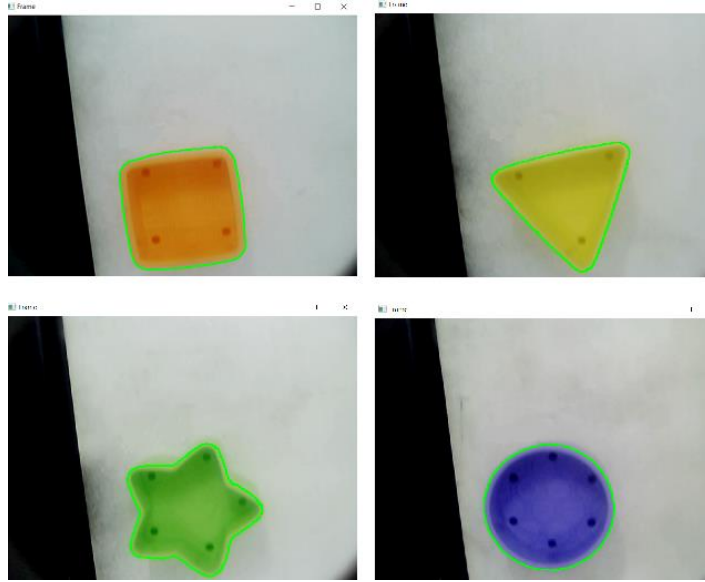
$$B = \{(x, y), w, h\} \quad (3.9)$$

Denklem 3.9’da:

- (x, y) , ifadesi nesnenin sol üst köşe koordinatlarını ifade etmektedir.
- (w) , dikdörtgenin genişliği piksel cinsinden ifade etmektedir.
- (h) , dikdörtgenin yüksekliği piksel cinsinden ifade etmektedir.

Video akışındaki görüntüde nesnenin sınırlarını belirlemek için “boundingRect” fonksiyonunun çalışma prensibi şöyle açıklanabilir: Giriş olarak verilen kontur üzerindeki en küçük ve en büyük x, y koordinatlarını belirlemiştir. Bu koordinatlar kullanılarak eksen hizalı bir dikdörtgen oluşturulmuştur. Dikdörtgenin sol üst köşe noktası, genişlik

ve yükseklik değerleri döndürülerek nesnenin kapsama alanı tanımlanmıştır. Bu işlemler sonrasında, nesneye ait dikdörtgen çerçeve “rectangle” fonksiyonu ile görüntü üzerine çizilerek kullanıcıya görsel geri bildirim sunulmuştur. Bahsedilen parçaların görüntüsü Şekil 3.28’de verilmiştir. Bu yöntem, görüntü üzerinde farklı nesnelere ayrı ayrı işleyerek daha hassas hata tespiti yapılmasını sağlamaktadır.



Şekil 3.28. Parçaların Kontur Alanlarının Belirlenmesi

3.4.5. Şekil Tanıma

Şekil tanıma, sistemin algıladığı nesnelere türünü belirlemesi için kritik öneme sahiptir. Sistem tarafından algılanan nesnelere doğru şekilde tanımlanması, PLC’ye yönlendirilecek tetikleme sinyallerinin güvenilirliğini artırmakta ve otomasyonun işlevselliğini güçlendirmektedir. Özellikle üretim hattında şekil bazlı ayrıştırma gerektiren uygulamalarda, geometrik şekillerin hassas bir şekilde tanınması, sistemin selektif tepkiler üretmesini sağlamaktadır.

Bu çalışmada, şekil tanıma işlemi kontur tabanlı analiz yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, OpenCV kütüphanesi aracılığıyla tespit edilen nesnelere konturları belirlenmiş, ardından bu konturlar üzerinde geometri temelli ölçümler uygulanmıştır. Şekil sınıflandırması için iki temel fonksiyon kullanılmıştır:

- `cv2.arcLength()`: Tespit edilen nesnenin kontur uzunluğunu, yani çevresini hesaplamak için kullanılmıştır. Bu fonksiyon, konturun doğrusal uzunluğunu piksel cinsinden vermektedir.

- `cv2.approxPolyDP()`: Kontur verilerini belirli bir tolerans değeri ile sadeleştirerek, kenar sayılarına dayalı çokgen benzetimini gerçekleştirilir. Böylece nesnenin geometrik formu belirlenmektedir.

Matematiksel olarak konturun doğruluk derecesini belirlemek için Denklem 3.10. kullanılmıştır.

$$\varepsilon = 0,04 \times \text{çevre} \quad (3.10)$$

Denklem 3.10'da tespit edilen konturların köşe noktaları belirlenirken, bu köşe noktalarının konturun gerçek şekline ne kadar yakın olacağını kontrol etmek için epsilon değeri hesaplanmaktadır. `approxPolyDP` fonksiyonunda kullanılan tolerans parametresi (ε), konturun çevresi ile orantılı olarak tanımlanır. Yapılan uygulamalarda, 30–50 piksel aralığındaki konturlar için $\varepsilon = 0,01$ değerinin, 100–500 piksel aralığındaki konturlar için ise $\varepsilon = 0,04$ değerinin uygun olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada da kontur uzunlukları dikkate alınarak tolerans değeri çevrenin yaklaşık %4'ü olacak şekilde $\varepsilon = 0,04$ olarak belirlenmiştir (Ali ve Aygun, 2023).

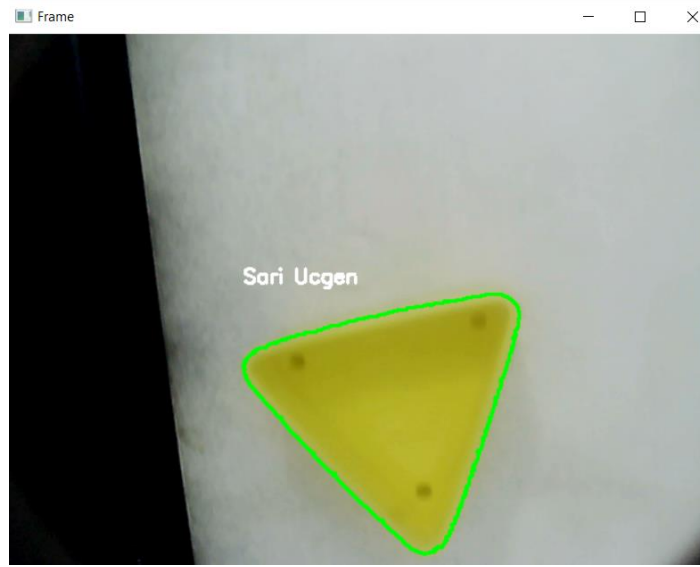
Uygulanan bu analizler sonucunda, aşağıdaki geometrik şekiller sınıflandırılmıştır:

- **Kare:** Dört kenarı eşit uzunlukta olan ve köşeleri dik olan bir şekildir. Konturda dört kenar bulunması durumunda, nesne kare olarak tanımlanır. Şekil 3.29.(a)'da çalışmada kullanılan turuncu kare formundaki parçaların şekil tanıma sonucuna ait görüntü sunulmuştur.
- **Üçgen:** Üç kenarı olan ve köşeleri belirgin bir şekilde tanımlanan şekildir. Konturda üç kenar bulunması durumunda, nesne üçgen olarak tanımlanır. Şekil 3.29.(b)'de çalışmada kullanılan sarı üçgen formundaki parçaların şekil tanıma sonucuna ait görüntü sunulmuştur.
- **Yıldız:** Genellikle beş köşesi olan bir şekildir. Konturda beş köşe bulunması durumunda, nesne yıldız olarak tanımlanır. Şekil 3.29.(c)'de çalışmada kullanılan yeşil yıldız formundaki parçaların şekil tanıma sonucuna ait görüntü sunulmuştur.
- **Daire:** Yuvarlak ve kenarsız bir şekildir. Konturda yuvarlak bir form bulunması durumunda, nesne daire olarak tanımlanır. Şekil 3.29.(d)'de

çalışmada kullanılan mavi daire formundaki parçaların şekil tanıma sonucuna ait görüntü sunulmuştur.



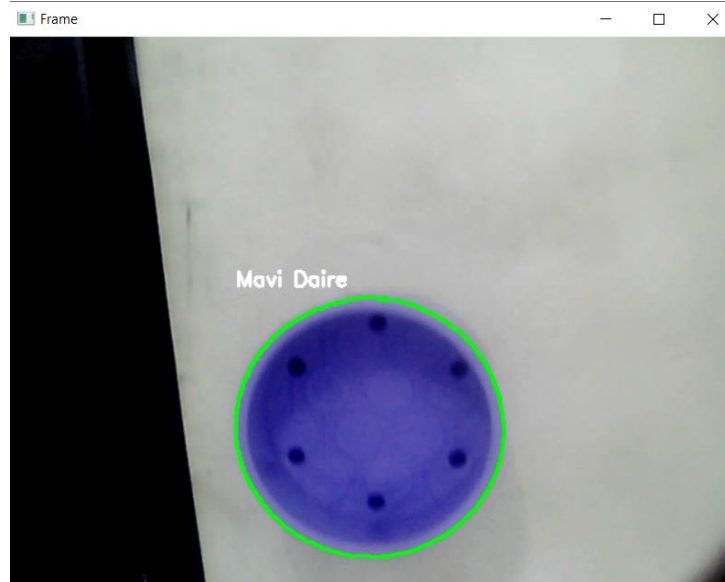
Şekil 3.29.(a) Turuncu Kare Nesne Tanıma



Şekil 3.29.(b) Sarı Üçgen Nesne Tanıma



Şekil 3.29.(c) Yeşil Yıldız Nesne Tanıma



Şekil 3.29.(d) Mavi Daire Nesne Tanıma

Kullanılan bu yöntem, plastik enjeksiyon parçalarının geometrik bütünlüğünü değerlendirmek için ve üretim sırasında oluşabilecek deformasyonların tespit edilmesi sebebiyle kullanılmıştır.

3.4.6. Nesne Konumlandırma ve Merkez Uzaklık Kontrolü

Nesne tespiti ve sınıflandırma süreçlerinde, algılanan nesnenin konumlandırılması ve belirli bir referans noktasına olan uzaklığının hesaplanması, görüntü işleme

sistemlerinde kritik bir aşamadır. Çalışmada, nesnenin konum bilgisinin belirlenmesi ve kamera görüş alanı içindeki merkezi referans noktaya olan mesafenin belirlenmesi için çeşitli fonksiyonlar kullanılmıştır. Nesnenin görüntü içerisinde pozisyonunu belirlemek için eksen hizalı dikdörtgen sınır kutusu oluşturulmuştur. Bu işlem algılanan nesnenin sol üst köşe koordinatlarını (x, y) ve genişlik yükseklik değerlerini (w, h) belirlemektedir. Bu bilgiler kullanılarak merkez koordinatlar (cx, cy) Denklem 3.11’de hesaplanmıştır:

$$cx = x + \frac{w}{2}, \quad cy = y + \frac{h}{2} \quad (3.11)$$

Yapılan işlem, tespit edilen nesnenin tam olarak hangi koordinatta bulunduğunu belirlemekte ve nesne izleme süreçlerinde daha hassas bir konumlandırma yapılmasına olanak sağlamıştır.

Çalışmada, nesnenin görüntü içerisindeki merkezi koordinatları ile kamera görüntüsünün merkezi arasındaki Öklid uzaklığı hesaplanmıştır. Merkez noktası, kamera görüş alanının geometrik orta noktası olarak tanımlanmış ve Denklem 3.12’deki formülle belirlenmiştir:

$$M_x = \frac{\text{Genişlik}}{2}, \quad M_y = \frac{\text{Yükseklik}}{2} \quad (3.12)$$

Burada, M_x , M_y değerleri, görüntü alanının ortasını temsil etmektedir. Nesnenin bu noktaya olan uzaklığı, Öklid mesafe formülü kullanılarak Denklem 3.13’te hesaplandı. Bu hesaplama, nesnenin görüş alanındaki konumunu belirlemek ve belirli bir bölge içerisinde olup olmadığını değerlendirmek amacıyla gerçekleştirildi.

$$d = \sqrt{(cx - M_x)^2 + (cy - M_y)^2} \quad (3.13)$$

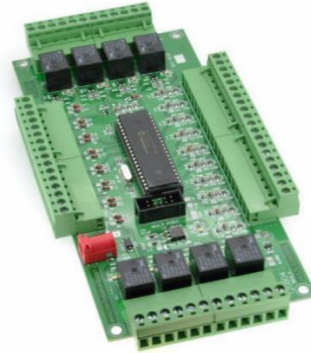
Bütün bu adımlar uygulandıktan sonra çalışmada, gerçek zamanda kamera görüntüsü üzerinde renk ve geometrik şekli belirlenen nesnelerin çevresi çizildikten sonra nesnenin renk ve şekli hakkında bilgi mesajı kullanıcıya sunulmuştur. Örneğin, mavi daire algılandığında, ekrana “Mavi Daire” mesajı verilmiştir. Nesnede tespit edilen hata türüne göre sistem bir aksiyon almaktadır. Hatalı parçalar ayrılmak üzere gönderilmektedir.

3.5. PLC ile Entegrasyon

3.5.1. Kontrol Ünitesi

Bu çalışmada, otomasyon sistemlerinden olan plastik enjeksiyon parçalarının kalite kontrolü ve hata tespit süreçlerinin otomatik olarak gerçekleştirilmesi amacıyla bir görüntü işleme sistemi ile PLC tabanlı bir kontrol mekanizmasına entegre edilmiştir. Sistem, Master-Slave mimarisi temelinde çalışmakta ve PLC Slave cihaz olarak işlev görmektedir. Bilgisayar ile PLC arasındaki veri akışı, seri haberleşme protokolü aracılığıyla veri akışını sağlamakta ve süreçler kullanıcı arayüzü üzerinden izlenebilmektedir. Ayrıca, hata tespit edilen parçaların durumu kaydedilerek analizine yönelik raporlama işlemleri gerçekleştirilmekte ve operatör tarafından takip edilmektedir.

Çalışmada, PLC olarak deLab MultiDAS marka Endüstriyel Kontrol Ünitesi kullanılmıştır. Kontrol ünitesinin görüntüsü Şekil 3.30'da verilmiştir. Kontrol ünitesi, I/O kartı olarak işlev görmekte olup, mikroişlemci tabanlı bir yapıya sahip olduğu için bir PLC türü olarak sınıflandırılmaktadır. Sistemle bütünleşik olarak çalışan PLC, bilgisayardan gelen komutları değerlendirerek konveyör bantını durdurma, yeniden başlatma ve hata verilerini kaydetme gibi işlemleri yönetmektedir.



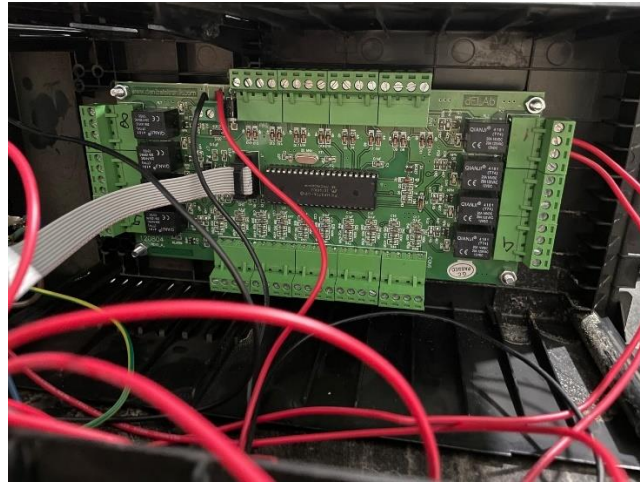
Şekil 3.30. Mikroişlemci Kontrollü I/O Kartı

Delab MultiDAS PLC'yi kullanıcılar kendi uygulamalarına entegre ederek özel yazılımlar ile geliştirilebilmektedir. PLC özellikleri şu şekildedir (URL-2):

- Giriş / Çıkış Kapasitesi:
 - 8 adet analog giriş
 - 10 adet dijital giriş
 - 8 adet dijital çıkış

- 1 adet özel amaçlı çıkış
- Programlanabilirlik:
 - Kullanıcılar kendi uygulama alanlarına yönelik programlayabilirler.
- Bağlantı Seçenekleri:
 - RS-232 ve USB üzerinden kontrol edilebilmektedir.
- Kullanım Alanları:
 - Akıllı ev sistemleri
 - Endüstriyel otomasyon
 - Uzaktan cihaz kontrolü ve izleme

PLC kontrol ünitesi klavuzunda gerekli röle bağlantıları gerekli şekilde belirtilmiş olup, kablolama işlemi Şekil 3.31’de gösterilmektedir.



Şekil 3.31. PLC Bağlantısı

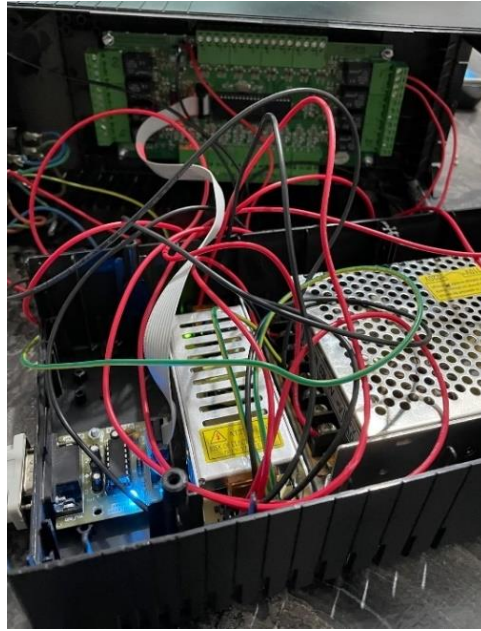
Dijital girişler, üretim hattındaki nesnelerin durumunu anlık izlemek amacıyla kullanılmış ve girişler 12V DC ile tetiklenmiştir. Dijital çıkışlar ise hata tespiti sonrasında konveyör sisteminin durdurulması veya devam ettirilmesini sağlamak için kullanılmaktadır. Röle çıkışları, 1 ve 4 numaralı portlar üzerinden yönetilmektedir. Kontrol ünitesi, Modbus RS-232 haberleşme protokolünü desteklemektedir (URL-2). Bilgisayar ile PLC arası veri aktarımı bu protokol üzerinden sağlanmıştır.

RS-232 portu ile çalışan PLC'nin bilgisayara bağlanabilmesi için, modern bilgisayarlarda RS-232 portu bulunmadığından USB-RS-232 dönüştürücü kullanılarak bilgisayara entegre edilmiştir. Bahsedilen dönüştürücü Şekil 3.32’de verilmiştir.



Şekil 3.32. USB-RS232 Dönüştürücü

Şekil 3.33’de, sistemin elektriksel bileşenleri ve bağlantıları ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Görüntüde, güç kaynağı ünitesi, PLC, röle modülleri ve RS-232 ile haberleşen bir arayüz kartı bulunmaktadır. Kablolama yapısında kırmızı ve siyah kablolar güç dağıtımını, yeşil ve sarı kablolar ise haberleşme ve sinyal iletimini sağlamaktadır. PLC, görüntü işleme sisteminden aldığı verileri işleyerek ilgili çıkışları yönetmektedir.



Şekil 3.33. PLC Tabanlı Sistemin Elektriksel Bağlantıları

Çalışmada kullanılan PLC, kararlı ve güvenilir bir çalışma sağlamak amacıyla 12V DC değerinde bir güç kaynağı ile beslenmiştir. Bu güç kaynağı, sistemin kontrol devrelerini, motor sürücülerini ve haberleşme bileşenlerini destekleyerek, PLC’nin

sorunsuz bir şekilde çalışmasını sağlamaktadır. Güç kaynağı kontrol kutusu içerisine konumlandırılmıştır.

Kontrol ünitesinin Modbus adresleme sistemi, giriş çıkış birimlerinin belirli adresler üzerinden yönetilmesini sağlamaktadır. Bu adresleme yapısı, sistemin PLC ile bilgisayar arasında sorunsuz bir şekilde haberleşmesini sağlamaktadır. Dijital giriş ve çıkışlar farklı Modbus adres aralıklarında saklanmaktadır. Bu yapı, PLC sistemleri ile haberleşmeyi optimize ederek, veri bütünlüğünü korumaktadır. Girişler 1-16 register adresleri arasında yer almakta ve read fonksiyonu ile okunmaktadır. Röleler 101-116 register adreslerinde bulunmaktadır. Read register, write register ve write multi register komutları ile yazılabilmektedir. PLC'nin dijital giriş-çıkış işlemleri 0 ve 1 mantıksal seviyelerinde gerçekleştirilmekte ve sistemin belirlenen çalışma mantığına göre kontrol edilmesini sağlamaktadır.

3.5.2. Sistem Bileşenleri Arası Haberleşme

Endüstriyel sistemlerde, donanım ve yazılımsal bileşenleri arasındaki iletişim, mevcut altyapı ve teknik gereksinimlere bağlı olarak çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Bu iletişim yöntemleri fiziksel bağlantı gerektiren kablolu haberleşme veya radyo frekansı ve diğer teknolojileri kullanan kablosuz haberleşme şeklinde iki gruba ayrılmaktadır (Machacek J ve Drapela J, 2008). Bu çalışmada, kablolu haberleşme kullanılmıştır.

Veri iletişim standardı, yedi katmandan oluşan bir yapıdır. Her katmanda, temel veri üzerine eklenen üst bilgilerle veri aktarımı sağlanmaktadır. Bu katmanlar sayesinde, iletilen veri paketi, içerik değişikliğine uğramadan hedef alıcıya ulaştırılmaktadır. Endüstriyel sistemlerde yaygın olarak kullanılan kablolu haberleşme yöntemlerinde ise, verinin fiziksel bir altyapı üzerinden elektrik sinyalleri vasıtasıyla taşınmasına dayanmaktadır (Vadi vd., 2014). Kablolu iletişimde farklı protokoller kullanılarak veri iletimi sağlanmaktadır. Bu protokoller seri ve paralel olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Tez çalışmasında seri haberleşme protokolü kullanılmıştır.

Seri haberleşme protokolünde, veriler aynı iletim kanalı üzerinden bit bit iletilmektedir. Binary semboller 0 yada 1 olarak iletişimde kullanılmaktadır. İletişim hızı saniyede gönderilen bit sayısı olarak bilinen "baund" ile ifade edilmektedir (Taşkın, 2009). Seri haberleşme, elektronik cihazlar arasında veri alışverişi için özellikle endüstriyel otomasyon ve PLC tabanlı sistemlerde tercih edilmektedir. Endüstriyel

otomasyon sistemlerinde cihazlar arası veri aktarımı sağlamak amacıyla RS-232, RS-485, USB, TTL UART ve CAN-Bus gibi farklı haberleşme protokolleri kullanılmaktadır. Bu protokoller, sistem bileşenlerinin senkronize çalışmasını ve verimli veri iletimini mümkün kılmaktadır. Çalışmada, USB portu aracılığıyla ise kamera bağlantısı sağlanmıştır. Ayrıca RS-232 seri haberleşme protokolü kullanılmış ve “COM4” portu aracılığıyla veri aktarımı gerçekleştirilmiştir.

USB, harici çevre birimlerinin bilgisayarlara hızlı ve kolay şekilde bağlanmasını sağlayan bir haberleşme standartlarından biridir. Tak-çalıştır özelliğine sahip olması aynı zamanda sürücü yükleme gereksiniminin en aza indirgenmesi ve ekstra güç kaynağına ihtiyaç duyulmadan çalışabilmesi yaygın olarak tercih edilen iletişim protokolü haline getirmektedir (Güven ve Uzun, 2007). Çalışmada, fiziksel donanımların bir parçası olan web kamerasının çeşitli işlevlerini yerine getirmesi için sistem bileşenlerinin esnek bir şekilde haberleşmesini sağlamaktadır. Web kamerası bir arabirim vasıtasıyla bilgisayara entegre edilmiştir. USB kablosu aracılığıyla kamera çalıştırılmıştır. Bilgisayarda bulunan yazılım, görüntü yakalama işlemi başlatmak için bir sinyal göndermektedir. Sistemin ilk aşaması böylece yürütülmektedir.

RS-232, seri iletişim arabirimleri arasında en yaygın kullanılan haberleşme standartlarından biridir. Endüstriyel otomasyon sistemlerinde kontrol veri iletimi ve bilgisayar ile çevre birimleri arasında haberleşmede sıklıkla tercih edilmektedir. DTE ve DCE olmak üzere iki uçtan oluşan bu standart, bilgisayar ve çevre birimleri arasında asenkron veri iletimi sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Asimetrik haberleşme protokolü ile çalışan RS-232, veri iletiminde tek yönlü ve belirli kontrol sinyalleri kullanarak bağlantı sağlamaktadır (Güven ve Uzun, 2007). Çalışmada, düşük maliyet ve güvenilir haberleşme sağladığı için bu protokol tercih edilmiştir.

Çalışmada, görüntü işleme sistemi ile PLC arasında veri iletişimi sağlamak amacıyla RS-232 seri haberleşme protokolü kullanılmıştır. Sistem, bilgisayar ve PLC arasındaki veri akışını yöneterek, hatalı plastik enjeksiyon bileşenlerinin tespit edilmesi ve üretim sürecine müdahale edilmesi için gerekli komutlar göndermektedir. Bilgisayar ve PLC arasındaki haberleşme, COM4 portu üzerinden gerçekleştirilmektedir. Modbus RS-232 protokolü kullanılarak yapılandırılmıştır. “PySerial” kütüphanesi aracılığıyla seri haberleşme sağlanmıştır. Haberleşme konfigürasyonu aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

- Baund Rate: 19200
- Data Bits: 8
- Parity: None

- Stop Bits: 1
- Timeout: 5 ms

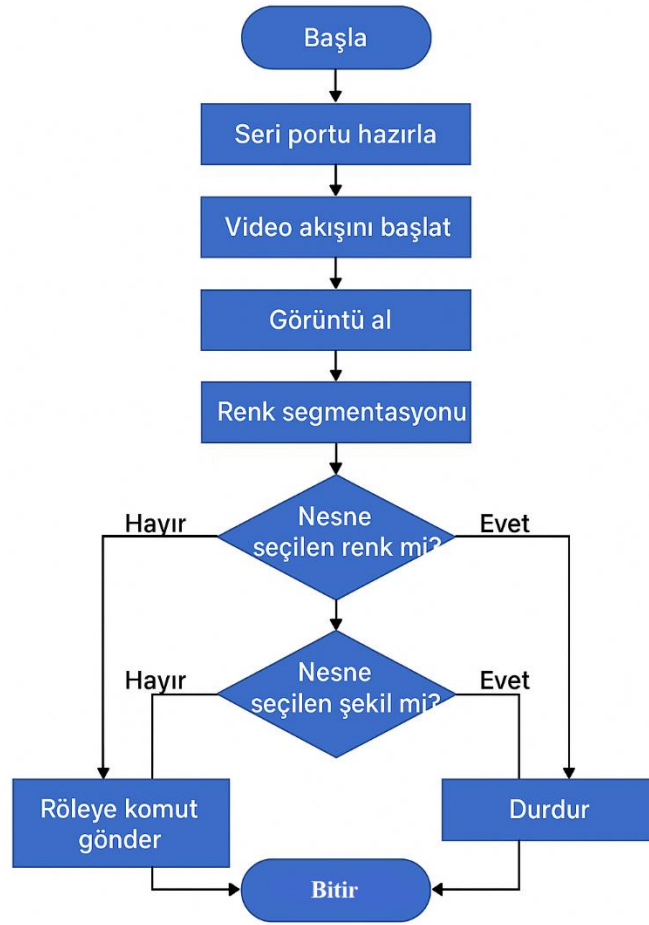
Bu yapılandırma ile PLC ile bilgisayar arasında fonksiyon kullanılarak doğrudan haberleşme işlemi başlatılacaktır.

3.5.3. PLC Programlama Mantığı

Görüntü işleme algoritmalarının analizleri sonucunda belirlenen nesnelerin renk ve şekillerini analiz edilerek bir tetiklemeye karar verdiğinde PLC'ye ASCII kontrol komutları (örneğin "PC 0\r", "PC 1\r", "PC 2\r") iletilmektedir. PLC gelen bu komutları alarak röle çıkışlarını aktif veya pasif edecektir. Yönlendirilen çıkışlar konveyör üzerinden hareketi ya da durdurmayı sağlayacaktır. Bu sistemde, klasik bir Ladder diyagramı olarak tanımlanacak çıkış kontrol mantığının, yazılım tabanlı olarak gelen komutlarla gerçekleştirilmiştir. Çalışmada PLC kontrol akışı şu mantıksal sıraya göre yürütülmüştür:

- Hazır Durum(PC 1): Sisteme start verilmesi ve PLC'nin izleme moduna alınması işlemidir.
- Algılama Sonrası Tetikleme (PC 0): Hata tespit edildiğinde çıkışa "PC 0" komutu gönderilerek konveyörün durdurulması sağlanmaktadır.
- İkincil İşlem veya Gecikmeli Çıkış (PC 2): Hatalı ürünün mavi daire olduğunu farzederek "PC 2" komutu gönderilerek sistem bekleme moduna alınmaktadır.
- Sıfırlama ve Yeniden Bekleme (PC 1): Belirlenen bekleme süresi tamamlandıktan sonra "PC 1" komutu ile konveyör yeniden hazır duruma gelmektedir.

Bu kontrol yapısı klasik bir PLC Ladder diyagramı ile benzerlik göstermektedir. Her bir komut, belirli bir çıkışı kontrol eden durumun tetikleyicisi durumundadır. PLC tarafından işlenen veriler, bilgisayara geri gönderilerek sistemin durumu kullanıcı arayüzü üzerinden görüntülenmektedir. Sistem, seri haberleşme protokolü aracılığıyla üretim hattına müdahale edilmiştir. Bu entegrasyon sayesinde hata tespit edildiğinde üretim süreci otomatik olarak durdurulmakta ve belirlenen sürede yeniden başlatılmaktadır. Tez kapsamında kullanılan PLC'nin akış diyagramı Şekil 3.34'de verilmiştir.



Şekil 3.34. PLC Akış Diyagramı

PLC ile iletişimde kullanılan veri paketleri, kayıpsız ve güvenilir bir şekilde iletilerek üretim hattının kararlılığı korunmaktadır. RS-232 haberleşmesi, sistemin endüstriyel ortamda yüksek doğrulukla çalışmasını sağlayarak gerçek zamanlı kontrol mekanizmasını mümkün kılmaktadır.

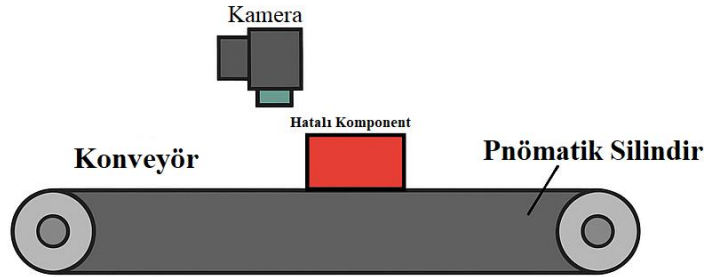
3.6. Hatalı Parça Ayırma Ünitesi

Pnömatik sistemler, basınçlı hava kullanarak mekanik hareketlilik elde edilmesini sağlayan ve endüstride oldukça yaygın şekilde kullanılan otomasyon teknolojisidir (McCloy ve Martin, 1980). Bu sistemin hızlı tepki vermesi, düşük maliyetli olması nedeniyle endüstriyel süreçleri içeren ayırma mekanizmaları ve taşıma sistemlerinde tercih edilmektedir (Wang vd., 1999). Pnömatik sistemlerin amacı hava kompresörleri tarafından sağlanan basınçlı havanın, çeşitli kontrol elemanları (valfler) ve pnömatik

silindirler (pistonlar) yardımıyla yönlendirilmesi ve mekanik hareketin yapılması sağlanmaktadır. Pnömatik silindirler hava, piston, piston kolu, conta ve silindir kapağı gibi temel bileşenlerden oluşmaktadır. Piston içine uygulanan basınçlı hava sayesinde piston kolu ileri ya da geri hareket etmektedir. Sistem genelde doğrusal hareket gerektiren yerlerde kullanılmaktadır. Bu hareket silindir tipine göre değişmektedir:

- Tek etkili silindir: Hava yalnızca bir yönde hareket sağlamakta dönüş ise yayla yapılmaktadır.
- Çift etkili silindir: Hava basıncı her iki yönde de uygulanmakta ve fazla güç gerektiren sistemlerde kullanılmaktadır.

Bu tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmada, hatalı ürünlerin konveyör hattından otomatik olarak ayrıştırılması için pnömatik çift etkili silindir destekli bir itme mekanizması Şekil 3.35'te verildiği üzere tasarlanmıştır.



Şekil 3.35. Konveyör Bandında Pnömatik Silindirin Konum Taslağı

Görüntü işleme algoritması tarafından belirlenen hatalı ürünler, PLC aracılığıyla çıkış sinyali üretmektedir. Bu sinyal, PLC üzerinden 24V DC solenoid valfe iletilerek pnömatik silindirin ileri yönde harekete geçmesi sağlanmaktadır. Silindirin ucundaki piston kolu, konveyör üzerinde bulunan hatalı parçayı fiziksel olarak üretim hattından uzaklaştırmaktadır. Pnömatik silindirin sistemdeki işleyiş adımları sırasıyla şu şekildedir;

1. Kamera, konveyör üzerindeki parçaları taramakta ve görüntü işleme modülüne bilgi iletmektedir.

2. Sistemde tanımlı renk – şekil kombinasyonuna uymayan bir parça algılanırsa, sistem bunu hatalı olarak sınıflandırmaktadır.

3. PLC, hatalı parçayı algılayan komutu işleyerek pnömatik silindiri tetiklemektedir.

4. Pnömatik silindir ileri yönde hareket ederek, parçanın ayrıştırma bölgesi iletilmesini sağlamaktadır.

5. Parça dışarı atıldıktan sonra piston geri çekilmekte, sistem bir sonraki parça için hazır hale gelmektedir.

3.6.1. Pnömatik Silindirin Teknik Özellikleri

Tez çalışmasında konveyör bandın genişliği 20 cm, uzunluğu 50 cm'dir. Konveyör sisteminin boyutuna uygun şekilde tasarlanan pnömatik silindirin strok mesafesi 200 mm (20 cm) olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu değer, silindirin piston kolunun parçanın tamamını kapsayacak biçimde bandın merkez noktasından yan dış hatalı ürün hattına doğru itme hareketi gerçekleşmesini sağlayacaktır. Sistemde kullanılan numune parçaların genişliği 10-15 cm arasında değişmektedir. Hatalı parçanın konveyör bandı üzerinden tamamen dışarı çıkması için 20 cm strok ideal bir itme mesafesi sağlamış olacaktır. Daha kısa stroklar parçanın dışarıya taşınmasını garanti edemeyecektir.

Pnömatik silindirin en yüksek çalışma basıncı 12 bardır. Sistem, 6 bar basınç altında çalışacak şekilde tasarlanmıştır.

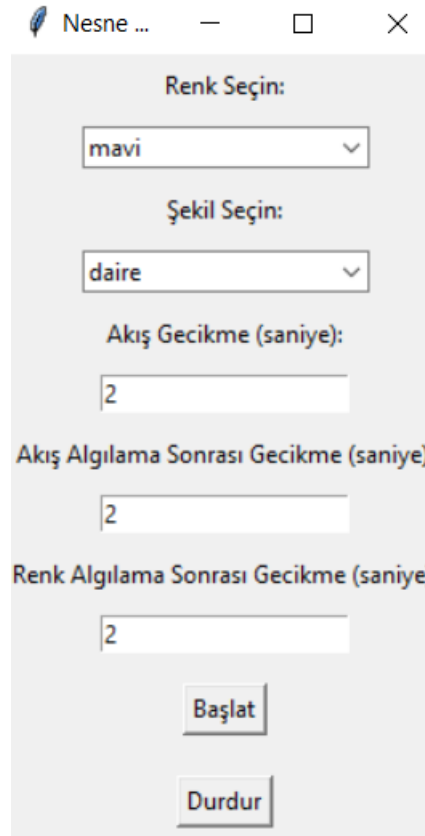
Pnömatik silindirin kontrolü, valf aracılığıyla sağlanmaktadır. Valfin çalışması için PLC'ye 24V DC tetikleme sinyali gönderilmiştir.

Bu yapı sayesinde, görüntü işleme modülünün analiz ettiği parçalar elde edilen veriler doğrultusunda fiziksel müdahalelere gerek kalmadan otomatik biçimde hattan ayrıştırılmıştır. Bu bağlamda, verimlilik artmış, hata oranı minimuma indirgenmiş ve iş gücü tasarrufu sağlanmıştır.

3.7. Grafıksel Kullanıcı Arayüzü

Endüstriyel otomasyon sistemlerinde, üretim süreçlerinin verimli ve hatasız bir şekilde yönetilebilmesi için görüntü işleme, hata analizi ve veri analizi gibi işlemlerin kullanıcı dostu bir arayüz üzerinden takip edilmesi büyük önem taşımaktadır. Grafıksel kullanıcı arayüzü (GUI), kullanıcıların sistemle etkileşimde bulunmasını sağlamaktadır.

Bu çalışmada geliştirilen sistemin verimli bir şekilde çalışabilmesi ve operatör tarafından kolaylıkla yönetilebilmesi amacıyla Python programlama dili ve Tkinter kütüphanesi kullanılarak Grafıksel Kullanıcı Arayüzü (GUI) tasarlanmıştır. Bu arayüz, görüntü işleme algoritmaları ile hata tespit sürecinin takip edilmesini, sistemin çalışma parametrelerinin ayarlanması ve PLC ile haberleşmenin etkin bir şekilde yönetilmesini sağlamaktadır. Şekil 3.36'da geliştirilen arayüzün genel görünümü gösterilmektedir.



Şekil 3.36. Arayüz Görüntüsü

Sistem arayüz, operatörlerin süreci kolayca takip edebilmesi ve üretim hattına gerektiğinde müdahale edebilmesi için modüler ve kullanıcı dostu bir yapıda tasarlanmıştır. Arayüz, hata tespiti ve üretim hattının kontrol edebilmesi süreçlerini kolaylaştıracak şekilde fonksiyonel bileşenlerden oluşmaktadır.

3.7.1. Gerçek Zamanlı Kamera Görüntüsü ve Nesne Algılama

Sistem, OpenCV kütüphanesi ile kamera görüntülerini işleyerek nesne tespiti yapmakta ve GUI üzerinde gerçek zamanlı olarak sunmaktadır. Canlı video akışı, Tkinter GUI'ye entegre edilerek nesnenin üretim sürecini anlık olarak izlemesini sağlamaktadır. Algılanan nesnelere GUI üzerinden kontur çizgileri ve etiketlerle işaretlenerek kullanıcıya bilgi verilmektedir.

3.7.2. Algılama Parametrelerinin Kullanıcı Tarafından Belirlenmesi

Sistem, nesnenin algılama kriterlerini değiştirmesine ve süreci özelleştirmesine olanak tanımaktadır. Arayüz üzerinden şu parametreler ayarlanabilmektedir:

- Renk ve şekil seçimi: Kullanıcı, hangi renk ve şeklin hatalı olarak algılanacağını belirleyerek sistemin yalnızca ilgili nesnelere üzerinde çalışmasını sağlayabilmektedir.
- Gecikme süreleri: Konveyör bandının durdurulması veya yeniden başlatılması zamanlamaları esnek şekilde ayarlanabilmektedir.
- Mavi daire tespitine bağlı işlem senaryoları: Eğer sistem, mavi renkli daire tespit ederse, konveyörün durma süresi ve yeniden başlatılma zamanlaması gibi parametreler kullanıcı tarafından belirlenebilmektedir.

Bu yapı, üretim sürecinin esnek yönetilmesine ve kalite kontrol süreçlerinin hassasiyetle gerçekleştirilmesine olanak tanımaktadır.

3.7.3. Kontrol Butonları ve Haberleşme Yönetimi

Tez kapsamında GUI, sistemin başlatılması, durdurulması ve PLC ile haberleşme süreçlerinin yönetilmesi için çeşitli kontrol mekanizmalarına sahiptir:

- Başlat butonu: Video işleme thread'ini başlatıp, görüntü işleme ve PLC haberleşmesini etkinleştirir.
- Durdur butonu: Thread'i sonlandırarak sistemi manuel olarak durdurmakta ve haberleşme sürecini kesmektedir.
- Seri haberleşme durumu: Modbus RS-232 protokolü aracılığıyla bilgisayar ile PLC arasında veri akışı anlık olarak izlenebilmektedir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Tez çalışması kapsamında, plastik enjeksiyonla üretilen parçaların kalite kontrol işlemleri baz alınarak PLC tabanlı otomatik görüntü işleme sistemi, hem yazılım hem de donanım açısından başarıyla test edilerek uygulanmıştır. Oluşturulan sistemde parçaların renk ve geometrik şekil kombinasyonlarında hatalı olanları algılayıp ayırma işlemi gerçekleştirmiştir. Gerçek zamanlı çalışan sistem, kamera görüntülerinden anlık alınan görüntü verilerini analiz ederek GUI üzerinden kullanıcı tarafından belirlenen hatalı parçaları doğru şekilde tespit etmiştir. Elde edilen bilgilere göre bilgisayar ile entegre çalışan PLC tetiklenmiş ve hatalı parçaların ayrılma işlemi sağlanmıştır. Deneysel testler sonucunda, elde edilen nicel veriler, sistemin doğruluğu ve performansı açısından tatmin edici düzeyde çalıştığını ortaya koymuştur.

Performans metriği bölümünde tez çalışmasının numune parçaları üzerinde değerlendirilen metrikler verilmiştir.

4.1. Performans Metrikleri

Görüntü işleme tabanlı sınıflandırma işlemlerinde başarı düzeyinin belirlenmesinde çeşitli performans metriklerinden yararlanılmaktadır. Bu metrikler, sistemin tespit ettiği sonuçlar ile gerçek değerlerin karşılaştırılması yoluyla karar verme algoritmasının güvenilirliğini ortaya koymaktadır. Her metrik kendi içinde farklı bir açıdan değerlendirme sağlamaktadır. Bu bağlamda, sistem bazı metriklerde güçlü, sınırlı metrikler sergilemesi mümkündür. Tez çalışmasında gerçekleştirilen renk ve şekil temelli nesne tanıma sistemi için 4 temel performans ölçütü kullanılmıştır: Doğruluk(Accuracy), kesinlik(Precision), duyarlılık ve F-1 puanı. Performans metriklerinde kullanılacak ifadeler şu şekildedir:

True Positive – TP

TP, kullanıcı tarafından tanımlanmış her parçanın renk-şekil kombinasyonunun doğru şekilde algılanıp doğru tetikleme yapılması durumudur.

True Negative – TN

TN, hedef dışı bir parça sistem görüş alanına geldiğinde sistemin herhangi bir tetikleme yapmayarak doğru şekilde tepki vermemesi durumudur.

False Positive – FP

FP, hedef olmayan parçanın sistem tarafından yanlışlıkla hedef olarak algılanması ve tetikleme yapılması durumudur.

False Negative – FN

FN, hedef nesne sistemin görüş alanına girmiş olmasına rağmen, sistemin onu algılayamaması veya tepki vermemesi durumudur.

4.1.1. Doğruluk (Accuracy)

Doğruluk, sistemin tüm karar anlarında gerçek pozitif (TP) ve gerçek negatif (TN) sınıflandırmaları doğru şekilde yapma oranını temsil etmektedir. Bu hesabın matematiksel ifadesi Denklem 4.1’de sunulmuştur.

$$DOĞRULUK = \frac{TP+TN}{TP+FP+TN+FN} \quad (4.1)$$

4.1.2. Kesinlik (Recall)

Kesinlik, doğru pozitif durumu sayısının, doğru pozitif ile doğru negatif sayısının oranlanmasıyla hesaplanmaktadır. Bu hesabın matematiksel ifadesi Denklem 4.2’de sunulmuştur.

$$KESİNLİK = \frac{TP}{TP+FN} \quad (4.2)$$

4.1.3. Duyarlılık (Recall)

Duyarlılık, sistemin gerçek pozitif örnekleri ne ölçüde doğru tespit etmekte olduğunu gösteren bir metriktir. Genelde kalite kontrol uygulamalarında kaçırılan hataların analizinde kullanılır. Denklem 4.3’de matematiksel ifadesi verilmiştir.

$$DUYARLILIK = \frac{TP}{TP+FN} \quad (4.3)$$

4.1.4. Hassasiyet(Precision)

Hassasiyet, tez kapsamında sistemin yalnızca doğru tespit ettiği parçalarda tetikleme yaptığını, yanlış sınıflandırma sonucu hiçbir gereksiz çıkış üretmediğini gösteren metriktir. Bu hesabın matematiksel ifadesi Denklem 4.4’de sunulmuştur.

$$HASSASİYET = \frac{TP}{TP+FP} \quad (4.4)$$

4.1.5. F-1 Skoru

F-1 skoru, bir sınıflandırma sisteminin hassasiyet ve duyarlılık metrikleri arasında kurduğu dengeyi ölçen, harmonik ortalamdır. Bu metrik literatürde veri dengesizliği veya hatalı tetiklemelerin ce kaçırımların sistem çıktısını doğrudan etkilediği durumlarda büyük önem taşımaktadır. Bu hesabın matematiksel ifadesi Denklem 4.5’de sunulmuştur.

$$F1 Skoru = 2 * \frac{HASSASİYET \times DUYARLILIK}{HASSASİYET + DUYARLILIK} \quad (4.5)$$

4.2. Numune Parçaların Algılanma Doğruluğu ve Test Sonuçları

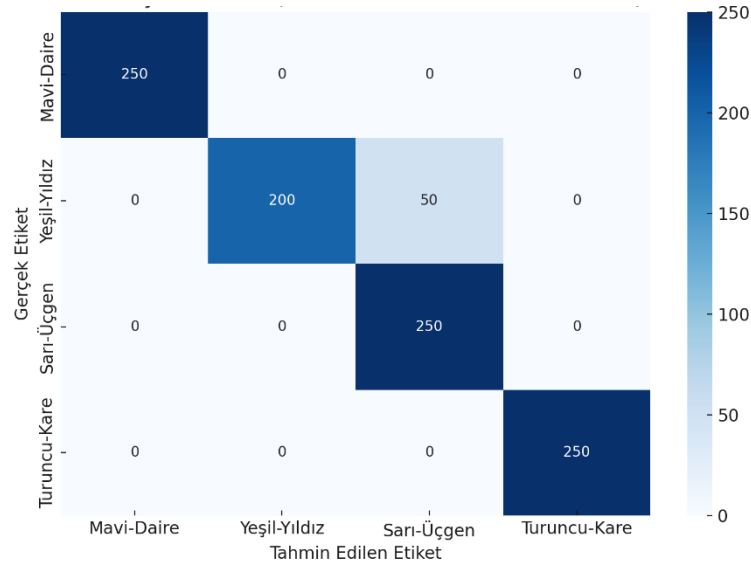
Sistem, kararlı ve kontrollü aydınlatma koşullarının sağlandığı kapalı bir test kutusu içerisinde kurulmuştur. Işık homejenliğini sağlamak amacıyla, kutunun üst iç kısmına beyaz led aydınlatmalar yerleştirilmiştir. Kamera ise kutunun üst iç kısmına yerleştirilmiştir. Kamera ve aydınlatmalar sabit ve gölgesiz bir görüntü sağlanması için ortam dış kaynaklardan gelen ışıklar için izole edilmiştir. Yapılan çalışma detaylı olarak materyal ve yöntem bölümünde anlatılmıştır. Bu bağlamda, test sürecinde parçaların renk ve şekil kombinasyonlarına duyarlılığı değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, farklı renk ve geometrik şekillere sahip toplam 20 adet test parçası kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan numuneler aşağıdaki Çizelge 4.1’de gruplandırılmıştır:

Çizelge 4.1. Numune Parçaların Gruplandırılması

Renk	Şekil	Adet
Mavi	Daire	5
Yeşil	Yıldız	5
Sarı	Üçgen	5
Turuncu	Kare	5

Her test senaryosunda yalnızca 1 adet parça, kullanıcı arayüzü üzerinden tanımlanmıştır. Tanımlanan parça hatalı ürün olarak nitelendirilmekte ve sisteme rastgele sıralarla gönderilmektedir. Hedef parça, sistem tarafından doğru bir şekilde algılandığında tetikleme çıkışı alınmıştır. Diğer parçalar için sistem pasif kalmıştır. Senaryolar her kombinasyon için 50 tekrar ile yürütülmüştür. Test işlemi bu şekilde gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen test işlemleri sonucunda elde edilen konfüzyon matrisi Şekil 3.37’de verilmiştir. Toplam 1000 örnek üzerinde işlemler yapılmıştır. Doğru sınıflandırma sayısı 950, yanlış sınıflandırma sayısı 50 tanedir. En fazla hata sayısı yeşil yıldız ve sarı üçgen arasındadır. Tasarlanan sistem, %95 doğruluk oranına ulaşarak yüksek sınıflandırma başarısı sergilemiştir.



Şekil 3.37. Hata Matrisi

Çizelge 4.2.'de sistemde kullanılan numune parçaların test işlemi sonrasında değerlendirme metrikleri verilmiştir.

Çizelge 4.2. Renk ve Şekil Kombinasyonlarından Elde Edilen Performans Sonuçları

Renk ve Şekil Kombinasyonları	Precision	Recall	Accuracy	F1 Score
Mavi - Daire	1.00	1.00	1.00	1.00
Yeşil - Yıldız	1.00	0.80	0.80	0.88
Sarı - Üçgen	0.83	1.00	1.00	0.90
Turuncu - Kare	1.00	1.00	1.00	1.00

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda sistem genel olarak renk ve şekil kombinasyonu için mavi daire %100, yeşil yıldız %80.00, sarı üçgen %100 ve turuncu kare %100 doğruluk ile çalışmaktadır.

4.3. İşlem Süresi(ms)

Görüntü işleme işlemleri ve PLC'ye veri gönderme sürecini koda zamanlayıcı ms cinsinden kullanılarak kontrol edilmiştir. Sistemde kullanılan Webcam, görüntü işleme sistemlerinde kameradan alınan her kare süresi gerçek zamanlılık için 12 FPS yeterlidir. 1 FPS süresi:

$$\frac{1000}{12 \text{ FPS}} \approx 83 \text{ ms}$$

Kamera tarafından algılanan parçanın işlenmesi, kararın verilmesi ve PLC'ye komutun gönderilmesi süresi ortalama olarak 83 milisaniye olarak ölçülmüştür. Bu süre, sistemin gerçek zamanlı çalıştığını kanıtlar niteliktedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında, plastik enjeksiyon yöntemiyle üretilen parçaların kalite kontrol sürecine entegre edilebilecek, renk ve geometrik şekil temelli görüntü işleme algoritmaları ile çalışılmıştır. PLC kontrollü otomatik bir sınıflandırma ve ayırıştırma sistemi geliştirilmiştir. Sistem, bir web kamerası ve açık kaynak kodlu yazılım bileşenleri kullanılarak oluşturulmuştur. Hatalı parçaları fiziksel ayırıştırma işlemleri pnömatik silindir aracılığıyla gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen deneysel uygulamalar ve uygulanan test senaryoları sonucunda aşağıdaki bulguları ulaşılmıştır:

- Kontur analizi tabanlı şekil tanıma algoritması, farklı geometrik formların sınıflandırılmasında yüksek doğruluk göstermiştir. Özellikle kare ve daire gibi belirgin şekillerin tespiti, %100 doğruluk ve tamlık oranları ile başarıyla gerçekleştirilmiştir.
- Kullanıcı arayüzü aracılığıyla seçilen renk ve şekil kombinasyonlarına bağlı olarak sistem, yalnızca hedeflenen parçalara müdahale etmiş; bu sayede seçicilik artırılmış ve istenmeyen tepkimeler önlenmiştir.
- Sistem, çalışma sırasında kullanıcı tarafından belirlenen gecikme parametreleri, üretim hattındaki zamanlama kontrolünü optimize etmiştir.
- Modbus RS-232 seri haberleşme protokolü ile PLC'ye iletilen komutlar doğrultusunda pnömatik aygıtlar etkin biçimde çalıştırılmış ve hatalı olarak sınıflandırılan parçalar fiziksel olarak üretim hattından ayırıştırılmıştır.
- Test sürecinde, her biri beşer tekrarla 20 farklı parça (5 mavi daire, 5 yeşil yıldız, 5 sarı üçgen ve 5 turuncu kare) 50 adet döngüsel olarak sisteme sunulmuş; sistem yalnızca hedeflenen nesnelere için doğru PLC çıkışları üretmiştir.
- Deneysel sonuçlara göre, mavi daire ve turuncu kare kombinasyonlarında tüm performans metrikleri (precision, recall, accuracy, F1 score) %100 olarak elde edilmiştir. Sarı üçgen sınıfı %100 doğruluk ve %90 F1 skoru ile başarılı sonuçlar verirken, yeşil yıldız kombinasyonu diğerlerine

kıyasla daha düşük performans göstermiş (%80 recall, %88 F1 skoru), ancak genel sistem başarısını olumsuz etkilemeyecek düzeyde sınıflandırma doğruluğu sağlamıştır.

5.2 Öneriler

Çalışma sürecinde elde edilen deneyimler ve sonuçlar doğrultusunda sabit HSV renk eşikleri yerine, ortam aydınlatmasına göre kendini uyarlayabilen dinamik eşikleme algoritmaları uygulanarak sistemin farklı ortam koşullarında daha stabil çalışması sağlanabilir.

Sistemde kullanılan kameranın çözünürlüğü artırılarak daha detaylı kenar ve kontur tespiti mümkün kılınabilir ya da endüstriyel kamera ile sistem performansı daha da arttırılabilir.

Ürünlerin farklı açılardan değerlendirilmesi gerekiyorsa, çoklu kamera desteği ile üç boyutlu analiz veya yüzey kusuru tespiti gibi ileri seviye görüntü işleme algoritmalarıyla kontroller eklenebilir.

Bu öneriler, sistemin daha gelişmiş versiyonlarının oluşturulmasında temel alınabilir ve endüstride otomatik görüntü işleme otomasyon sistemlerinde daha geniş bir uygulama alanına yayılmasına katkı sağlayabilir.

6. KAYNAKLAR

- Adamo, F., Attivissimo, F., Nisio, A. Di, ve Savino, M., 2008, An automated visual inspection system for the glass industry, *6 th IMEKO TC4 Symposium Exploring New Frontiers of Instrumentation and Methods for Electrical and Electronic Measurements*, Florence-Italy, 22-24.
- Adamo, F., Attivissimo, F., Di Nisio, A., ve Savino, M., 2009, An online defects inspection system for satin glass based on machine vision. In *2009 IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, 288-293.
- Aktepe, K., 2005, Botrland C++ builder ve TCP/IP ile gerçek zamanlı kamera görüntü aktarımı, Yüksek Lisans Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kahramanmaraş, 11-22.
- Al Kamal, I., ve Al-Alaoui, M., 2008, Online machine vision inspection system for detecting coating defects in metal lids, In *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*, Vol. 2, 19-21.
- Ali, S. H., ve Aygün, H., 2023, Shape detection using air-drawing, In *2023 11th International Symposium on Digital Forensics and Security (ISDFS)*, 1-5.
- Almtireen, N., Rawashdeh, N., Reddy, V., Sutton, M., Nedvidek, A., ve Karn, C., 2025, PLC-controlled intelligent conveyor system with ai-enhanced vision of efficient waste sorting. *Applied Sciences*, 15(3), 2-3.
- Aminabadi, S. S., Tabatabai, P., Steiner, A., Gruber, D. P., Friesenbichler, W., Habersohn, C., ve Berger-Weber, G., 2022, Industry 4.0 in-line AI quality control of plastic injection molded parts, *Polymers*, 14(17), 3551.
- Arora, M., 2023, AI-driven industry 4.0: advancing quality control through cutting-edge image processing for automated defect detection, *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, 12(8), 16-32.
- Arslan, E., 2011, Hücresel sinir ağı sistemleri kullanarak hareketli nesnelerin görüntü işleme uygulamaları, Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 35-42.
- Arslan, E., Konuşkan, Y., ve Lazoglu, I., 2025, AI-driven cognition for advanced injection molding and industrial implementation, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 138(5), 2043-2064.
- Balcı, M., Altun, A. A., ve Taşdemir, Ş., 2016, Görüntü işleme teknikleri kullanılarak napolyon tipi kirazların sınıflandırılması, *Selçuk-Teknik Dergisi*, 15(3), 221-237.
- Bryce, D. M., 1998, Plastic injection molding: Mold design and construction fundamentals, 11-26.

- Bull, S. J., Davidson, R. I., Fisher, E. H., McCabe, A. R., ve Jones, A. M., 2000, A simulation test for the selection of coatings and surface treatments for plastics injection moulding machines, *Surface and coatings technology*, 130(2-3), 257-265.
- Chen, X., Lam, Y. C., ve Li, D. Q., 2000, Analysis of thermal residual stress in plastic injection molding, *Journal of Materials Processing Technology*, 101(1-3), 275-280.
- Chernov, V., Alander, J., ve Bochko, V., 2015, Integer-based accurate conversion between RGB and HSV color spaces, *Computers & Electrical Engineering*, 46, 328-337.
- Can, C., 2008, Plastik enjeksiyon kalıplamada termoplastik malzemelerin modelleme ve analizleri, Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trakya, 18-26.
- Çakır, Y., 2000, I 20-3 polietilen plastik ürünlerde çekme miktarına etki eden enjeksiyon parametrelerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 14-22.
- Çan, Z., 2021, Otomasyon sistemlerinde görüntü işleme tekniklerini kullanan ürün tanımı uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 15-58.
- Kervancıoğlu, E., Adıyan, A., Çetin, L., ve Uyar, E., 2008, Görüntü işlemeye dayalı elektro-pnömatik parça tasnif robotu, 397-403.
- Çiçek, S., 2006, Renge göre (kırmızı, yeşil, mavi) malzeme taşıyan robot kolu tasarımı ve uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 131-133.
- Dallı, B., 2021, Plastik enjeksiyon kalıp komponentleri için otomatik görüntü işleme sistemi tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 8-49.
- Dhameliya, N., 2023, Revolutionizing PLC Systems with AI: A New Era of Industrial Automation, *American Digits: Journal of Computing and Digital Technologies*, 1(1), 33-48.
- Donovan, R. C., Thomas, D. E., ve Leversen, L. D., 1971, An experimental study of plasticating in a reciprocating-screw injection molding machine, *Polymer Engineering & Science*, 11(5), 353-360.
- Drath, R., ve Horch, A., 2014, Industrie 4.0: Hit or hype?[industry forum], *IEEE industrial electronics magazine*, 8(2), 56-58.
- Elmas, B., 2022, Evrişimli sinir ağları ile mermer ve granit çeşitlerinin transfer öğrenme yöntemiyle sınıflandırılması, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 37(2), 985-1002.

- Pınar, E., 2010, Plastik enjeksiyon yöntemiyle imalatta hataların tespiti ve proses şartlarının optimizasyon uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 41-43.
- Erdoğan, T., 2012, Hareketli konveyör üzerinde kamera görüntüsü ile nesne tanıma ve nesneleri yerine koyma uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 26-36.
- Esmeray, F., 2014, Açık kaynak kodlu görüntü işleme uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 17-34.
- Fei, N. C., Mehat, N. M., ve Kamaruddin, S., 2013, Practical applications of Taguchi method for optimization of processing parameters for plastic injection moulding: a retrospective review, *International Scholarly Research Notices*, 2013(1), 462174.
- Gaub, H., 2016, Customization of mass-produced parts by combining injection molding and additive manufacturing with Industry 4.0 technologies, *Reinforced plastics*, 60(6), 401-404.
- Gezer, M., 2021, Tıpta Görüntü işleme yöntemleri, 206-218.
- Golnabi, H., ve Asadpour, A., 2007, Design and application of industrial machine vision systems, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 23(6), 630-637.
- Gonzalez, R. C., 2002, *Digital image processing*, Pearson education india, 255-260.
- Güven, B., ve Uzun, T., 2007, Kontrol sistemlerinde kullanılan veri haberleşmesi teknolojileri, 1. *Haberleşme Teknolojileri Ve Uygulamaları Sempozyumu*.
- Güvenoğlu, E., ve Bağırğan, M., 2019, Shearlet Dönüşümü ve Görüntü İşleme Teknikleri Kullanılarak Kot Kumaşlar Üzerinde Gerçek Zamanlı Hata Tespiti, *El-Cezeri*, 6(3), 491-502.
- Hammett, S. T., Georgeson, M. A., Bedingham, S., ve Barbieri-Hesse, G. S., 2003, Motion sharpening and contrast: Gain control precedes compressive non-linearity?, *Vision Research*, 43(10), 1187-1199.
- Harris, J. J., Broesch, J. D., ve Coon, R. M., 1995, A combined PLC and CPU approach to multiprocessor control, In *Proceedings of 16th International Symposium on Fusion Engineering*, Vol. 2, 874-877.
- Huang, G. S., Lin, H. C., ve Chen, P. C., 2011, Robotic arm grasping and placing using edge visual detection system, In *2011 8th Asian Control Conference (ASCC)*, 960-964.
- İçten, B., 2004, Plastik enjeksiyonda basınç, sıcaklık, zaman, hız gibi faktörlerin parça kalitesi üzerindeki etkilerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 16-72.

- Im, D., Lee, S., Lee, H., Yoon, B., So, F., ve Jeong, J., 2021, A data-centric approach to design and analysis of a surface-inspection system based on deep learning in the plastic injection molding industry, *Processes*, 9(11), 1895.
- Joseph Perumadan, J., 2025, Integration of AI for product quality control systems in automobile manufacturing production lines: A theoretical perspective.
- Kafalı, A., 2019, PLC ve SCADA tabanlı sıvı boya dozajlama sisteminin gerçekleştirilmesi ve performansının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 16-20.
- Kahya, E., 2014, Kivi hasatı için robotik tutucu tasarımı, *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 6(2), 18-35.
- Kamal, M. R., Lai-Fook, R. A., ve Hernandez-Aguilar, J. R., 2002, Residual thermal stresses in injection moldings of thermoplastics: a theoretical and experimental study, *Polymer Engineering & Science*, 42(5), 1098-1114.
- Kamber, Ö. Ş., 2008, Plastik enjeksiyon kalıplarında basınç ve sıcaklık parametrelerinin ürün kalitesine etkileri ve Taguchi yöntemi ile optimizasyonu, Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 18-32.
- Karakoç, M., 2011, Görüntü işleme teknikleri ve yapay zeka yöntemleri kullanarak görüntü içinde görüntü arama, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 18.29.
- Kass, M., ve Witkin, A., 1988, Snakes: Active Contour Models, *International Journal of Computer Vision*, Kluwer Academic Publishers.
- Katırcıoğlu, F., 2007, Renkli görüntülerin bağıntı matrisine dayalı ayrıştırılması ve kenar algılama, Yüksek Lisans Tezi, *Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Düzce, 8-39.
- Kocer, S., Dundar, O., ve Butuner, R., 2021, *Programmable Smart Microcontroller Cards*, 50-54.
- Köse, Y., 2019, Döküm sektöründe görüntü işleme teknikleri kullanılarak parça kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, *Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 5-33.
- Kuncan, M., 2013, Endüstriyel Bir Makinada Görüntü İşleme Yöntemiyle Zeytinlerin Renklerine Göre Ayırt Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Endüstrisi*, Kocaeli, 1-3.
- Liang, Q., Liu, X., Na, Z., Wang, W., Mu, J., ve Zhang, B. (Eds.), 2019, *Communications, Signal Processing, and Systems: Proceedings of the 2018 CSPS Volume II: Signal Processing* (Vol. 516). Springer.
- Machacek, J., ve Drapela, J., 2008, Control of serial port (RS-232) communication in LabVIEW, In *2008 International Conference-Modern Technique and Technologies*, 36-40.

- Maldonado, J. O., ve Graña, M., 2009, Recycled paper visual indexing for quality control, *Expert Systems with Applications*, 36(5), 8807-8815.
- McCloy, D., ve Martin, H. R., 1980, Control of fluid power: analysis and design, *Chichester*.
- Miles, D. C., ve Briston, J. H., 1965, *Polymer technology*, London: Temple Press Books, 1-5.
- Montgomery, D. C., 2020, *Introduction to statistical quality control*, John wiley & sons, 575-581.
- Mourya, A., Nanda, A., Parashar, K., ve Kumar, R., 2023, An explanatory study on defects in plastic molding parts caused by machine parameters in injection molding process, *Materials Today: Proceedings*, 78, 656-661.
- Nashat, S., Abdullah, A., ve Abdullah, M. Z., 2014, Machine vision for crack inspection of biscuits featuring pyramid detection scheme, *Journal of Food Engineering*, 120, 233-247.
- Ohshima, M., ve Tanigaki, M., 2000, Quality control of polymer production processes. *Journal of Process Control*, 10(2-3), 135-148.
- Ozcelik, B., ve Sonat, I., 2009, Warpage and structural analysis of thin shell plastic in the plastic injection molding, *Materials & Design*, 30(2), 367-375.
- Öztürk, Ş., 2015, Cam üretim hatalarının görüntü işleme tabanlı bulunması, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 54-91.
- Perihanoğlu, G. M., 2015, Dijital görüntü işleme teknikleri kullanılarak görüntülerden detay çıkarımı, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 4-15.
- Petersen, M., Lakenen, B., Chavan, K., Waghmare, P., Sergeyev, A., ve Rawashdeh, N. A., 2025, Conveyor line color object sorting using a monochrome camera, colored light and RGB filters, *arXiv preprint arXiv:2502.08419*.
- Segovia, V. R., ve Theorin, A., 2012, History of control history of PLC and DCS, *University of Lund*, 44-45.
- Guo-Rong, Z., Chang-Zhen, X., ve Yan, Z., 2011, May, A method of embedded video surveillance based on OpenCV, In *2011 International Conference on E-Business and E-Government (ICEE)*, 1-4.
- Rotter, P., Klemiato, M., Knapik, D., Rosół, M., ve Putynkowski, G., 2024, Inclusion detection in injection-molded parts with the use of edge masking, *Sensors*, 24(22), 7150.

- Saad, N. M., Rahman, N. N. S. A., Abdullah, A. R., ve Wahab, F. A., 2017, Shape defect detection for product quality inspection and monitoring system, In *2017 4th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)*, 1-6.
- Saravanan, G., Yamuna, G., ve Nandhini, S., 2016, Real time implementation of RGB to HSV/HSI/HSL and its reverse color space models, In *2016 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)*, 0462-0466.
- Sawadisavi, S., Edwards, J. R., Resendiz, E., Hart, J. M., Barkan, C. P., ve Ahuja, N., 2009, Machine-vision inspection of railroad track, In *Proceedings of the TRB 88th Annual Meeting, Washington, DC*, 1-19.
- Shi, Z., Fang, Y., ve Song, H., 2024, Intelligent inspection method and system of plastic gear surface defects based on adaptive sample weighting deep learning model, *Sensors*, 24(14), 4660.
- Şenel, F. A., ve Cetişli, B., 2015, Görüntü işleme ve beş eksenli robot kol ile üretim bandında nesne denetimi, *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 21(5).
- Şengül, Ö., Öztürk, S., ve Kuncan, M., 2020, Color based object separation in conveyor belt using PLC, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 401-412.
- Şentürk, S., ve Satıcı, B., 2022, İç mekandaki yüzeylerin görsel özellikleri ve ışık arasındaki ilişki, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 4(2), 1-12.
- Tang, S. H., Kong, Y. M., Sapuan, S. M., Samin, R., ve Sulaiman, S., 2006, Design and thermal analysis of plastic injection mould, *Journal of materials processing technology*, 171(2), 259-267.
- Taşkın, C., 2009, *Ağ teknolojileri ve telekomünikasyon*. Pusula, 18-25.
- Toyran, M., 2008, Düşük çözünürlüklü görüntülerden süper çözünürlüklü görüntü oluşturma, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 6-9.
- Turan, S., ve Aydın, T., 2018, Tarımsal ürün bilgilerinin bir gezgin robot yardımıyla temin edilen görüntülerin işlenmesi yoluyla analiz edilmesi, *Sakarya University Journal of Science*, 22(2), 480-488.
- Uçar, K., 2018, Silindirik cisimlerin görüntü işleme ile hata tespiti, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 43-64.
- Ülküer, G., 2020, Yapay sinir ağı destekli bir endüstriyel görüntü işleme uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-20.

- Vadı, S., Guler, N., ve Bayındır, R., 2014, Endüstriyel alanlarda kullanılan veri iletim tekniklerinin karşılaştırılması, *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 2(1), 181-188.
- Varol, A. H., 2014, Görüntü mozaikleme ile panoramik görüntü üretimi, Yüksek Lisans Tezi, *Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 15-28.
- Wang, J., Pu, J., ve Moore, P., 1999, A practical control strategy for servo-pneumatic actuator systems, *Control Engineering Practice*, 7(12), 1483-1488.
- Xie, X. (2008). A review of recent advances in surface defect detection using texture analysis techniques. *ELCVIA: electronic letters on computer vision and image analysis*, 1-22.
- Xiong, T., ve Ye, W. (2021). A PC-based control method for high-speed sorting line integrating data reading, image processing, sequence logic control, communication, and HMI. *AIP Advances*, 11(1), 1-15.
- Yan, D., Sun, Y., ve Jiang, S., 2021, Appearance defect detection of injection parts based on deep learning, In *3D Imaging Technologies—Multi-dimensional Signal Processing and Deep Learning: Mathematical Approaches and Applications, Volume 1*, Springer Singapore, 15-99.
- Yılmaz, İ., Güllü, M., Baybura, T., ve Erdoğan, O., 2002, Renk uzayları ve renk dönüşüm programı (RDP), 19-35.
- Yılmaz, M., 2016, Görüntü işleme teknikleriyle zirai tuzaklardaki böcek adedi tespiti, Yüksek Lisans Tezi, *Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 16-39.

Web İletileri:

URL-1:<https://cenkozmercan.wordpress.com/2010/02/04/renk-olayi/> [Ziyaret Tarihi: 29 Ocak 2025].

URL-2:<https://www.delab.com.tr/multidas-kontrol-karti-rs232-den-kontrol>[Ziyaret Tarihi: 20 Mayıs 2025].

URL-3: <https://diyot.net/plc/> [Ziyaret Tarihi: 22 Mayıs 2025].