PLASTİK ENJEKSİYON KOMPONENTLERİ İÇİN OTOMATİK GÖRÜNTÜ İŞLEME SİSTEM TASARIMI

Bilgin DALLI

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PLASTİK ENJEKSİYON KALIP KOMPONENTLERİ İÇİN OTOMATİK GÖRÜNTÜ İŞLEME SİSTEMİ TASARIMI

Bilgin DALLI
0000-0002-9489-904X

Prof. Dr. M. Cemal ÇAKIR

(Danışman)

BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

BURSA-2020

Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PLASTİK ENJEKSİYON KALIP KOMPONENTLERİ İÇİN OTOMATİK GÖRÜNTÜ İŞLEME SİSTEMİ TASARIMI

Bilgin DALLI

Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. M. Cemal ÇAKIR

Bu çalışmada, otomotiv güvenliği açısından kritik bir bileşen olan yan yolcu hava yastığı adı verilen plastik bir enjeksiyon kalıbı bileşeni için otomatik görme tabanlı bir kusur inceleme ve sıralama sistemi geliştirilmiştir. Öncelikle enjeksiyon prosesi detaylıca anlatılmış ve plastik enjeksiyon parametreleri belirlenmiştir. Sıcaklık, basınç, zaman ve mesafe parametreleri ve proses üzerindeki etkileri açıklanmıştır. Enjeksiyon prosesindeki hata tipleri ve sebepleri ortaya konmuştur. Endüstriyel görüntü işleme sistemlerinin temelleri anlatılmıştır. Plastik parça üzerindeki kusurların tespiti için endüstriyel görüntü işleme sistemi için gerekli mekanik ve otomasyon sistemi geliştirilmiştir. Parçaya özel görüntü işleme algoritması oluşturulmuş ve hataların tespiti sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Görüntü İşleme, Plastik Enjeksiyon, Kalite Kontrol

2020, xi+112 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

AUTOMATIC IMAGE PROCESSING SYSTEM DESIGN FOR PLASTIC INJECTION MOLD COMPONENTS

Bilgin DALLI

Bursa Uludağ University Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. M. Cemal ÇAKIR

In this study, an automatic vision based defect inspection and sequencing system has been developed for a plastic injection mold component called side passenger airbag, which is a critical component in terms of automotive safety. First of all, the injection process is explained in detail and plastic injection parameters are determined. Temperature, pressure, time and distance parameters and their effects on the process are explained. The types and causes of errors in the injection process have been revealed. Fundamentals of industrial image processing systems are described. The mechanical and automation system required for the industrial image processing system has been developed to detect defects on the plastic part. A part-specific image processing algorithm has been created and errors are detected.

Key Words: Image Processing, Plastic Injection, Quality Control

2020, xi+112 pages

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ ONAYI..... **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**
ÖZET.....i
ABSTRACT.....ii
TEŞEKKÜR.....iii
İÇİNDEKİLER.....iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....xi
1. GİRİŞ.....1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....4
3. PLASTİK ENJEKSİYON VE GÖRÜNTÜ İŞLEME SİSTEMLERİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER.....8
3.1. Plastik Enjeksiyon Hakkında Genel Bilgiler.....8
3.2. Plastik Enjeksiyon Parametreleri.....12
3.2.1. Sıcaklık.....12
3.2.2. Basınç.....16
3.2.3. Zaman.....22
3.2.4. Mesafe.....25
3.2.5. Operatör.....29
3.3. Hatalar ve Hata Tipleri.....32
3.3.1. Siyah Lekeler veya Çizgiler.....33
3.3.2. Kabarcıklar.....34
3.3.3. Kızarıklık.....35
3.3.4. Gevreklik.....36
3.3.5. Hava Kabarcığı.....38
3.3.6. Yanık İzleri.....39
3.3.7. Bulutlu Görünüm.....40
3.3.8. Solma.....41
3.3.9. Çapak.....42
3.3.10. Akış Çizgileri.....43
3.3.11. Jetting.....44
3.3.12. Kaynak Hatları.....45
3.3.13. Eksik Enjeksiyon.....46
3.3.14. Büzülme.....47
3.3.15. Splay(Gümüş Çizgi).....48
3.3.15. Kıvrıklık.....49
3.4. ENDÜSTRİYEL GÖRÜNTÜ İŞLEME SİSTEMLERİ.....50
3.4.1. Görev ve Fayda.....51
3.4.2. Haberleşme Arayüzleri.....52
3.4.3. Kurulum Alanı.....52
3.4.4. Kamera Tipi.....53
3.4.5. Görüş Alanı.....53
3.4.6. Çözünürlük.....54
3.4.7. Lensler.....57

3.4.8. Görüntü İşleme Algoritmaları 60
3.4.9. Üretimde Endüstriyel Görüntü İşleme 83
4. MATERYAL VE YÖNTEM 94
4.1. Endüstriyel Görüntü İşleme Sisteminin Tasarımı ve İmalatı 96
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 105
KAYNAKLAR 109
ÖZGEÇMİŞ 1122

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
psi	İnçkarelik alanı uygulanan kuvvet birimi
kpa	Kilopaskal
kN	Kilo Newton
mm	Milimetre
d/d	Devir/dakika
cm	Santimetre
V	Hız
^{o}C	Santigrat
m/dk	Metre/dakika

Kısaltmalar	Açıklama
CCD	Şarj Eşleştirmeli Cihaz
GP	Genetik Programlama
RMS	Kök Ortalama Kare Sapması
SVM	Destek Vektör Makinesi
FRA	Federal Demiryolu İdaresi
LED	Işık Yayan Diyot
ABS	Akrilonitrilbütadienstiren
PVC	Polivinilklorür
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protokol
FiedlBus	Saha veri yolu
FOV	Görüş alanı
S_f	En küçük unsur
N_f	En küçük unsurun piksel sayısı
R_s	Uzamsal çözünürlük
R_c	Kamera Çözünürlüğü

fr	Saniyedeki kare sayısı
PR	Piksel oranı
R_{cHor}	Yataydaki kamera çözünürlüğü
R_{cVer}	Dikeydeki kamera çözünürlüğü
PCB	Baskılı devre kartı
RGB	Kırmızı-Yeşil-Mavi
ROI	İlgilenilen bölge
n	Nokta Sayısı
h_i	Grilik oranı
n_i	Piksel sayısı
OCR	Optik karakter tanıma
IC	Entegre Devre
OK	Uygun
NOK	Uygun değil
RAM	Bellek
PC	Bilgisayar
CAD	Bilgisayar destekli tasarım
3D	Üç boyutlu
1D	Tek boyutlu
0D	Nokta
I/O	Giriş/Çıkış
PLC	Programlanabilir mantıksal denetleyici

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Plastik Enjeksiyon Makinesi Konsepti 8
Şekil 3.2. Enjeksiyon Ünitesi 9
Şekil 3.3. Rezistans Bölgeleri 10
Şekil 3.4. Hammadde Haznesi 11
Şekil 3.5. Enjeksiyon Vidası 11
Şekil 3.6. Temel Enjeksiyon Parametreleri 12
Şekil 3.7. Isıtma Bölgeleri 13
Şekil 3.8. Başlangıç Basıncı 18
Şekil 3.9. Tutma Basıncı 18
Şekil 3.10. Geri Basınç 19
Şekil 3.11. Hidrolik Kelepçe Sistemi; açık (a), kapalı (b) 20
Şekil 3.12. Mekanik Kelepçe Sistemi; açık(a), kapalı(b) 21
Şekil 3.13. Kalıp Kapanma Mesafesi 26
Şekil 3.14. Enjeksiyon ve Tutma Mesafeleri 27
Şekil 3.15. Yastıklama 27
Şekil 3.16. Vida Geri Dönüş Mesafesi 28
Şekil 3.17. Parça Çıkarma Mesafesi 29
Şekil 3.18. Operatörün Rolü 30
Şekil 3.19. Plastik Enjeksiyon Hata Kaynakları 32
Şekil 3.20. Siyah Lekeler 33
Şekil 3.21. Kabarcıklar 35
Şekil 3.22. Kızarıklık 36
Şekil 3.23. Gevreklik 37
Şekil 3.24. Hava Kabarcığı 38
Şekil 3.25. Yanık İzleri 39
Şekil 3.26. Bulutlu Görünüm 40
Şekil 3.27. Solma 41
Şekil 3.28. Çapak 42
Şekil 3.29. Akış Çizgileri 43
Şekil 3.30. Jetting 44
Şekil 3.31. Kaynak Hatları 45
Şekil 3.32. Eksik Enjeksiyon 46
Şekil 3.33. Büzülme 47
Şekil 3.34. Gümüş Çizgi 48
Şekil 3.35. Kıvrıklık 49
Şekil 3.36. Görüş Alanı 53
Şekil 3.37. Bikonveks 57
Şekil 3.38. Plano-Dışbükey 57
Şekil 3.39. Dışbükey-İçbükey 57
Şekil 3.40. Menisküs 58
Şekil 3.41. Plano-İçbükey 58
Şekil 3.42. Bikonkav 58
Şekil 3.43. Lensin Sistemdeki Yeri 58

Şekil 3.44. Lens 59
Şekil 3.45. Örnek PCB Görüntüsü- 1 59
Şekil 3.46. Örnek PCB Görüntüsü – 2 59
Şekil 3.47. Örnek PCB Görüntüsü- 3 60
Şekil 3.48. Örnek PCB Görüntüsü- 4 60
Şekil 3.49. Orjinal Görüntü 63
Şekil 3.50. Parlaklık Azaltıldı 63
Şekil 3.51. Parlaklık Arttırıldı 63
Şekil 3.52. Kontrast Azaltıldı 63
Şekil 3.53. Kontrast Arttırıldı 63
Şekil 3.54. Normalizasyon 63
Şekil 3.55. Gri Değer Normalizasyonu 64
Şekil 3.56. Histogram 65
Şekil 3.57. Kümülatif Histogram 65
Şekil 3.58. Gürültü 66
Şekil 3.59. Geçici Ortalama 67
Şekil 3.60. Mean Filtresi 68
Şekil 3.61. Gauss Filtresi ve Mean Filtresi Karşılaştırması 69
Şekil 3.62. Affine Dönüşümü 72
Şekil 3.63. Affine Dönüşümü 72
Şekil 3.64. Polar Dönüşüm 74
Şekil 3.65. Eşikleme 75
Şekil 3.66. Farklı Eşikleme Yöntemi 77
Şekil 3.67. Histogram Eşikleme 78
Şekil 3.68. Dinamik Eşikleme 78
Şekil 3.69. Kenar Modelleri 79
Şekil 3.70. Orjinal Görüntü 80
Şekil 3.71. Gri Tonlara Dönüştürülmüş Görüntü 80
Şekil 3.72. Gürültü Azaltılmış Görüntü 81
Şekil 3.73. Sobel Op. Uygulanmış Görüntü 81
Şekil 3.74. Baskılanmış Görüntü 81
Şekil 3.75. Y.Seviye Eşiklenmiş Görüntü 81
Şekil 3.76. D.Sev. Eşiklenmiş Görüntü 81
Şekil 3.77. His. K.T.Yapılmış Görüntü 81
Şekil 3.78. Orijinal Görüntü 82
Şekil 3.79. Pozitif Laplacian Görüntü 83
Şekil 3.80. Negatif Laplacian Görüntü 83
Şekil 4.1. File 94
Şekil 4.2. Yan Yolcu Hava Yastığı Parçası 95
Şekil 4.3. File Parçası Ölçüleri 96
Şekil 4.4. Lens Seçim Tablosu 97
Şekil 4.5. Kontrol Edilecek Parça 98
Şekil 4.6. Ring Aydınlatma 99
Şekil 4.7. Direkt Aydınlatma 100
Şekil 4.8. Açılı Direkt Aydınlatma 100
Şekil 4.9. File Tezgahı Tasarımı 100

Şekil 4.10. File imal Edilmiş Görünümü 101
Şekil 4.11. File Kontrol Kamerası 101
Şekil 4.12. Sistemin Akış Şeması 102
Şekil 4.13. Kalıp İçi File Kontrol Kamerası 103
Şekil 4.14. Kalıp İçi İtici Kontrol Kamerası 103
Şekil 4.15. Parça Kontrolü 104
Şekil 5.1. Yakalanan File Hataları……105
Şekil 5.2. Doğru File Kesim Yönü……106

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Bazı Plastiklerin Ergime Sıcaklıkları 14
Çizelge 3.2. Bazı Plastikler İçin Önerilen Başlangıç Sıcaklıkları 17
Çizelge 3.3. Tipik Bir Enjeksiyon Döngüsü 23
Çizelge 3.4. Farklı Ölçüm Netlikleri 55
Çizelge 3.5. Çözünürlük 55
Çizelge 3.6. Piksel Oranı 57
Çizelge 5.1. Gerekli Süreler 107

1. GİRİŞ

Endüstriyel görüntü işleme, kusurları tespit etmek, hem ürünlerin hem de işlemlerin kalitesini, işletim verimliliğini ve güvenliğini geliştirmek, doğal nesneleri ve malzemeleri, insan eserlerini ve üretim süreçlerini incelemek için entegre mekanik, optik, elektronik, yazılım sistemlerinin mühendisliği ile ilgilidir.

İmalatta kullanılan makineleri kontrol etmek için de kullanılan endüstriyel görme, aşağıdaki çalışma alanlarının öğelerinin uyumlu bir şekilde entegrasyonunu gerektirir:

- Mekanik
- Aydınlatma
- Optikler (geleneksel, fiber optikler, lazerler, kırınımsal optikler)
- Sensörler (video kameralar, UV, IR ve X-ışını sensörleri, lazer tarayıcılar)
- Elektronik (dijital, analog ve video)
- Sinyal işleme
- Görüntü işleme
- Dijital sistem mimarisi
- Yazılım
- Endüstri mühendisliği
- İnsan-bilgisayar arayüzü
- Kontrol sistemleri
- Üretim
- Mevcut iş uygulamaları ve kalite yöntemleri

Endüstriyel görüntü işleme aşağıdakiler de dahil olmak üzere çeşitli yüksek hacimli pazarlara başarıyla uygulanmıştır:

- Otomobil plakalarının okunması
- Yüz tanıma
- Parmak izi tanıma
- İris tanıma

- Belge işleme
- İmza doğrulaması
- Güvenlik gözetimi
- Baskı denetimi
- Mikro elektronik cihazların imalatı
- Karyotipleme (kromozom tanımlama ve sınıflandırma)
- Bileşenlerin baskılı devre kartlarına yerleştirilmesini denetleme / kontrol etme

Endüstriyel görüntü işleme sistemlerinin ölçüm ve kontrol görevlerinde de kullanılma düşüncesi bu sistemlerin yeni sektörlerde farklı uygulamalarda kullanılmasını sağlamıştır. İmalat sanayinde, plastik, ahşap, cam, kauçuk ve seramik gibi işlenen malzemelerin üretim süreçlerinin incelemesi yapılabilmektedir. Ayrıca gıda, içecek, ilaç, giysi, mobilya imalatı ve paketlenmesinin incelenmesi için de uygundur.

1970'lerde ve 1980'lerde Japonya, dünyanın geri kalanına üretilen ürünlerde en yüksek kaliteyi sağlamanın önemini öğretmiştir. Köklü ve saygın birçok şirketin piyasadaki payları küçüldü ve hayatta kalamamıştır. Avrupa ve Amerika'da pek çok şirket, kalitenin müşteri sadakatini sağlamada ve sürdürmede hayati öneme sahip olduğunu kabul etmiştir. Endüstriyel görüntü işleme, ürün kalitesini ve güvenliğini iyileştirmenin yanı sıra süreç verimliliğini ve operasyonel güvenliği artırma konusunda birçok çözüm sunmaktadır.

Günümüzde ya da öngörülebilir gelecekte herhangi bir endüstriyel görüntü işleme sistemi, insanın yorumlama yeteneğine yaklaşamayacak olsa da endüstriyel görme, sıkı kontrol edilen koşullar altında ölçüm yapmak gibi tekrarlayan görevlerde insanlardan daha verimlidir. Endüstriyel görüntü işleme sistemleri genellikle basit, iyi tanımlanmış, seri üretilen ürünleri yüksek hızlarda inceleyebilirken, insan bu koşullarda tutarlı karar vermekte oldukça zorlanmaktadır. Endüstriyel görüntü işleme sistemi, rutin bir denetim görevini 24 saat/gün, 365 gün/yıl boyunca yapabilir. Parça muayenesi, ölçme ve doğrulama gibi kalite kontrol ile ilgili uygulamalar endüstriyel görüntü işleme pazarının neredeyse yarısını oluşturmaktadır. Birçok uygulamada endüstriyel görme sistemleri mevcut üretim hatlarına uyarlanmıştır.

Bu çalışmada, otomotiv güvenliği açısından kritik bir bileşen olan yan yolcu hava yastığı adı verilen plastik bir enjeksiyon kalıbı bileşeni için otomatik görme tabanlı bir kusur inceleme ve sıralama sistemi geliştirilmiştir. Öncelikle enjeksiyon prosesi detaylıca anlatılmış ve plastik enjeksiyon parametreleri belirlenmiştir. Sıcaklık, basınç, zaman ve mesafe parametreleri ve proses üzerindeki etkileri açıklanmıştır. Enjeksiyon prosesindeki hata tipleri ve sebepleri ortaya konmuştur. Endüstriyel görüntü işleme sistemlerinin temelleri anlatılmıştır. Plastik parça üzerindeki kusurların tespiti için endüstriyel görüntü işleme sistemi için gerekli mekanik ve otomasyon sistemi geliştirilmiştir. Parçaya özel görüntü işleme algoritması oluşturulmuş ve hataların tespiti sağlanmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Al Kamal ve Al-Alaoui yaptıkları çalışmada (Al-Kamal ve Al-Alaoui 2004), üretim sırasında metal kapakların kauçuk kaplamasındaki kusurları tespit edebilen bir çevrimiçi makine görüş sistemi tasarımı sunmaktadır. Sistem, bir taşıma bandına monte edilen ve bir PC'ye FireWire (IEEE 1394) üzerinden bağlanan bir CCD kameradan oluşan basit ve düşük maliyetlidir. Muayene algoritması dört aşamalı bir süreçle gerçekleştirilir: geliştirme, eşikleme ve son olarak nesne eşleştirmesi edinimi ile başlar.

Blackledge ve Dubovitskiy yaptıkları çalışmada (Blackledge ve Dubovitskiy 2008), bir haddehanede çelik sac üretiminin kalitesini izlemek için özel olarak tasarlanmış yeni bir desen tanıma sistemi oluşturulmuştur. Sistem, bulanık bir çıkarım motorunun uygulanmasına dayanan denetimli bir öğrenme prosedürü ile birlikte kullanılan eğitim verilerini geliştirmek için görüntülenen bir nesnenin Öklid ve Fraktal geometrik özelliklerinin kullanılmasına dayanmaktadır. Bu nedenle, sınıflandırma yöntemi, Lakunarite ve Fraktal Boyut gibi fraktal parametreleri içeren bir dizi özelliğin uygulanmasını içerir ve böylece bir nesnenin, bu uygulamada metalurjik önemi olan doku açısından karakterizasyonunu içerir. Nesne tanıma ile ilgili temel sorunlar, yeni bir segmentasyon algoritması da dahil olmak üzere sunulmaktadır.

Oechsle yaptığı çalışmada (Oechsle 2009), Darwinian evriminin simülasyonu sırasında programların nasıl yazıldığını öğrenen bir teknik olan Genetik Programlama (GP) kullanılarak görme yazılımının otomatik olarak oluşturulabileceği yöntemleri araştırmıştır. Bu araştırma, evrimsel öğrenmenin belirli görüntü işleme görevlerine uygulanabilirliğini kanıtlamanın ötesinde, GP kullanarak nasıl daha “eksiksiz” görüş sistemleri yaratabileceği sorusunu ele almaktadır. Genel bir öğrenme aracı olarak Genetik Programlamanın kullanılmaya daha uygun hale getirilmesine yönelik araştırma sunulmakta, değerlendirilmekte ve evrimleşmiş bileşenlerden çok aşamalı görüş sistemlerinin inşa edilebileceği yeni yollar açıklanmaktadır.

Nicolas Bonnot ve arkadaşlarının çalışması (Bonnot ve arkadaşları 2004), çizgili yüzeyi olan metalik endüstriyel parçalar üzerindeki kusurları tespit etmeyi amaçlamaktadır. Bu paralel çizgilerin yönü tamamen rastgeledir. Aranan kusurlar çizik ve işleme eksikliğidir.

İncelenen belirli yüzey özelliklerinin görüntülenebilmesi için özel bir endüstriyel görüntü işleme sistemi tasarlanmıştır. Geliştirilen yapay görme sistemi deneysel bir endüstriyel üretim hattında uygulanmıştır, %2 alt algılama ve %16 aşırı algılama sağlamıştır.

Chen ve arkadaşlarının çalışması (Chen ve arkadaşları 2016), metal kutu konteynerlerinin üretim kalitesi, yiyecek ve içecek endüstrisindeki ürün güvenliği ile yakından ilgilidir. Kalite kontrol gerekliliklerini karşılamak için, gerçek zamanlı denetimli bir görüntü işleme sistemi bu makalede sunulmuştur. Hat içi deneylerine ve testlerine göre, görme sistemi çeşitli dairesel kova uçları için %99,48' e kadar algılama hassasiyeti ile kutu ucu kusurlarının çoğunu bulabilir.

Singh ve Kaur yaptıkları çalışma (Singh ve Kaur 2012), malzemenin yüzey kalitesinin görsel denetimi, kontraplak, metal, fayans, cam eşya ve daha pek çoğu gibi ürünlerin ana özelliği olarak yüzeylerle uğraşan endüstrilerde önemli bir kalite belirleme çalışmasıdır. Öncelikle yüzeyler pürüzlülük kalitesi açısından denetlenir. Bununla birlikte çatlaklar, lekeler, delikler, fazla malzemenin varlığı, düzlük ve kenarların şekli vb. şeklinde kusurlar ortaya çıkabilir. Sunulan çalışmada, bir karo endüstrisi örneği test edilmiştir. Otomatik görsel kontrol sistemi, karo yüzeyinde herhangi bir çatlak, delik, nokta, herhangi bir yabancı madde veya fazla malzeme olup olmadığını kontrol eder. Çalışma, yüzeylerde gözlenen kusurların istatistiksel özelliklerine dayanan görüntü işleme teknikleri kullanılarak yüzeyden kusurların çıkarılmasını içerir.

Mkwelo çalışmasında (Mkwelo 2004), bir taşıyıcı bant üzerindeki kayaların boyut dağılımını ölçmek için yapay görmeye dayalı bir sistem geliştirmiştir. Elde edilen sonuçlar, test setinde %2.37'lik bir RMS hatası ile benzer olduğu bulunmuştur.

Nashat ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada (Nashat ve arkadaşları 2014), düzgün olmayan renk dağılımları ve dokulu arka plana sahip bisküvilerin veya pişmiş ürünlerin yapay görme sistemiyle muayenesini incelemişlerdir. Bu çalışmada, otomatik çatlak tespit sistemi önerilmiştir. Canny – Deriche filtresi çatlağı vurgulamak ve gürültüyü azaltmak için kullanılmıştır. Sırasıyla %98 ve %96 özgüllük, duyarlılık ve sürekli olarak %97'den fazla ortalama doğru sınıflandırma ile sonuçlandığı keşfedilmiştir.

Pithadiya ve arkadaşlarının çalışmasında (Pithadiya ve arkadaşları 2009), endüstriyel görme sisteminde şişenin üst ve alt dolum seviyesini incelemek için kullanılan az sayıda optimum kenar algılama tekniği karşılaştırılmıştır. Çalışma sadece kalite kontrolü değil aynı zamanda farklı kenar algılama teknikleri kullanılarak şişedeki dolum seviyesi ve altı seviyesinin incelenmesi için adımları ve yaklaşımları da anlatmaktadır. Marr-Hilderth LoG algoritması, Canny algoritması ve Shen Castan algoritması gibi farklı optimal kenar algılama algoritmasının sonuçları Sobel ve Kirsch operatörleri gibi geleneksel şablon tabanlı yöntemlerden çok daha iyi bulunmuştur.

Sawadisavi ve arkadaşlarının yaptığı çalışma (Sawadisavi ve arkadaşları 2009), Amerikan Demiryolları araştırmacıları Derneği'ne danışmaya dayanan bu proje olup, ahşap bağlantı elemanları, ray çapaları, beşik balast ve katılım bileşenlerindeki düzensizlikleri ve kusurları tespit etmek için endüstriyel görüntü işleme sistemi kullanmaya odaklanmaktadır. Sistem, FRA yolu güvenlik yönetmeliklerine ve ayrıca ilave parametrelerini içerebilecek demiryoluna özgü ray standartlarına göre denetlenecek şekilde uyarlanmıştır. Bu, ray sisteminin ve bileşenlerinin sağlığının daha uzun vadeli öngörülü değerlendirilmesini geliştirmiş ve daha bilinçli önleyici bakım stratejileri ile ray yapısının bozulması ve arıza modlarının daha iyi anlaşılması sağlanmıştır.

Seulin ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada açıklandığı üzere (Seulin ve arkadaşları 2001), yüksek oranda yansıtıcı yüzey denetimi, endüstriyel parçaların otomatik kontrolü içinde sıkça karşılaşılan bir sorundur. Bu inceleme genellikle manuel olarak yapılır. Bir makine görme sistemi objektiflik, daha iyi güvenilirlik ve tekrarlanabilirlik sunar ve endüstriyel parça kalitesini sınıflandırmak için hata ölçümü yapabilir. Bu çalışma, endüstriyel parçalardaki yüzey kusurlarını tespit etmeyi amaçlamaktadır. Kontrol edilecek nesneler oldukça yansıtıcıdır ve bu nedenle mükemmel aynalar gibi davranırlar. Yüzey kusurları ezik, çarpma ve çiziklerdir. Kusur alanları, yüzeyin kusursuz alanı ile aynı yansıtıcı özelliklere sahiptir, gelen ışığı sadece aynasal yönde yansıtırlar. Endüstriyel parça boyutları 200 x 50 mm'dir ve kusur yüzeyi 1 mm²' den azdır

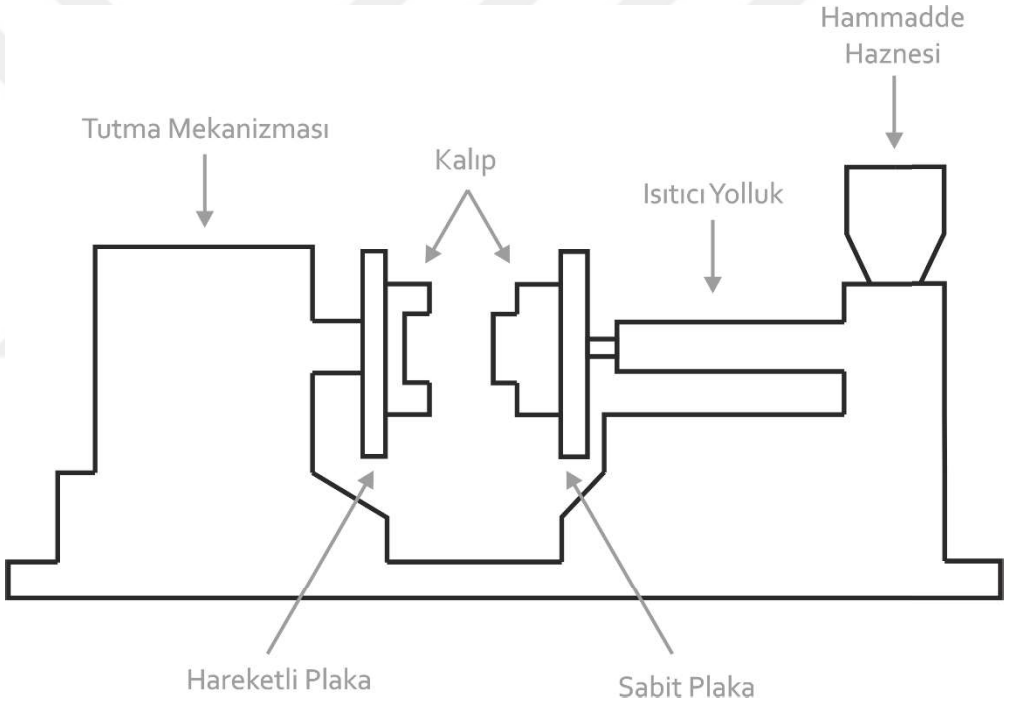
Li ve arkadaşlarının çalışması (Li ve arkadaşları 2010), yapılandırılmış bir ışık tabanlı görüntü denetim sistemi kullanarak kaynak boncuğu profili ölçümü, izlenmesi ve hata tespitini incelemektedir. Lazer profilleri ve özellik noktaları için görüntü işleme ve çıkarma algoritmaları sunulmuştur. Kaynak boncuğunun boyutsal parametreleri ölçülmüş ve çok katmanlı kaynak işlemleri sırasında kaynak hataları tespit edilmiştir. Görme denetim sistemini kullanan deneyler, çevrimiçi denetim için tatmin edici sonuçlarla gerçekleştirilmiştir.

Zhang ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada (Zhang ve arkadaşları 2018), üç modülden oluşan yeni ve etkili bir inceleme sistemi, 120 adet karusel saplı mekanik bir sistem, çok yüksek çözünürlüklü kameralara sahip bir görüntü yakalama sistemi, çok ışıklı kaynak istasyonu ve dağıtılmış endüstriyel elektrikli bilgisayar kontrol sistemiyle tanıtılmaktadır. Parçacık görsel inceleme sistemi, önce yüksek hızlı görüntü elde etme sistemini kullanarak görüntü dizisini elde etmektedir. Her kamera modülündeki görüntü yakalama işlemi, aynı kaptan parçacık görüntülerinin bağımsız olarak yakalanmasını sağlayan farklı LED aydınlatma teknikleri (ışık iletim yöntemi ve ışık yansıtma yöntemi) ile dönüşümlü olarak senkronize edilmiştir. Daha sonra, hassas koşullarda bile yanlış reddetmeleri en aza indirgemek için tüm küçük potansiyel kusurların tanımlanmasını sağlayan görüntü kaydı ve hızlı segmentasyon için bir dizi yeni algoritma önerilmektedir. Son olarak, uyarlanabilir bir yerel ağırlıklı-işbirlikçi seyrek modele dayanan bir parçacık izleme ve sınıflandırma algoritması da sunulmaktadır. Deneyler, önerilen inceleme sisteminin farmasötik infüzyon çözeltisindeki partikülleri çevrimiçi olarak etkili bir şekilde tespit edebildiğini ve ortalama %97'nin üzerinde bir doğruluk oranına ulaştığını göstermektedir

3. PLASTİK ENJEKSİYON VE GÖRÜNTÜ İŞLEME SİSTEMLERİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER

3.1. Plastik Enjeksiyon Hakkında Genel Bilgiler

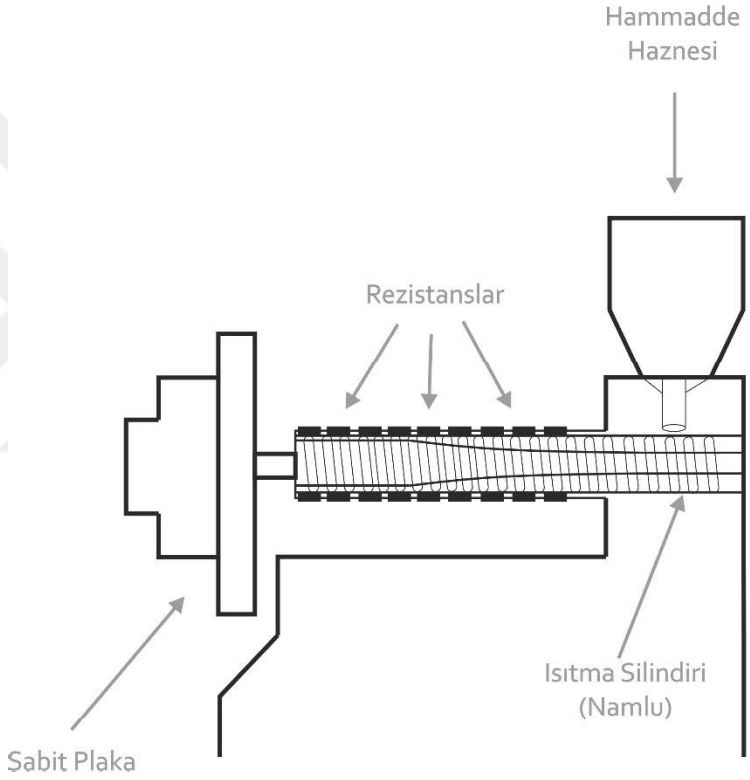
Termoplastik ürünlerin üretimi için en popüler işlem olan enjeksiyon kalıplama, erimiş plastik malzemenin bir hazneden (ısıtılmış silindir) kapalı bir kalıba enjekte edilmesini, plastiğin soğumasını, katılaşmasını sağlar ve bitmiş ürünü kalıptan çıkarır. Makine, malzemeyi enjekte etmek için bir enjeksiyon ünitesinden ve enjeksiyon aşaması sırasında kalıbı kapalı tutmak için kullanılan bir sıkıştırma ünitesinden oluşur. Bu temel makine konsepti Şekil 3.1'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Plastik Enjeksiyon Makinesi Konsepti

Enjeksiyon ünitesi iki tam döngü değerinde malzeme içerecek şekilde boyutlandırılır. Her döngü tamamlandığında enjeksiyon silindirinin kapasitesinin yüzde 50'si boşaltılmalıdır. Boşaltılan bu kapasiteye, enjeksiyon işlemi sırasında malzeme kalıba atıldığı için bir makinenin atış miktarı denir. Örneğin, bir tam döngü için kullanılan toplam malzeme miktarı 56,7 gr ise, bu uygulama için ideal enjeksiyon ünitesi 113,4 gr silindirli bir

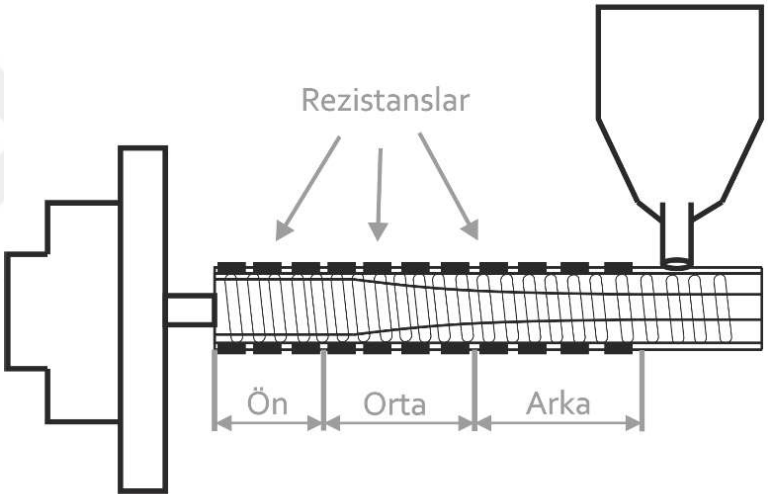
makinede mevcut olacaktır. Atış boyutunu belirleyen, kalıplanan malzemenin ısıya karşı duyarlılığıdır. Bazı malzemeler ısıya karşı çok hassastır ve kolayca yanar, diğerleri ise ısıya karşı daha az hassastır ve yüksek sıcaklıklara daha uzun süre maruz kalmaya dayanabilir. Isı hassasiyeti, malzemenin bozulmaya başlamadan önce ısıtılmış enjeksiyon silindirinde kalabileceği süreyi belirler. Bozulmuş malzeme kaliteli ürünler üretmez. Daha önce belirtilen yüzde 50 'lik kural, izin verilen kalma süresine bakılmaksızın hiçbir malzemenin kalıplanırken bozulmamasını sağlar. Enjeksiyon ünitesi birçok görevi yerine getirmektedir. Bu görevlerin yerine getirilmesine katkıda bulunan birçok bileşen içermektedir. Şekil 3.2 bu bileşenlerin çoğunu göstermektedir.



Şekil 3.2. Enjeksiyon Ünitesi

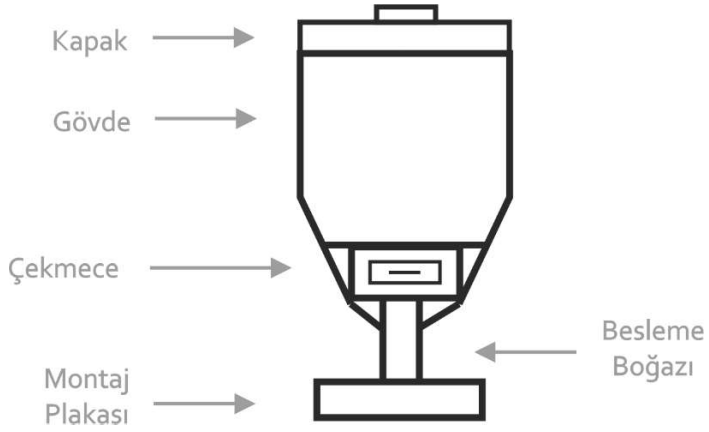
Enjeksiyon ünitesinin kalbi, namlu olarak da adlandırılan ısıtma silindiridir. Genellikle uzun, yuvarlak bir boru şeklinde üretilir ve ucuz bir çelikten yapılır. Tüpün içi, genellikle enjeksiyon işleminin aşındırıcı doğasına dayanabilen yüksek kaliteli sert takım çeliğinden ince bir film tabakası ile kaplanmıştır. Kaplama yüksek krom içeriğine sahiptir. Namlunun dışında kendisine bağlı rezistanslar vardır. Rezistanslar elektriksel olarak aktive edilir ve namlunun tüm uzunluğu boyunca, aralarında minimum boşluk kalacak

şekilde yerleştirilir. Şekil 3.3 'de üç ısıtıcı bölgesi gösterilmektedir. Enjeksiyon silindirinin uzunluğuna bağlı olarak her bölge üç veya daha fazla rezistans içerir. Makinenin kontrol panelinde bulunan bir elektrik ünitesi tarafından ayrı ayrı kontrol edilir. Her bir sıcaklık kontrol ünitesi, sıcaklık bilgisini kontrol ettiği bölgenin alanındaki ısıtma namlusunun duvarındaki bir delikteki bir termokupl ile beslenir. Seçilen sıcaklığa ulaşıldığında termokupl, sıcaklık tekrar düşene kadar rezistanslara elektrik göndermeyi durduran ve döngünün tekrarlandığı kontrol ünitesini bilgilendirir. Minimum ve maksimum sıcaklık sınırları kontrol ünitesinde ayarlanır ve ünite tarafından rezistansların enerjilenmesi veya enerjisinin kesilmesi gerekip gerekmediğini belirlemek için kullanılır. Tek bir kontrol ünitesi ve termokupl tek bir ısıtma bölgesine atanır, ancak her bölgede üç veya daha fazla rezistans vardır, bu nedenle her kontrol ünitesi aslında aynı anda üç veya daha fazla rezistansı kontrol eder.



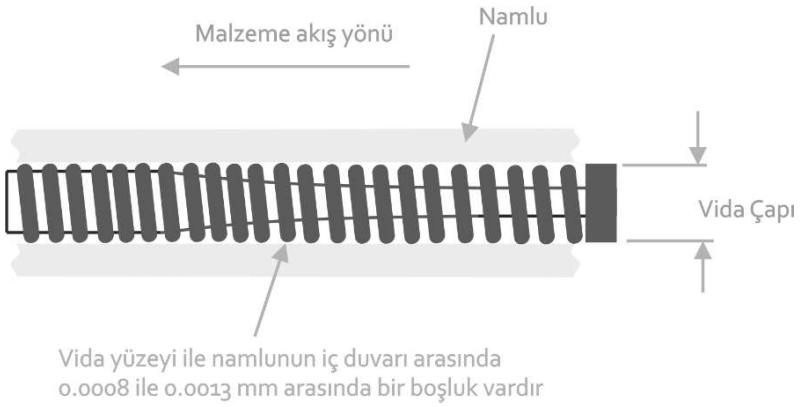
Şekil 3.3. Rezistans Bölgeleri

Hammadde haznesi, Şekil 3.2 'nin sağ üst bölümünde, huni adı verilen bir bileşen bulunmaktadır. Ham plastik malzeme ısıtma silindirine verilmeden önce saklandığı yer burasıdır. Şekil 3.4'te hammaddenin (yerçekimi ile) namluya düşürülmesini kolaylaştırmak için kenarları sivrildiği görülebilir. Hazne, söz konusu makine için yaklaşık 2 saatlik hammadde tutacak şekilde tasarlanmaktadır. Miktar, normal döngülere ve genellikle bu boyuttaki bir makinede üretilen ortalama parça ağırlıklarına dayanır.



Şekil 3.4. Hammadde Haznesi

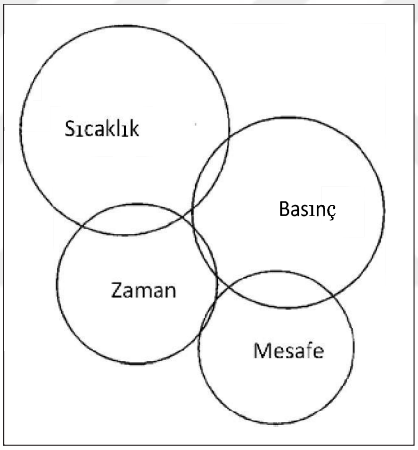
Enjeksiyon vidası, ısıtma tamburunun içine yerleştirilen burgu şeklinde bir çubuktur. Vidanın birincil işlevi, hammaddeyi huniden alıp ısıtma alanına götürmektir. Diğer bir görevi erimiş plastiği karıştırmak ve homojenleştirmektir. Vida ayrıca plastiğin sıcaklığını yükseltmek için ısıtma sürtünmesi de üretir. Sürtünmenin sebebi vida yüzeyi ile namlunun iç duvarı arasında sadece 0,0008 ile 0,0013 mm arasında bir boşluk vardır. Malzeme vida boyunca ileriye doğru getirildikçe, plastik daha fazla sıkılır. Isıtıcı rezistanslar plastiği yumuşatmak için ısının çoğunu verirler ancak oluşan ekstra ısılar, plastiği tamamen ısıtmak için gereken elektrik miktarını azaltır. Şekil 3.5, bir enjeksiyon kalıplama makinesi için tipik bir vida tasarımını göstermektedir. Buna dozajlama vidası denir. Arka bölümün (besleme bölgesi) ön ucundan (ölçüm bölgesi) daha küçük bir vida çapı vardır. Orta alan (eriyik bölgesi), ölçüm ve besleme bölgeleri arasındaki bir geçiş alanıdır. Bu nedenle, plastiğin içinden geçmesi gereken daha küçük bir boşluk vardır.



Şekil 3.5. Enjeksiyon Vidası

3.2. Plastik Enjeksiyon Parametreleri

Çok sayıda değişken enjeksiyon kalıplama işlemini etkiler. Aslında, yakın zamanda yapılan bir çalışmada, süreç üzerinde doğrudan veya dolaylı etkisi olan 200'den fazla farklı parametre verilmiştir. Çok farklı değişkenler olmasına rağmen, enjeksiyon kalıplama işleminin kontrolünü sağlamak imkânsız değildir. Gerekli olan tüm bu parametreleri anlamak, kalıplanmış ürünün genel kalitesi ve maliyet üzerinde en büyük etkiye sahip olanları hedeflemek için daha pratik bir yaklaşımdır. Şekil 3.6 ilgili tüm parametrelerin dört temel kategoriye yerleştirilebildiğini göstermektedir. Kategorilerin göreceli önemi dairelerin büyüklüğüyle gösterilir. Bu nedenle sıcaklık en önemlisidir. Sıcaklığı önem sırasıyla basınç, zaman ve mesafe takip eder. Her parametre diğerine bağımlıdır ve birinin değiştirilmesi diğerlerinden birini veya tümünü etkiler.

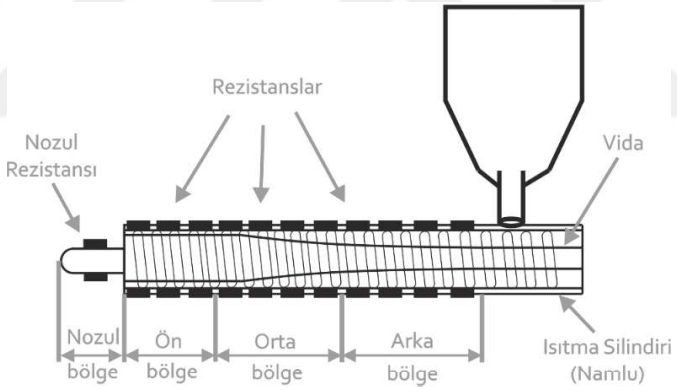


Şekil 3.6. Temel Enjeksiyon Parametreleri

3.2.1. Sıcaklık

Eriyik sıcaklığından kalıp sıcaklığına kadar değişen ve hatta ortam sıcaklığı dahil olmak üzere çeşitli sıcaklıklar enjeksiyonlu kalıplama işlemini etkiler. Erime sıcaklığı, plastik malzemenin akış yolu boyunca tutulduğu sıcaklıktır. Bu yol, plastik malzemenin hammadde hunisinden enjeksiyon ünitesinin ısıtma silindirine aktarıldığı yerde başlar. Daha sonra malzeme, ısıtma silindirinden makine nozuluna aktarılır ve kalıba enjekte edilir. Burada bir yolluk sistemi boyunca kalıpta işlenen boşluklara girmesi gerekir. Eriyik sıcaklığı, ısıtma silindirinden başlayarak yol boyunca kontrol edilmelidir.

Şekil 3.7, ısıtma silindirinin rezistanslar ile sarıldığını göstermektedir. Bunlar, ısıtma silindirinin dışına monte edilen menteşeli bilezikler şeklinde elektrikli ısıtıcılardır. Isıtma silindirinde üç ana ısıtma bölgesi vardır: arka bölge, merkez bölge ve ön bölge. Enjeksiyon işlemi için plastik malzeme hazneden arka bölgeye düştüğünde kademeli olarak uygun sıcaklığa getirilmelidir. Burada ilk ısı malzemeyi yumuşatmaya başlar. Daha sonra malzeme, vidanın yardımıyla sıcaklığın, arka bölgeye göre daha yüksek olduğu orta bölgeye doğru aktarılır. Malzeme ön bölgeye doğru ilerledikçe, sıcaklık tekrar arttırılır. Son olarak malzeme kalıba enjekte edilmeye hazırdır. Bu noktada, önceki kalıplama döngüsü tamamlanana kadar tutulur. Kalıp açılır, parçalar çıkarılır, kalıp kapanır ve bir sonraki döngü başlar. Önceden ısıtılmış plastik malzeme kalıba enjekte edilir. Vida, hammaddeyi ısıtma silindirine getirmek ve önümüzdeki çevrime hazırlamak için döner. Dönerken, yeni malzeme vidanın hareketleri ile enjeksiyon haznesinin iç duvarı arasında sıkıştırılır. Çizelge 3.1, bazı yaygın plastiklerin eriyik sıcaklıklarını listelemektedir. Eriyik sıcaklığı, plastik kalıba girmeden önce makineden çıkarken nozulda ölçülür.



Şekil 3.7. Isıtma Bölgeleri

Yalıtım örtüleri, enjeksiyon silindirinin sıcaklığını daha iyi düzenlemek ve kontrol etmek için bir yalıtım örtüsü kullanılır. Bu, ısıtma silindirinin dışına, doğrudan tüm ısıtıcı bantlarının üzerine oturan ve ısının atmosfere kaybolmasını önleyen yanmaz bir cekettir. Yalıtım örtüleri ile ısıtıcı bantlar tarafından üretilen ısı sadece namluya doğru yönlendirilir; plastiği ısıtmak için daha az enerji gerekir ve işletme maliyetleri daha düşüktür. Yalıtımın kullanılması plastiği yüzde 25 veya daha fazla ısıtmak için enerji maliyetlerini düşürebilir.

Çizelge 3.1. Bazı Plastiklerin Ergime Sıcaklıkları

Malzeme	Sıcaklık, °C
Asetal (kopolimer)	204
Acetal (homopolimer)	218
Akrilik	218
Akrilik (revize edilmiş)	260
ABS (orta etkili)	204
ABS (yüksek etkili ve/veya alev geciktiricili)	216
Selüloz Asetat	196
Selüloz Asetat Bütirat	177
Selüloz Asetat Propiyonat	177
Etilen Vinin Asetat	177
Sıvı Kristal Polimer	260
Naylon (Tip 6)	260
Naylon (Tip 6/6)	274
Polyallomer	252
Polyamide-imid	343
Poliarilat	371
Polibutilen	246
Polikarbonat	288
Polietereterketon (PEEK)	382
Polieterimit	371
Polietilen (düşük yoğunluklu)	163
Polietilen (yüksek yoğunluklu)	204
Polimetilpenten	135
Polifenilen oksit	196
Polifenilen sülfür	302
Polipropilen	177
Polistiren (genel amaçlı)	177
Polistiren (orta etkili)	193
Polistiren (yüksek etkili)	199
Polisülfon	371
PVC (sert)	177
PVC (esnek)	163
Stiren akrilonitril (SAN)	204
Stiren bütadien	182
Tetrafluoroetilen	316
Termoplastik polyester (PBT)	218
Termoplastik polyester (PET)	232
Üretan elastomer	218

Plastik malzeme artık kalıba akmaya hazırdır. İlk olarak, makine tarafından sağlanan son ısıtma bölgesi olan makine memesinden geçmelidir. Malzeme memeden çıkıp kalıba girdikten sonra, kalıp ısıyı emdiğinden hemen soğumaya başlar. Bu ısının emilme hızı, malzemenin katılaşmaya ve hareket etmeyi durdurmadan önce ne kadar akacağını belirler. Her ürün, tasarımına ve plastik malzemesine bağlı olarak belirli soğutma hızları gerektirir. Bu soğutma hızı ürün kalitesi için kritik öneme sahiptir. Bu nedenle, plastiğin soğutma hızını ayarlamak için kalıp sıcaklığı ayarlanmalıdır.

Kalıp sıcaklığı kontrolü, kalıbı sıcaklık kontrol ünitesine bağlayarak yapılır. Su kalıp içinde dolaştırılır. Isıtılarak veya soğutularak önceden belirlenmiş bir sıcaklıkta tutulur. Her plastik ve ürün kombinasyonu, kaliteli kalıplama sağlamak için kalıbın korunması gereken belirli bir sıcaklığa sahiptir. Çizelge 3.2, yaygın plastikler için başlangıç noktaları önerir. Kalıp sıcaklığı doğrudan bir pirometre cihazı üzerinde katı bir sonda ile aletin kalıp yüzeyinden ölçülür. Genellikle, çeşitli alanlardan okumaların ortalaması alınır. Bu sıcaklıklar yalnızca başlangıç noktalarıdır ve belirli uygulamalar için ayarlanması gereklidir.

Soğutma işleminin amacı kalıplanmış plastiğin sıcaklığını tekrar katılaştığı noktaya düşürmektir. Plastik bu noktaya ulaştığında, kalıptan göreceli olarak yapısal güvenlikle çıkarılabilir. Bu, plastik parçanın aşırı hareket etmeyeceği, plastik soğumaya devam ederken çarpıklığa, bükülmeye veya büzülmeye bağlı diğer sorunlara neden olacağı anlamına gelir.

Kalıplanmış termoplastik ürünler stabil gibi görünse de kalıptan çıkarıldıktan sonra 30 güne kadar soğumaya ve küçülmeye devam ederler. Toplam büzülmenin çoğu (%95) plastiğin kalıp içinde soğuduğu süre zarfında meydana gelecektir. Kalan yüzde 5, kalıptan çıkarıldıktan sonraki ilk birkaç saat içinde gerçekleşmektedir. Bu nedenle kalıplanmış parçaların stabilize edilmelerine izin verildikten sonra incelenmesi önemlidir. İlk muayene, parça çıkarıldıktan sonra soğuduğunda yapılabilir. Ancak daha hassas inceleme ancak parça 2- 3 saat veya daha fazla soğuduktan sonra yapılabilir.

Eriyik sıcaklığı ve kalıp sıcaklığının yanı sıra dikkate alınması gereken presin hidrolik sisteminin sıcaklığı da vardır. Bu sistemlerde hidrolik yağın sıcaklığı, çoğu durumda 27 ve 60 °C arasında tutulmalıdır. Yağ çok soğuksa, kalın (viskoz) olacaktır ve hidrolik bileşenlerin yavaş hareket etmesine neden olacaktır. Çok sıcaksa parçalanır ve bileşenlerin yapışmasına veya vanaların arızalanmasına neden olur. Yağın sıcaklığı, enjeksiyon makinesine monte edilen bir ısı eşanjörü tarafından düzenlenir. Bu ısı eşanjörü araba üzerindeki bir radyatör gibi davranır. Dolu tüpler etrafında su dolaştırılarak yağı soğutur. Bu tüpler temiz tutulmalı ve bir asit temizleyici ile periyodik olarak yıkanmalıdır. Yağın aşırı ısınmasına izin verilirse, bu ısı sonunda kalıbın monte edildiği merdaneler de dahil olmak üzere tüm makine boyunca aktarılır. Bu kalıbın aşırı ısınmasına neden olur ve kalitesiz parçalara neden olur.

Ortam sıcaklığı da bir endişe kaynağıdır. Belirli bir iş, birisi bir yükleme kapağını açana veya kalıplama presinin yakınında bir soğutma fanını açana kadar mükemmel bir şekilde çalışıyor olabilir. Bu, makineyi çevreleyen havanın sıcaklığında bir değişikliğe neden olur ve bu da makinenin çeşitli sıcaklık kontrol üniteleri tarafından sağlanan okumalarda dalgalanmalara neden olur. Enjeksiyon işlemi daha sonra ortam koşullarını değiştirmek için başka bir değişiklik meydana gelmediği varsayılarak yaklaşık 2 saatlik bir süre boyunca kararsız hale gelir. Daha fazla değişiklik olursa, işlem daha uzun süreler boyunca kararsızdır.

3.2.2. Basınç

Enjeksiyon makinesinde basınç ve basınç kontrolü gerektiren iki alan vardır;

- Enjeksiyon ünitesi
- Kelepçe ünitesi

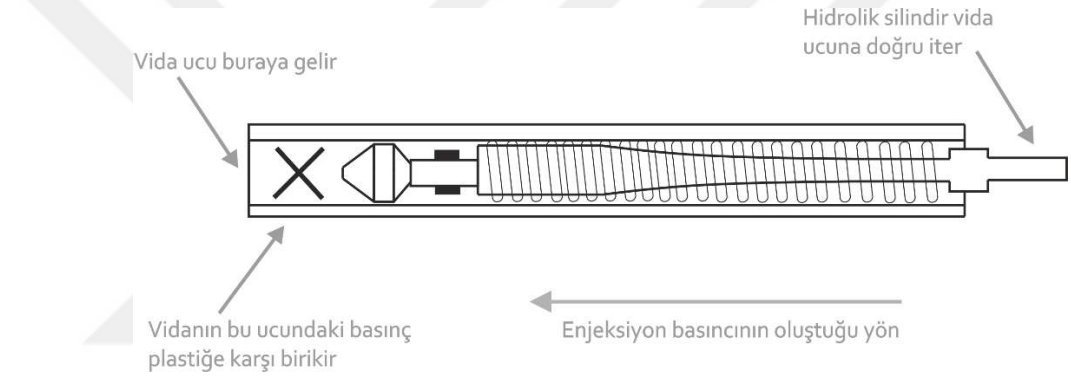
Kelepçe ünitesi, kalıplama işlemi sırasında enjeksiyon ünitesi tarafından geliştirilen basıncın üstesinden gelmek için yeterli kelepçe basıncı uygulamalıdır. Enjeksiyon ünitesi tarafından üç temel basınç tipi geliştirilmiştir;

- Başlangıç basıncı
- Tutma basıncı
- Geri basınç

Çizelge 3.2. Bazı Plastikler İçin Önerilen Başlangıç Sıcaklıkları

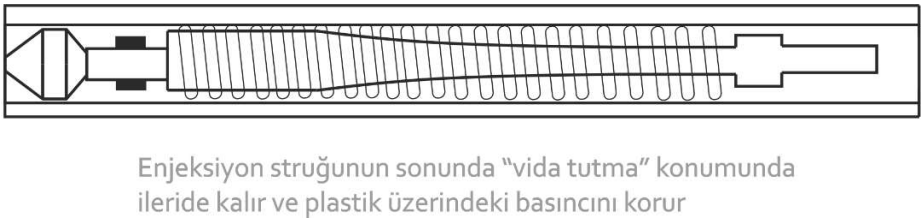
Malzeme	Sıcaklık, °C
Asetal (kopolimer)	93
Acetal (homopolimer)	99
Akrilik	82
Akrilik (revize edilmiş)	93
ABS (orta etkili)	82
ABS (yüksek etkili ve/veya alev geciktiricili)	85
Selüloz Asetat	66
Selüloz Asetat Bütirat	49
Selüloz Asetat Propiyonat	49
Etilen Vinin Asetat	49
Sıvı Kristal Polimer	121
Naylon (Tip 6)	93
Naylon (Tip 6/6)	79
Polyallomer	93
Polyamide-imid	204
Poliarilat	135
Polibutilen	93
Polikarbonat	104
Polietereterketon (PEEK)	193
Polieterimit	107
Polietilen (düşük yoğunluklu)	27
Polietilen (yüksek yoğunluklu)	43
Polimetilpenten	38
Polifenilen oksit	60
Polifenilen sülfür	121
Polipropilen	49
Polistiren (genel amaçlı)	60
Polistiren (orta etkili)	71
Polistiren (yüksek etkili)	82
Polisülfon	121
PVC (sert)	60
PVC (esnek)	27
Stiren akrilonitril (SAN)	38
Stiren bütadien	38
Tetrafluoroetilen	82
Termoplastik polyester (PBT)	82
Termoplastik polyester (PET)	99
Üretan elastomer	49

Başlangıç basıncı, erimiş plastiğe uygulanan ilk basınçtır. Enjeksiyon vidasının arka ucunu iten hidrolik basıncının bir sonucu olarak gelişir (bkz. Şekil 3.8). Ana sistem tarafından geliştirilen basınç miktarı 2000 psi (13789 kPa) düzeyindedir. Bazı sistemler bundan daha fazlasını üretebilir, ancak 2000 psi en yaygın hat basıncıdır. Bu basınç, enjeksiyon vidasının tasarımı ve şekli ile enjeksiyon ünitesinin memesinde (plastiğin kalıba ilk girdiği yerde) maksimum 20000 psi'ye (137890 kPa) dönüştürülür. Çoğu durumda, bir kalıbı doldurmak için tam 20000 psi gerekli değildir. Çoğu ürün, 5000 ila 15000 psi (34472 ila 103418 kPa) aralığında kalıplanabilir. Gerçekte gerekli olan basınç; kalıplanan plastiğe, plastiğin viskozitesine, akış hızına, plastiğin ve kalıbın sıcaklığına bağlıdır. İdeal durum, kalıbı başlangıçta en kısa pratik basınçta doldurabilmektir. Kalıbın ilk dolumunu oluşturmak için başlangıç enjeksiyon basıncı kullanılır.



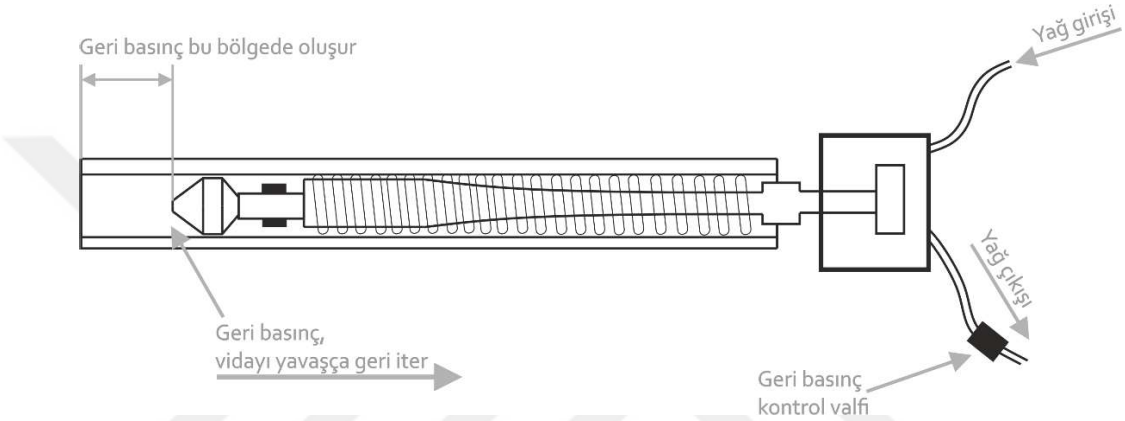
Şekil 3.8. Başlangıç Basıncı

Tutma Basıncı, ilk enjeksiyon stroğunun sonunda uygulanır (Şekil 3.9). Kalıbın son dolumunu tamamlamak için kalıp boşluğunda istediğimiz geometride kalırken katılaşabilmesi için enjekte edilen plastiğin karşı basıncını tutmak üzere tasarlanmıştır. Kalıbın doldurulmasını tamamlamak ve plastik malzemeyi kalıp boşluğu geometrisinde oluşturmak için tutma basıncı kullanılır.



Şekil 3.9. Tutma Basıncı

Yukarıda belirtilen enjeksiyon aşamalarından sonra geri basınç uygulanır. Tutma basıncı fazı tamamlandığında, bir sonraki döngüye hazırlanmak ve yeni malzemeyi kalıba getirmek için vidayı döndürmeye başlamak üzere makineye bir sinyal gönderilir. Geri basınç, enjeksiyon basıncına kıyasla küçüktür. Tek gereken minimum 50 psi (345 kPa) ve maksimum 500 psi (3447 kPa). Geri basınç kullanımı, parça ağırlığı, yoğunluk ve malzeme görünümünde tutarlılığın sağlanmasına yardımcı olur (Şekil 3.10). Ayrıca, malzemenin önceden hazırlanmasıyla elenmemiş havanın veya nemin dışarı atılmasına yardımcı olur. Bu kalıplanmış üründeki boşlukları en aza indirir (Bryce, 1996).

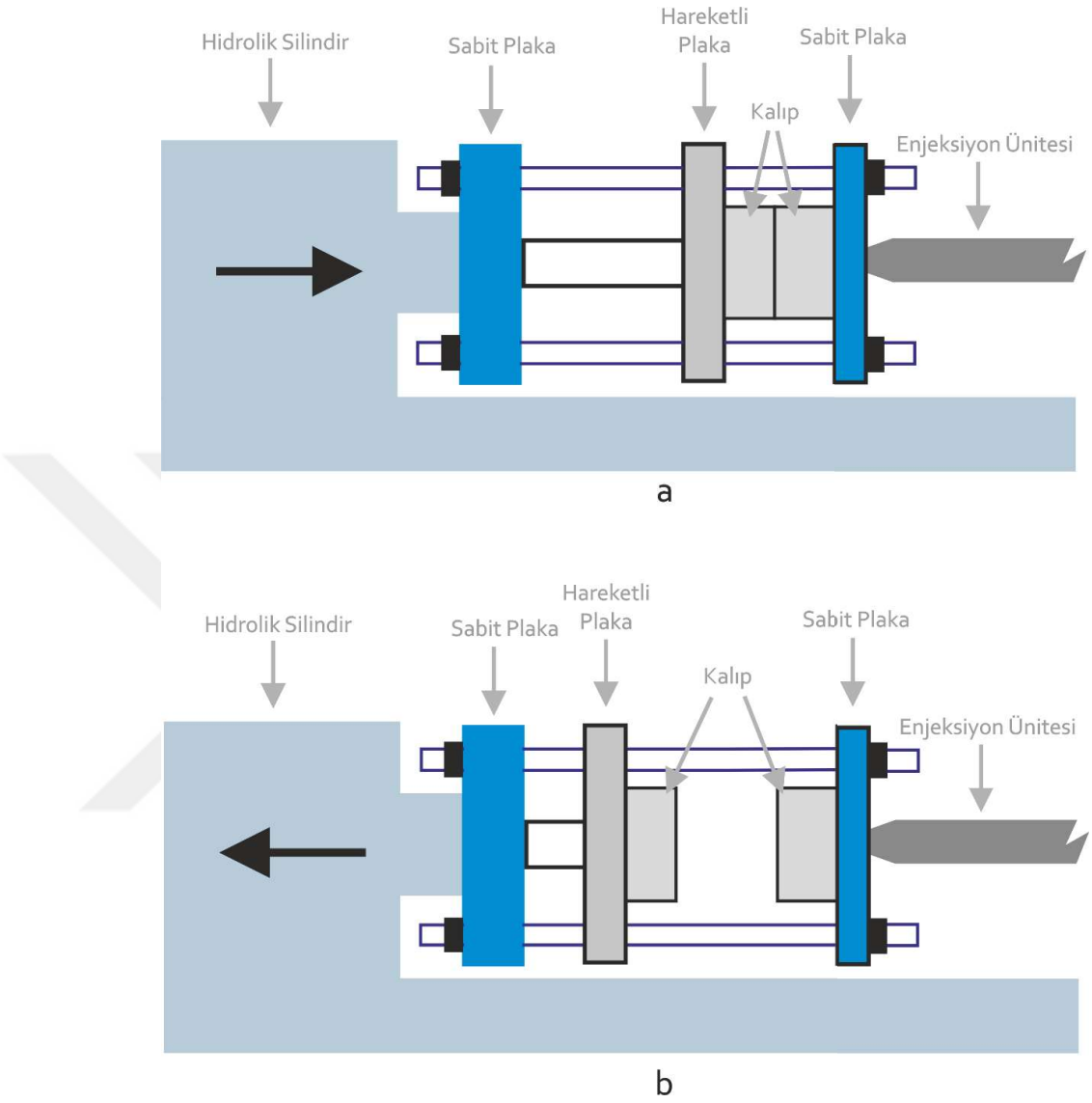


Şekil 3.10. Geri Basınç

Kelepçe basıncı geliştirmenin amacı, enjeksiyon basıncı plastiği kapalı kalıba ittiğinde oluşan kuvvetlere karşı kalıbı kelepçelemektir. Bu nedenle, kenetleme kuvveti miktarı en azından enjeksiyon kuvveti miktarına eşit olmalıdır. Kelepçe basıncı kalıba hidrolik veya mekanik olarak uygulanır. Her yöntemle ilişkili avantajlar ve dezavantajlar vardır.

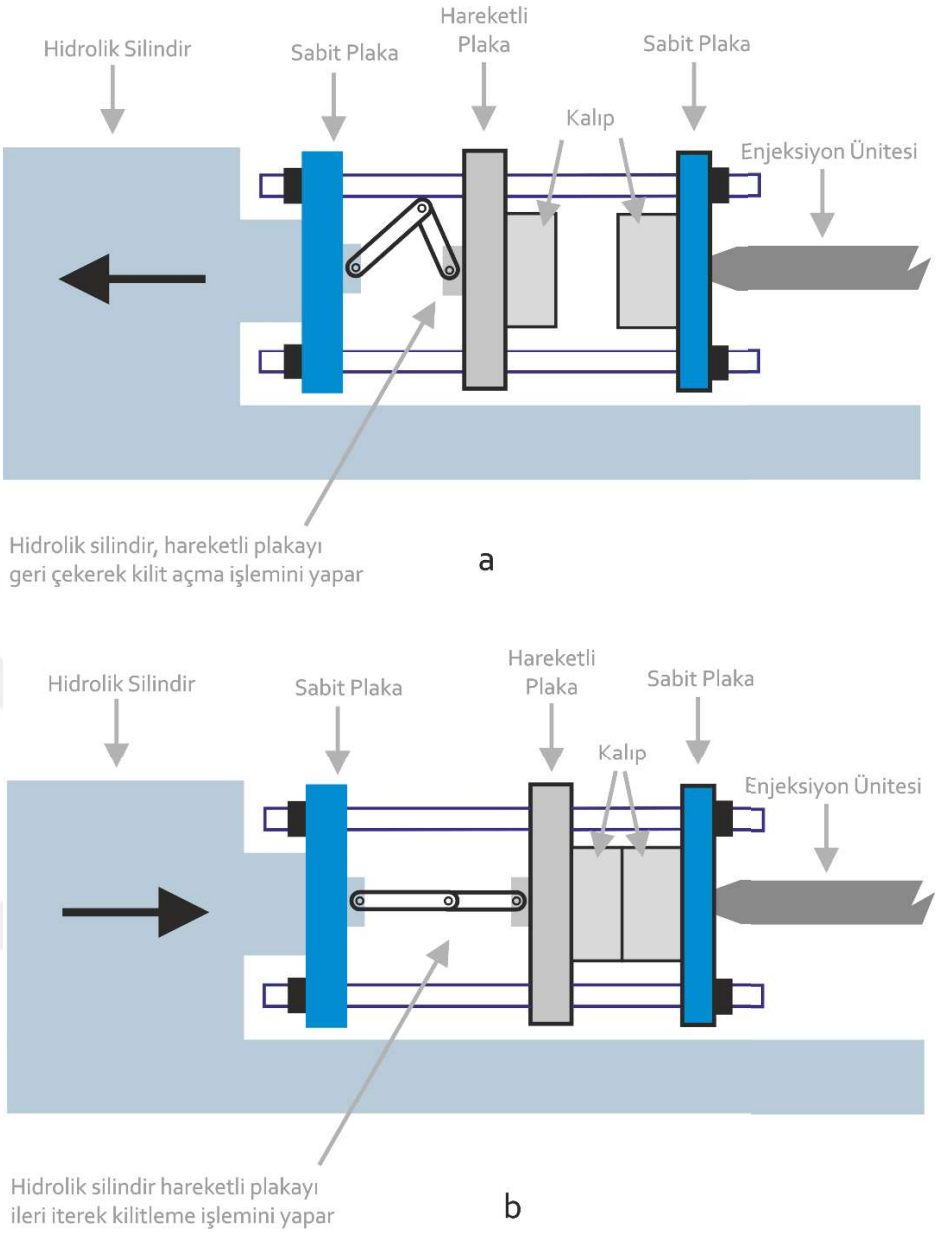
Hidrolik kelepçe sisteminde, kenetleme kuvveti bir hidrolik silindir tarafından geliştirilir. Silindirden bir piston, kalıbın monte edildiği hareketli bir plakaya tutturulmuştur (Şekil 3.11'a ve b). Bu tip kelepçe sisteminin en büyük avantajı kelepçe basıncının geniş bir aralıkta ayarlanabilmesidir. Örneğin, makine 250 tonluk bir kelepçe kuvvetinde derecelendirilmişse, kelepçe kuvveti yaklaşık 50 tondan tam 250 tona (445 ila 2225 kN) kadar herhangi bir yere ayarlanabilir. Bu, belirli bir iş için uygun kelepçe tonajının kullanılmasına izin verir ve harcanan enerji miktarını en aza indirir. Hidrolik kelepçenin en büyük dezavantajı, tonaj gereksinimleri maksimum dereceye yaklaştığında, aşırı

enjeksiyon basıncının kelepçe kuvvetinin üstesinden gelebilmesi ve kalıbı açabilmesidir (Reinhold, 1976).



Şekil 3.11. Hidrolik Kelepçe Sistemi; açık (a), kapalı (b)

Mekanik kelepçe sistemi, kalıbı kapatmak için mafsal ve makas mekanizması kullanır. Makas, kalıbın monte edildiği hareketli plakaya tutturulur. Kelepçe açıkken (Şekil 3.12a), küçük bir hidrolik silindir merkez çizgileri "boyunca iterek kolları çalıştırır. Piston ileri doğru hareket ederken, kolları birlikte çekerek kalıbı kapatır (Şekil 3.12b). Kalıbın tam tonajın altında kapanması için, mafsalların aslında kilitlemek için merkezden geçmesi gerekir (Reinhold, 1976).



Şekil 3.12. Mekanik Kelepçe Sistemi; açık(a), kapalı(b)

Kilitlenmezlerse, ileri pozisyonda tutmayacaklar ve enjeksiyon basıncı kalıbı açacaktır. Mekanik sistemin temel avantajı enjeksiyon basınçları gerekenin ötesinde olsa bile kalıbın açılmasının neredeyse imkânsız olmasıdır. Enjeksiyon basınçları uzun süre gereksinimlerin ötesinde tutulursa makine hasarı meydana gelir. Ancak sistem kilitlendikten sonra, tam tonaj kuvvetinin mevcut olduğundan şüphe yoktur. Bu sistemin iki farklı dezavantajı vardır. İlk olarak, mafsal bağlantılarında önemli ölçüde aşınma olmaktadır ve burçlar düzenli olarak değiştirilmelidir. İkincisi, bu sistemde ayarlama için

çok az boşluk yeri vardır. Makine 250 ton olarak değerlendirilirse, mevcut tek tonaj 250 tondur. Minimal dışında azaltılamaz. Bu nedenle, bu baskıda, ezilmeden belirgin hasar olasılığı olmadan daha küçük, sınırda bir kalıp çalıştırılamaz. Bazı makineler, kalıp kelepçesi için hem hidrolik hem de mekanik sistemleri birleştirir. Bazıları hidrolik silindirler yerine mekanik hareketi gerçekleştirmek için elektrik motorları içerir (Reinhold, 1976).

3.2.3. Zaman

Enjeksiyon kalıplama işlemi sırasında birçok iç faaliyet gerçekleşmektedir. Bazıları diğerleriyle aynı anda gerçekleşir (paralel faaliyetler) ve bazıları diğerlerinin tamamlanmasını beklemelidir (seri faaliyetler). Toplam döngü süresi, tüm bu faaliyetler için gereken sürenin bir ölçüsünü sağlar. Bu genellikle kapıdan kapıya döngü süresi olarak adlandırılır. Makine operatörü, makinenin güvenlik kapısını kapatır kapatmaz genel döngüyü zamanlamaya başlanır. Zamanlama, operatör bir sonraki çevrimi başlatmak için aynı kapıyı kapatana kadar devam eder. Bu iki eylem arasında geçen sürenin tamamı kapıdan kapıya veya toplam döngü süresidir. Çevrim süresi, ürünü üretmek için gereken gerçek maliyeti belirlemek için kullanılır. Bu da ürünün satış fiyatını belirlemek için kullanılır. Gerçek kapıdan kapıya konseptine göre, toplam genel döngü, operatörün güvenlik kapısını kapatmasıyla başlar ve tipik zaman tahminleriyle Tablo 3 - 3'te listelenen aktiviteleri içerir. Sayıların toplamı 42 saniyeye ederken, gerçek toplam döngü yaklaşık 30 saniyedir, çünkü bazı işlemler diğerlerinin çalıştığı süre boyunca gerçekleştirilir, bu nedenle bir çakışma vardır. Bu maddelerin her biri Çizelge 3.3'te tarif edilmiştir.

Kalıp kapanma süresi, kalıbın hareket eden yarısının kalıbın sabit yarısını karşılamak için tüm mesafeyi kat etmesi ve tam sıkma kuvveti ile kilitlenmesi için geçen süredir. Bu hareket genellikle operatör döngüyü başlatmak için güvenlik kapısını kapattığında bir limit anahtarının kapatılmasıyla başlatılır. Aslında iki kalıp kapatma aşaması vardır. Birincisi, iki kalıp yarımını düşük basınç altında hızlı bir şekilde bir araya getiren ilk kapanıştır. Bu yaklaşık 1 ila 2 saniye sürer. Ancak bu işlem, kalıp yarıları yarım santimetre veya daha az tam kapanma noktasına geldiğinde durur. Bu noktada hız

yavaşlar. Bu, bir önceki döngüden kopmuş plastik bir parça gibi, içinde bir engel varsa, yüksek basınca girmeden önce kalıbın tamamen kapanmasını önleyen bir güvenlik özelliğidir. Ayrıca maçaların, kamların veya diğer bileşenlerin ezilme tehlikesi olmadan yavaş çalışmasına izin verir.

Çizelge 3.3. Tipik Bir Enjeksiyon Döngüsü

Parametre	Ortalama Süre (saniye)
Kapı kapanma süresi	1
Kalıp kapanma süresi	4
Enjeksiyon süresi	3
Enjeksyion tutma süresi	5
Soğuma süresi	12
Vida geri dönüş süresi	8
Kalıp açılma süresi	4
Çıkarıcı süresi	1
Parça çıkarma süresi	2
Kalıp inceleme, temizleme süresi	2

İlk enjeksiyon süresi; kalıp tamamen kapandığında bir limit anahtarı, erimiş plastiği kapalı kalıba itmek ve enjekte etmek için enjeksiyon vidasına işaret eder. Vida bu noktada dönmez, sadece malzemeyi kalıba zorlamak için bir piston görevi görür. Çoğu durumda, süre 2 saniyeden az ve nadiren 3 saniyeden fazladır. Bazen, makine tasarımına bağlı olarak, bu eylem iki veya üç küçük eyleme ayrılır. Daha sonra, toplam enjeksiyon süresi normal olarak 4 ila 5 saniyeyi aşmaz. İlk enjeksiyon süresi bir zamanlayıcı ile kontrol edilir.

Enjeksiyon bekleme süresi; ilk enjeksiyon süresi için zamanlayıcı (enjeksiyon ileri alma zamanı olarak da adlandırılır) enjeksiyon vidasının ileri ittiği toplam süreyi kontrol eder. İlk enjeksiyon süresi o zamanın ilk kısmıdır ve enjeksiyon tutma ikinci kısımdır. Tutma süresi, enjeksiyon vidasının kalıba enjekte edildikten sonra plastiğe karşı basıncı muhafaza ettiği süredir. Erimiş plastik, kalıp boşluğuna yolluktan girer. Yol, plastiğin kalıptaki boşluk görüntüsünü "gördüğü" ilk noktadır. Gerekli tüm malzeme yoldan geçtiğinde ve boşluk geometrisi doldurulduktan sonra, plastiğin tutma basıncı altında, tamamen katılaştığı noktaya kadar soğumasına izin verilir. Normalde boşluk geometrisinin en ince kısmı olduğu için yolluk, katılaşan ilk şeydir. Bunu yaptığında,

basıncı korumak için bir neden yoktur. Çünkü boşluktaki plastik katılaşmış yolluğun ötesindedir. Enjeksiyon ünitesinden gelen basıncın artık plastik malzeme üzerinde bir etkisi yoktur. Böylece, yolluğa karşı sadece yolluğun donması için yeterince uzun basınç uygulanır.

Soğutma süresi muhtemelen tüm enjeksiyon prosesinde en önemli zamandır. Plastik malzemenin katılaştığı noktaya soğuması için gereken süre ve plastik parçanın çıkarma işlemine dayanacak kadar sert hale gelmesi için fazladan bir süre (bitmiş kalıplanmış ürünün olduğu tüm döngü tamamlandıktan sonra kalıptan dışarı itilir). Plastik katılaşmaya yetecek kadar soğusa da çıkartılacak kadar sert olmayabilir. İlk sertleşme hızlıdır ve toplam sertleşmenin yüzde 95'i kalıpta gerçekleşir. Ancak diğer yüzde 5'i kalıp dışında gerçekleşir.

Plastik ürünün dış kaplaması yeterli derinliğe kadar katılaşırsa, kalan soğutmanın kalıplanan parça üzerinde kayda değer bir etkisi olmayacaktır. Ancak cilt çok inceyse, kalan soğutma büzülme stresinin oluşmasına neden olur. Kalıplanmış parça bükülebilir, kabarır veya çatlayabilir. Bu sorunları en aza indirmenin anahtarı, kalıbın içindeki parçayı yeterince uzun bir süre kalıp içinde tutmaktır.

Kalıp açma süresi, kalıbın açılması için geçen süredir. Genellikle kalıp iki aşamada açılır. İlk aşama çok yavaş ve kısa mesafedir. Bu, kalıplama işlemi sırasında oluşan vakumun kısmen dağılmasını sağlar. Plastik kalıba enjekte edildiğinde, kapalı kalıba sıkışan havayı alır. Hava yer değiştirdiğinde vakum oluşur. Bu vakum, iki kalıp yarımının birbirine yapışmasını istemesine neden olur. Vakum serbest bırakılmazsa, makine açıldığında iki yarım birlikte kalır. Bu durum kırık kelepçelere, hasarlı kalıplara ve ekipmanlara neden olur. Böylece kalıbı yavaşça açarak vakumun kısmen serbest kalmasına izin verilir. Vakumun bir kısmını boşaltmak için yaklaşık 60 mm açıldıktan sonra kalıbın tamamen açılmasına izin verilir. Kalıpta kırılgan kamlar, sürgüler veya kaldırma cihazları varsa, 60 mm'den daha uzun bir mesafe için yavaşça açılması gerekebilir. Bu cihazların çarpma veya titreme olmadan çalışmasına izin verecektir. Daha sonra kalıbın tamamen açılmasına izin verilir. Bu son açıklığın hızı, ilk açıklıktan çok daha yüksektir ve makine izin verdiği kadar hızlı bir şekilde ayarlanabilir.

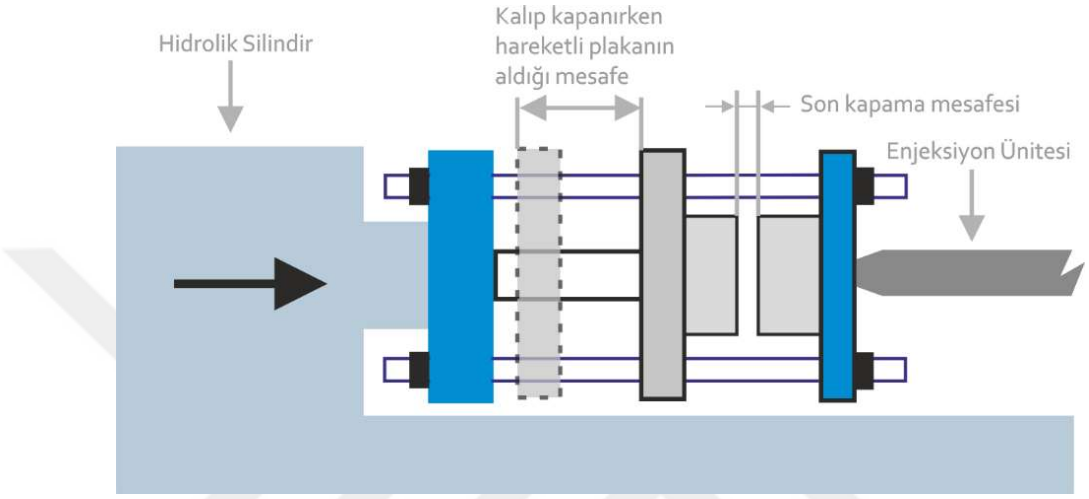
İtme süresi, çevrim tamamlandığında ve kalıp tamamen açıldığında, itme sisteminin öne çıkmasına ve parçaları kalıptan çıkarmasına izin verilir. İtme stroğunun kendisi normal olarak, doğru miktarda itme gerçekleştiğinde çalışan başka bir limit anahtarı tarafından kontrol edilir. Ancak sistemin öne çıktığı hız kontrol edilmelidir ve bu gereken süreyi belirler. Boşluk geometrilerinde hala kısmi bir vakum vardır. Bu nedenle itme sistemi, vakumu aşmak için yeterince yavaş, ancak pratik olacak kadar hızlı bir şekilde (genellikle küçük bir hidrolik silindir tarafından) itilir. İtme, gerekli itme uzunluğuna bağlı olarak normalde 1 veya 2 saniye sürer. Daha sonra itme sistemi bir sonraki döngü başlamadan önce geri dönmelidir. Bazı durumlarda, kalıbın kapatılması bu eylemi gerçekleştireceğinden sistemi geri getirmek gerekli değildir. Ayrıca, itmenin zor olduğu bir parçayı itebilmek için çift itmenin gerekli olduğu durumlar da vardır. İtme sisteminin bir sonraki döngü için hazırlıkta geri dönmeden önce ileri, geri ve tekrar ettiği anlamına gelir. Bu uygulamaya nabız atışı denir ve aslında itme süresinin miktarını ve itme sistemindeki aşınma miktarını iki katına çıkarır.

Parça çıkarma süresi, parçayı kalıptan çıkarmak için bir operatörün (veya robotun) kullanılması gereken durumlarda, o işlem için zamana döngü dahil edilmelidir. Bu, zorluk derecesine bağlı olarak genellikle 2 veya 3 saniye içinde yapılabilir. Bir operatör kullanılmazsa ve parçalar otomatik olarak düşse bile, parçaların tekrar kapanmadan önce kalıptan düşmesi için zaman tanınmalıdır. Bir sonraki döngüyü başlatmak için operatörün (eğer mevcutsa) kapıyı kapatmadan önce kalıbı görmesini sağlamak iyi bir uygulamadır. Bu süre zarfında, operatör flaş, gres, gaz tahliyesi veya diğer kirletici maddeleri temizlemek için kalıp yüzeylerini hızla temizleyebilir.

3.2.4. Mesafe

Mesafelerin kontrolü makul sürede yüksek kaliteli ürünler üretmek için kritik öneme sahiptir. Bunun nedeni, aşırı mesafenin aşırı zaman gerektirmesidir. Mesafe zamanla çok yakından ilişkili olduğu için, mesafeyi içeren çeşitli fonksiyonlar temel olarak yukarıda listelenen zamanla aynıdır. Kalıp kapama mesafesi belirtildiği gibi, kalıp kapatmanın iki aşaması vardır. Kapanma mesafesinin büyük kısmını kapsayan ilk kapanma ve kapanma mesafesinin kalan küçük kısmını kapsayan son kapanma (bkz. Şekil 3-13). İlk kalıp

kapamasının kat ettiği mesafe, kalıp yarımlarını dokunmadan 6- 13 mm arasında almalıdır. Bu kapanma mesafesi, kalıbı mümkün olan en kısa sürede kapatmak için normalde yüksek hızda hareket ettirilir. Böylece toplam döngü süresi en aza indirilebilir. Ancak, kalıp yarılarının bu yüksek hızda birlikte çarpmasına izin verilirse sonunda çatlar ve kırılırlar. Ayrıca kalıpta (kırık plastik parçası gibi), kalıp üzerine kapanmasına izin verilirse ciddi hasara neden olacak bir engel olabilir.

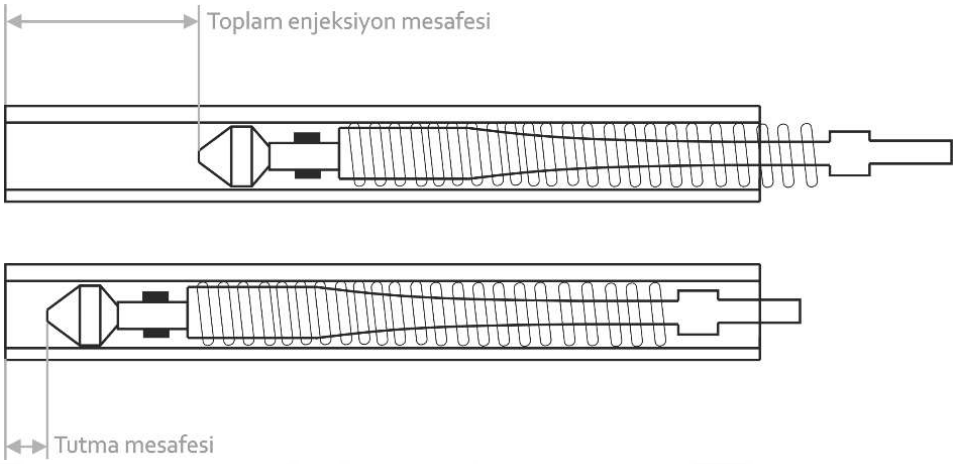


Şekil 3.13. Kalıp Kapanma Mesafesi

Enjeksiyon mesafesi, enjeksiyon işlemi en az iki aşamada gerçekleştirilir: başlangıç enjeksiyon ve enjeksiyon tutma (bkz. Şekil 3.14). İlk enjeksiyon mesafesi, amaçlanan malzemenin yaklaşık yüzde 95'inin enjekte edildiğinden emin olmak için ayarlanmalıdır. Bu mesafe, makinenin ne kadar büyük olduğuna ve bir atış için malzeme kapasitesinin ne kadar enjekte edildiğine bağlı olarak değişir. Belirtildiği gibi, ideal atış boyutu namlu kapasitesinin yüzde 50'sidir. Bu nedenle, atış boyutunu yöneten sınır anahtarı ölçeğinin yarısına kadar ayarlanacaktır. Bu ölçek genellikle fiziksel olarak enjeksiyon haznesinin üzerinde bulunur, ancak bazen elektronik kontrol sisteminin bir parçasıdır. Her durumda, ölçek artımlıdır ve namlu kapasitesinin yüzde 0 ila 100'ü arasında herhangi bir yere ayarlanabilir.

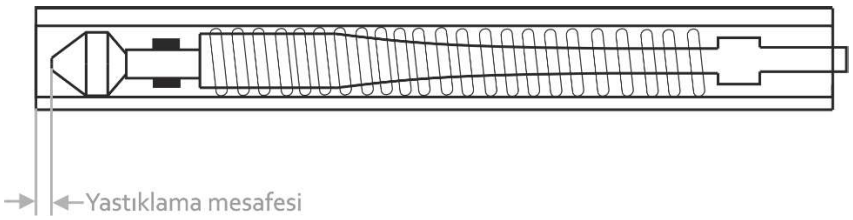
Enjeksiyon tutma mesafesi, ilk enjeksiyon ayarı gerekli malzemenin yüzde 95'inin (yaklaşık olarak) enjekte edilmesine izin verdikten sonra, makine tutma basıncına geçer. Bu kalıbın doldurulmasını bitirir ve enjekte edilen malzemeye karşı basınç uygular.

Tutma basıncının devralındığı nokta, enjeksiyon vidasının stroğunun hemen sonuna kadar ayarlanmalıdır.



Şekil 3.14. Enjeksiyon ve Tutma Mesafeleri

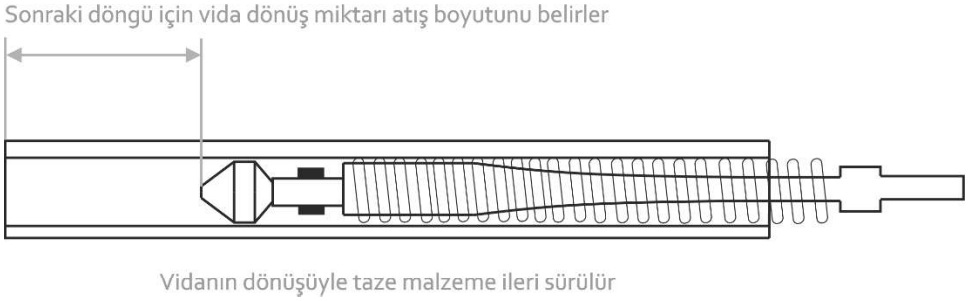
Yastıklama, tutma basıncının uygulanabilmesi için namlunun içinde kalan bir yastıklama olmalıdır (bkz. Şekil 3.15). Yastıklama yaklaşık 3 ila 6 mm kalınlığında olmalıdır. Yastıklama, kalıbı doldurmak için gerekenden biraz daha büyük bir toplam atış boyutu oluşturularak oluşturulur (Rosato, 2000).



Şekil 3.15. Yastıklama

Vida dönüş mesafesi, vida geri dönüş işleminin birincil işlevi (bkz. Şekil 3.16), bir sonraki döngü için yükü hazırlamaktır. Enjeksiyon aşamaları tamamlandıktan sonra, vida, hammaddeyi ısıtma silindirinde öne çıkarmak için döner. Malzeme öne doğru getirilirken, vidayı geriye doğru iter. Bu, vida ayar noktasına dönene kadar devam eder. Bu noktada vida dönmeyi durdurur. Namluda kalıbı doldurmak için gerekenden biraz daha fazla malzemenin (bir sonraki atış için) olduğu bir noktaya ayarlanmalıdır. Ekstra olan, yastığı oluşturmak için kullanılacaktır. Vida geri dönüş hızı, vida tahrik motorunun dakikadaki devir sayısı ayarlanarak değiştirilebilir. Genel olarak, devir ne kadar yüksek olursa vida

o kadar hızlı geri döner. Ancak, her malzemenin enjeksiyon için en iyi hazırlandığı bir dizi devir vardır ve her vida tasarımının uygun vida dönüş hızı üzerinde bir etkisi vardır. Toplam devir aralığı normal olarak 30 ila 160 d/d arasında olmalıdır (Rosato, 2000).

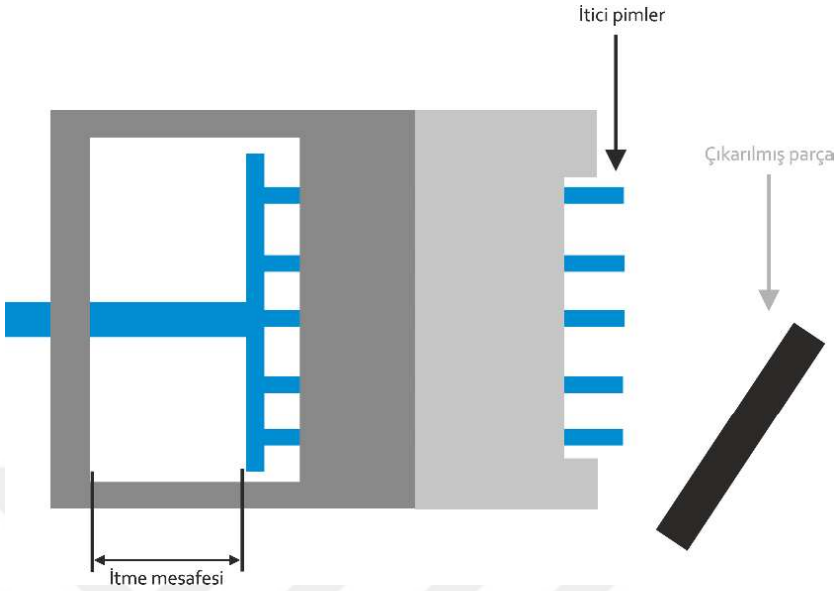


Şekil 3.16. Vida Geri Dönüş Mesafesi

Kalıp açılma mesafesi, enjeksiyon işlemi sırasında kalıp boşluk görüntüsünde oluşturulan vakumu kırmak için kalıbın yavaşça açılması gerekir. Kalıp 6 mm kadar açıldıktan sonra, sabit taraftaki vakum boşaltılır ve kalıbın geri kalanını daha hızlı bir şekilde açmasına izin verilebilir. Döngünün hızlı bir şekilde tamamlanması ve bir sonraki döngünün başlatılması için daha hızlı oran istenir. Bir kalıpta maçalar veya kamlar gibi hareketli parçalar varsa, kalıbı daha uzun bir mesafe için yavaşça açma zorunluluğu olabilir. Kalıp vakumu kıracak kadar açıldığında, tamamen açılmasına izin verilebilir. Bir kalıbın açılacağı toplam mesafe kesinlikle gerekli olduğundan daha fazla olmamalıdır. Çünkü bunun gerçekleşmesi zaman alır. Kalıp, kalıplanmış parçanın derinliğinin iki katına eşit toplam bir mesafe açmalıdır. Örneğin, kalıplanan parça derinliği 15 cm olan bir kare kutu ise, kalıbın 30 cm'den fazla açılmamasına izin verilmelidir. Mümkünse, bu boyut daha küçük yapılmalıdır. Bitmiş parçanın itilmesinden sonra kalıptan düşmesine izin vermek için veya operatörün çıkarılan parçayı çıkarması için yeterli açık alan olmalıdır. Kalıp, parçayı itme sisteminden fiziksel olarak çıkarması gereken bir operatörle çalışıyorsa, parçanın manipüle edilmesi için yeterli alana izin vermenin yanı sıra, güvenlik ve rahatlık açısından gerekli olana kadar kalıp açma mesafesi arttırılmalıdır.

Parça çıkarma mesafesi, gereken itme miktarı sadece parçayı kalıptan çıkaracak olan miktardır (bkz. Şekil 3.17). Çıkarılan parçanın tek alanı kalıbın hareketli yarısında (B yarısı) sınırlı olan alandır. Bu alanın maksimum derinliği 2,5 cm ise, teorik olarak sadece

2, 5 cm itme gereklidir. Daha fazla kullanılırsa, ek zaman alır. Daha az kullanılırsa, parça muhtemelen serbest kalmayacak, sıkışacak ve kalıp kapandığında hasara neden olacaktır.



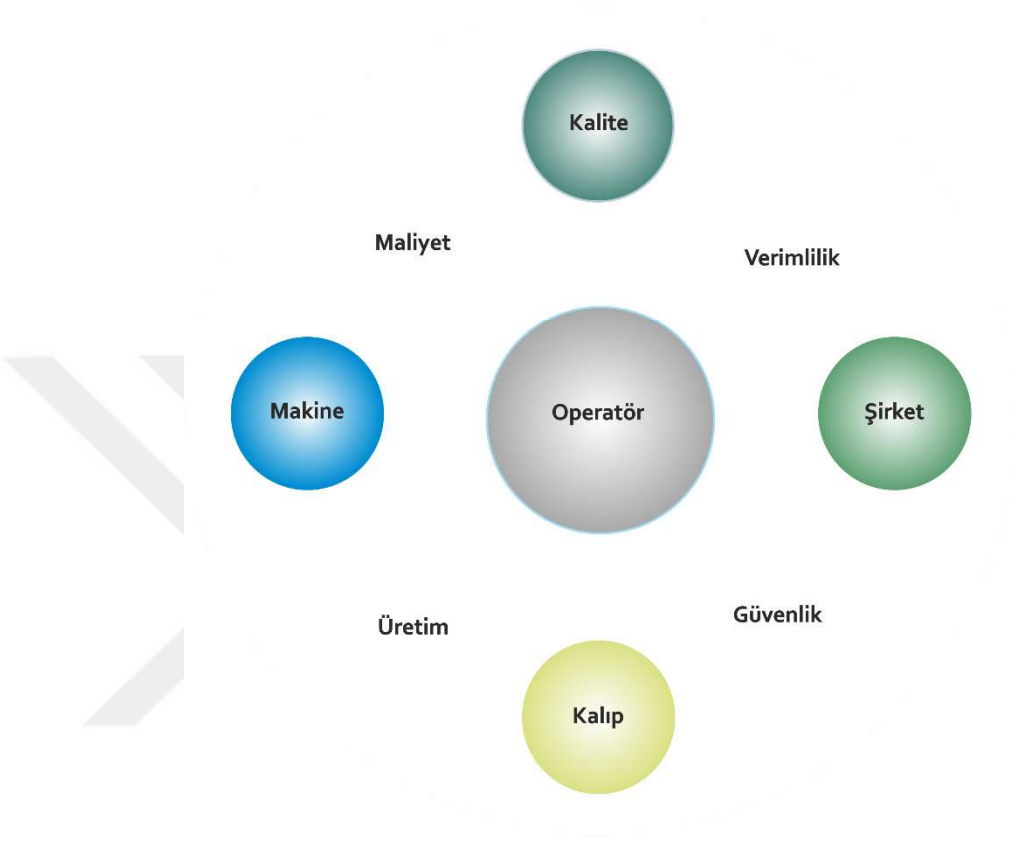
Şekil 3.17. *Parça Çıkarma Mesafesi*

3.2.5. Operatör

Enjeksiyon kalıplama işlemini oluşturmak için bir araya gelen çeşitli bileşenlerden, makine operatörü en önemlisidir. Makine, kalıp dahil olmak üzere tüm ekipman, döngüden döngüye kusursuz bir şekilde çalışacak şekilde ayarlanabilir ve izlenebilir. Operatör, gerçekte düşünme kapasitesine sahip tek bileşendir (bkz. Şekil 3.18). Bu özellik son derece faydalıdır. Operatör, bir prosesin ne kadar iyi veya kötü çalıştığına dair yerinde gözlemler yapabilir. Operatör, makinenin yüzlerce veya binlerce hatalı parça üretmesini engelleyebilen tek parçasıdır (Texas Plastic Technologies).

Birincil önemi tutarlılıktır. Bu, operatörün her döngünün diğer döngülerle aynı şekilde çalıştığından emin olması gerektiği anlamına gelir. Kapı, operatörün yarı otomatik bir döngünün sonunda açtığı ve bir sonraki döngüye başlamak için kapattığı büyük bir kayar kapıdır. Bazen kapı otomatik olarak açılır, ancak yine de operatör tarafından kapatılmalıdır. Bir döngü tamamlandığında ve kalıp açıldığında, operatör kapıyı açıp bir kez daha kapatana kadar makine tekrar çalışamaz. Kapıyı açma ve kapama zamanlaması, döngünün tutarlılığını kontrol eder. Operatör, açılış ve kapanış faaliyetlerinin her

döngüde tam olarak aynı süreyi aldığından emin olmalıdır. Çevrimdeki 1 saniye kadar kısa bir fark, şirkete büyük bir gelir kaybı meydana getirir. Bu nedenle tutarlılık, genel olarak bir enjeksiyon kalıplama işlemi kavramında çok büyük bir faktördür. Öğrenilen diğer tüm özellikler gibi, tutarlılık düzeyleri de uygulama ile birlikte gelişir.



Şekil 3.18. Operatörün Rolü

Enjeksiyon iyi çalışıyorsa, bir operatörün yapacağı çok az şey vardır. Operatör sadece kapıyı açıp kapatmaya devam eder. Ancak çoğu zaman iş bu kadar kusursuz çalışmaz. Operatörün yapacağı bir iş her zaman vardır. Örneğin kalıp açıldığında çıkarıcı pimlerini bırakmayabilir. Bir sonraki döngü başlamadan önce operatörün kalıba ulaşması ve kalıptan parçayı çıkarması gerekir. Kalıplanmış parçada az miktarda çapak olabilir. Operatör bu çapağı paketlenmeden önce parçadan almalıdır. Bir deliğin açılması, montaj işinin yapılması veya bir parçanın etiketlenmesi gibi bazı ikincil işlemler bile gerekebilir. Proses neredeyse mükemmel çalışıyor olsa bile, operatör herhangi bir kusur olmadığından emin olmak için parçaları görsel olarak incelemelidir. Her operatör, iş istasyonunda yayınlanmış bazı ayrıntılı inceleme bilgilerine ve sınır örneklerine sahip

olmalıdır. Böylece neyin kabul edilebilir ve neyin reddedilmesi gerektiği kolayca görülebilir. Operatör, kalıplanmış her parçayı bu bilgilerle sürekli olarak karşılaştırmalıdır. Eğitimli operatörün parçaları incelerken kısa sürede kusurları tespit etmesi ikinci önem haline gelir. Deneyimli operatörler bu kusurları bir saniyenin bir kısmında tespit edebilirken, eğitimsiz bir kişinin aynı kusuru bulması birkaç dakika sürebilir. Karar verici faktör, deneyim ve eğitim düzeyidir. Üretici firma kalıplanmış iyi ya da kötü her parça için para öder. Müşteri sadece iyi parçalar için ödeme yapar. Kötü parçaların hızlı bir şekilde bulunması zorunludur.

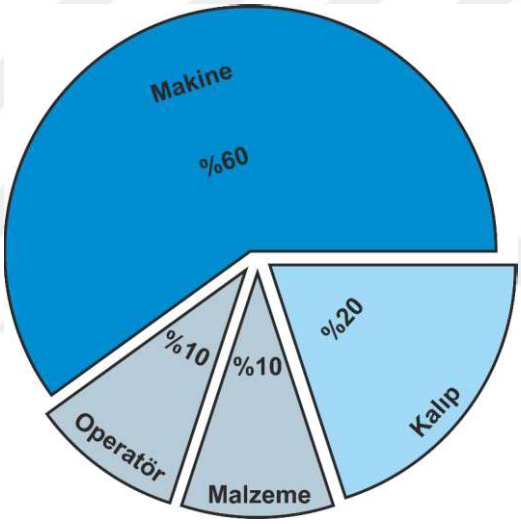
Makine ayarlarında düzeltici ayarlamalar yapılması gerekmektedir. Bu keşifleri yapmak ve derhal amiri bilgilendirmek operatörün sorumluluğundadır. Bazı şirketlerde, operatörün düzeltici ayarlamaları yapması gerekmektedir. Bu operatörün sorun giderme ve kalıplama işlemleri konusunda uygun şekilde eğitilmiş olmasını gerektirir. Bu gibi durumlarda, operatör bir denetçiye değişikliğin gerekli olduğunu bildirmez. Gerekli değişikliği kendisi yapar. Ancak operatör bu değişikliğin kaydını tutmalıdır. Bu kayıt bilgisi içinde, hangi değişikliğin yapıldığı ile ilgili bilgiler olmalıdır. Değişikliği gerektiren şey, değişimin sonucu, operatör, süpervizör, saat ve tarihi içeren vardiya bilgilerini içerir. Tüm eylemler söz konusu kalıba atanmış bir dosyaya kaydedilmeli ve çalışma sonunda dosyalanmalıdır.

Kalıp maliyeti yüksek ama gerekli bir araçtır. Bu nedenle bir kalıba herhangi bir zararın maliyetli olabileceğini anlamak önemlidir. Bazı hasarlar tüm kalıbın değiştirmesini gerektiren noktaya kadar mahvedebilir. Bu nedenle kalıba zarar vermenin, kalıp üretim dışındayken kaybedilen zaman ve üretim açısından maliyetli olduğunu anlamak önemlidir. Müşteri genellikle orijinal kalıbı oluşturmak için ödeme yapan taraf iken, üretim yapan şirket kalıp onarımları için ödeme yapar. Operatör, her döngü arasında kalıba bakarak hasarı tespit etmede yardımcı olabilir. Aranacak bazı yaygın şeyler çapak, kırık metal parçaları, eksik bileşenler, kalıptan sızan su, sıkışmış veya kopmuş plastik parçanın bir kısmıdır.

3.3. Hatalar ve Hata Tipleri

Texas Plastic Technologies tarafından 30 yıl boyunca (1963-1993) yapılan bir çalışma, en yaygın enjeksiyon kalıplama kusurlarının temel nedenlerini analiz etmiştir. İncelenen kusurlar süreçle ilgiliydi ve zayıf ürün tasarımından kaynaklananları içermiyordu. Çalışma, kusurların aşağıdaki dört öğeden bir veya daha fazlasıyla ilgili sorunlara kadar takip edilebileceğini bulmuştur;

- Plastik enjeksiyon makinesi
- Kalıp
- Plastik hammadde
- Operatör



Şekil 3.19. Plastik Enjeksiyon Hata Kaynakları (Texas Plastic Technologies)

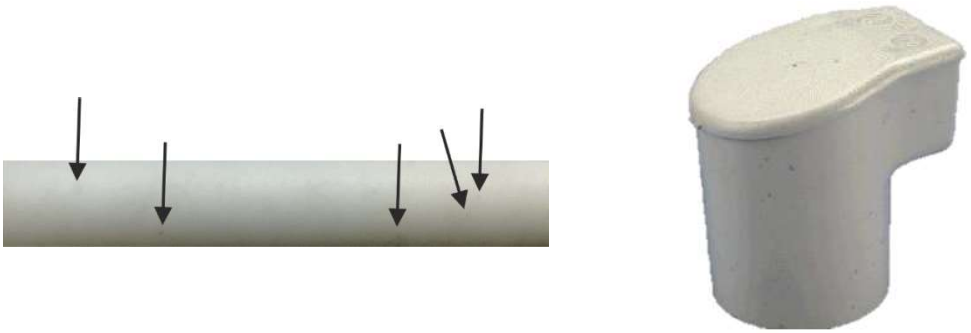
Özellikle ilgi çekici olan, bu maddelerin her birinin kusurlara katkıda bulunduğu yüzdedir. Şekil 3.19 yüzdeyi göstermektedir. Şekil 3-19' un gösterdiği gibi, kusurların en sık nedeni aslında enjeksiyon makinesidir. Bu nedenle sorun giderme sırasında soruna bir çözüm aramak için ilk yer makinedir. Sorun giderici, soruna nesnel bir zihinle yaklaşabilmelidir. Bir sorunu bir gün çözen, başka bir gün aynı sorunu çözemeyebilir. Çok sayıda parametre ve bu parametrelerin değişkenliği ve hepsinin etkileşim şekli nedeniyle, tek bir sorun için birçok çözüm bulunabilir. Aynı şekilde, birçok sorun tek bir çözüm kullanılarak giderilebilir. Bu nedenle sorun giderici, sorunu düşünmeli ve uygun çözümün seçildiğinden emin olmalıdır. Bu nesnellik, basit analiz ve sağduyu uygulanarak

yapılır. İlk adım, bir sürecin nasıl çalışması gerektiğini görselleştirmektir. Çoğu sorun giderme işlemi, belirli bir iş uzun bir süre boyunca başarıyla çalıştıktan sonra gerçekleştirilir. İlk kurulum ve hata ayıklama işlemi yapılır ve kalıp üretim için kabul edilir. Daha sonra parçalar kusurlarla kalıplanmaya başlar. Bu, sorun gidericinin devreye girdiği zamandır.

Hazneden, ısıtma silindirine ve ısıtma silindirinden kalıp boşluğuna giden akış yolundan geçerken plastiğe ne olduğunu göz önüne alarak, kusurlara neden olan sebepler belirlenebilir. Bir ısıtıcı bandı yanmış olabilir. Enjeksiyon basıncını ayarlayan valf arızalanmış olabilir veya soğutma suyu hatları tıkanmış olabilir. Bu sorunlardan herhangi biri belirli şeylerin gerçekleşmesine neden olacaktır. Kalıplama sürecinin tam olarak anlaşılması, sebebin belirlenmesine yardımcı olacaktır. Aşağıda en yaygın plastik enjeksiyon kalıplama kusurlarından bazıları ve en popüler çözümler listelenmiştir. Her şey dahil olmasa da liste, ana nedenleri ve çözümleri içerir (Texas Plastic Technologies).

3.3.1. Siyah Lekeler veya Çizgiler

Makineden kaynaklanan sebepler; namluda aşırı kalma süresi sebebiyle bu kusurla karşılaşılabilir. Namlu kapasitesinin yüzde 20 ila 80'i her döngüde enjekte edilmelidir. Plastik, varil içinde normalden daha uzun kalırsa bozulmaya başlayacaktır. Bu bozulma, Şekil 3.20 'de gösterildiği gibi, küçük siyah kümeler olarak görünen karbonize plastikle sonuçlanır. Bunlar eriyik akımı boyunca taşınabilir ve kalıplanmış kısımda, opak bir kısmın yüzeyinde ve şeffaf bir kısım boyunca görülebilen lekeler veya çizgiler halinde ortaya çıkabilir. Çözüm, kalıbı uygun boyutta bir makineye yerleştirmektir.



Şekil 3.20. *Siyah Lekeler*

Kalıptan kaynaklanan sebepler; çıkış burcu çatlamış, kesilmiş veya düzgün oturmamış olabilir. Bu koşullardan herhangi biri, plastik hammaddenin burca takılmasına neden olacaktır. Malzeme, o bölgede aşırı kalış süresi nedeniyle aşırı ısınıp bozulmaya veya karbonlaşmaya neden olabilir. Plastik hammadde gevşeyip eriyik akışına karışır ve akış yoluna girer. Çözüm, çatlamış veya çentikli burçları değiştirmek ve burcun merkezi olarak nozul ucuna oturduğunu kontrol etmek gerekir. Ayrıca, uygun bir sızdırmazlık sağlamak için meme ucu açıklığının uygun çapa sahip olup olmadığını kontrol edilmelidir.

Malzemeden kaynaklanan sebepler; kirlenmiş hammadde olabilir. Bu kontaminasyon, kirli geri dönüştürülmüş hammadde, karışık yeniden kırma, yanlış temizlenmiş hazneler veya öğütücüler, açık malzeme kapları ve hatta üreticiden gelen düşük kaliteli malzemenin sonucu olabilir. Çözümler arasında sadece yüksek kaliteli tedarikçilerle çalışmak, iyi temizlik uygulamaları kullanmak ve malzeme taşıma personelinin uygun şekilde eğitilmesi bulunmaktadır.

3.3.2. Kabarcıklar

Makineden kaynaklanan sebepler; geri basınç çok düşük olabilir. Malzeme ısıtıldığında ve ısıtma silindiriyle sıcaklık arttırıldıkça, hava eriyik içinde hapsolur. Geri basınç kullanımlarından biri, bu havayı kalıp boşluğu görüntüsüne enjekte edilmeden önce zorlamaktır. Geri basınç, 345 kPa (50 psi) olarak ayarlanmalı ve ideal ayara ulaşılana kadar 10 psi (69 kPa) artışlarla artırılmalıdır.

Kalıptan kaynaklanan sebepler; kalıp sıcaklığı çok düşük olabilir. Malzeme, kalıba enjekte edildiğinde, hemen soğumaya başlar ve parçanın yüzeyinde bir cilt oluşmaya başlar. Bu cilt çok çabuk oluşursa, malzemeye karışmış havanın amaçlandığı gibi yüzeyden kaçmasına izin verilmeyecek ve bu da kabarma etkisine neden olacaktır (bkz. Şekil 3.21). Çok soğuk olan bir kalıp, cildin çok erken oluşmasına neden olur. Kalıbın sıcaklığının arttırılması, cildin sertleşmesini geciktirerek sıkışan havanın dışarı çıkmasına yardımcı olacaktır.

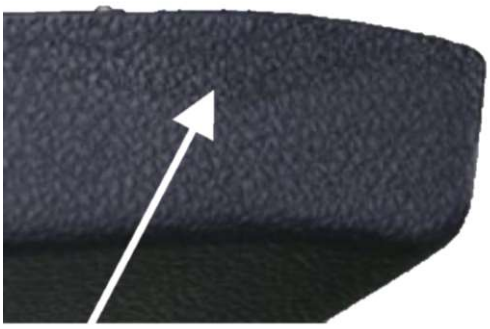


Şekil 3.21. Kabarcıklar

Malzemeden kaynaklanan sebepler; çok kaba yeniden kırılmış malzeme kullanımı olabilir. Bu uygulama eriyik içinde sıkışan hava miktarını arttırır. Çünkü kaba, düzensiz yeniden tanecik parçacıkları aralarında ve sürekli olarak küçük boyutlu baz malzeme parçacıkları arasında hava cepleri oluşturur. Çözümlerden biri, yeniden öğütücüde daha hassas bir hammadde üretimi yapmaktır. Diğer bir çözüm, kullanılan yeniden öğütme miktarını yüzde 5'in altında tutmaktır. Ana malzemenin ısıya duyarlı olmadığı varsayılarak enjeksiyon vidası üzerindeki geri basınç miktarını artırabilirsiniz.

3.3.3. Kızarıklık

Makineden kaynaklanan sebepler; enjeksiyon hızı çok hızlı olabilir. Eriyiğin kalıba girerken hızı ve basıncı, kalıbın paketlenmesinde eriyiğin yoğunluğunu ve kıvamını belirler. Doldurma çok hızlıysa, malzeme özellikle kapı alanında (kapı yanmasına neden olabilir) yüzey üzerinde kayma eğilimi gösterir (bkz. Şekil 3.22). Kaymış yüzeydeki malzeme, malzemenin geri kalanı katılaşmadan önce kaplanır. Bu alan, parçanın diğer bölgelerindeki malzemede olduğu gibi kalıp çeliği yüzeyini sadık bir şekilde takip etmeyecektir. Çünkü malzeme sıkı bir şekilde kalıp içerisine gönderilememiştir. Enjeksiyon hızı, namlu veya kalıp ısılarında da ayarlamalar gerektirebilecek optimum seviyeye ulaşılana kadar ayarlanmalı (azaltılmalıdır).



Şekil 3.22. Kızarıklık

Kalıptan kaynaklanan sebepler; kalıp sıcaklığı çok soğuk olabilir. Kalıp çok soğuksa, erimiş malzeme engellenir. Malzeme kalıbı doldurmadan önce katılaşır. Dolum yapılacak son alanda, genellikle kapı olmak üzere, donuk kaplama görünecektir. Kalıp sıcaklığının arttırılması, malzemenin daha uzağa akmasını ve düzgün bir şekilde doldurulmasını sağlar.

Malzemeden kaynaklanan sebepler; aşırı nem olabilir. Bir eriyik içindeki aşırı nem geçit alanında birikebilir. Enjeksiyon basıncı sıkışmış nemi doldurulmuş alanlardan doldurulmamış alanlara itme eğilimindedir. Yolluk çıkışı, sertleşecek en son alandır, bu nedenle nemin toplanabileceği son yerdir. Bu, alanın donuk görünmesine neden olur. Allık, yayılma veya gümüş çizgi ile birlikte olabilir.

3.3.4. Gevreklik

Makineden kaynaklanan sebepler; yanlış vida tasarımı olabilir. Kalıplanan malzeme için çok düşük sıkıştırma oranına sahip bir vida, malzemeyi düzgün bir şekilde eritmez ve karıştırmaz. Bu durum, malzemedeki münferit moleküller ile parça arasında zayıf bağlarla sonuçlanır (bkz. Şekil 3.23). Daha yüksek sıkıştırma oranına sahip bir enjeksiyon vidasının kullanılması bu sorunun çözülmesine yardımcı olacaktır.

Kalıptan kaynaklanan sebepler; yoğunlaşma olabilir. Herhangi bir düzenlilikle gerçekleşmese de kalıptaki yoğuşma olası bir nem kaynağı olarak göz ardı edilemez. Bu

durum kalıplanmış parçalarda kırılganlığa neden olabilir. Bu yoğunlaşma özellikle nemli koşullar altında çalıştırılan kalıplarda yaygın olacaktır. Kalıptaki soğutma suyu yoğunlaşmanın kaynağı olabilir. Çözüm yollarından biri, kalıp ve enjeksiyon makinesi arasında ve ayrıca kalıbın tüm dış yüzeylerinde yalıtım panelleri kullanmaktır. Bir diğeri, yoğunlaşma oluşturma eğilimini azaltmak için kalıp sıcaklığını hafifçe arttırmaktır. Kalıbın etrafında üflenen küçük bir fanın bir yararı olabilir.



Şekil 3.23. Gevreklik

Malzemeden kaynaklanan sebepler; aşırı nem olabilir. Tüm malzemelerin düzgün işlenmesi için az miktarda neme ihtiyacı vardır. Genellikle binde bir seviyesindedir. Naylon ve akrilonitril-ütadien-stiren (ABS) gibi bazı malzemeler doğası gereği higroskopiktir. İlk kurumadan sonra bile atmosferdeki nemi kolayca emer. Bunlar kuru tutulması zor malzemelerdir. Nem kırılganlığa neden olur. Enjeksiyon ünitesinde ısıtıldığında su damlacıkları buhara dönüşür ve bu buhar eriyik akımı boyunca patlayarak boşluk alanlarına neden olur. Bu boşluklu alanlar düzgün bir şekilde birleştirilmez ve kalıplamadan sonra herhangi bir mekanik kuvvete maruz kaldıklarında kolayca parçalanırlar. Bazı malzemeler (özellikle higroskopik), kalıplama işlemi sırasında çıkarılan nemi geri almak için kalıplamadan sonra kurutma gerektirebilir. Örneğin, naylon çoraplar normalde 149 °C gliserin içinde 4 saat tavlanarak ya da 4 gün boyunca suyla doldurulmuş kapalı torbalara konarak şartlandırılmalıdır. Bu şartlandırma olmadan, plastiği kalıplamak için kullanılan uygun kurutma prosedürlerinin bir sonucu olarak plastik kırılgan olacaktır.

3.3.5. Hava Kabarcığı

Makineden kaynaklanan sebepler; enjeksiyon sıcaklığı çok yüksek olabilir. Yüksek enjeksiyon sıcaklıkları, erimiş malzemenin çok akışkan olmasına neden olabilir. Fazla akışkanlık malzemenin o kadar çalkantılı olmasına neden olabilir ki, hava ve gazlar eriyik akışında sıkışır. Sıkışan gazlar Şekil 3.24'de gösterildiği gibi kalıplanmış kısımda boşluklar olarak görünür. Enjeksiyon sıcaklığının düşürülmesi, malzemenin sertleşmesine izin vererek sıkışan gazların eriyik akışından kaçmasına izin verir.



Şekil 3.24. Hava Kabarcığı (Engel 2005)

Kalıptan kaynaklanan sebepler; kesit kalınlığı çok büyük olabilir. Plastik bir parça değişik duvar kalınlıklarından (sabit bir kalınlık yerine) oluştuğunda, daha kalın duvarlar en son soğuyacaktır (ve katılaşacaktır). Bu kalın alanlarda, daha ince alanlar katılaştıktan sonra soğumaya devam ettikleri için bir basınç kaybı olacaktır. Plastik, katı bölüme doğru çekilecek ve kalın kısımda bir boşluğa neden olacaktır. Boşluk bir parçanın yüzeyinde olduğunda, bir iz olarak görünür. Yüzeyin altında olduğunda, kabarcık olarak görünür. En iyi çözüm (pahalı olmasına rağmen) daha kalın duvarı inceltmek için metal göbekler kullanmaktır. Ya da duvar kalınlığını daha kalın bölüm, ince bölümden yüzde 25 daha kalın olmayacak şekilde değiştirilerek boşluk en aza indirilebilir.

Malzemeden kaynaklanan sebepler; aşırı nem olabilir. Aşırı nem kalıplama işlemi ilerledikçe sıkışabilir ve kalıplanmış kısımda kabarcıklar olarak ortaya çıkabilir. Isıtma işlemi sırasında nem aslında buhara dönüşür ve malzemeden kaçamaz. Bu nedenle boşluk

haline gelen bir gaz cebi oluşturur. En iyi çözüm, kalıplamadan önce malzemeyi düzgün bir şekilde kurutmaktır.

3.3.6. Yanık İzleri

Makineden kaynaklanan sebepler; aşırı enjeksiyon hızı veya basıncı olabilir. Enjeksiyon basıncı çok yüksekse, malzeme kalıp içine o kadar hızlı zorlanır ki, kızak sisteminde veya kalıp boşluklarında sıkışan havanın malzeme akışının önüne itilmesine izin verilmez. Daha sonra bu sıkışmış havanın sıcaklığı keskin bir şekilde yükselir. Sıcak hava, hava tüketilene kadar yanmış plastik malzemeyi tutuşturur ve Şekil 3.25'de gösterildiği gibi bir leke bırakır. Enjeksiyon hızının ve basıncının düşürülmesi, gaz veya sıkışan havanın normal havalandırma yöntemleriyle kaçması için yeterli zaman sağlayacaktır.

Kalıptan kaynaklanan sebepler; yanlış havalandırma olabilir. Havalandırma sistemleri, mevcut olabilecek gazları veya sıkışmış havayı boşaltmak için kalıplara yerleştirilir. Havalandırma delikleri yeterince derin veya yeterince geniş değilse veya havalandırma delikleri yeterli değilse, hava tamamen bitmeden önce sıkıştırılır ve daha sonra yukarıda açıklandığı gibi plastiği tutuşturur ve yakar. Deliklerin tabanı gibi kör alanlara yerleştirilmiş olan çıkarıcı pimlerinin yanında havalandırma delikleri olmalıdır. Kesme hattında, kesme hattı çevresinin mesafesinin yüzde 30'una eşit yeterli havalandırma deliği bulunmalıdır.



Şekil 3.25. Yanık İzleri (Engel 2005)

Malzemeden kaynaklanan sebepler; aşırı kırma kullanımı. Yeniden kullanımı, özellikle polivinil klorür (PVC) gibi ısıya duyarlı malzemelerle sınırlı olabilir. Yeniden kırılmış malzeme, düzensiz yüzeyler ve yeniden kırılmış parçacıklarının daha büyük boyutu nedeniyle, enjeksiyon varilindeki ısıyı orjinalden daha yavaş bir şekilde emme eğilimindedir. Bu durum orijinal hammaddenin aşırı ısınmasına ve bozulmasına neden olan daha uzun bir ısıtma döngüsüyle sonuçlanır. Bozunma, eriyik akımı yoluyla boşluğa taşınan yanmış parçacıklar şeklini alır. Geri dönüştürülmüş malzeme kullanımını en fazla yüzde 5 veya 10 ile sınırlayın.

3.3.7. Bulutlu Görünüm

Makineden kaynaklanan sebepler; namlu sıcaklığı çok düşük olabilir. Şekil 3.26'de olduğu gibi gerçek bir bulutlu görünüm belirginse, normalde bir grup yanlış erimiş parçacıktan kaynaklanır. Bunlar ana eriyik ile harmanlanmamıştır ve kendilerini bir grup halinde izole etme eğilimindedirler. Namlu sıcaklığının arttırılması, erimiş parçacıkların erime akışına girme olasılığını azaltır, ancak bu artışın orijinal plastik hammadde parçacıklarını bozmadığından emin olmak gerekir.



Şekil 3.26. Bulutlu Görünüm

Kalıptan kaynaklanan sebepler; düzgün olmayan kalıp gözü yapısı olabilir. Eşit olmayan hammadde doldurulması, normal olarak uygunsuz geçit veya yolluk boyutlandırması sebebiyle olabilir. Malzeme boşluğa yanlış noktadan girer. Tüm kalıp boşluğunun doldurulmasını önler. Malzeme kalıp boşluğunu doldurmadan katılaşır ve bulutlu bir alan olarak görünür. Ayrıca, kalıplama yüzeyinin bir alanı ve diğer alanlar parlatılmamışsa, o

bölgedeki malzeme bulanık görünecektir. Kalıbın uygun şekilde parlatılması önemlidir. Ardından, belirli bir ürün tasarımı için uygun yolluk boyutunu, sayısını ve konumunu belirlemek için bir bilgisayar programı kullanılmalıdır.

Malzemeden kaynaklanan sebepler; aşırı nem olabilir. Nem, enjeksiyon makinesinin ısıtılmış haznesinden ilerledikçe buhara dönüşür. Boşluğa girdiğinde, kalıplama yüzeylerine tam anlamıyla patlar. Bu genellikle yayvan veya gümüş çizgilerin görünümünü alır ancak bazen bulutlar olarak görünür. Kalıplanacak malzemenin, malzemenin özelliklerine göre kurutma için uygun şekilde işlendiğinden emin olmak gerekir.

3.3.8. Solma

Makineden kaynaklanan sebepler; aşırı namlu kalma süresi olabilir. Plastik malzemenin kalıba enjekte edilene kadar ısıtılmış silindir içinde kaldığı süreye kalma süresi denir. Eğer atış boyutu namlu kapasitesinin yüzde 20'sinden azsa, plastiğin bozulması muhtemelen meydana gelecektir. Bu bozulma, açık renkli malzemelerdeki rengin koyulaşmasına ve koyu renkli malzemeler üzerinde grileştirici bir etkiye neden olacaktır (bkz. Şekil 3.27).



Şekil 3.27. Solma (Engel 2005)

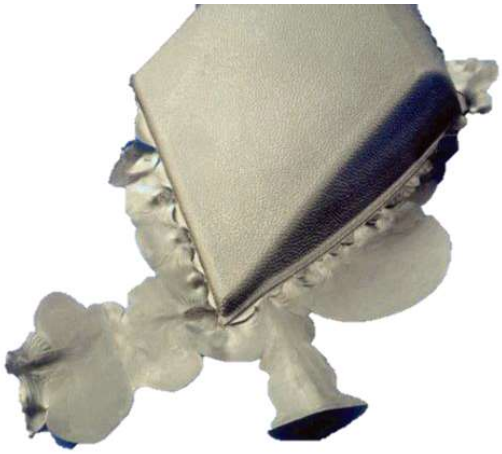
Kalıptan kaynaklanan sebepler; uygun olmayan kalıp sıcaklığı olabilir. Genel olarak, sıcak bir kalıp malzemenin daha uzun süre erimesine neden olur ve moleküllerin daha

sıkı toplanmasına izin verir. Bu, yoğunluk nedeniyle daha koyu görünen çok yoğun bir kısım ile sonuçlanır. Soğuk bir kalıp parlaklık kaybına neden olacaktır. Malzeme kalıp yüzeyine zorlanmadan önce soğur ve bu daha hafif görünecek daha az yoğun bir parçaya neden olur.

Malzemeden kaynaklanan sebepler; yanlış kırılmış, uygun olmayan tane boyutuna sahip, termal olarak bozunmuş malzeme gibi ürünlerle kirlenmişse malzeme renksiz görünebilir. Ayrıca, tüm malzeme çekimi aşırı sıcaklıklara maruz kalırsa kararır. Uygun temizlik, bu tür renk bozulmalarının çoğunu en aza indirir ve uygun kalıplama sıcaklıklarının daha yakından kontrol edilmesi geri kalanını en aza indirir.

3.3.9. Çapak

Makineden kaynaklanan sebepler; aşırı enjeksiyon basıncı olabilir. Çok fazla enjeksiyon basıncının makinenin kelepçe basıncının kısmen üstesinden gelmesi ve enjeksiyon aşamasında kalıbın hafifçe açılmasına neden olması mümkündür. Bu olursa, az miktarda plastik kalıptan dışarı sızar. Bu sızıntıya çapak denir. Bir örnek Şekil 3.28'de gösterilmektedir. Ayrıca, aşırı basınç plastiği itici pimlerinin etrafındaki boşluk deliğine zorlayabilir. Enjeksiyon basıncının düşürülmesi çapak oluşma ihtimalini en aza indirir.



Şekil 3.28. Çapak

Kalıptan kaynaklanan sebepler; yetersiz kalıp destekleri olabilir. Destek direkleri adı verilen bileşenler, kalıbın çıkarıcı yarısındaki boşluk tutucu plakaların arkasında ekstra

destek sağlamak için bir kalıbın yapımında kullanılır. Kalıplama döngüsünün enjeksiyon aşamasında kalıbın çökmesini önlemek için kullanılırlar. Çok az sütun varsa, uygun şekilde tasarlanmamış veya yerleştirilmemişlerse, enjeksiyon basıncı uygulandığında kalıp sapma eğilimi gösterecektir. Kalıp hafifçe açılacak ve çapak oluşacaktır. Destek direklerinin sayısının ve boyutunun hesaplanması bazı ayrıntılı formüllerle yapılabilir.
Malzemeden kaynaklanan sebepler; hatalı akış hızı olabilir. Hammadde üreticileri, malzemeleri çeşitli akış hızlarında tedarik eder. İnce duvarlı parçalar kolay akışlı malzemeler gerektirebilir. Kalın duvarlı parçalarda ise daha sert malzemeler kullanabilir. Daha sert malzemeler genellikle daha güçlüdür. Hızlı akan bir malzeme kullanılırsa, kalın malzemelerin yapamadığı küçük yarıklara sürünebilir. Bunun sonucu olarak çapak meydana gelebilir.

3.3.10. Akış Çizgileri

Makineden kaynaklanan sebepler; yetersiz enjeksiyon basıncı olabilir. Basınç çok düşükse, kalıp boşluğuna giren malzemenin kalıplama yüzeyine karşı pürüzsüz katmanlar oluşturmak için birlikte hareket edemez. Materyal aslında bir katmanın zaten soğutma katmanının üzerinde sürünmeye çalıştıkça kırışmaya başlar (bkz. Şekil 3.29).



Şekil 3.29. Akış Çizgileri (Engel 2005)

Kalıptan kaynaklanan sebepler; kalıp sıcaklığı çok düşük olabilir. Genellikle, sıcak bir kalıp erimiş plastiğin soğumadan ve katılaşmadan önce daha fazla akmasına izin verir. Bu, akış hatlarının oluşumunu en aza indiren çok yoğun bir parça ile sonuçlanır.

Malzemeden kaynaklanan sebepler; hatalı akış hızı olabilir. Çok sert bir malzeme (düşük erime indeksi) katılaşmadan kalıbı dolduracak kadar hızlı akmayabilir ve akış cephesi oluşan akış hatlarını sıkıştıramayabilir. Bunu önlemek için, yanıp sönen koşullara neden olmadan mümkün olan en hızlı akışa sahip bir malzeme kullanmak gerekir.

3.3.11. Jetting

Makineden kaynaklanan sebepler; aşırı enjeksiyon hızı olabilir. Hızlı enjeksiyon hızı, erimiş plastiğin istenen boşluğu doldurmak yerine yolluk kapılarından hızlı itildiği için jet akışları oluşturmasına neden olacaktır. Bu yılan şeklindeki akışlar, çevreleyen malzemeden bağımsız olarak soğutulur ve Şekil 3.30'da gösterildiği gibi kalıplanmış parça yüzeyinde oldukça görünürdür. Enjeksiyon hızının azaltılması, plastik akış ön yüzünün birlikte kalmasına izin verir ve parça yüzeyinde püskürtme desenlerine neden olan ayrı akışları oluşturmaz.



Şekil 3.30. Jetting (Engel 2005)

Kalıptan kaynaklanan sebepler; yanlış yolluk çıkışı konumu olabilir. Malzeme doğrudan düz bir boşluk yüzeyine enjekte edilirse, sürtünmenin bir sonucu olarak hızlı bir şekilde yavaşlama eğilimindedir. Boşluk düzgün bir şekilde doldurulmadan önce soğur. Bu olduğunda, akış çizgileri oluşma eğilimi gösterir.

Malzemeden kaynaklanan sebepler; hatalı akış hızı olabilir. Çok sert bir malzeme, istenen parça şeklini korumak için boşluğa uygun hızda girecek kadar hızlı akmayabilir. Püskürtme görünümüne neden olan akışlara bölünebilir. Daha yüksek akış hızına sahip bir malzeme kullanılabilir. Eriyik indeksinde sadece 2 veya 3 puanlık bir artış, püskürtme kusurunu ortadan kaldırmak için yeterli olabilir.

3.3.12. Kaynak Hatları

Makineden kaynaklanan sebepler; namlu sıcaklığı çok düşük olabilir. Kaynak hatları, kalıp boşluğunda bir engelle enjekte edilen malzemenin bir akış cephesinin sonucudur. Akış cephesi iki ayrı cepheye ayrılır ve engelin etrafında döner. İki cephesi diğer tarafta buluştuğunda, tekrar birbirine kaynak yapmaya ve bir kez daha tek bir cephe oluşturmaya çalışırlar. Namlu sıcaklığı çok düşükse, malzeme ısısını yeterince uzun tutmaz ve Şekil 3.31'de gösterildiği gibi, iki cephede iyi bir kaynak yapılamaz çünkü malzeme katılaşmaya başlamıştır.



Şekil 3.31. Kaynak Hatları

Kalıptan kaynaklanan sebepler; kalıp sıcaklığı çok düşük olabilir. Yukarıda belirtilen nedenlerden ötürü, düşük bir kalıp sıcaklığı, akış cephelerinin tekrar birbirine kaynamasına izin vermeyecektir, çünkü malzeme çok hızlı soğur. Kaynak hattının ortadan kaldırmak imkansızdır, ancak uygun bir kaynağın gerçekleşmesine izin vererek çevreleyen malzeme kadar güçlü yapılabilir.

Malzemeden kaynaklanan sebepler; hatalı akış hızı olabilir. Sert bir malzeme serbest akışlı bir malzemenin yanı sıra birlikte kaynamaz. Bunun nedeni, sert malzemenin daha yavaş hareket etmesi ve akış cepheleri düzgün şekilde birleşmeden önce katılaşmaya başlamasıdır. Akış hızının 2 veya 3 eriyik indeks noktası ile arttırılması, uygun bir örgüye ulaşmak için yeterli olabilir.

3.3.13. Eksik Enjeksiyon

Makineden kaynaklanan sebepler; yetersiz malzeme beslemesi olabilir. Kalıp gözündeki boşluğun tamamen doldurulmamasının en yaygın nedeni (bkz. Şekil 3.32), kalıba enjeksiyon için önceden hazırlanmış malzemenin yeterli miktarda olmamasıdır. Enjeksiyon vidasının dönüş stroğunu ayarlayarak kalıba beslenen malzeme miktarını arttırarak, vidanın her dönüşünde hazne sisteminden daha fazla malzeme aktarılır.



Şekil 3.32. Eksik Enjeksiyon

Kalıptan kaynaklanan sebepler; yetersiz havalandırma olabilir. Havalandırma, kapalı kalıpta sıkışan havayı çıkarmak için kullanılır. Böylece erimiş malzeme kalıbın her bölümüne akabilir. Hava çıkarılmazsa, gelen plastiğe bir bariyer görevi görür ve kalıbın tüm bölümlerini doldurmasına izin vermez. Bu durum eksik enjeksiyona sebep olur. İlk atış yapılmadan önce kalıp havalandırılmalıdır.

Malzemeden kaynaklanan sebepler; hatalı akış hızı olabilir. Erime indeksi çok düşük olan bir malzemenin kullanılması, tüm boşluk doldurulmadan önce malzemenin katılaşmaya başlamasına neden olabilir. Akış hızının 2 veya 3 puan arttırılması, malzemenin katılaşmadan önce boşluğu tamamen dolduracak kadar uzun süre akmasını sağlamak için yeterli olabilir.

3.3.14. Büzülme

Makineden kaynaklanan sebepler; namlu sıcaklığı çok yüksek olabilir. Namlu sıcaklığı çok yüksekse, hammadde aşırı miktarda ısıyı emer. Isı, hammadde moleküllerinin aşırı genişlemesine neden olur. Bu moleküller arasındaki boş alan miktarını arttırır. Enjeksiyon yapılıp plastik parça soğuduktan sonra, ürünün cildi önce katılaşır ve kalan malzeme soğurken moleküler boşlukları kapatır ve zaten katılaşmış cildi çeker. Boşluk hacmi ne kadar büyük olursa, çekme derecesi de o kadar büyük olur ve toplam büzülme o kadar büyük olur. Bu, Şekil 3.33'de gösterilen benzer kusurlarla sonuçlanır.



Şekil 3.33. Büzülme

Kalıptan kaynaklanan sebepler; kalıp sıcaklığı çok yüksek olabilir. Genellikle sıcak bir kalıp, malzemenin daha uzun süre erimesine neden olur, bu da ürünün çıkarılmasından önce gerekli cildin düzgün şekilde oluşmamasına neden olabilir. Bu meydana geldiğinde parça kalıptan çıktıktan sonra hala büzülmeye devam eder, çünkü çok fazla büzülmesini önlemek için normal bir kısıtlayıcı cilt yoktur ve ürün normal boyutların ötesine büzülür.

Malzemeden kaynaklanan sebepler; hatalı akış hızı olabilir. Çok sert bir malzeme boşluğa tam olarak sığmayabilir. Kalıp boşluğunu doldurulması tam olarak gerçekleşmezse, parçanın yoğunluğu çok düşüktür ve parçanın normal beklentilerin ötesine geçmesine izin verilecektir.

3.3.15. Splay (Gümüş Çizgi)

Makineden kaynaklanan sebepler; namlu sıcaklığı çok yüksek olabilir. Namlu sıcaklığı çok yüksekse, hammadde parçalanır, kömürleşmeye veya karbonlaşmaya başlar. Kömürleşmiş parçacıklar enjeksiyon sırasında parça yüzeyine çıkar. Sonuç olarak kalıplanmış parçanın yüzeyinde, yolluk konumundan çıkan bir yönde havalanan kömürleşmiş parçacıkların bir izidir (bkz. Şekil 3.34).

Kalıptan kaynaklanan sebepler; yolluklar çok küçük olabilir. Çok küçük yolluklar, erimiş plastiğin akışında kısıtlayıcı sürtünmeye neden olur. Malzemenin kalıptaki o noktada bozulmasına neden olabilir. Bozulmuş, ayrışan malzeme boşluğa girer ve tipik bir yayılma modeli şeklinde yüzeye zorlanabilir.



Şekil 3.34. Gümüş Çizgi

Malzemeden kaynaklanan sebepler; aşırı nem olabilir. Malzeme düzgün bir şekilde kurutulmamışsa, aşırı nem ısıtma varilinden geçerken buhara dönüşür. Bu buhar hapsolur ve kalıp boşluğuna taşınır, burada genellikle yüzeye zorlanır ve boşluğun kalıplama yüzeyi boyunca yayılır. Yayvan olan gümüş renkli kömür çizgileri olarak görünür.

3.3.15. Kıvrıklık

Makineden kaynaklanan sebepler; enjeksiyon basıncı veya süresi yetersiz olabilir. Çok düşük enjeksiyon basıncı veya süresi kullanılırsa, plastik malzeme kalıp boşluğu dolmadan önce soğuma ve katılaşma eğilimi gösterir. Daha sonra plastiğin tek tek molekülleri bir araya getirilmez ve parça soğutuldukça içeri girmeleri için boşluk bırakır. Soğutma döneminde rahatlarlar ve hareket etmelerine izin verilir. Ürünün dış kaplaması katı olsa da iç bölümler hala soğumaktadır ve buradaki moleküllerin hareketi çarpıklığın derecesini belirler. Şekil 3.35, kabul edilemez bir çarpılma derecesinin bir örneğini göstermektedir.

Kalıptan kaynaklanan sebepler; kalıp sıcaklığı çok düşük olabilir. Genel olarak sıcak bir kalıp, malzemenin soğuk bir kalıptan daha uzun süre erimiş halde kalmasına neden olur. Moleküllerin birbirine sıkıca paketlenmesine izin verir. Bu, çarpılma eğilimini en aza indiren çok yoğun bir kısım ile sonuçlanır.



Şekil 3.35. Kıvrıklık

Malzemeden kaynaklanan sebepler; hatalı akış hızı olabilir. En yüksek özellik değerlerine ulaşmak için mümkün olan en sert debiyi kullanmak her zaman en iyisidir. Bununla birlikte, çok sert bir malzeme kalıbı soğumadan ve katılaşmadan dolduracak kadar hızlı akmayabilir. Malzeme kalıbı doldurmak için gerildiğinde malzeme gerilebilir. Bu germe, parça kalıptan çıkarıldığında ve gerilmeler hafifçe giderildiğinde çarpıklığa neden olur.

3.4. ENDÜSTRİYEL GÖRÜNTÜ İŞLEME SİSTEMLERİ

Endüstriyel bir görüntü işleme projesi gerçekleştirmenin aşamaları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Görevin belirtilmesi
- Sistemin tasarımı
- Maliyetlerin hesaplanması
- Sistemin geliştirilmesi ve kurulması

Başarılı bir tasarım ayrıntılı bir çalışmaya dayanır. Görevin ve çevre şartlarının açıklanması gerekir. Genellikle bilgi eksikliğinden ya da kavram karmaşası sebebiyle hatalar, toleranslar, mekanik etkiler, çevresel etkiler ve hatta görev tam olarak belirtilmez. Görüntü işleme esas olarak yazılım tarafından yapıldığından değiştirilebilir. Yazılımın değiştirilebilmesine rağmen yetersiz bir istek listesi sonucu etkin bir proje tehlikeye girebilmektedir.

Yazılım ve sistemin istek listesinin yanı sıra, parça örneklemesi büyük önem arz etmektedir. Bir dizi hatasız ve hatalı parçanın sistem üzerinde denenmesiyle hatalı ve hatasız aralığı saptanabilir. Sistem aydınlatmasını tasarlamak ve istenen görüntünün elde edilmesini sağlar. Sistem üzerinde saptanacak hata tiplerinin belirlenmesinde fikir sahibi olma imkânı sunar.

Endüstriyel bir görüntü işleme projesinin tasarım aşamaları ise:

- Kamera tipini belirlemek
- Görüş alanını belirlemek
- Çözünürlüğün hesaplanması
- Lens seçimi
- Kamera modeli, mekanik tutucular ve donanımın seçilmesi
- Aydınlatma seçimi
- Mekanik ve elektriksel ara yüz özelliklerinin seçilmesi
- Yazılım tasarımı

Proje maliyeti ancak sistem tasarımı yapıldıktan sonra belirlenebilir. Ayrıca geliştirme ve kurulum için gereken çaba tahmin edilebilir, böylece maliyetleri için bir proje planı oluşturulabilir.

Endüstriyel görüntü işleme sisteminin özelliklerini belirlemek için öncelikle görev ve koşulların değerlendirilmesi gerekir.

3.4.1. Görev ve Fayda

Görev ve fayda, istek listesinin en önemli konularıdır. Sistem tarafından gerçekleştirilen işlemler ve oluşturulan sonuç tanımlanmalıdır.

- Beklenen doğruluk
- Muayene ne hakkında
- Hangi ölçümler yapılacak

Mevcut operasyon yöntemi, bilgi toplamanın anahtarıdır ve görev hakkında proje sahiplerine daha fazla bilgi verir. Endüstriyel görmenin faydaları ise örneğin, görev daha yüksek bir hassasiyetle yapılabilir. Rastgele ölçümler yerine %100 ölçüm yapılabilir. Parçalar hakkında ise aşağıdaki soruların cevaplanması gereklidir;

- Tekil parça mı? Sürekli parça mı?
- En küçük ve en büyük ölçüler
- Şekil değişiklikleri
- Çıkarılması gereken özelliklerin tanımlanması
- Mevcut hata tipleri, oluşabilecek hata tipleri
- Yüzey özellikleri
- Renk
- Sürekli akışta kontrol mü? İndeksli kontrol mü?

Performans gerekliliği için ise bilgi verilmesi gereken konular;

- Doğruluk
- Zaman performansı

Gerekli çözünürlüğü etkilediği için doğruluk tanımlanmalıdır. Bir endüstriyel görüntü işleme sistemi üretim zincirindeki bir halka olduğundan görevini belirli bir işlem süresi içerisinde bitirmelidir. Bu işlem süresi, sistemin donanım seçimini etkileyecek ve kullanılabilecek algoritmaları sınırlayacaktır. Zaman performansını belirlemek için;

- Çevrim süresi
- En uzun işlem süresi

3.4.2. Haberleşme Arayüzleri

Endüstriyel görme sistemi tek başına bir sistem olmadığından TCP/IP, fieldbus, seri veya dijital I/O ara yüzleriyle sistemler arası haberleşme sağlanmaktadır. Ayrıca veri tabanları, protokoller veya günlük dosyalarına bilgi kaydetme ve aktarmak için kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan ara-yüzlerin kullanım amaçları;

- Sonuçları işleme ve görselleştirmek
- Kontrol edilen parça tipinin belirtilmesi
- Görsel kontrolün başlaması
- Denetim verilerinin ayarlanması
- Sonuçların veya denetim verilerinin günlük dosyalarında veya veri tabanlarında depolanması
- Denetim verilerinin depolanması

3.4.3. Kurulum Alanı

Endüstriyel görme sistemindeki aydınlatmaların uygun yerlere ve mesafelere yerleştirilmesi düzgün görüntü alabilmek için önem arz etmektedir. Kamera ve aydınlatmaların hizalanmaları pozisyon sabitliği sistem için gerekli kurulum alanını etkileyen en önemli unsurlardır. Ayrıca kamera kontrol ünitesinin kamera ve aydınlatmalara uzaklığı aradaki kablo boyunu etkilemektedir. Bu sistem özelliklerinin yanı sıra,

- Ortam ışığı
- Ekipmanın korunması gereken toz ve kir
- Ekipmanın korunması gereken titreşim ve şok

- Belirli bir elektriksel koruma sınıfının gerekliliği
- Ekipmanı sıcak veya soğuktan koruma

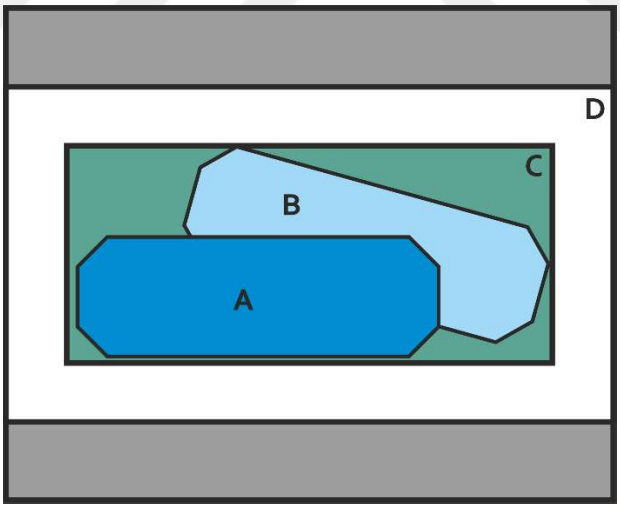
3.4.4. Kamera Tipi

Kullanılacak kameranın seçilmesi endüstriyel görüntü işleme sistemi tasarımı için temel bir karardır. Kamera seçimi hem görüntü yakalamayı hem de donanımın diğer elemanlarını etkiler.

3.4.5. Görüş Alanı

Görüş alanı aşağıdaki parametreler tarafından belirlenir;

- En büyük parça boyutu
- Kamera sensörünün en-boy oranı
- Parçanın konumlama toleransı
- Parça ile görüş sınırları arasında olması gereken mesafe



Şekil 3.36. Görüş Alanı

Şekil 3.36'da belirtildiği gibi, A etiketli kısım en büyük parça boyutlarıdır. B etiketli kısımda göründüğü gibi konumlama nedeniyle parça gösterildiği gibi maksimum boyutu aşabilir. Yeşil renkli çerçeve 3 numarayla gösterilmiştir. Bu parçanın görüntülenmesi

beklenen alanı göstermektedir. Çerçeve D ise toleranslarla birlikte parçanın doğru görüntülenebileceği alanı temsil etmektedir. Görüş alanı (FOV) şu şekilde hesaplanabilir;

FOV = en büyük parça boyutu + konumlama toleransı + gerekli boş mesafe
+ kamera sensörü en-boy oranı

3.4.6. Çözünürlük

Çözünürlük konusu aşağıdaki gibi 3'e ayrılır;

- Kamera sensörü çözünürlüğü
- Uzamsal çözünürlük
- Ölçüm hassasiyeti

Kamera sensör çözünürlüğü, kameranın sağladığı satır ve sütun sayısıdır. Piksel cinsinden ölçülür. Piksel sayısının yanı sıra, bir pikselin boyutu (hücre boyutu) lens tasarımı için gereklidir.

Uzamsal çözünürlük, gerçek cisimlerin kamera sensörü üzerinde haritalanmasıyla ilgilidir. Bir pikselin milimetre cinsinde karşılığı olarak nitelendirilebilir. Uzamsal çözünürlük, kamera sensörü ve görüş alanına göre değişir; sensör üzerindeki haritalama ise lens tarafından yapılmaktadır (Telljohan 2017).

Ölçüm hassasiyeti, endüstriyel görüntü işleme sisteminin genel performansı tespit edebileceği en küçük unsur olarak tarif edilebilir. Görüntü işleme algoritmasına bağlı olarak ölçüm hassasiyeti, uzamsal çözünürlükten farklıdır. Görüntü işleme için, tespit edilecek özelliğin kontrastına göre özelliğin ölçülebilir olup olmadığına görüntü işleme algoritmaları sayesinde karar verilebilir. Küçük kusurların kontrastı zayıfsa, görüntü işleme algoritması için tek bir pikselde kusuru tespit etmek mümkün olmayacak ve daha fazla piksel gerekecektir. Aynı kusur üzerinde farklı görsel işleme algoritmaları ile farklı ölçüm hassasiyeti elde edilebilir. Aşağıdaki tabloda farklı algoritmalarda elde edilmiş farklı ölçüm netliği belirtilmiştir (Telljohan 2017).

Çizelge 3.4. Farklı Ölçüm Netlikleri

Algoritma	Gerekli Piksel
Kenar bulma	1/3
Blob	3
Pattern Eşleme	1

Çözünürlüğün hesaplanması için önce bir kamera seçimi yapılması gerekir. Bu nedenle denetlenmesi gereken en küçük özelliğin boyutu ve bu boyuta denk gelen piksel sayısı çok önemlidir. Gerekli çözünürlük aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Telljohan 2017);

$$R_S = FOV / R_C \quad (3.1)$$

$$R_C = FOV / R_S \quad (3.2)$$

Çizelge 3.5. Çözünürlük

Tanım	Kısaltma	Birim
Kamera Çözünürlüğü	R_C	Piksel
Uzamsal Çözünürlük	R_S	mm/piksel
Görüş Alanı	FOV	mm
En Küçük Unsur	Sf	mm
En Küçük Unsurun Piksel Sayısı	Nf	piksel

Uzamsal çözünürlük ise;

$$R_S = Sf / Nf \tag{3.3}$$

Eğer görüş alanı biliniyorsa veya belirlenmişse kamera çözünürlüğünün hesaplaması da;

$$R_C = FOV / R_S = FOV \times (Nf / Sf) \tag{3.4}$$

Bu noktada gerekli çözünürlük hesaplanmıştır. Böylece uygun bir kamera modeli seçilebilir. Tek bir adımda kamera modeli, mekanik tutucular ve yazılım donanımı seçilebilir. Kamera modeli seçmek için aşağıda yer alan özellikler belirlenmelidir.

- Siyah-Beyaz mı? Renkli mi?
- Arayüz teknolojisi
- Boyutlar
- Fiyat ve ulaşılabilirlik

Kamera modeli seçildikten sonra ise mekanik olarak sabitleneceği tutucuların seçilmesi veya tasarımının yapılması gerekmektedir. Sonrasında ise kameranın yakaladığı görüntünün aktarılacağı arayüz seçilmelidir. Bu arayüz seçilirken dikkat edilmesi gerekenler aşağıda sıralanmıştır.

- Piksel oranıyla uygunluk
- Yazılım kütüphanesi ile uyumluluk
- Kullanılabilecek kamera sayısı
- Kamera tetiklenmesi
- I/O desteği
- Fiyat ve bulunabilirlik

Piksel oranı görüntüleme hızıdır. Görüntüleme hızı, saniyede taranan piksel sayısıdır. Piksel oranını belirlemek için aşağıdaki formül kullanılabilir. Formülde yer alan ek yük ise anlık olarak oluşabilecek %10-20 fazla işlem yüküdür. Piksel oranı seçilirken bu ek yük de hesaba katılmalıdır (Telljohan 2017).

$$PR = Rc_{hor} \times Rc_{ver} \times fr + ek\ yük \quad (3.5)$$

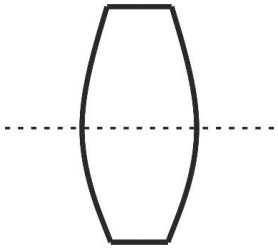
Çizelge 3.6. Piksel Oranı

Tanım	Kısaltma	Birim
Piksel Oranı	PR	Piksel
Kamera Yatay Çözünürlüğü	Rc_{hor}	mm/piksel
Kamera Dikey Çözünürlüğü	Rc_{ver}	mm
Saniyedeki Kare Sayısı (frame rate)	fr	mm
Kamera Çözünürlüğü	Rc	piksel

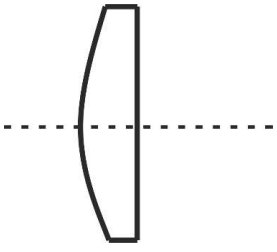
3.4.7. Lensler

Çoğu lens küresel olarak kavisli yüzeylere sahiptir. Her iki yüzey dışbükey, içbükey veya düzlemsel olabilir. Lensler yüzeylerinin eğriliğine göre sınıflandırılır (Batchelor,2012).

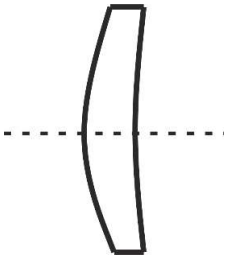
- Bikonveks, her iki yüzeyi dışbükeydir (Şekil 3.37).
- Plano-Dışbükey, bir düzlem ve bir dışbükey yüzeye sahiptir (Şekil 3.38).
- Dışbükey-İçbükey, bir dışbükey ve bir içbükey yüzeye sahiptir (Şekil 3.39).
- Menisküs, her iki yüzeyin de aynı kavis yarıçapına sahiptir (Şekil 3.40).
- Plano-İçbükey, bir düzlem ve bir içbükey yüzeye sahiptir (Şekil 3.41).
- Bikonkav, her iki yüzeyi içbükeydir (Şekil 3.42).



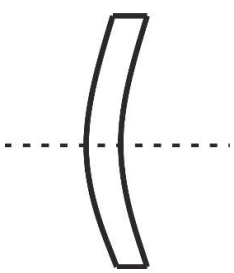
Şekil 3.37. Bikonveks



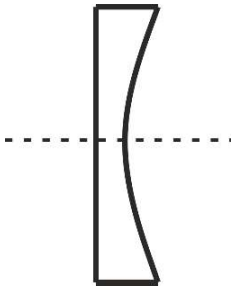
Şekil 3.38. Plano-Dışbükey



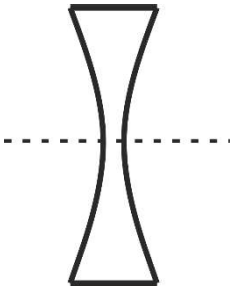
Şekil 3.39. Dışbükey-İçbükey



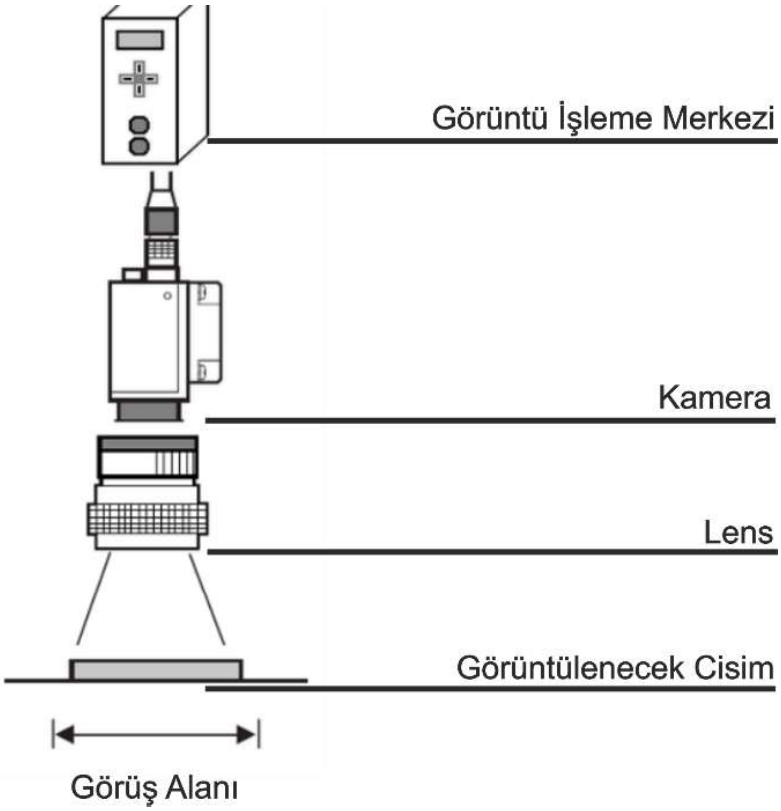
Şekil 3.40. Menisküs



Şekil 3.41. Plano-İçbükey



Şekil 3.42. Bikonkav

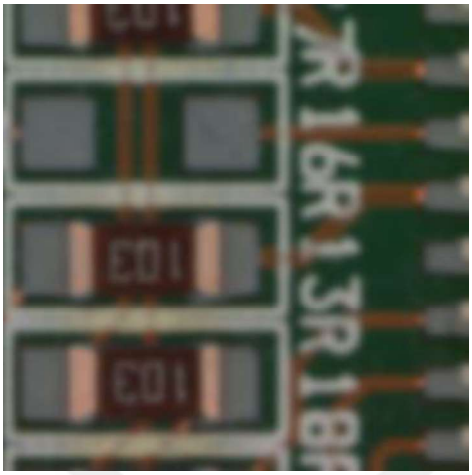


Şekil 3.43. Lensin Sistemdeki Yeri (Batchelor,2012)

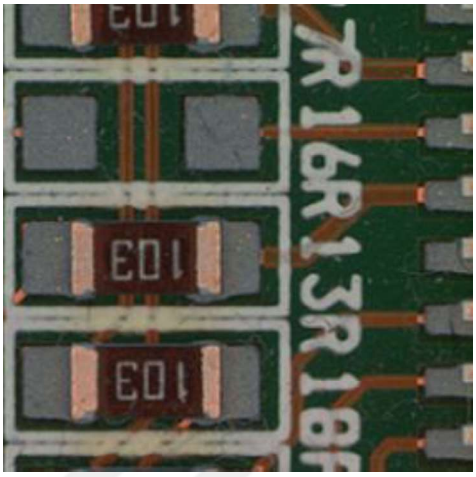
Lenslerin, endüstriyel görüntü işleme sistemlerindeki görevi görüntülenecek cismin görüntüsünü kamera içindeki görüntü sensörü üzerine yansıtmaktır.


JAPAN
12mm 1:1.4
∞ m
2.8 4 5.6 8 11 16
2.8 4 5.6 8 11 16
2.8 4 5.6 8 11 16

Şekil 3.46’ te görüntülenen PCB için lens ayarları; odak uzaklığı 50mm, mesafe 210mm, parlaklık ayarı F2.8 ve odak ayarı 2m’ dir.



Şekil 3.47. Örnek PCB Görüntüsü- 3



Şekil 3.48. Örnek PCB Görüntüsü- 4

Şekil 3.47’ te görüntülenen PCB için lens ayarları; odak uzaklığı 50mm, mesafe 210mm, parlaklık ayarı F2,8 ve odak ayarı 1,2m’dir.

Şekil 3.48’ te görüntülenen PCB için lens ayarları; odak uzaklığı 50mm, mesafe 210mm, parlaklık ayarı F2,8 ve odak ayarı 0,9m’ dir.

3.4.8. Görüntü İşleme Algoritmaları

Endüstriyel görüntü işleme algoritmalarını anlayabilmek için öncelikle yapay görme ile ilgili temel veri yapılarını incelemek gerekir. Bu nedenle, önce görüntü, bölge ve piksel gibi kavramlar anlaşılmalıdır.

Görüntü, endüstriyel görüntü işlemede temel veri yapısıdır. Yakalanan görüntü bilgisayarın belleğine aktarılır. Piksel, görüntü yakalama esnasında görüntü sensörünün üzerine düşen enerjiye verdiği tepki olarak tanımlanabilir. Kamera tipine bağlı olarak, pikselde oluşan görüntü, görüntü sensörünün spektral tepkisine göre görünür spektrum ya da kızılötesi spektrum içerebilir. Piksel başına tek enerji örneklendiğinde, tek kanallı bir görüntü oluşur yani gri tonlamalı görüntü meydana gelir. RGB kameralar ise her bir pikselde 3 kanal bulunmaktadır. Bu iki görüntü sensörü endüstriyel uygulamalarda

kullanılan temel sensör tipleridir. Ancak piksel başına onlarca spektral örnek içeren görüntüler elde etmek mümkündür (Hagen 2013).

Bir görüntü basitçe iki boyutlu olarak kabul edilebilir. Bu aynı zamanda programlama dilinde görüntüleri temsil etmek için kullanılan veri yapısıdır. Dolayısıyla gri tonlamalı bir piksel (r,c), $g=f_{r,c}$ matrisinin bir noktası olarak yorumlanabilir. Görüntü pikselindeki f' i genişlik ve h' i yükseklik kabul eden dikdörtgen biçiminde bir fonksiyon kabul edip R= {0, …, h-1} x {0, …, w-1} ve Z^2 düzlemi üzerinde gerçek bir sayı olarak tanımlanabilir.

Görüntü sensörü, görüntüyü yakalarken sadece görüntüyü uzamsal olarak değil aynı zamanda grinin değerlerini sabit bir sayı olarak yakalar. Çoğu sistemde gri değerleri 8 bit (1byte)'tır. Bu durumda gri değerler G_g= {0, …, 255} arasında değer alabilir. Bazı durumlarda daha yüksek derinlik istendiğinde bit derinliği 10, 12 hatta 16 bit olarak kullanılabilir. Sonuç olarak tek kanallı bir görüntü f: R-> G_b, fonksiyonuyla G_b = {0, …, 2^b-1} gri değerler kümesi olarak tanımlanır (Hagen 2013).

Endüstriyel görüntü işlemede görevlerden biri bölgeleri tanımlamaktır. Örneğin bir eşik işlemi gerçekleştirerek belirli bir bölgedeki, belirli özelliklerin kontrol edilmesidir. Bu nedenle en azından görüntüdeki piksellerin rastgele bir alt kümesine ihtiyaç vardır. Örneğin istenen görüntü sınırlarının dışındaki görüntülerin elemine edilmesi için ayrık bir keyfi bölge belirlenebilir R<Z^2. Birçok durumda işleme yapılacak görüntüyü kısıtlamak için son derece yararlı olan ROI (ilgilenilen bölge) belirlenir. Bu bağlamda, bir görüntüyü ROI' den bir sayı kümesine bir fonksiyon olarak tanımlanabilir. Yani f: R-> R^n. ROI' ye görüntünün etkin alanı da denilmektedir. Gerektiğinde bir görüntü üzerinde birden çok ROI' de belirlenebilir. Basit bir bakış açısıyla bölgeler hakkında konuşmak basittir. Ancak bölgelerin tam olarak nasıl temsil edilebileceği belli değildir. Matematiksel olarak aşağıdaki tanımda olduğu gibi bölgeleri kümeler olarak tanımlayabiliriz. Bu tanım, bölgenin karakteristik fonksiyonunu kullanmaktadır (Lapray 2014).

Bu tanımda bölgeleri temsil etmek için görüntüde ikili sistemi kullanır. Bu tanım görüntüde bölgeye dahil edilmeyen noktada gri değer 0'dır. Bölgeye dahil edilen nokta ise 0'dan farklı bir sayı olabilir. Bununla birlikte, resimdeki nesneleri birbirinden ayrılıp farklı bölgeler olarak tanımlanabilir. Örneğin değeri 0 olan noktalar bir etikette, değer 0'dan büyük olan noktalar farklı bir bölge olarak etiketlenebilir.

Bölgelerin ikili sistemle gösterilmesinin önemli bir dezavantajı vardır. Tanımlanan bölgede bulunmayan noktaların saklanması gerekir. Görüntüdeki her nokta için en az 1 bit gerekir. Bu durum görüntü işlenirken çalışma zamanını uzatır (Lapray 2014).

İyi görüntü kalitesi elde etmek için aydınlatma, lens ve kamera önemli bir role sahiptir. Ancak en iyi aydınlatmayı, lensi ve kamerayı seçsek bile en iyi görüntü kalitesini elde etmek için yeterli olmayabilir. Bu nedenle istediğimiz görüntü kalitesini elde etmek için bazı teknikler bulunmaktadır.

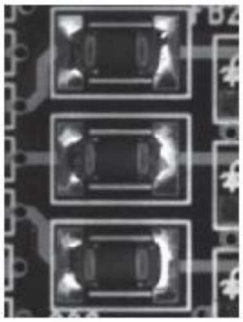
Doğru aydınlatmayı oluşturmamız ve kontrol edebilmemize rağmen bazı durumlarda görüntünün gri değerlerini değiştirmemiz gerekir. Bunun en önemli nedeni zayıf kontrasttır. Bu nedenle, kontrastı sadece yerel olarak arttırmamız gerekebilir. Başka bir nedeni ise, uygulamamızın kurulumu esnasındaki geçerli şartlar değişebilir. Örneğin aydınlatmalar zayıflayıp ayarladığımız aydınlatmayı yapamayabilir veya sistem kurulumun yapıldığı yer değiştirilmiş ve doğal ışık şartları değişmiş olabilir.

Gri değer dönüşümü noktasal değişim işlemi olarak kabul edilebilir. Dönüştürülmüş gri değeri $t_{r,c}$ yalnızca orijinal görüntüdeki aynı konumdaki $g_{r,c}$' ye göre değişir ($t_{r,c} = f(g_{r,c})$). Burada f(g) gri değer dönüşümü uygulayan fonksiyondur. En önemli gri değer dönüşümü, doğrusal gri değer ölçeklendirmesidir ve aşağıdaki gibi tanımlanır (Deriche 1990):

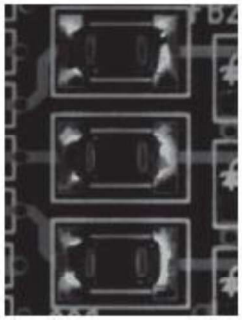
$$f(g) = \min(\max(\lfloor ag + b + 0.5 \rfloor, 0), 2b - 1) \tag{3.6}$$

$|a| > 1$ için kontrast artırılırken, $|a| < 1$ içim kontrast azaltılır. Eğer a<0 ise gri değerler ters çevrilir. b>0 ise parlaklık artarken b<0 için parlaklık azalır.

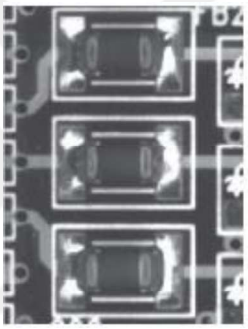
Aşağıdaki şekillerde bir devre kartının küçük bir bölümü görüntülenmektedir. Tüm görüntüler, tüm gri değerleri kullanacak şekilde yapıldı. Farklı değişikliklerin nasıl etki gösterdiği görülebilmektedir.



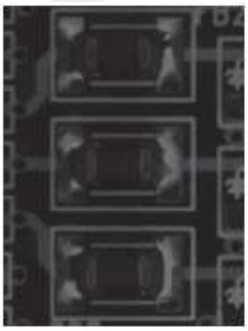
Şekil 3.49. Orjinal Görüntü



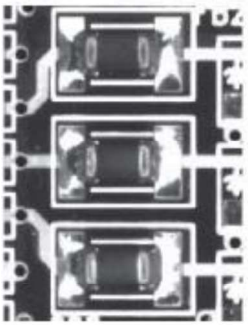
Şekil 3.50. Parlaklık Azaltıldı



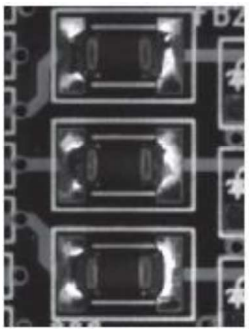
Şekil 3.51. Parlaklık Arttırıldı



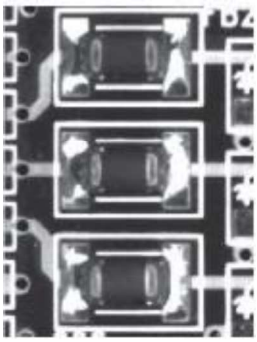
Şekil 3.52. Kontrast Azaltıldı



Şekil 3.53. Kontrast Arttırıldı



Şekil 3.54. Normalizasyon



Şekil 3.55. Gri Değer Normalizasyonu

Doğrusal gri değer dönüştürme örneklerinden Şekil 3.49 orijinal görüntüdür. Şekil 3.50' da b = -50 olarak alınmış ve sonuçta parlaklık azalmıştır. Şekil 3.51' de b = 50 alınmış ve parlaklık artırılmıştır. Şekil 3.52' de a = 0,5 alınmış ve kontrast azalmıştır. Şekil 3.53' de a = 2 alınmış ve kontrast artırılmıştır. Şekil 3.54' te gri değer normalizasyonu görünmektedir. Şekil 3.55' te ise Gri Değer normalizasyonunda pl = 0, pu = 0,8 değerli alınmış görüntüler görünmektedir.

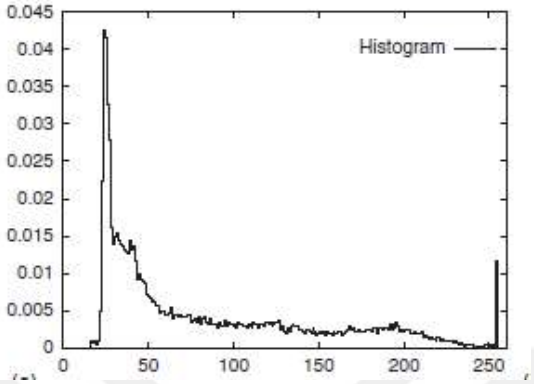
Doğrusal gri değer dönüşümünün parametreleri görüntüye uygun seçilmelidir. Her uygulama için değiştirilmiş ve değişen aydınlatma koşullarına uyarlanmalıdır. Bu oldukça zor olacağından ideal olarak a ve b'yi görüntüdeki koşullara göre otomatik olarak seçilir. Bunu yapmanın yöntemi, parametrelerin maksimum gri değer aralığı kullanılır. g_{min} ve g_{max} seçilen ROI' de gri değerlerin alabileceği en küçük ve en büyük değerler olsun. En büyük gri değerler için;

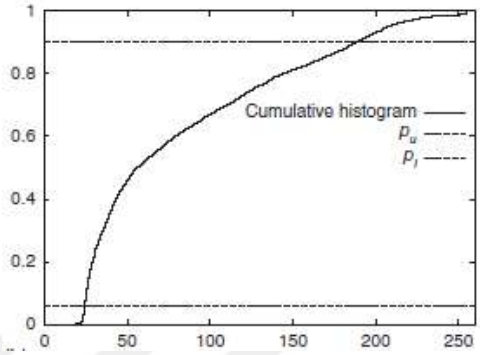
$$a = (2b - 1)/(g_{max} - g_{min}) \text{ ve } b = -ag_{min} \tag{3.7}$$

formülü kullanılabilir. Bunu aynı zamanda görüntünün gri normalizasyonu olarak tanımlayabiliriz. Gri değer normalizasyonu ile ilgili sorun, orijinal görüntüdeki çok yüksek bir gri değere sahip tek bir pikselin varlığı istediğimiz görüntüyü elde etmemize engel olabilir. Bu noktayı iyi anlamak için görüntünün gri değerler histogramına bakabiliriz. Gri değer histogramı, görüntüdeki gri değerlerin frekansı olarak tanımlanır. Görüntüde belirlenmiş bölgedeki nokta sayısı n olarak tanımlanır. Belirlenen bölgedeki piksel sayısı n_i ve gri değeri i olarak tanımlanır.

$$h_i = n_i / n \quad (3.8)$$

Gri değer histogramı, gri değer i oluşumunun olasılık yoğunluğu olarak kabul edilebilir. Görüntünün kümülatif histogramı aşağıdaki gibidir.





Şekil 3.56. Histogram

Şekil 3.57. Kümülatif Histogram

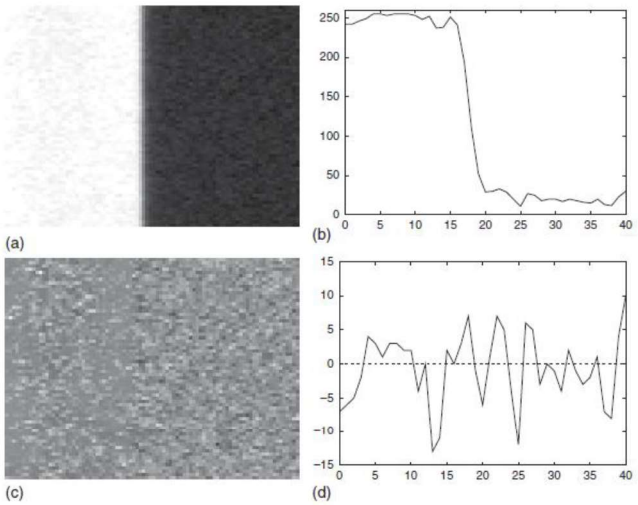
Bu, gri değerlerin olasılık dağılımına karşılık gelir. Şekil 3.56, Şekil 3.49' deki görüntünün histogramını ve Şekil 3.57, kümülatif histogramını göstermektedir. Lehim üzerindeki speküler yansımaların histogramda 255 gri değerinde bir tepe oluşturduğunu görebiliriz. Ayrıca, görüntüdeki en küçük gri değerin 16 olduğunu görebiliriz. Bu, gri değer normalizasyonunun kontrastı neden önemli ölçüde artırmadığını açıklar. Gri değer aralığının karanlık kısmının bileşenler hakkında en fazla bilgiyi içerdiğini görebiliriz, parlak kısım ise yansımalar ve tahtadaki basılı dikdörtgenlere karşılık gelen bilgileri içerir. Bu nedenle, daha sağlam bir gri değer normalizasyonu elde etmek için, histogramın en koyu gri değerler ve en parlak gri değerlerin pu kısmı. Kümülatif olan en küçük gri değeri ve ci ≤ pu olan en büyük gri değerini seçerek bu kümülatif histogramı temel alarak kolayca yapılabilir.

Kümülatif histogramın p = pl ve p = pu çizgileriyle kesişmesine karşılık gelir. Şekil 3.57, kümülatif histogramı üzerine eklenen iki örnek olasılık eşiğini göstermektedir. Şekil 3.49' deki örnek görüntü için, yalnızca yansımalara karşılık gelen parlak gri değerleri göz ardı etmek ve sağlam bir gri değeri normalleştirmesi elde etmek için tahtaya yazdırmak en iyisidir. Şekil 3.55, pl = 0 ve pu = 0,8 ile elde edilen sonucu göstermektedir. Gördüğümüz gibi, bileşenlerin kontrastı önemli ölçüde geliştirildi.

Sağlam gri değer normalizasyonu, optik karakter tanıma için bir özellik çıkarma yöntemi olarak kullanılan ve OCR özelliklerini aydınlatma değişikliklerine değişmez hale getirmek için kullanılabilen son derece güçlü bir yöntemdir. Ancak, görüntüdeki gri değerlerin dönüştürülmesini gerektirir, bu da hesaplama açısından uzun sürer. Bir algoritmayı aydınlatma değişikliklerine karşı sağlam hale getirmek istiyorsak, genellikle görüntülerin bölümlere ayrılması için parametreleri aydınlatmadaki değişikliklere uyarlamak mümkündür.

Her görüntü bir dereceye kadar gürültü içerir. Gürültü, örneğin foton akısının rastgele olması nedeniyle, çeşitli nedenlerle meydana gelen gri değerlerde rastgele değişiklikler olarak kabul edilebilir. Çoğu durumda, gürültünün görüntü düzeltme operatörleri kullanılarak bastırılması gerekir.

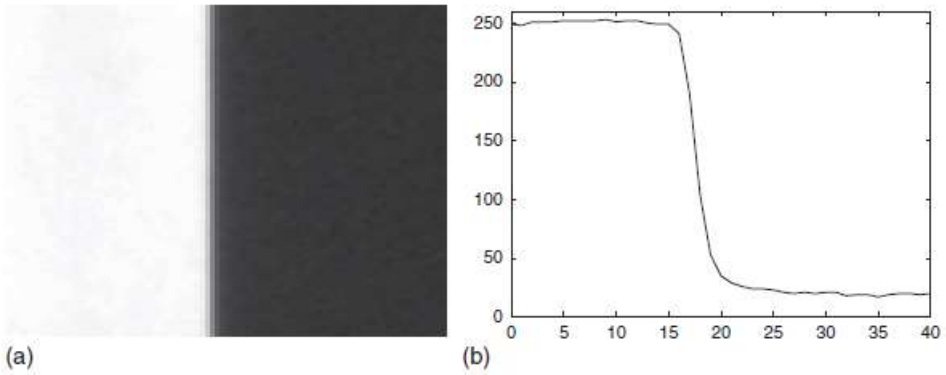
Gürültü, gerçek gri değeri $g_{r,c}$'nin gözlenen gri değerini elde etmek için $n_{r,c}$ gürültüsünden rahatsız olduğu anlamına gelir: $\breve{g}_{r,c} = g_{r,c} + n_{r,c}$. $n_{r,c}$ gürültüsünü, her piksel için ortalama 0 ve varyans σ^2 ile rastgele bir değişken olarak kabul edebiliriz. Gürültü için ortalama 0 olduğunu varsayabiliriz, çünkü 0' dan farklı herhangi bir ortalama, yine de tespit edemediğimiz gözlenen gri değerlerin sistematik bir sapmasını oluşturacaktır. “Sabit”, gürültünün görüntüdeki konuma bağlı olmadığı, yani her piksel için aynı şekilde dağıtıldığı anlamına gelir. Özellikle, σ^2'nin görüntü boyunca sabit olduğu kabul edilir. Gürültünün her zaman sabit olduğunu varsayacağız.



Şekil 3.58. Gürültü

Şekil 3.58, gerçek bir uygulamadan bir kenarın görüntüsünü gösterir. Gürültü, Şekil 3.58a' daki parlak bölgede ve Şekil 3.58b' deki yatay gri değer profilinde açıkça görülebilir. Şekil 3.58c, görüntüdeki gerçek paraziti göstermektedir. Gürültünün nasıl hesaplandığı aşağıda açıklanmaktadır. Görüntünün karanlık bölgesinde biraz daha fazla gürültü olduğu görülebilir. Gürültüyü azaltmak için, aynı sahnenin birden çok görüntüsünü elde edip, bu görüntüleri basitçe ortalamak bir yöntemdir. Görüntüler farklı zamanlarda alındığından, bu yöntem geçici ortalama olarak tanımlanabilir. Eğer n görüntü elde edersek, geçici ortalama şu şekilde verilir:

$$g_{r,c} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \hat{g}_{r,c;i} \tag{3.9}$$



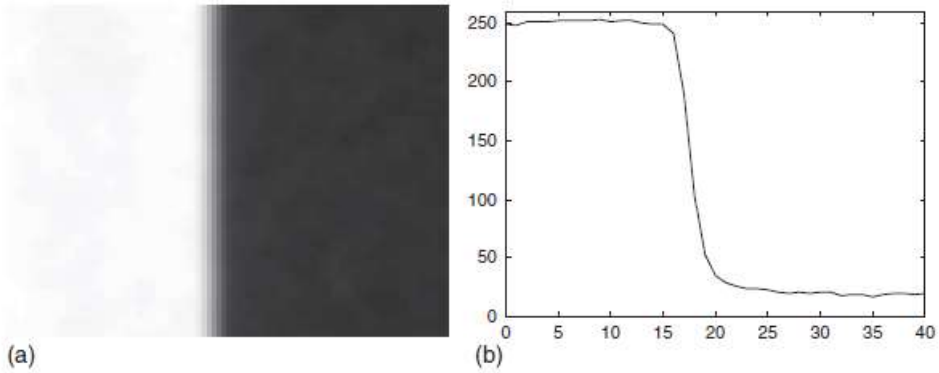
Şekil 3.59. Geçici Ortalama

Şekil 3.59'de, bir kenarın 20 görüntüsünün elde edilmesinin ardından hesaplanan ortalama sonucunu göstermektedir. Ancak bu yöntemle gürültüyü azaltmak için birden fazla görüntü elde etmemiz gerekmektedir. Endüstriyel uygulamalarda, uygulama hızı önemli olduğundan bu yöntem ideal değildir. Bu nedenle tek bir görüntü yardımıyla çoğu endüstriyel uygulamada kullanılabilecek başka yöntemler gereklidir. Mean filtresi ile kenarlar aşağıdaki gibi düzeltilebilir:

$$g_{r,c} = \frac{1}{(2n+1)(2m+1)} \sum_{i=-n}^{n} \sum_{j=-m}^{m} \hat{g}_{r-i,c-j} \tag{3.10}$$

Mean Filtresine, ortalama filtre de denir. Gürültü varyansı, ortalamayı hesaplamak için kullanılan ölçüm sayısına karşılık gelen bir faktörle, yani (2n + 1) (2m + 1) ile azaltılır.

Şekil 3.60, görüntünün 5 x 5 ortalama filtre ile yumuşatılmasının sonucunu göstermektedir. Ancak, kenarın artık geçici ortalamadaki kadar keskin olmadığını görebiliriz.

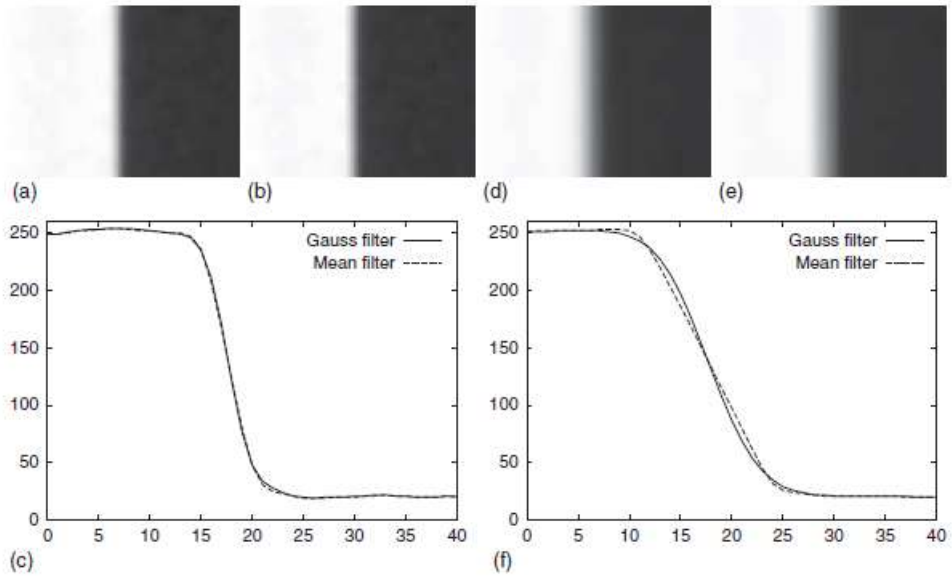


Şekil 3.60. Mean Filtresi

Gaussian filtresi ile kenarlar aşağıdaki gibi düzeltilebilir:

$$g_\sigma(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-x^2/(2\sigma^2)} \tag{3.11}$$

Optimum yumuşatma filtresi, Gauss filtresi olarak belirtilebilir. Gauss filtresinin yüksek frekansları ortalama filtreden çok daha iyi bastırdığı görülebilir. Ortalama filtre gibi, herhangi bir doğrusal filtre görüntüdeki parazitin varyansını değiştirecektir. Şekil 3.61, Gauss filtresinin sonuçlarını, eşdeğer büyüklükteki ortalama filtrenin sonuçlarıyla karşılaştırır. Küçük filtre boyutları için (σ = 1,41 ve 5 × 5), sonuçlar arasında neredeyse fark edilebilir bir fark yoktur. Ancak, daha büyük filtre boyutları kullanılırsa, ortalama filtrenin kenarı bir rampaya dönüştürdüğü ve görsel olarak bulmak oldukça zor olan kötü tanımlanmış kenar, Gauss filtresi ise çok daha keskin bir kenar üretir. Bu nedenle, Gauss filtresinin daha iyi sonuçlar verdiğini görebiliriz ve sonuç olarak, sonuçların kalitesi birincil endişe ise genellikle tercih edilen yumuşatma filtresidir. Hız birincil kaygı ise, ortalama filtre tercih edilir.



Şekil 3.61. Gauss Filtresi ve Mean Filtresi Karşılaştırması

Birçok uygulamada, incelenecek nesnelerin görüntüde her zaman aynı konumda ve yönde olmasını sağlamak mümkün değildir. Bu nedenle, denetim algoritması bu konum değişiklikleriyle başa çıkabilmelidir. Bu nedenle incelenecek olan nesnelerin pozisyonu ve yönü tespit edilmelidir. Bu durumda, incelemeyi belirli bir pozlamaya uyarlamanın en basit prosedürü, ROI' leri uygun şekilde hizalamaktır. Örneğin, bir nesnenin 45^o döndürüldüğünü bilersek, incelemeyi yapmadan önce ROI' yi 45^o döndürebiliriz. Örneğin, metin yatay veya dikey ise OCR' nin segmentasyonu çok daha kolaydır. Başka bir örnek olarak nesnelerin referans görüntüye dayalı olarak incelenmesidir. Burada, nesnenin görüntüsünü referans görüntüdeki pozla hizalamamız veya tam tersi de yapmamız gerekir.

Nesnelerin konumu ve dönüşü mekanik kurulum ile sabit tutulamıyorsa, nesnenin dönüşünü ve çevirisini düzeltmemiz gerekir. Bazen nesnenin kameraya olan mesafesi değişir ve nesnenin boyutunda belirgin bir değişikliğe yol açar. Bu dönüşümler, aşağıdaki denklemle tanımlanabilen dönüşümler olan affine dönüşümler olarak adlandırılan çok kullanışlı bir dönüşüm sınıfının parçasıdır (Hartley 2003):

$$\begin{pmatrix} \bar{r} \\ \bar{c} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r \\ c \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} t_r \\ t_c \end{pmatrix} \tag{3.12}$$

Dolayısıyla, bir affine dönüşüm, 2x2 bir matris ve bir translasyonla verilen doğrusal bir kısımdan oluşur. Bununla birlikte, yukarıdaki gösterimde dönüşümü her zaman ayrı olarak listelemek zorundayız. Dönüşümü basit bir matris çarpımı olarak yazmamızı sağlayan üçüncü bir koordinat olan, koordinatlarını genişletilen bir gösterimi kullanabiliriz (Hartley 2003):

$$\begin{pmatrix} \bar{r} \\ \bar{c} \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r \\ c \\ 1 \end{pmatrix} \tag{3.13}$$

Dönüşümün A matrisinin a_{13} ve a_{23} elementleri ile temsil edildiğine dikkat edin. Bu gereksiz üçüncü koordinat ile bu gösterime homojen koordinatlar denir. Herhangi bir affine dönüşüm, matrisin son sırasının atlandığı aşağıdaki temel dönüşümlerden yapılabilir (Hartley 2003):

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & t_r \\ 0 & 1 & t_c \end{pmatrix}$$ Çevirmek

$$\begin{pmatrix} s_r & 0 & 0 \\ 0 & s_c & 0 \end{pmatrix}$$ Satır ve sutün yönünde ölçeklendirme

$$\begin{pmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 \\ \sin\alpha & \cos\alpha & 0 \end{pmatrix}$$ Belirli bir açıda döndürme

$$\begin{pmatrix} \cos\theta & 0 & 0 \\ \sin\theta & 1 & 0 \end{pmatrix}$$ Satır ekseninde belirli bir açıda döndürme

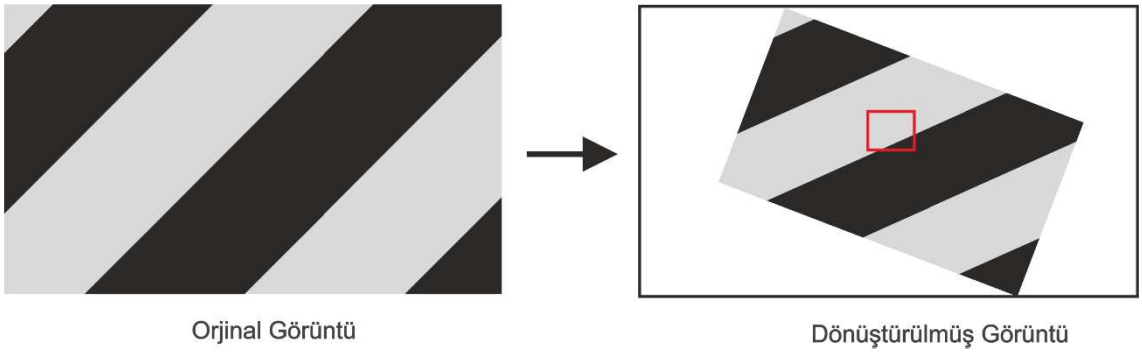
Affine dönüşüm, bir nesnenin maruz kalabileceği neredeyse tüm ilgili poz varyasyonlarını düzeltmemizi sağlar. Bazen affine dönüşümler yeterli olmaz eğer söz konusu nesne üç boyutta dönebiliyorsa, meydana gelebilecek oklüzyonlar nedeniyle düzeltilmesi oldukça zor olan genel bir perspektif dönüşümüne uğrayacaktır. Bununla birlikte, nesne düzlemsel ise, nesnenin dönüşümünü özel bir 2D projektif dönüşüm olan bir 2D perspektif dönüşümü ile modellenir (Hartley, 2003):

$$\begin{pmatrix} \bar{r} \\ \bar{c} \\ \bar{w} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r \\ c \\ w \end{pmatrix} \tag{3.18}$$

Denklemdeki affine dönüşüm ile benzerlik gösterir. Yapılan tek değişiklik, dönüşümün artık tam bir 3 × 3 matrisi ile tanımlanmış olması ve üçüncü koordinattaki 1'i w

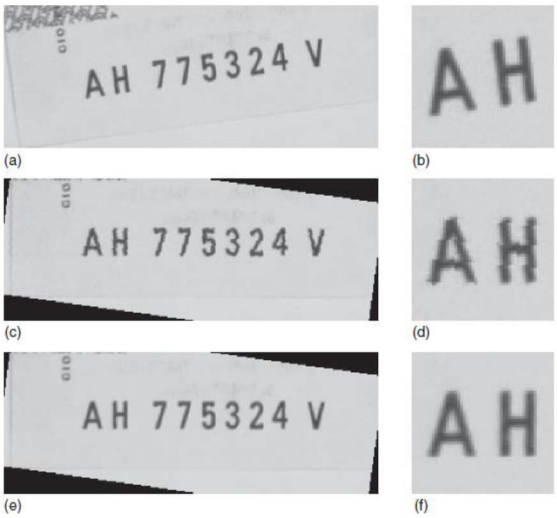
değişkeniyle değiştirmemizdir. Bu temsil aslında homojen koordinatların gerçek temsilidir. Özel projektif dönüşümler olan affine dönüşümler için de kullanılabilir. Bu üçüncü koordinatla, dönüştürülmüş bir 2D koordinatı nasıl elde edebildiğimiz, yani karşılık gelen homojen olmayan noktayı nasıl hesaplayabileceğimiz açık değildir. Her şeyden önce, homojen koordinatlarda tüm p = (r, c, w) T noktalarının sadece bir ölçek faktörüne kadar tanımlandığı, yani p ve λp ($\lambda \neq 0$) vektörlerinin aynı 2D'yi temsil ettiği belirtilmelidir. Sonuç olarak, H matrisi tarafından verilen yansıtmalı dönüşüm de sadece bir ölçek aktörüne kadar tanımlanır ve dolayısıyla sadece sekiz bağımsız parametreye sahiptir. Homojen gösterimden homojen olmayan bir 2D nokta elde etmek için, homojen vektörü w' ye bölmeliyiz. Bu w ≠ 0 gerektirir. Bu tür noktalara sonlu noktalar denir. Tersine, w = 0 olan noktalara sonsuzluktaki noktalar denir, çünkü bunlar belirli bir yönde sonsuz uzakta uzanmış sayılabilirler. Bir projektif dönüşüm sekiz bağımsız parametreye sahip olduğundan, dört karşılık gelen noktadan benzersiz bir şekilde belirlenebilir. Projektif dönüşümler genellikle makine görme uygulamalarında bu şekilde belirlenecektir. Bir görüntüde tipik olarak bir dikdörtgeni temsil eden dört nokta çıkartacağız ve görüntüyü düzelterek, çıkarılan dört nokta dikdörtgenin dört köşesine, yani karşılık gelen noktalara dönüştürülecektir (Hartley 2003).

Affine ve projektif dönüşümlerle koordinatların nasıl dönüştürülebileceği belirtilmiştir. Bir görüntüyü dönüştürmek için çıkış görüntüsündeki tüm pikseller arasında döngü yapmak ve giriş görüntüsündeki karşılık gelen noktanın konumunu hesaplamaktır. Bu, çıktı görüntüsündeki tüm ilgili piksellerin ayarlanmasını sağlamanın en basit yoludur. Orijinal görüntüdeki konumlar basittir: yalnızca affine veya projektif dönüşümü açıklayan matrisi tersine çevirmemiz gerekir, bu da yine affine veya projektif dönüşüme yol açar. Görüntü koordinatları çıktı görüntüsünden girdi görüntüsüne dönüştürüldüğünde, genellikle çıktı görüntüsündeki tüm pikseller geri dönüşmez. Giriş görüntüsündeki sonuç koordinatlarının tipik olarak tamsayı koordinatları olmayacağını görüyoruz. Bunun bir örneği, giriş görüntüsünün bir çeviri, döndürme ve ölçeklemeden oluşan bir affine dönüşüm ile dönüştürüldüğü Şekil 3.60' da verilmektedir. Bu nedenle, çıktı görüntüsündeki gri değerlerin enterpolasyonu yapılmalıdır (Faugeras 2001).



Şekil 3.62. Affine Dönüşümü (Faugeras 2001)

Enterpolasyon çeşitli şekillerde yapılabilir. Şekil 3.62, çıkış görüntüsünden giriş görüntüsüne dönüştürülen bir pikseli göstermektedir. Dönüştürülmüş piksel merkezinin dört bitişik piksel merkezi arasında tamsayı olmayan bir konumda yer almaktadır. En basit ve en hızlı enterpolasyon yöntemi, sadece dönüştürülen piksel merkezinin kayan nokta koordinatlarının yuvarlanmasını içeren dört bitişik piksel merkezinin en yakınını hesaplamak ve giriş görüntüsündeki en yakın pikselin gri değerini gri olarak kullanmaktır Şekil 3.62'de gösterildiği gibi çıktı görüntüsündeki pikselin değeri. Bu enterpolasyon yöntemine en yakın komşu enterpolasyonu denir. Bu enterpolasyonun etkisini görmek için, Şekil 3.63a, banknotların seri numarasının, karakterlerin yatay olmadığı bir görüntüsünü gösterir. Şekil 3.63c, d, seri numarası olacak şekilde görüntünün döndürülmesinin sonucunu gösterir. Bu enterpolasyon kullanılarak yatay gri değer, giriş görüntüsünde en yakın piksel merkezinden alındığından, karakterlerin kenarlarının tırtıklı bir görünüme sahip olması istenmeyen bir durumdur (Hartley 2003).



Şekil 3.63. Affine Dönüşümü (Faugeras 2001)

En yakın komşu enterpolasyonu sonucu pürüzlü görünümün nedeni, aslında görüntüyü parçalı bir sabit fonksiyon olarak görmemizdir: her yönde ± 0,5'lik bir dikdörtgen içine düşen her koordinat aynı gri değere atanır. Bu, sonuçta pürüzlü kenarlara neden olan süreksizliklere yol açar. Bu davranış, özellikle görüntü faktörü> 1 ile ölçeklendirilirse fark edilir. Daha iyi bir enterpolasyon elde etmek için, en yakın pikselin gri değerinden daha fazla bilgi kullanabiliriz. Şekil 3.62'dan, dönüştürülmüş piksel merkezinin dört bitişik piksel merkezinin bir karesinde olduğu görülebilir. Bu nedenle, karşılık gelen dört gri değer kullanabilir ve uygun şekilde ağırlıklandırılabilir. İlk olarak, dönüştürülen koordinatın bitişik piksel merkezlerine yatay ve dikey mesafeleri hesaplanır. Bunların 0 ile 1 arasında sayılar olduğuna dikkat edilmesi gerekir. Sonra, bilinear enterpolasyonu elde etmek için gri değerler mesafelerine göre ağırlıklandırılır (Faugeras, 2001):

$$\bar{g} = b(ag_{11} + (1-a)g_{01}) + (1-b)(ag_{10} + (1-a)g_{00}) \tag{3.19}$$

Şekil 3.63e, f, bilinear enterpolasyon kullanılarak Şekil 3.63a'daki görüntünün döndürülmesinin sonucunu gösterir. Karakterlerin kenarlarının çok daha iyi bir görüntüsü elde edilebilir.

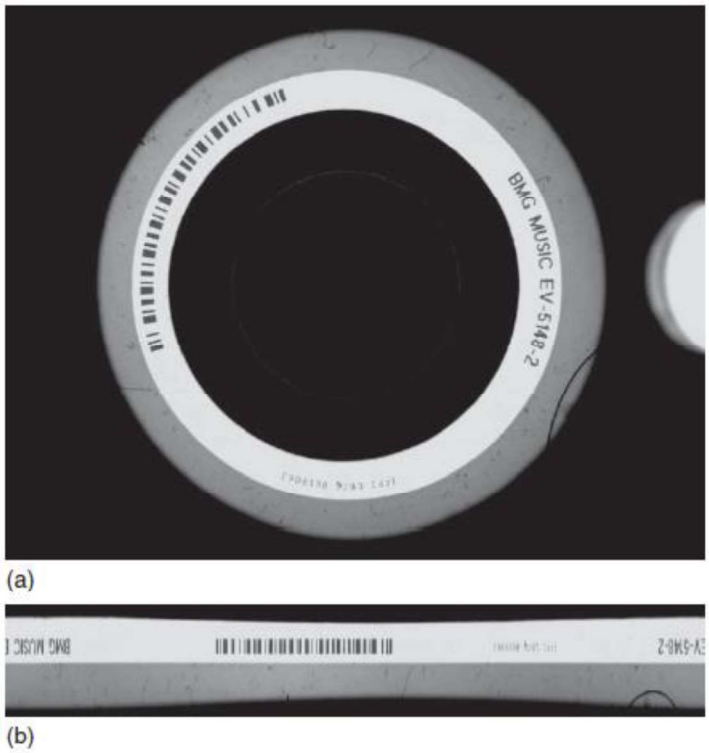
Polar dönüşüm, genellikle dairesel olan veya görüntüdeki dairesel halkalarda bulunan nesnelerin gösterildiği görüntülerin bölümlerini düzeltmek için kullanılır. Bir örnek Şekil 3.64'da gösterilmektedir. Burada, barkod ve metin CD örnek gösterilmiştir. Barkodu okumak için çözümlerden biri görüntünün barkodu içeren kısmını düzeltmektir. Bu amaçla, görüntüyü kutupsal koordinatlara (d, ϕ), yani dönüşümün merkezine d mesafesi ve vektörün dönüşümün merkezine açısı ϕ. Dönüşümün merkezine (m_r, m_c), sonra bir noktanın (r, c) kutupsal koordinatlarını vermek gerekir (Hartley, 2003):

$$d = \sqrt{(r-m_r)^2 + (c-m_c)^2}$$
$$\phi = \arctan\left(-\frac{r-m_r}{c-m_c}\right) \tag{3.20}$$

Arkteğet fonksiyonunun hesaplanmasında, arktan argümanındaki kesitteki iki terimin işaretine dayanarak doğru kadran kullanılmalıdır. Affine ve projektif dönüşümlerdeki gibi görüntüyü dönüştürmek için polar dönüşümün tersi kullanılır (Hartley 2003);

$$r = m_r - d\sin\phi$$
$$c = m_c + d\cos\phi \tag{3.21}$$

Burada, sinüsler ve kosinüsler hesaplanabilir, çünkü bunlar sadece sınırlı sayıda ayrık değer için meydana gelir ve bu nedenle sadece bir kez hesaplanması gerekir. Bu nedenle bir görüntünün polar dönüşümü verimli bir şekilde hesaplanabilir. D ve ϕ aralıklarını kısıtlayarak keyfi dairesel sektörleri dönüştürebileceğimizi unutmayın. Şekil 3.64b, Şekil 3.64a'daki barkodu içeren dairesel bir halkanın dönüştürülmesinin sonucunu gösterir. Kutupsal dönüşüm nedeniyle barkodun düz ve yatay olduğu ve sonuç olarak kolayca okunabileceği unutulmamalıdır.



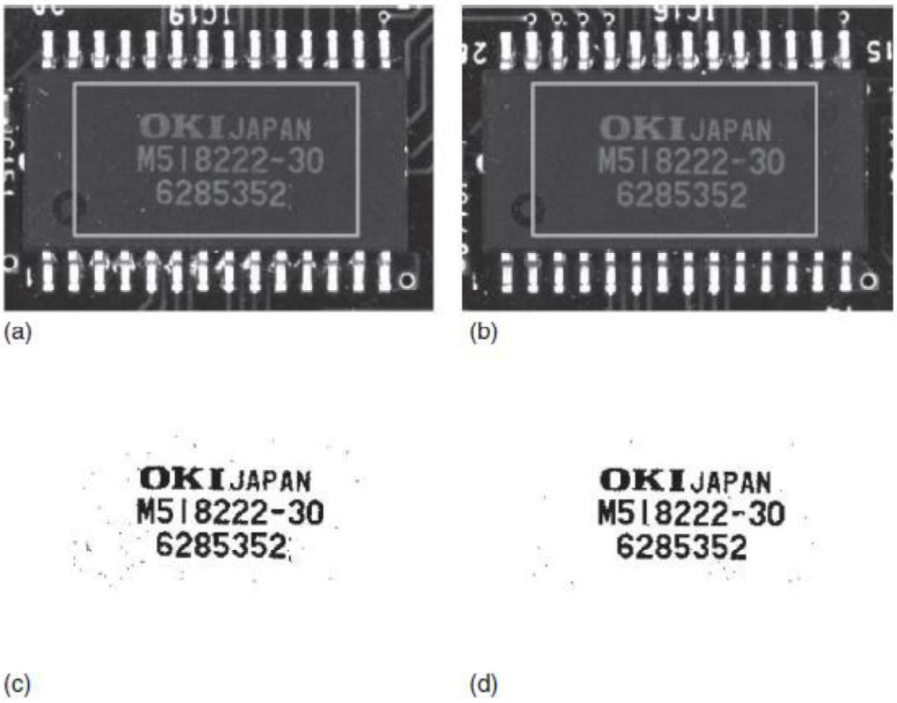
Şekil 3.64. Polar Dönüşüm (Hartley 2003)

En basit segmentasyon algoritması görüntüyü eşiklemektir. Eşik işlemi şu şekilde tanımlanır:

$$S = \{(r,c) \in R \mid g_{\min} \leq f_{r,c} \leq g_{\max}\} \tag{3.22}$$

Bu nedenle, eşik işlemi, görüntünün ROI R'sinde, S çıkış bölgesine belirli bir gri değer aralığında bulunan tüm noktaları seçer. Genellikle, g_{min} = 0 veya g_{max} = 2b - 1 kullanılır. Aydınlatma sabit tutulabiliyorsa, sistem ayarlandığında g_{min} ve g_{max} eşikleri seçilir ve hiçbir zaman değiştirilmez. Eşik işlemi gri değerlerin kendilerine dayandığından, bölümlenecek nesne ve arka plan önemli ölçüde farklı gri değerlere sahip olduğunda kullanılabilir (Haralick 1992).

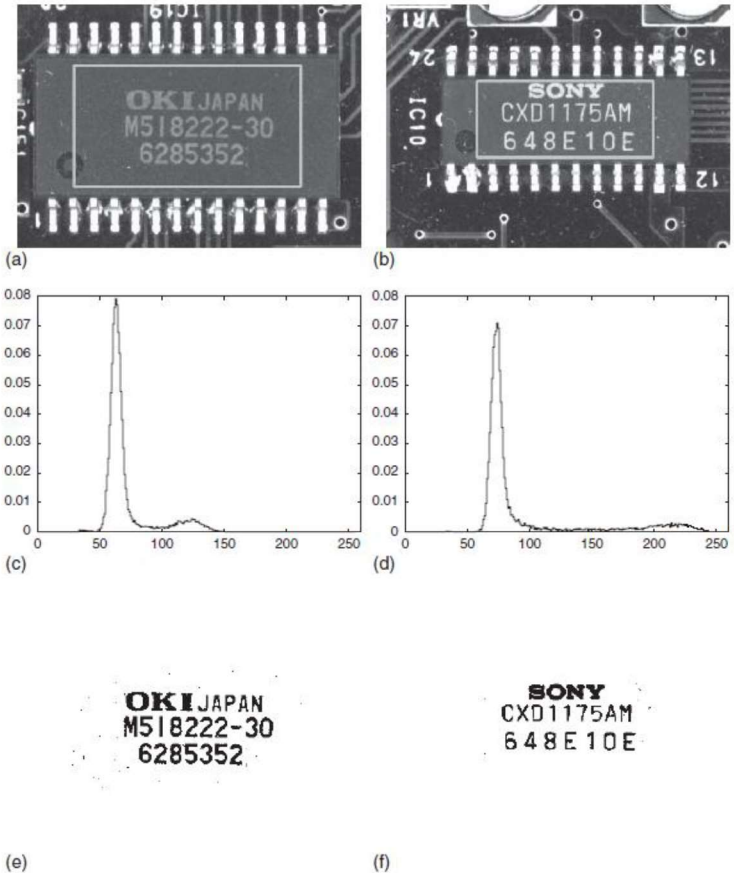
Şekil 3.65a, b, PCB üzerindeki dikdörtgen gri ROI açık gri üzerine yerleştirilmiş iki entegre devre (IC) görüntüsünü göstermektedir. İki görüntünün g_{min} = 90 ve g_{max} = 255 ile eşleştirilmesinin sonucu Şekil 3.65c, d' de gösterilmektedir. Aydınlatma sabit tutulduğundan, her iki görüntü için aynı eşik çalışır. Ayrıca, bölümlere ayrılmış bölgelerde bazı gürültülü pikseller olduğu da görülmektedir.



Şekil 3.65. Eşikleme (Haralick, 1992)

Sabit eşik, yalnızca nesnenin ve arka planın gri değerleri değişmediği sürece iyi çalışır. Aydınlatma sabit tutulsa bile, benzer nesneler üzerinde farklı gri değer dağılımları sabit bir eşik kullanmamızı engelleyebilir. Şekil 3.66 bunun bir örneğini göstermektedir. Şekil 3.66a, b'de, aynı PCB üzerindeki iki farklı IC gösterilmektedir. Aynı aydınlatmaya rağmen, baskılar her iki görüntü için de aynı eşiği kullanmamıza izin vermeyecek şekilde oldukça farklı bir gri değer dağılımına sahiptir. Bununla birlikte, baskı ve arka plan her iki durumda da kolayca ayrılabilir. Görüntünün gri değer histogramına dayanarak yapılabilir. Şekil 3.66c, d, Şekil 3.66a, b'deki görüntülerin histogramlarını göstermektedir. Her iki görüntüde histogramlarda iki alakalı tepe noktası olduğu açıktır. Daha küçük gri değere sahip olan arka plana karşılık gelirken, daha yüksek gri değere sahip olan baskıya karşılık gelir.

İyi bir eşik, histogramdaki iki tepe arasındaki minimum değere karşılık gelir. Gri değer histogramındaki rastgele dalgalanmalar nedeniyle ne maksimum ne de minimum iyi tanımlanmıştır. Bu nedenle, minimum değere karşılık gelen eşiği sağlam bir şekilde seçmek için, histogram, örneğin 1D Gauss filtresi ile kıvrılarak düzeltilmelidir. Hangi σ kullanılacağı açık olmadığından, aralarında benzersiz bir minimum değere sahip iki benzersiz maksimum elde edilene kadar histogramı aşamalı olarak daha büyük σ değerleriyle düzeltmektir. Şekil 3.66e, f.'de görülebileceği gibi, her iki görüntü için de uygun eşikler seçilmiştir. Eşikleri seçme yaklaşımı tek yaklaşım değildir. Tüm bu yaklaşımlar ortak olarak görüntünün gri değer histogramına dayandırılmıştır. Böyle farklı bir yaklaşımın bir örneği, ön plan ve arka plandaki gri değerlerin her birinin normal (Gauss) olasılık dağılımına sahip olduğunu varsaymak ve iki Gauss yoğunluğunu histograma birleştirmektir. Eşik daha sonra iki Gauss yoğunluğunun eşit olasılıklara sahip olduğu gri değer olarak tanımlanır. Diğer bir yaklaşım, bölgenin ve arka planın gri değerlerinde ayrılabilirlik ölçüsünü en üst düzeye çıkararak eşiği seçmektir (Haralick 1992).



Şekil 3.66. Farklı Eşikleme Yöntemi

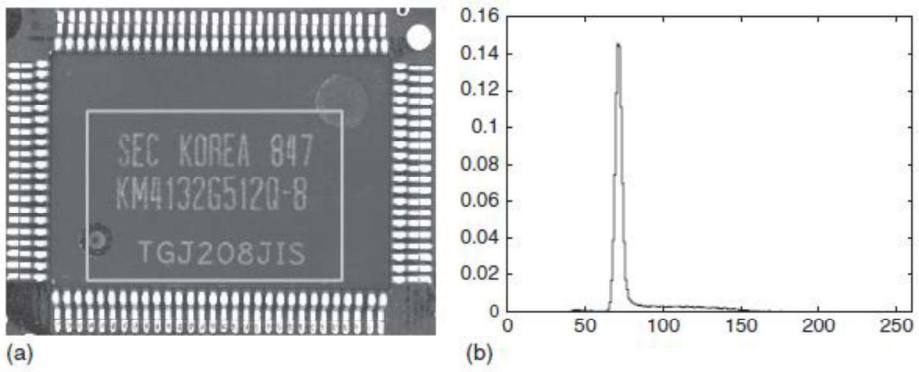
Histogramdaki eşikleri hesaplamak genellikle çok iyi çalışır, ancak histogramda iki tepe olduğu varsayımı başarısız olduğunda başarısız olur. Böyle bir örnek Şekil 3.67'te gösterilmektedir. Burada baskı o kadar gürültülüdür ki baskının gri değerleri aşırı derecede yayılır ve sonuç olarak histogramdaki baskı için fark edilebilir bir tepe yoktur. İstenen zirvenin ortaya çıkmamasının bir başka nedeni homojen olmayan bir aydınlatmadır. Bu genellikle ilgili zirveleri yok eder veya yanlış konumda olacak şekilde hareket ettirir. Eşit olmayan bir aydınlatma çoğu zaman bir eşik işlemi kullanmamızı bile engeller, çünkü görüntünün tamamında çalışan sabit eşikler yoktur. Neyse ki, genellikle ilgili nesneler, yerel arka planlarından yerel olarak daha parlak veya daha koyu olma ile karakterize edilebilir. Şimdiye kadar incelediğimiz IC' lerin üzerindeki baskılar bunun güzel bir örneğidir. Bu nedenle, küresel eşikleri belirtmek yerine, bir pikselin yerel arka planından ne kadar parlak veya koyu olması gerektiğini belirtmek isteriz. Sahip olduğumuz tek sorun, yerel arka planın gri değerinin nasıl belirleneceğidir.

Düzgünleştirme işlemi, örneğin ortalama, Gauss veya medyan filtre, geçerli pikselin etrafındaki pencerede ortalama bir gri değerini hesapladığından, filtre çıktısını gri değerin bir tahmini olarak kullanabiliriz yerel arka plan. Görüntüyü yerel arka planla karşılaştırma işlemine dinamik eşik işlemi denir. Görüntünün fr, c ile, düzleştirilmiş görüntünün gr, c ile gösterilmesine izin verin. Ardından, parlak nesneler için dinamik eşik işlemi şu şekilde belirtilir (Jain 1995):

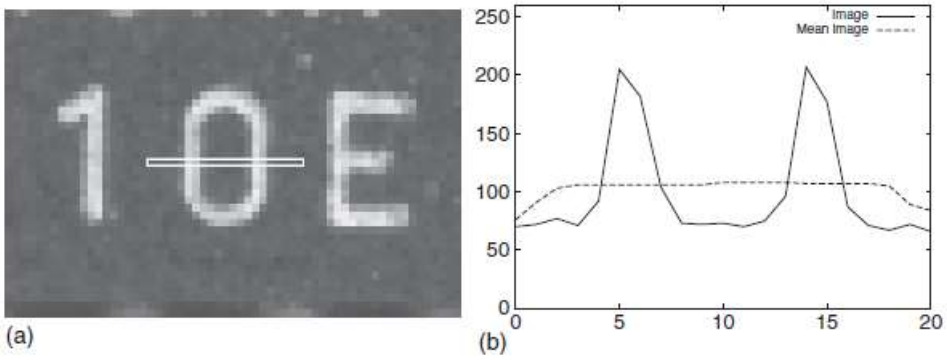
$$S = \{(r,c) \in R \mid f_{r,c} - g_{r,c} \geq g_{\text{diff}}\} \tag{3.23}$$

karanlık nesneler için dinamik eşik işlemi şu şekilde verilir:

$$S = \{(r,c) \in R \mid f_{r,c} - g_{r,c} \leq -g_{\text{diff}}\} \tag{3.24}$$



Şekil 3.67. Histogram Eşikleme



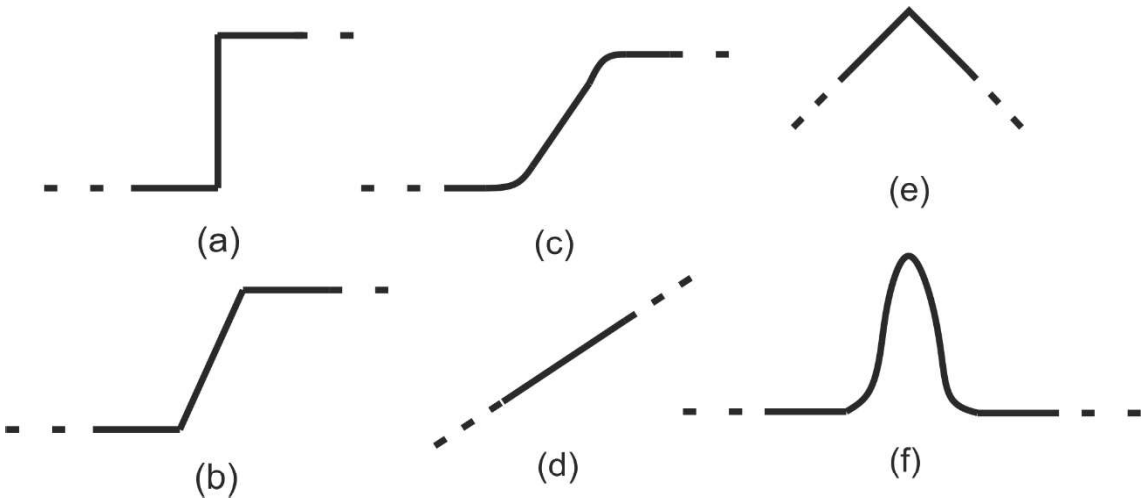
Şekil 3.68. Dinamik Eşikleme

Şekil 3.68, dinamik eşiğin nasıl çalıştığına dair bir örnek vermektedir. Şekil 3.68a'da, tek piksel genişliğinde yatay bir ROI' ye sahip bir IC üzerindeki baskının küçük bir kısmı

gösterilmektedir. Şekil 3.68b, görüntünün gri değer profillerini ve 9 × 9 ortalama filtre ile düzeltilmiş görüntüyü gösterir. Metnin, ortalama filtre tarafından tahmin edilen yerel arka plandan önemli ölçüde daha parlak olduğu görülebilir. Bu nedenle, karakterler dinamik eşikleme işlemiyle kolayca bölümlere ayrılabilir (Jain 1995).

Kenar algılama, görüntü segmentasyonunu başlatmak için eşik değerden çok daha titiz bir yol sağlar. Şunlara dikkat edilmelidir:

- Kenar algılaması için kullanılan çeşitli şablon eşleme işleçleri - örneğin Prewitt, Kirsch ve Robinson operatörleri.
- Kenar tespiti için diferansiyel gradyan yaklaşımı - Roberts, Sobel ve Frei Chen operatörleri tarafından örneklendirilmiştir.
- Şablon eşleştirme operatörlerinin performansını açıklayan teori.
- Diferansiyel gradyan operatörlerinin optimal tasarım yöntemleri ve "dairesel" operatörlerin değeri.
- Çözünürlük, gürültü bastırma özelliği, konum doğruluğu ve yönelim doğruluğu arasındaki dengesizlikler.
- Kenar geliştirme ve kenar algılama arasındaki fark.
- Daha modern operatörlerin ana hatları, canny ve laplacian tabanlı operatörler.
- Nesne sınırlarını modellemek için aktif kontur modellerinin (yılanlar) kullanımı.
- Nesne segmentasyonuna "grafik kesme" yaklaşımı.



Şekil 3.69. Kenar Modelleri

Şekil 3.69’ te çeşitli kenar modelleri görünmektedir. Şekil 3.69a’ da ani basamak kenarı, Şekil 3.69b’ de eğimli basamak kenarı, Şekil 3.69c’ de yumuşak geçişli basamak kenarı, Şekil 3.69d’ de düzlemsel kenar, Şekil3.69e’ de çatı tipi kenar, Şekil3.69f’ de çizgi tipi kenar görünmektedir. Kenar modellerinin etkili profilleri yalnızca belirtilen bölgede sıfır değildir. Eğimli basamak ve yumuşak geçişli basamak gerçekçi kenar profillerine yaklaşık değerlerdir. Ani basamak ve düzlemsel kenar karşılaştırmalar için yararlı olan aşırı kusursuz kenar modelleridir.

Canny kenar operatörü, görüntülerdeki çok çeşitli kenarları algılamak için çok aşamalı bir algoritma kullanan bir kenar algılama operatörüdür. John F. Canny tarafından 1986 yılında geliştirilmiştir. Canny, tekniğin neden çalıştığını açıklayan hesaplamalı bir kenar saptama teorisi de üretmiştir. Canny kenar algılama algoritması 5 adımdan oluşur (Canny 1986):

- Gürültü azaltma
- Gradyan hesabı
- Maksimum olmayan baskılama
- Çift eşik
- Histerezis ile kenar takibi

Bu adımları uyguladıktan sonra, aşağıdaki sonucu elde ederiz:



Şekil 3.70. Orjinal Görüntü



Şekil 3.71. Gri Tonlara Dönüştürülmüş Görüntü



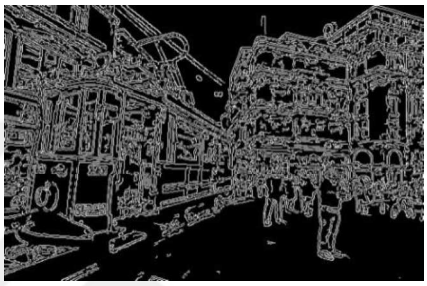
Şekil 3.72. Gürültü Azaltılmış Görüntü



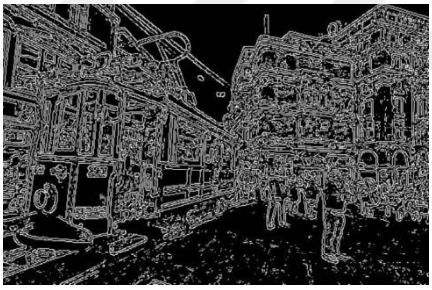
Şekil 3.73. Sobel Op. Uygulanmış Görüntü



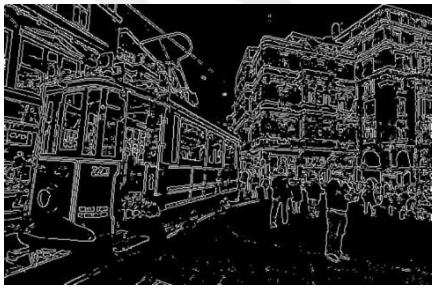
Şekil 3.74. Baskılanmış Görüntü



Şekil 3.75. Y.Seviye Eşiklenmiş Görüntü



Şekil 3.76. D.Sev. Eşiklenmiş Görüntü



Şekil 3.77. His. K.T.Yapılmış Görüntü

Laplacian operatörü bir görüntüdeki kenarları bulmak için kullanılan bir türev operatörüdür. Laplacian ve Prewitt, Sobel, Robinson ve Kirsch gibi diğer operatörler arasındaki en büyük fark, bunların hepsinin birinci dereceden türev maskeler olması, ancak Laplacian 'ın ikinci dereceden türev maskedir. Bu maskede, biri Pozitif Laplacian Operatörü, diğeri Negatif Laplacian Operatörü olmak üzere iki sınıflandırma daha vardır. Laplacian ve diğer operatörler arasındaki bir diğer fark, Laplacian'ın diğer operatörlerin aksine belirli bir yönde kenarları almadığı, ancak aşağıdaki sınıflandırmada kenarları çıkardığıdır (Steger 1998).

- İçe Kenarlar.
- Dış Kenarlar

Pozitif Laplacian'da, maskenin orta elemanının negatif ve maskenin köşe elemanlarının sıfır olması gereken standart bir maskeye sahibiz.

0 1 0

1 -4 1

0 1 0

Pozitif Laplacian Operator, bir görüntüdeki dış kenarları çıkarmak için kullanılır. Negatif Laplacian operatöründe, orta elementin pozitif olması gereken standart bir maske vardır. Köşedeki tüm elemanlar sıfır olmalı ve maskedeki tüm elemanların geri kalanı -1 olmalıdır.

0 -1 0

-1 4 -1

0 -1 0

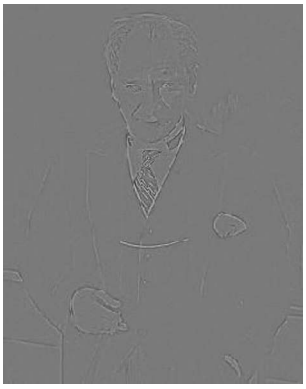
Negatif Laplacian operatörü bir görüntüdeki içe doğru kenarları çıkarmak için kullanılır. Laplacian bir türev operatörüdür; kullanımları bir görüntüdeki gri seviye süreksizliklerini vurgular ve yavaşça değişen gri seviyeleri olan bölgeleri deforme etmeye çalışır. Sonuç olarak bu işlem, koyu arka plan üzerinde grimsi kenar çizgileri ve diğer kesintiler olan görüntüler üretir. Bu, görüntüde içe ve dışa kenarlar üretir. Önemli olan, bu filtrelerin resme nasıl uygulanacağıdır.



Şekil 3.78. Orijinal Görüntü



Şekil 3.79. Pozitif Laplacian Görüntü



Şekil 3.80. Negatif Laplacian Görüntü

3.4.9. Üretimde Endüstriyel Görüntü İşleme

Birçok yapay görme sistemi son derece özelleştirilmiş, benzersiz ve karmaşık bir görevi yerine getirmek için tasarlanmıştır ve bu nedenle kendi başlarına özel amaçlı makinelerdir (Waskewitz 2017).

Kod tanıma, nesneler üzerindeki işaretleri kullanarak nesnelerin tanımlanmasını gösterir; bunlar genellikle standartlaştırılmış barkodlar ya da özel kodlar olabilir. Genel uygulamalar malzeme akış kontrolü ve lojistiktir. Nesne tanıma, şekil, geometri, boyutlar, renk, yapı, topoloji veya doku gibi karakteristik özellikleri kullanarak nesnelerin tanımlanmasını gösterir. Nesne tanımlama, nesne varyantlarının ayrımını içerir. Örneğin, konum tanıma veya bütünlük kontrolleri, sahnedeki doğru nesnelerin önceden tanımlanmasını gerektirebilir. Söz konusu nesnelere bağlı olarak, özellikle imalat sanayi dışındaki otonom sürüş gibi alanlarda basit bir görev veya son derece karmaşık bir görev olabilir.

3D veriler, nesne tanıma için kullanılmaktadır, kelimenin tam anlamıyla bu alana yeni bir boyut ekler ve örneğin bilgisayar destekli tasarım (CAD) verileriyle karşılaştırılarak nesne özelliklerini eşleştirme ve değerlendirme için tamamen yeni yollar sağlar. Konum tanıma, özellik hesaplama ve eşleştirme yöntemlerini kullanarak, önceden tanımlanmış bir koordinat sisteminde bir nesnenin veya bir nesnenin belirli bir noktasının konumunun ve yönünün belirlenmesini sağlar. Tipik uygulamalar robot rehberliği, alma ve

yerleştirme işlemleri ve yerleştirme makineleridir. İlginç bir uygulama olarak, ters uygulama, yani kamera sisteminin kendisinin yerini ve yönünü belirlemek için görüntüleri kullanmasıdır. Örneğin konumlarını belirlemek için otonom robotlar tarafından kullanılır. Tamlık kontrolü, iş parçalarının doğru veya yanlış monte edilmiş olarak sınıflandırılmasını gösterir. Tüm bileşenlerin mevcut olup olmadığını ve doğru konumda olup olmadığı kontrol edilebilir. Genellikle iş parçasını bir sonraki montaj adımına geçirmenin bir ön koşulu olarak veya iş parçasının paketlenip teslim edilmesi için paketin tamamen doğru tip ürünlerle doldurulmuş olup olmadığını kontrol eder.

Şekil ve boyut kontrolü, hassas ve doğru ölçümlere odaklanarak geometrik ölçümlerin belirlenmesini ifade eder. Ürünlerin daha sıkı tolerans gereksinimlerini karşılaması gerektiğinden, bu alanın önemi artan kalite standartlarına göre artar. İş parçalarının veya aletlerin nominal boyutlara uygunluğunun kontrol edilmesi gereken her yerde uygulamalar bulunabilir. Gerekli doğruluk nedeniyle, bu görevler genellikle sensör ekipmanına ve muayene istasyonunun mekanik yapısına yüksek talepler getirir. Yüzey incelemesi, pürüzlülük gibi topografik özelliklerin belirlenmesine yönelik uygulamalardır. Yüzeydeki ezikler, çizikler, kirlilik, renk, doku veya istenen yüzey özelliklerinden sapmalar gibi yüzey kusurlarının tanınmasına odaklandığı nitel yüzey muayene uygulamaları geliştirilebilir. Yüzey kalitesini değerlendirmek için geometrik özelliklerin nicel ölçümleri gerekebilir (Bosche 2008).

Küçük atölye üretimi, örneğin bir dökümhanede alet ve kalıp yapımı veya dökümdür. Seri üretim, farklı üniteleri tekrar eden makineler veya montaj hatlarını içerir. Hacimler yüksek ve esneklik nispeten düşüktür. Sürekli akışta üretim yapan sürekli olarak üretimin yapıldığı sistemlerdir. Kağıt üretimi, rafineriler veya ekstrüzyon işlemleri bunlara örnek olabilir. Ürün hacimleri çok yüksektir. Çeşitlilik ve esneklik, seri üretime göre daha da düşüktür. Seri üretim sıklıkla montaj hattını besleyen, atölye tarzında yapılan parçaları gerektirir veya sürekli akış üretimi için hammaddeler gruplar halinde hazırlanır. Farklı imalat türleri, makine görme sistemlerinden farklı talepler doğurur.

Görüntü işleme, üretim sürecinde oldukça farklı roller üstlenebilir. Muayene için, yani üretim sürecinden sonra iş parçasının doğru olup olmadığını kontrol etmek için

kullanılabilir. Muayene genellikle ezikler, çizikler, yanlış boyutlar gibi kusurların kontrol edilmesini belirtir. Görme sisteminin beklenen bir durumun gerçekten var olduğunu doğruladığı, akıcı bir şekilde doğrulama ile birleşir. Bu, iş parçasının tüm parçaları doğru yerde veya bir kimliğin, örneğin bir seri numarası dizgisinin, beklenen bir değere karşılık gelmesi ile tamamen monte edilme durumu olabilir. Doğrulama, aslında saf tanıma işleminden daha kolay olabilir. Bilinen bir seri numarasının gerçekten var olduğunu doğrulamak, parçada olan herhangi bir sayıyı okumaktan daha kolaydır. Başka bir uygulama, izleme işlemi, yani üretim işlemi sırasında doğru bir şekilde yürütülüp yürütülmediğini gözlemlemektir. Örneğin, kaynak sırasında eriyik kaynak havuzunun doğru boyuta sahip olup olmadığını görmek için bir lazer kaynak işlemine kamera ile görüntülenmesidir. Bu rol, süreci kontrol etmek, yani süreci değiştirmek, okumak, geliştirmek veya kontrol etmek için makine görme sisteminin sonuçlarını kullanmak için daha da genişletilebilir. Bu, istatistiksel işlem kontrolü veya doğrudan geri besleme kontrolü olarak, örneğin, ölçülü kontur boyunca tutkal veya dolgu macunu dağıtan bir endüstriyel robotu yönlendirmek için bir görme sisteminin kullanılması mümkündür. Örneğin, bir alüminyum ekstrüzyon işleminde nozuldan sonra yerleştirilen bir endüstriyel görüntü işleme sistemi, teknik olarak sürecin içine bakmaz. Bu bir izleme sistemidir. Borunun soğumasını ve iş parçalarının kesilmesini izlemek, bir denetim sisteminin her bir iş parçası için doğruluk kararını vermek için kullandığı nicel ölçümlerin, iş parçası sistemden ayrıldıktan sonra atılmasına gerek yoktur. Ancak üretim sürecinin mevcut özelliklerini ve kalitesini belirlemek için istatistiksel olarak değerlendirilebilir. Örneğin, bir oluğun tamamen dolgu macunu ile doldurulup doldurulmadığını kontrol eden bir sistem (günümüzde tipik bir 3D uygulaması), makineyi aşırı veya az doldurma açısından izlemek için sızdırmazlık maddesinin oluktaki yüksekliğini kaydedebilir; ayrıca dolgu macununun viskozitesi hakkında sonuç çıkarmak için dolgu macunundaki bel sayısını değerlendirebilir. İzleme sistemleri kontrol amacıyla kullanılabilir. Bir robotu, bir parça konturu boyunca bir sızdırmazlık maddesi uygulamasına yönlendiren bir sistem, aynı zamanda sızdırmazlık malzemesinde kesintiler veya taşma olup olmadığını kontrol edebilir (Porchyly 2010).

Bir kusur bulunursa ve parçanın hurdaya çıkarılması gerekiyorsa, değer kaybolur. Bileşenler kurtarılabilse bile, onlara harcanan çaba kaybedilir. Ek olarak, sistemin

kendisi, bakımı ve operasyonu maliyet getirir. Mükemmel bir parçayı hurdaya çıkarmak veya tekrar kontrol etmek daha da pahalıya mal olabilir. Arızalı bir parçanın müşteriye ulaşmasına izin vermek muhtemelen parçayı bulmak ve hurdaya ayırmaktan çok daha fazla maliyeti olacaktır. Ayrıca, sadece son bir kontrol olarak değil, kontrol sistemlerinin erken aşamalarında kullanımının artırılması, arızalı parçaları daha fazla çaba harcamadan filtreleyecektir. Ancak yine de kazançları en üst düzeye çıkarmak yerine kayıpları en aza indirme sistemidir. Makine görme sistemleri giderek daha fazla değer katan bir rol oynamaktadır. Bazen sadece süreç iyileştirme potansiyelinin nerede olduğunu gösterirler. Makinelerin işlerini iyi yapmalarına yardımcı olmak için yapay görme sistemlerini kullanmak, süreç kusurlarını tespit etmek yerine proses kalitesini artırmak, kesin olmayan parçaları dışarı atmak yerine hassasiyeti artırmak kısacası, üretimin daha iyi parçalar üretmesini sağlamak sadece iyi olanları seçmek sistemimize değer katar.

Bu alanda ortak terminoloji minimum seviyededir. Örneğin, bazı şirketlerin görüntü sensörü olarak tanımladığı ürünü başka şirketler akıllı kamera terimini; diğerleri görsel denetleyici terimini kullanır. Aşağıdaki listede, bu bölümün geri kalanında tutarlı bir şekilde kullanmaya uygun farklı sistem türleri için çeşitli terimler belirtilmektedir.

Genellikle OK / NOK sonucu veren ve 0D veya 1D'de çalışan küçük, tek amaçlı, kablolu sistemler için sensör terimi kullanılmaktadır. Geleneksel sensörler ve basit görüntü işleme sistemleri arasında bir orta noktayı temsil eden görüntü sensörleridir.

Kompakt sistemler, bu tür sistemler için çok fazla isim vardır. Kamera, akıllı kamera, akıllı sensör veya görüntü sensörüdür. Küçük, yapılandırılabilir, çok amaçlı üniteler için görüntü denetleyicileri ismi kullanılmaktadır. Bunlar aslında endüstriyel görüntü görevleri üzerinde uzmanlaşmış ve otomasyon amaçlı iletişim ara yüzleri ile donatılmış küçük bilgisayarlardır. Genel amaçlı bilgisayarlar kullanılarak oluşturulan sistemler için en yaygın donanım temeli olarak adlandırılan PC tabanlı sistemlerdir.

Bir sensör, otomasyon açısından çok basit bir şeydir. Bir yere sabitlenir ve bazı durumları gösteren bir sinyal verir. Akla gelebilecek tüm fiziksel miktarları kullanan her türlü sensör vardır; kuvvet, mesafe, basınç, optik vb. sensörlerdir.

Tipik optik sensörler, ışık bariyerleri (retroreflektif veya ışık huzmesi) ve renk sensörleridir. Bir ışık sensörü, bir nesnenin varlığını, parçadan yansıması ile tanıyabilir. Bir renk sensörü, sensörün aydınlatılmasıyla nesne üzerinde oluşturulan ışık noktasının rengini tanıyabilir. Bu sensörler aslında sıfır boyutludur ve çok küçük bir görüş alanına sahiptir; temel olarak, tek bir noktayı değerlendirirler.

Görüntü sensörü terimi, belirli görevleri yerine getirmek için makine görüş yöntemleri kullanan sistemler için üretilmiştir. Alan sensörlerinin, temel sensörler üzerinde bazı avantajları vardır. Daha geniş bir görüş alanını dikkate alabilirler ve böylece yapılandırılmış yüzeyler (folyo ambalajı gibi) tarafından oluşturulan düzensiz yansımalar ve yüzeydeki renk ve parlaklık değişimleri ile baş edebilirler. Makine görüş algoritmaları ile birlikte, alansal sensörler bu sistemlerin temel sensörler ile mümkün olmayan değerlendirmeleri yapmasını sağlar. Bir yüzey alanı üzerindeki ortalama parlaklığın hesaplanması, sayma, sıralama ve karakter tanıma gibi çok basit görevlerden bu tür sistemler kullanılarak pek çok uygulama yapılabilir. Önemli nokta, bu tür bir sistemin özel bir amaç için inşa edilmesidir. Belki de bu türden en iyi bilinen sistemler DataMatrix kod tarayıcılarıdır. Özellikle algoritmalarında basit sensörlerden çok daha karmaşık olan bu sistemler, bunlardan daha fazla yapılandırmaya izin verir ve gerektirir. Bununla birlikte, bu tür bir sistemle uygulama yapmak tam teşekküllü bir görüş sisteminden daha az karmaşıktır. Tek amaçlı sistemler olmaları, son kullanıcılar için kurulum ve işletimini kolaylaştırır.

Entegrasyon bakış açısından, konfigürasyonlarına göre bir OK/NOK sinyali veren temel bir sensör kadar basit olabilirler. Ancak genellikle çok az değişiklik gösterirler. Öte yandan, her türlü uygulama için kullanılan görme sistemleri çok farklı sonuç türleri üretir ve bu nedenle çok karmaşık bilgi arayüzlerine sahip olabilirler. Özetle, bu terimdeki görüntü sensörleri, basit sensörlerin yeteneklerini aşan ve tamamen esnek görüş sistemleri kullanılarak ekonomik olarak uygun olmayan bir dizi uygulamaya çok uygun maliyetli çözümler sunabilir. Görme sensörleri iletişim protokollerinde tipik olarak sadece sınırlı esnekliğe sahip olacağından entegrasyon çabası büyük ölçüde otomasyon sistemiyle

ilgilidir. Bu nedenle, uygulama gereksinimlerini karşılayan ve uzun vadeli çözümler sunan bir dizi sensör bulmak, sistem entegratörü önemlidir.

Bazı şirketler kompakt sistemlere görüntü sensörü diğerleri ise akıllı kamera derler. Kompakt sistem terimi tüm görüntü sistemi donanımının yani kamera sensörü, sayısallaştırma, işleme ve iletişimin küçük bir sisteme entegre olduğunu gösterir. Bu nedenle orijinal kompakt sistem, yerleşik bir bilgisayara sahip bir dijital kameradan başka bir şey değildir. Kompakt sistemler çok farklı biçimlerde ve farklı uygulama yöntemleriyle gelir. Bu tür birkaç kompakt sistemi koordine eden merkezi birimlerin yanı sıra ayrı bir kamera kafasına veya ek bir kamera girişine sahip sistemler de vardır. Alan tarama sensörleri alana hakimdir, ancak çizgi tarama sistemleri de mevcuttur ve giderek daha fazla 3D veri toplama da kullanılmaktadır. Birçok sistem, tipik olarak bir bilgisayarda çalışan ve ünite ile ethernet veya diğer uygun arabirimler üzerinden iletişim kuran, oldukça karmaşık olabilen yerleşik bir görüş işlevselliğini rahatça ayarlamak için bir yapılandırma programı ile birlikte gelir. Bir PC ile karşılaştırıldığında, işlem gücü, RAM ve kalıcı depolama alanı, sensör bağlantılarının sayısı ve donanımın yanı sıra yazılımın genişletilebilirliği yönlerinin bir kısmı veya tamamı üzerinde kısıtlamalar olacaktır. Öte yandan, kapalı bir sistemin, donanımın yanı sıra yazılımla ilgili önemli avantajları vardır. Sistem güvenliği, PC tabanlı sistemlere göre daha kolaydır ve yapılandırma yönetimi de daha basittir. Donanım türü ve ürün yazılımı sürümü, görüntü yazılımı yapılandırmasıyla aynı şekilde davranacak bir sistemi yeniden yapılandırmak için genellikle yeterli olacaktır. PC'lerde bu çok daha zor olabilir.

Görüntü denetleyicileri, entegrasyon açısından bakıldığında, PC tabanlı sistemlere benzerler, ancak üniteleri tipik olarak daha küçüktür, bu nedenle konumlandırılmaları daha kolaydır. 24V DC güç kaynağı kullanır ve standart bir işletim sistemi yoktur. Kamera, iletişim ve güç kaynağı bağlantıları ile PC'lerle aynı şekilde entegre edilirler. Uygulama açısından, kompakt sistemlerden çok farklı değildirler. Genellikle, bir yapılandırma programı kullanılarak ayarlanan ve algoritmaların sırasını ve parametrelerini belirleyen yerleşik görüntü işleme algoritmalarına sahiptirler. Görüntü denetleyicileri, genellikle PC tabanlı çözümlerden daha ucuzdur ve küçük boyutlarından

dolayı kullanışlı görünürler. Örneğin iletişim konusunda daha az esnektirler, bu nedenle bu maliyet avantajı dikkatle hesaplanmalıdır.

PC tabanlı bir sistem, standart bir işletim sistemine sahip genel amaçlı bilgisayarlara dayanan sistemleri ifade eder. PC'lerin genişletilebilirliği bu sistemleri özel kılmaktadır. Çeşitli veri yolu sistemleri için farklı arayüz kartları, her türlü kamera için farklı bağlantı noktaları, ek RAM ve sabit disk alanı vb. ile donatılabilirler. Buna ek olarak, bu makinelerdeki standart işletim sistemleri, veri yönetimi, ağ iletişimi, ekran, iletişim için geniş bir hizmet yelpazesi sunar. PC sistemlerinde donanım en azından tek kameralı sistem için nispeten pahalıdır. Özellikle izlenebilirlik, sistemi optimize etmek için geniş bir görüntü depolama alanına sahip olmayı gerektirmektedir. Bu sebeple depolama boyutu önemlidir. Bu sistemlerde kötü amaçlı yazılımların neden olduğu güvenlik riski vardır ve sistemleri ağdan kapatmak, özellikle Nesnelerin Endüstriyel İnterneti çağında gerçekten bir çözüm değildir.

Bir görüş sisteminin, bir tetikleyici sinyal alıp OK / NOK sonucu oluşturduktan sonra sistemin geri kalanıyla veri alışverişi yapması gerekir. Bunun için endüstriyel görüntü işleme sisteminin veri arayüzlerine ihtiyacı vardır. Görme sistemleri ve diğer sistemler arasındaki bilgi alışverişinin miktarını ve önemini artıran çeşitli durumlar vardır. Örneğin, OK / NOK kararları yerine, gerçek proses değerlerinin kullanılmak istenmesidir. Örneğin istatistiksel süreç kontrolü, görüntü işleme sistemlerinin otomasyon ortamıyla daha sıkı entegrasyonu, yaygın türdeki verilerin kullanımı, izlenebilirlik gereksinimleridir olarak belirtilebilir.

Birçok endüstriyel görüntü işleme sistemi sadece belirli ürünlerin izlenebilirlik gereklilikleri nedeniyle mevcuttur. Örneğin DataMatrix kod okuyucuları, kısmen, her bir parçayı kökenlerine, yere, zamana, vardiyaya, hatta onu üreten münferit işçiye kadar takip etme ihtiyacından veya arzusundan kaynaklanmaktadır. İzlenebilirlik, ürün için bir güvenlik gereksinimidir ve üretim organizasyonu nedeniyle faydalıdır. Örneğin, sonraki üretim aşamaları, bireysel iş parçasına atanması gereken önceki adımlardan elde edilen verilere ihtiyaç duyabilir. Endüstriyel görüntü işleme sistemini, tek tek iş parçasına bağlanması gereken verileri depolarsa, bunu izlenebilirliğe duyarlı bir şekilde yapması

gerekir. Tipik bir yöntem, iş parçasının seri numarasını görüntüler için isim olarak kullanmaktır. Seri numarasının kendisi günümüzde sıklıkla bir DataMatrix kodu biçiminde işaretlenmiştir. Bu kod, endüstriyel görüntü işleme sisteminin kendisi tarafından okunabilir veya bir DataMatrix kod okuyucu tarafından sağlanabilir. Görme sisteminin kendisi bu kadar izlenebilirliğe duyarlı bir şekilde çalışamazsa, bireysel iş parçası için görüş sistemi tarafından yaratılan verilerin kaldırılması ve yeniden adlandırılması gibi, yetersiz ve muhtemelen pahalı olabilecek dış araçlar tasarlanmalıdır. Farklı veri tipleri aşağıda listelenmiştir:

- Kontrol sinyalleri
- Sonuç / parametre verileri
- Kitle verileri (genellikle görüntüler)

Veri ve sinyalleri taşımanın farklı yolları vardır:

- Dijital I / O
- Veri yolu (ör. PROFIBUS, CAN-Bus, Interbus-S vb.)
- Seri arayüzler
- Ağ (ör. Ethernet ve ağ aktarım katmanının üzerine inşa edilebilen çeşitli protokoller ve hizmetler nedeniyle son derece geniş bir alan olan EtherCAT, Ethernet / IP, Profinet gibi gerçek zamanlı varyasyonlar)
- Dosyalar (resimler, istatistiksel veri dosyaları, vb.)

Dijital I / O hariç tüm bu arayüzlerin aslında mesaj tabanlı olduğunu, yani farklı veri paketlerinin bit dizilerine serileştirildiğini, sinyal hattı üzerinden iletildiğini ve tekrar serileştirilir (esasen yorumlanması gereken bir bayt dizisi).

Kontrol sinyalleri, endüstriyel görüntü işleme sisteminin çalışma zamanı davranışını uzaktan kontrol eden sinyalleri belirtir. Tipik giriş ve çıkış sinyalleri (kontrol sistemi açısından) aşağıdaki gibidir:

- Çıkış sinyalleri: Başlat (normal bir görüntüleme başlatmak için), Değiştirme (görüntüleme programlarını değiştirmek için), Ayarla, Kalibre Et, Sıfırla vb.
- Giriş sinyalleri: Hazır, Meşgul, Bitti, Tamam, Tamam değil vb.

Bunlar sadece bazı olası örneklerdir. Belirli bir sistemde koşulların gerektirdiği şekilde ilave sinyaller tanımlanabilir. Veri tutarlılığı olmadan dijital I/O gibi arayüzler kullanılırken genellikle OK ve NOK gibi karşılıklı sinyallerin iki katına çıkarılması gerekir. Sinyallerin sadece biri DOĞRU olmalıdır, aksi takdirde bir şey yanlıştır. Mesaj tabanlı arayüzlerde, bu kontrol sinyalleri farklı şekillerde temsil edilebilir. PLC' den görüş sistemine komutlar sayı olarak verilebilir. Örneğin "1", bir başlatma sinyalini, "2" bir geçiş komutunu vb. gösterebilir. Bu yöntem, aynı anda birden fazla komut göndermeyi otomatik olarak engeller. Bununla birlikte, görme sisteminin sistem durumu, genellikle bir durum baytında veya sözcükte ayrı bitler şeklinde kodlanır, çünkü sistem aynı anda birden fazla duruma sahip olabilir. Örneğin, aynı zamanda Bitti ve OK durumlarına sahip olabilir, bu da en son görevi tamamladığını ve bunu bir OK sonucuyla yaptığını gösterir. Temiz bir yazılım oluşturmak için, tanımlanmış geçişleri olan, açıkça farklı sayısal durumlarda ne tepkiler vermesi gerektiğini planlamak gerekmektedir (Pernkopf 2003).

Endüstriyel görüntü işleme sisteminden çevreye aktarılan sonuçlar ve endüstriyel görüntü işleme sisteminin çevreden aldığı parametreler tipik olarak alfanümerik verilerdir. Sonuçlar, ayrı ayrı ölçüm değerleri veya optik karakter tanıma (OCR) veya barkod işlevleri ile tanımlanan dizeler olabilir. Parametreler, ölçüm değerlendirmesi için nominal değerler, arama alanı koordinatları, izlenebilirlik verilerinin depolanması için parça tanımlama numaraları ve benzeri olabilir. Sonuçlar veya parametre verilerinin boyutu birkaç bayt ile birkaç yüz bayt arasında değişir. Çok basit durumlarda örneğin, tek bir küçük tam sayı dijital I / O bu tür verilerin aktarılması için uygundur. Birçok durumda dosya aktarımının bu tür veri alışverişi için mükemmel bir yöntem olduğu göz ardı edilmemelidir. Bu, özellikle uzun vadeli izlenebilirlik veya istatistiksel analiz için arşivlenecek sonuç verileri ve türe bağlı parametreler için geçerlidir.

Tipe bağlı parametreler, bir ürünün farklı tipleri için test programlarının verimli bir şekilde uyarlanmasında önemli bir rol oynar. Testlerin yapısı aynı ürünün farklı tipleri için tamamen veya çoğunlukla aynıdır ancak bazı parametreler farklıdır. Örneğin, nominal ölçüm değerleri değişebilir, renkler veya metin işaretleri farklı olabilir. Her tür için ayrı test programlarına sahip olmak, sadece birkaç parametre değerinde farklılık göstermek, bakım için çok verimli ve zor olmayacaktır. Olası bir çözüm, PLC' nin ilgili

değerleri ilgili sisteme geçişle bağlantılı olarak görüntü işleme sistemine iletmesini sağlamaktır. Parametreler genellikle bir dosya biçiminde bulunan ve görüş sisteminin ilgili parametreleri doğrudan data dosyasından okumasını sağlayan türü açıklayan verilere gömülebilir (Chen 2012).

Endüstriyel görüntü işleme sistemi söz konusu olduğunda; kitle verileri, bölümlenmiş nesneler, ölçüm çizgileri, değerler ve benzerleri gibi işleme adımlarının sonuçlarını gösteren ham kamera görüntüleri veya "işlenmiş" görüntülerdir. Bazı sistemler bu tür veriler için seri arayüzler kullanır. Hatta saha veri yolu bile teorik olarak mümkündür, ancak tipik arayüz ağdır. Özellikle akıllı kamera sistemleri, canlı görüntülerini yalnızca bir Ethernet bağlantısı üzerinden kullanılabilir hale getirir. Böylece bir monitör arabirimi için maliyet ve boyut gereksinimlerini azaltır. Ethernet'in TCP / IP ile bağlantılı olması durumunda Ethernet üzerinden toplu verilere erişmek ve bunları iletmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır (AIA 2013).

Dijital I / O arayüzü, sınırlı sayıda ayrı sinyal hattı sağlar; tipik sayılar, bazı akıllı kamera türleri gibi küçük sistemler için 4 veya PC arayüz kartları için 16 veya 32'dir. Bir hat üzerindeki yüksek voltaj seviyesi 1 veya TRUE, düşük seviye 0 veya FALSE olarak yorumlanır, her satır bir parça bilgi taşıyabilir. Dijital I / O arayüzleri genellikle 5V TTL aralığında veya 24V aralığında çalışır. Otomasyon teknolojisinde, elektromanyetik açıdan gürültülü üretim ortamında çok daha sağlam sinyal iletimi sunduğu için genellikle 24V aralığı tercih edilir. Prensip olarak gerçek veri iletimi için dijital I / O kullanmak mümkündür. Pahalı kablolama (her bit için bir hat) ve tel kopması riski bariz zayıflıklardır. Bu da dijital I / O' yu modern üretim ortamlarında gittikçe daha az arzu edilir kılmaktadır. Protokole gelince, dijital I / O kanallarına standart bir sinyal ataması yoktur. Sınırlı esnekliğe sahip bir cihaz kullanırken örneğin PLC tarafında özel programlama tanımlamak ve bununla başa çıkmak sistem üreticisine veya kullanıcıya bağlıdır (AIA 2013).

PROFIBUS, Interbus-S, CANBus ve diğerleri gibi saha veri yolu sistemleri, otomasyon ortamında dijital I / O'nun yerini almıştır. Dijital I / O ve ağ arasındaki boşluğu doldururlar. Belirli bir zaman davranışına sahiptirler ve genellikle büyük dijital I / O' lar

gibi kullanılabilirler. Örneğin, PROFIBUS'un DP iletişim profili, PROFIBUS mesajının içeriğini, her veri yolu döngüsü dahilinde ana (genellikle PLC) ile bağımlı (diğer herhangi bir cihaz) arasında otomatik olarak güncellenen bir işlem görüntüsü olarak temsil eder. Veri yolunun veri hızına ve değiştirilecek işlem görüntülerinin boyutuna bağlı olarak kurulumlar arasında farklılık gösterir. Otomatik güncelleme, proses görüntüsünün dijital I / O' nun statik sinyal seviyeleri gibi uygulamalara görünmesini sağlar. Proses görüntülerinin olası boyutu (küçük cihazlar sadece birkaç bayt kullanabilir, ancak 200 bayt ve daha fazlası mümkündür), sonuç ve parametre verilerinin değişimine izin verir. Ayrıntılı olarak önemli ölçüde farklı olsa da mevcut tüm çeşitli alan veri yolu sistemleri, gerçek zamanlı davranışı dijital I / O genişliğini aşan mesaj boyutlarıyla birleştirir. Yerleşik veri tutarlılığı ve baytların kablolara daha iyi oranı da diğer avantajlardır. Dijital I / O' da olduğu gibi protokol, yani sinyalleri ve verileri kontrol etmek için işlem görüntüsünde bitlerin ve baytların atanması, sistem tedarikçisine veya kullanıcının tanımlaması ve işlenmesine bağlıdır (AIA 2013).

Endüstriyel görüntü işleme sistemleriyle gerçek zamanlı çalışma klasik RS232 seri arayüzüyle kullanılması her geçen gün azalmaktadır. Yine de DataMatrix veya barkod tarayıcıları gibi belirli sensörlerin entegrasyonu ve kameraların yapılandırılması için kullanılmaktadır. Ancak yavaş yavaş alan veri yolu veya ağ bağlantıları ile değiştirilmektedir.

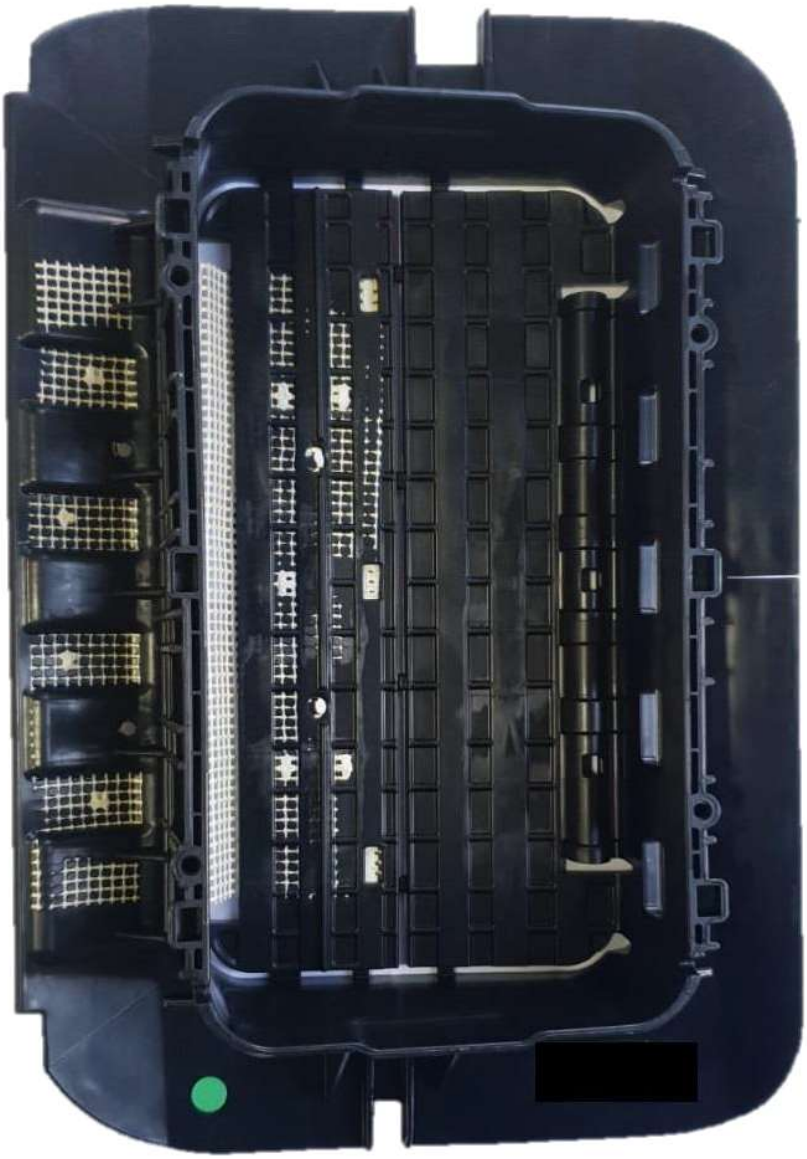
4. MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılacak sistemde enjeksiyon öncesinde aşağıda görünen file parçası kontrol edilecektir (Şekil 4.1). File parçası, kartezyen robot tarafından Şekil 4.9'de tasarımının göründüğü tezgahtan alınarak kamera önüne getirilecektir. File parçası uygun ise kalıp içerisine yerleştirilecektir. File parçası uygun değilse NOK kasasına atılacaktır.



Şekil 4.1. File

Yapılacak sistemde enjeksiyon sonrasında aşağıda görünen yan yolcu hava yastığı parçası kontrol edilecektir (Şekil 4.2). Enjeksiyon sonrasında kartezyen robot tarafından parça kalıp içerisinden alınarak kamera önüne getirilecektir. Parça uygun ise konveyör üzerine bırakılarak operatör önüne gitmesi sağlanacaktır. Parça uygun değilse NOK kasasına atılacaktır. Ayrıca file parçasında tek hata bulunması durumunda tüm sistem durdurulacak ve file parçalarının hepsinin değiştirilmesi istenecektir. File parçalarının hepsi tezgah üzerinden alınıp yenileri konulacaktır. Sistemin yeniden başlatılmasının ardından sistem çalışmaya kaldığı yerden devam edebilecektir.

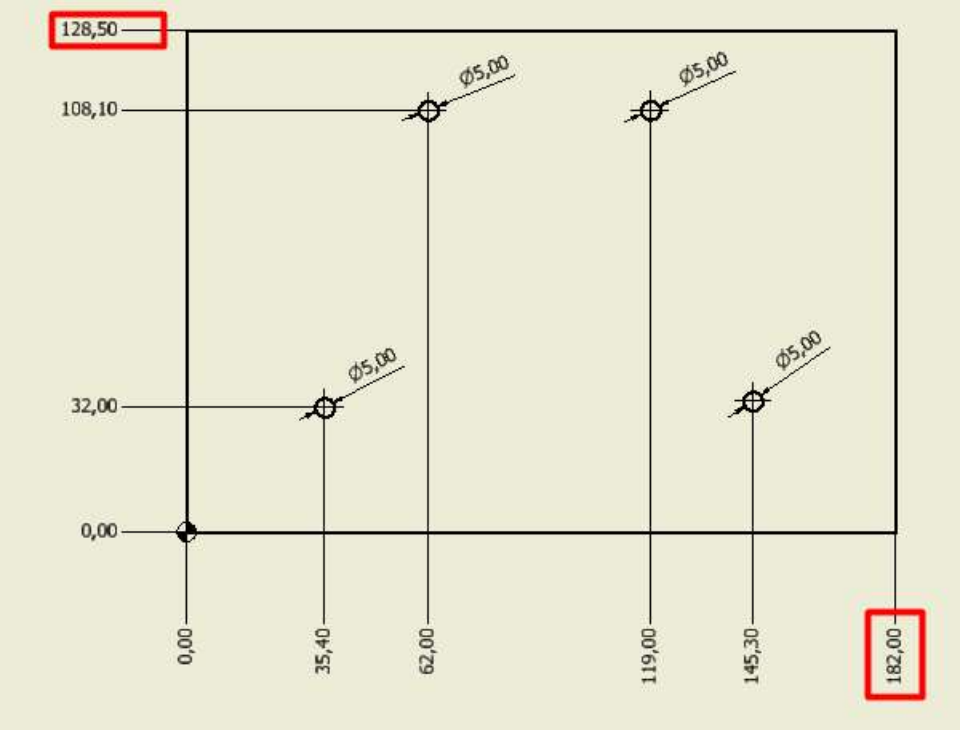


Şekil 4.2. Yan Yolcu Hava Yastığı Parçası

File parçası ve yan yolcu hava yastığı parçalarının kontrol edilmesinin dışında parçanın üretiminin yapıldığı kalıp da her açıldığında kontrol edilecektir. Kalıp açıldığında, kalıp kapanması için herhangi bir engelin olması durumunda sistem kalıbın kapanmasına izin vermeyecek ve enjeksiyon makinesini durduracaktır. Sorunun giderilmesi ve sistemin yeniden başlatılmasının ardından kontroller yeniden yapılacak ve sistem çalışmaya kaldığı yerden devam edebilecektir.

4.1. Endüstriyel Görüntü İşleme Sisteminin Tasarımı ve İmalatı

File parçası üzerinde kontrol edilmesi istenen ölçüler Şekil 4.3'de kutucuk içerisine alınarak gösterilmiştir. Söz konusu ölçülerdeki hassasiyet ise ±0,5 mm'dir. Bu ölçümler haricinde de Şekil 4.1'de görünebileceği gibi yataydaki sarı malzeme ve dikeydeki beyaz malzemenin uygun olması durumudur. File kesilirken yatay ve dikey yönlerinin yanlış kesilmesi durumunun kontrol edilmesi ölçüsel kontrolden daha önemlidir. Bu hata direkt olarak hava yastığının patlamasını ilgilendirmektedir.



Şekil 4.3. File Parçası Ölçüleri

File parçasının kontrol edilmesi için gerekli kamera seçimini yapabilmek için öncelikle FOV, yani görüş alanı belirlenmelidir. Görüş alanın hesaplanması için gerekli formül daha önce belirtilmişti.

FOV = en büyük parça boyutu + konumlama toleransı + gerekli boş mesafe
+ kamera sensörü en-boy oranı

Burada; en büyük parça boyutu 182 mm'dir. Konumlama toleransı 1 mm'dir. Gerekli boş mesafe ise 2 mm'dir.

FOV_{dikey} : 182 + 1 + 2 = 185 mm olarak hesaplanır.

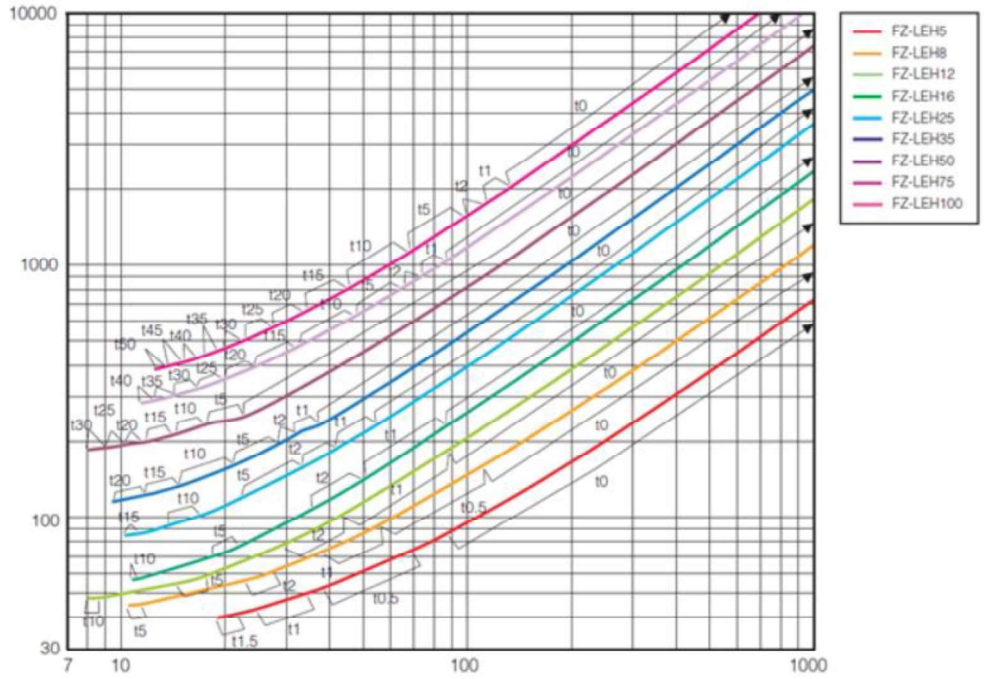
FOV_{yatay} : 185 x 3/4 = 138.75 mm olarak hesaplanır.

Görüş alanına göre çözünürlüğün aşağıdaki formülle hesaplanabileceği daha önce belirtilmişti (bkz 3.4).

R_{Cdikey} : 185 mm x (1 piksel / 0,25 mm) = 740 piksel

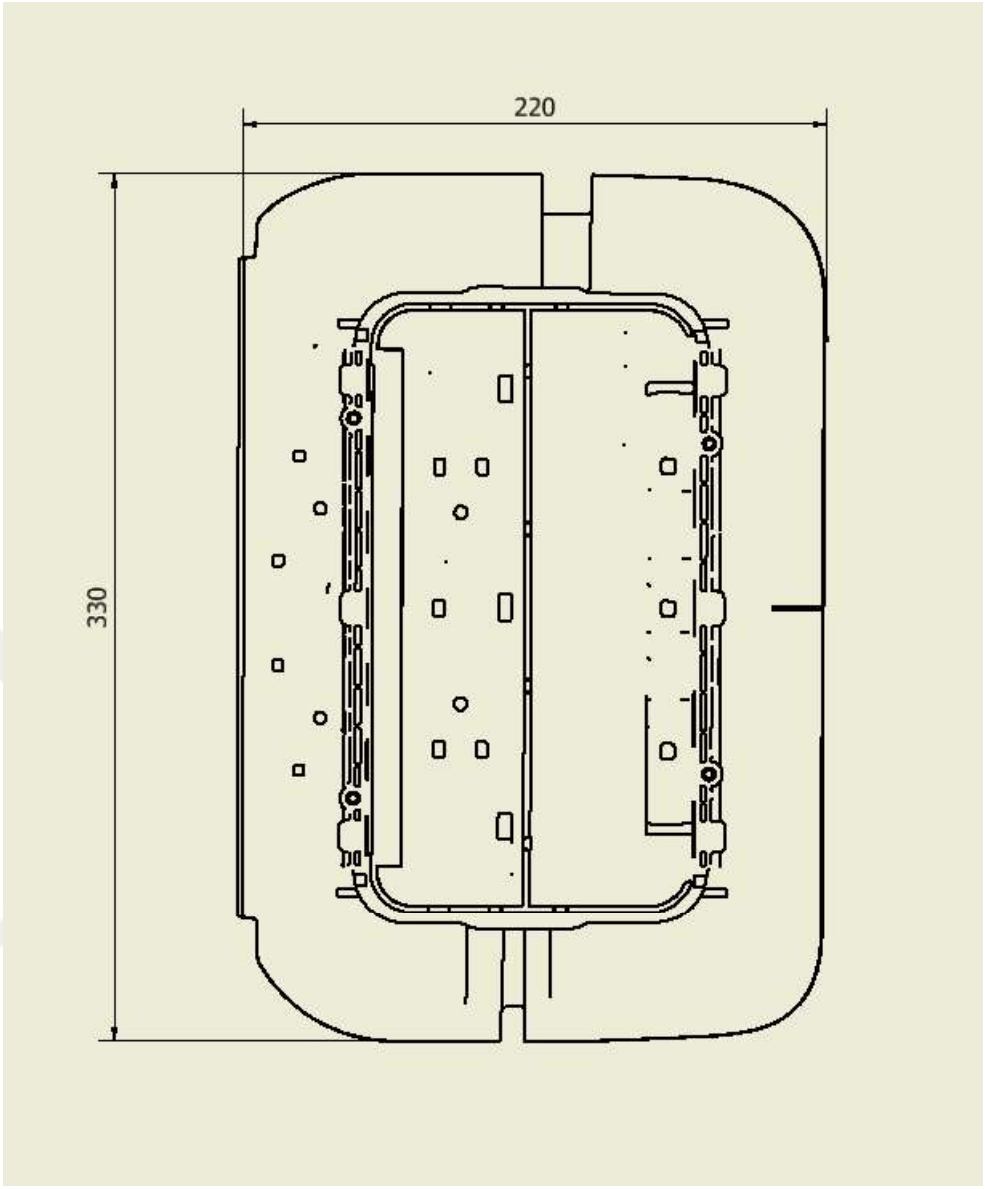
R_{Cyatay} : 138.75 mm x (1 piksel / 0,25 mm) = 555 piksel

File parçası kontrolü için seçilen Omron STC-MCE132U3V model kameradır. Seçilen kamera 1280 x 1024 piksel çözünürlüğe sahiptir. File parçasının kontrolünde kullanılacak lens seçimini ise Şekil 4.4 da görünen tablo kullanılarak seçilmiştir.



Şekil 4.4. Lens Seçim Tablosu (Omron)

Yatay eksende, hesaplanan görüş alanı ölçüsüne uygun yer seçilir. Dikey eksende ise, parça ve çalışma uzaklık seçilir. Hesaplanan 185 mm görüş alanı ve 300 mm'lik çalışma uzaklığı ile FZ-LEH12 kodlu ürün seçilmiştir.



Şekil 4.5. Kontrol Edilecek Parça

Şekil 4.5'de kontrol edilecek parçanın boyutları görünmektedir. File parçasında yapılan hesaplamalara benzer olarak bu parça için de aynı hesaplamalar yapılmıştır.

FOV_{dikey} : 330 + 1 + 2 = 333 mm

FOV_{yatay} : 333 x 3/4 = 249.75 mm

R_{Cdikey} : 333 mm x (1 piksel / 0,2 mm) = 1665 piksel

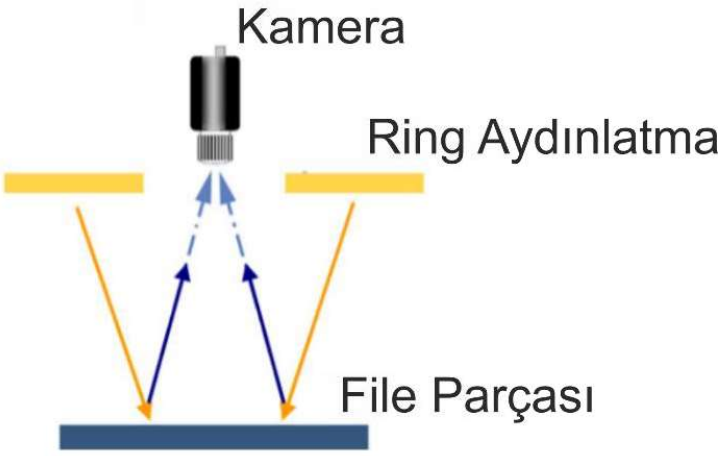
R_{Cyatay} : 249.75 mm x (1 piksel / 0,2 mm) = 1248 piksel, olarak hesaplanır.

Kontrol edilecek parça için seçilen Omron STC-MCS312U3V model kameradır. Seçilen kamera 2048 x 1536 piksel çözünürlüğe sahiptir. Parçanın kontrolünde kullanılacak lens seçimini ise Şekil 4.4 da görünen tablo kullanılarak seçilmiştir.

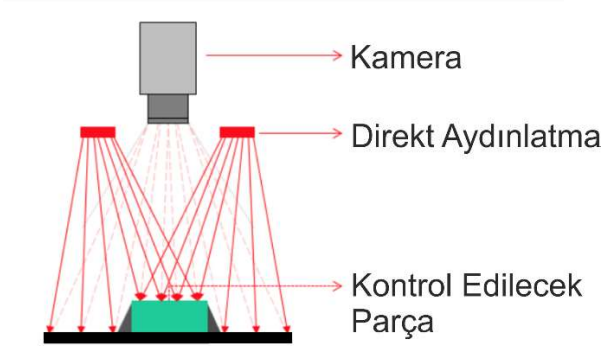
Hesaplanan 333 mm görüş alanı ve 400 mm'lik çalışma uzaklığı ile FZ-LEH12 kodlu ürün seçilmiştir.

Kalıp içini kontrol edecek kameralar da yine Omron STC-MCS312U3V model kameradır. Ancak kalıp üzerinde yerleştirilebilecekleri konum sebebiyle buradaki lensler için FZ-LEH16 kodlu ürün seçilmiştir.

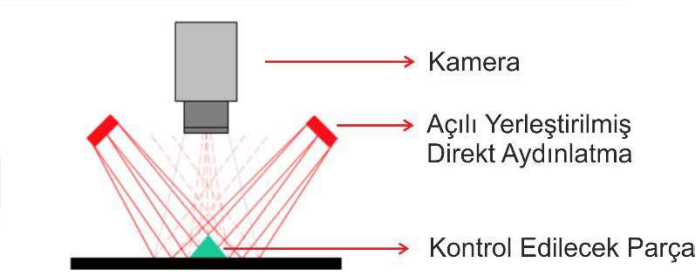
Kameralar ve lensler belirlendikten sonra ise parçalar üzerinde yapılan aydınlatma testlerinde file parçası için ring aydınlatmanın uygun olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.6). Yan yolcu hava yastığı için ise ortasına kameranın yerleştirilebileceği açıklık bulunan direkt aydınlatmanın uygun olduğu belirlenmiştir (bkz. Şekil 4.7). Kalıp içi kameralar da ise açılı şekilde yerleştirilmiş direkt aydınlatmalar kullanılmıştır (bkz. Şekil 4.8).



Şekil 4.6. Ring Aydınlatma

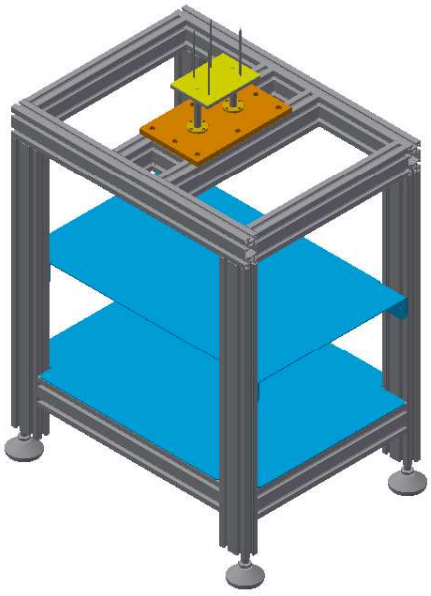


Şekil 4.7. Direkt Aydınlatma



Şekil 4.8. Açılı Direkt Aydınlatma

Geliştirilecek sistemin tasarımına filelerin yerleştirileceği file tezgahıyla başlanmıştır. Filelerin üzerindeki referans delikleri kullanılarak kartezyen robot tarafından her zaman doğru konumda alınabilecek şekilde tasarım geliştirilmiştir (bkz. Şekil 4.9).



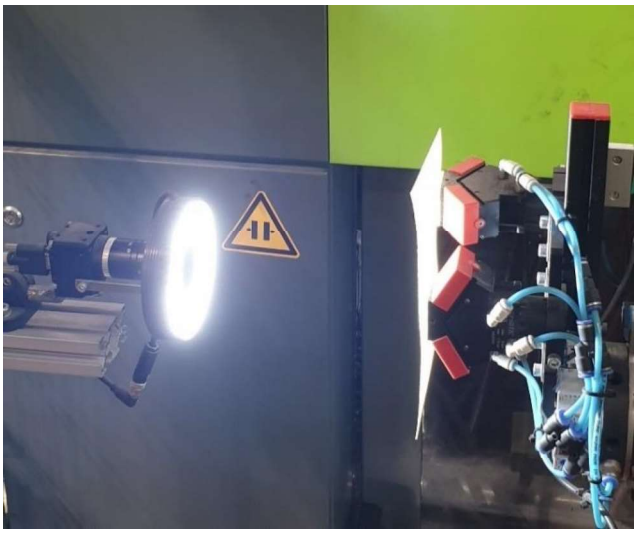
Şekil 4.9. File Tezgahı Tasarımı



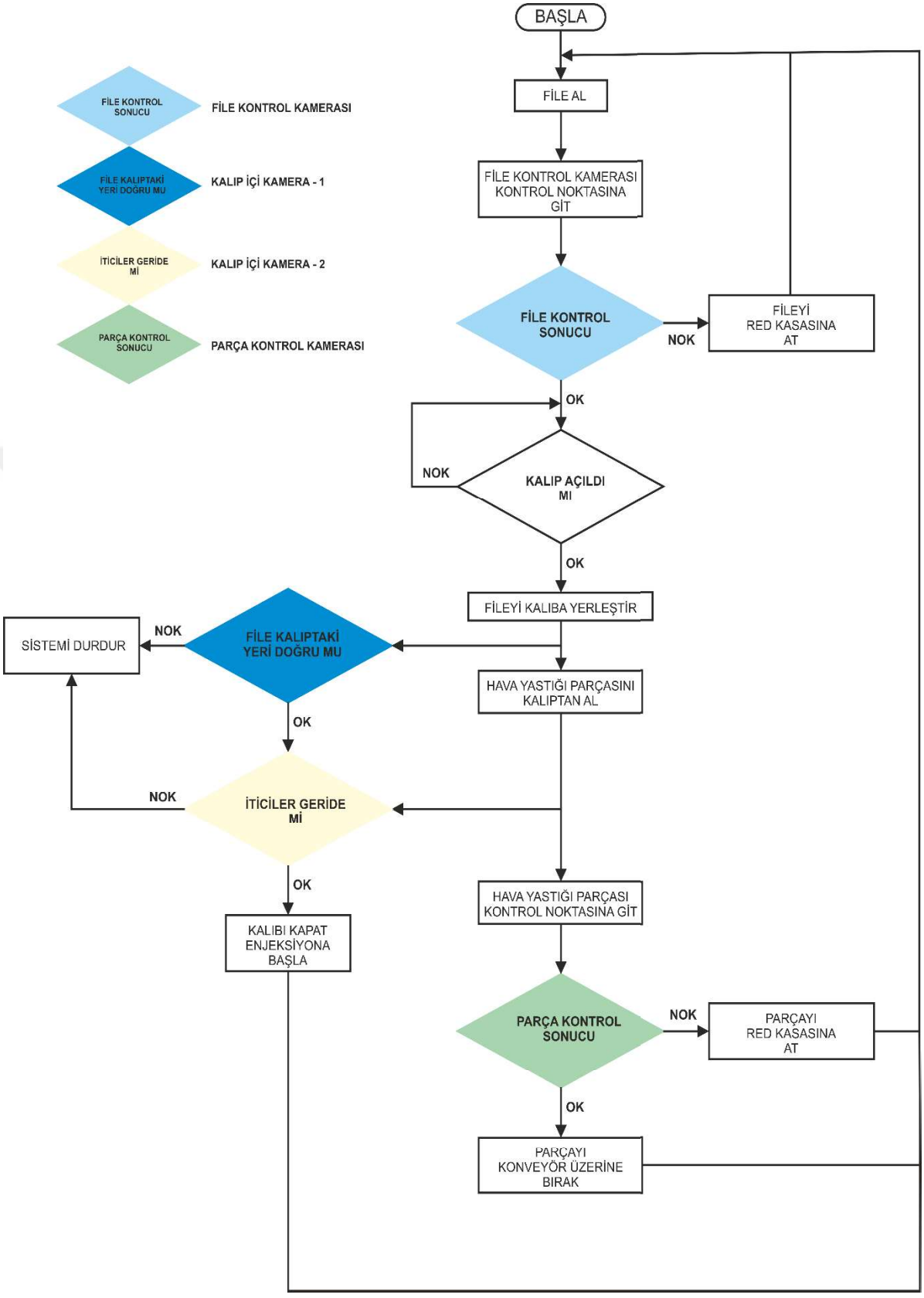
Şekil 4.10. File Tezgahı İmal Edilmiş Görünümü

File tezgahının imal edilmiş görünümü Şekil 4.10'da görünmektedir. Ayrıca uygun olmayan file parçasının ve yan hava yolcu yastığı parçalarının atılacağı NOK parça kasası da görünmektedir.

Yapılan endüstriyel görüntü işleme sisteminin akış diyagramı Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Sistem filenin tezgahtan alınmasıyla başlar. Filenin kontrol edileceği kameranın önüne gidilir ve file kontrol edilir.

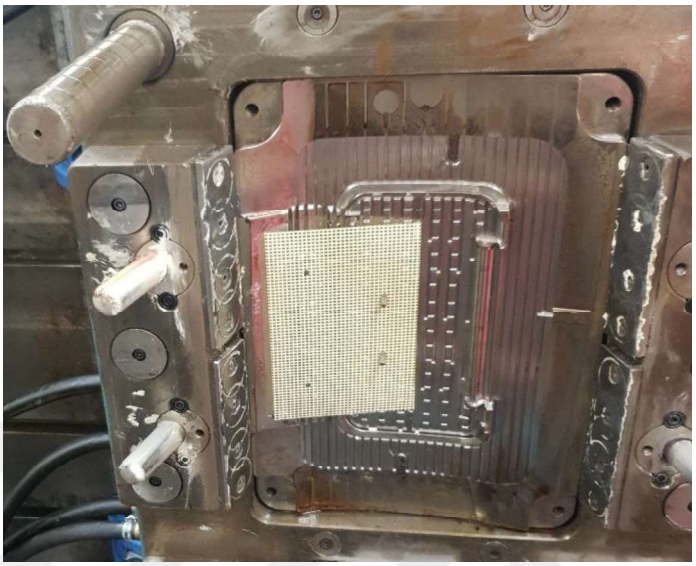


Şekil 4.11. File Kontrol Kamerası



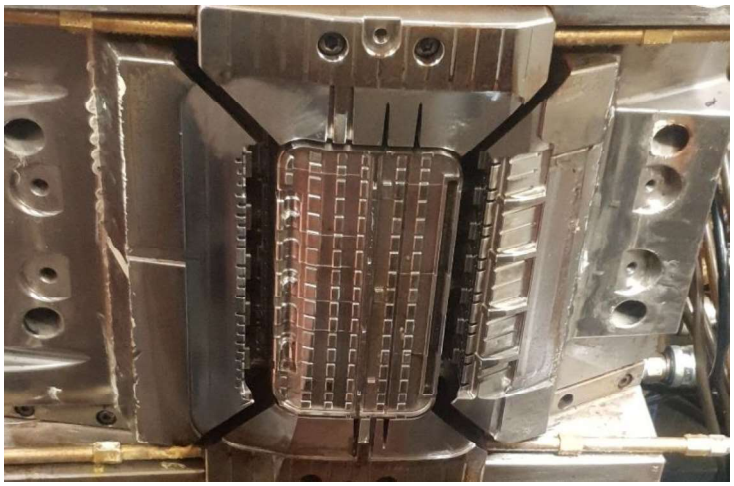
Şekil 4.12. Sistemin Akış Şeması

Bu kontrolde filenin dış ölçüleri, delik çapları ve konumları kontrol edilir. Eğer file uygun değilse Şekil 4.10'da da görünebilen NOK kasasına atılır. Eğer file uygunsa kalıbın içerisindeki yerine yerleştirilir. Diğer bir kamera filenin yerine doğru yerleşip yerleşmediğini kontrol eder (bkz. Şekil 4.13).



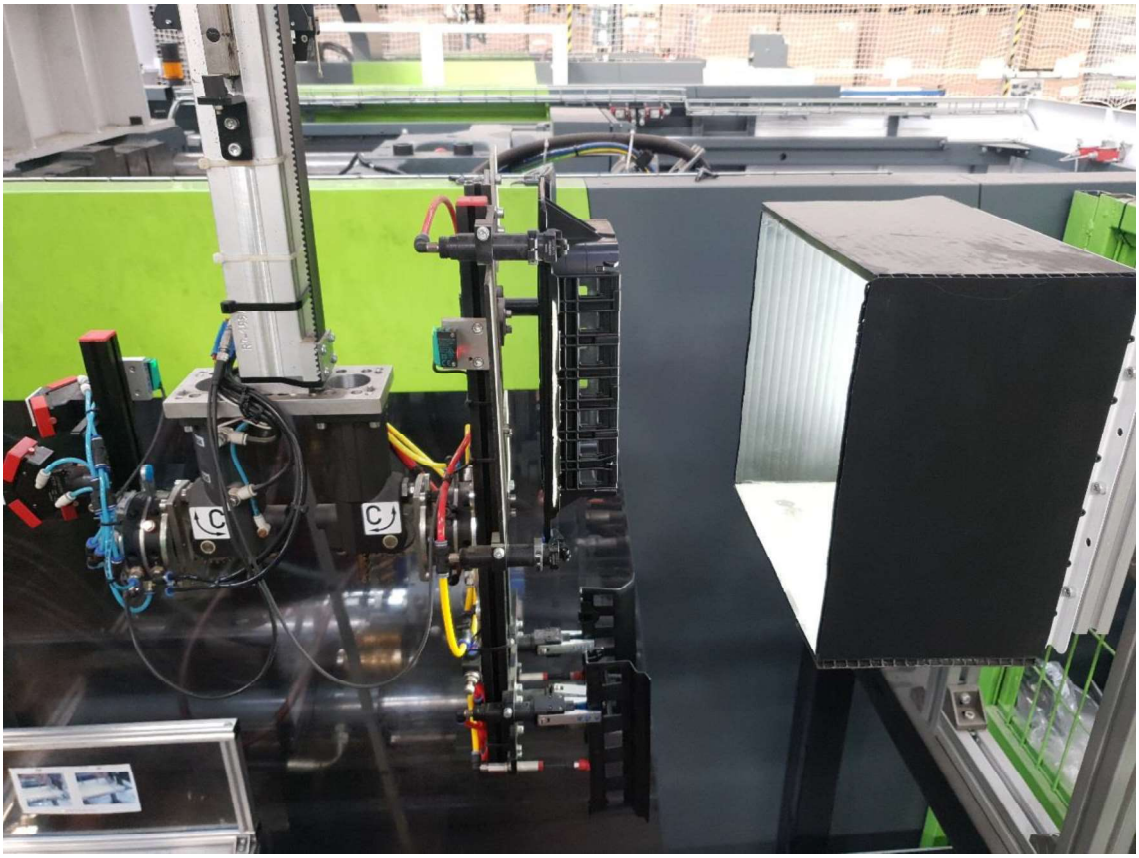
Şekil 4.13. Kalıp İçi File Kontrol Kamerasından Görüntü

Bu esnada kartezyen robot bitmiş parçayı kalıp içinden alıp parça kontrol kamerasının önüne getirir. Bitmiş parça kalıp içerisinden alındıktan sonra iticiler geri çekilir. Kalıp içini gören diğer bir kamera ise iticilerin geride olduğunu ve kalıbın kapanması için herhangi bir engelin olup olmadığını kontrol eder (bkz. Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Kalıp İçi İtici Kontrol Kamerasından Görüntü

Eğer her şey uygunsa kalıp kapanır ve enjeksiyon işlemi başlar. Herhangi bir kontrolde uygunsuzluk tespit edilirse sistem durdurulur. Enjeksiyon işlemi devam ederken bitmiş parça kontrol noktasına getirilir (bkz. Şekil 4.15). Kontrol noktasında eksik enjeksiyon, çapak, file kaçıklığı gibi hatalar kontrol edilir. Parça uygun değilse hemen NOK kasasına atılır. Parça uygunsa operatöre iletilmek üzere konveyör üzerine yerleştirilir.

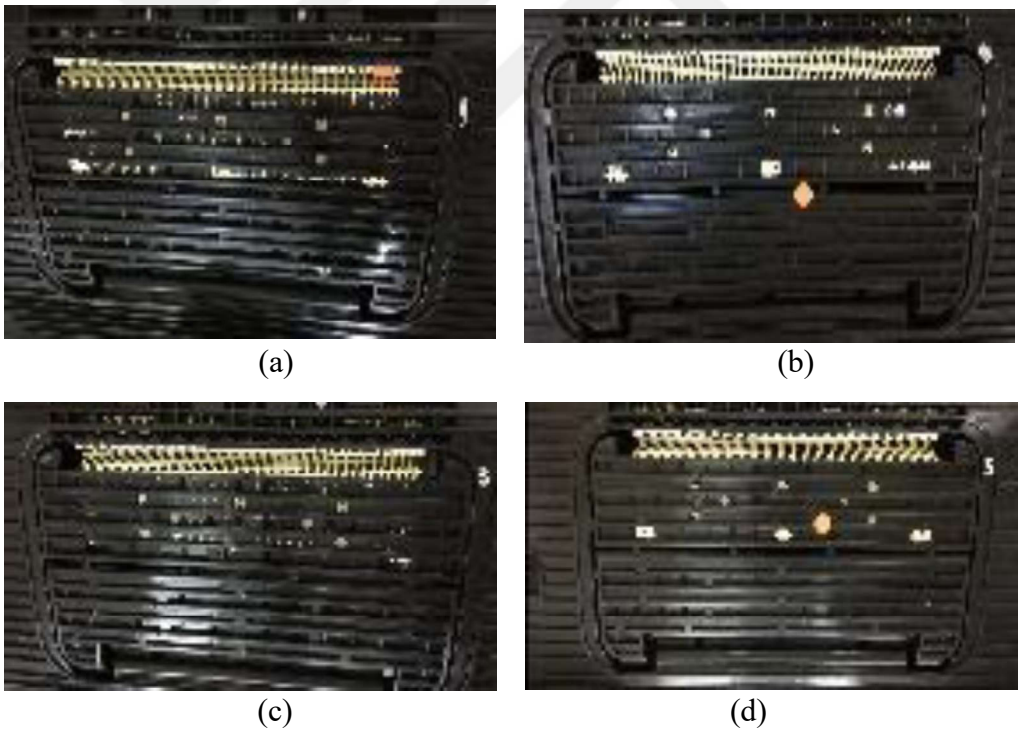


Şekil 4.15. Parça Kontrolü

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Rekabetçiliğin yüksek olduğu günümüz endüstrisinde, üretim yapılan birçok sektörde kalite kontrol büyük önem arz etmektedir. Kalite kontrol yöntemi olarak genellikle insan gözünden faydalanılmaktadır. İnsan gözünden kaynaklanan problemlerle karşılaşılmaktadır. Bu problemlere çözüm olarak endüstriyel görüntü işleme sistemleri geliştirilmektedir.

Bu çalışmada, otomotiv güvenliği açısından kritik bir bileşen olan yan yolcu hava yastığı adı verilen plastik bir enjeksiyon kalıbı bileşeni için otomatik görme tabanlı bir kusur inceleme ve sıralama sistemi geliştirilmiştir. Plastik parça üzerindeki kusurların tespiti için endüstriyel görüntü işleme sistemi için gerekli mekanik ve otomasyon sistemi geliştirilmiştir. Parçaya özel görüntü işleme algoritması oluşturulmuş ve hataların tespiti sağlanmıştır.



Şekil 5.1. Yakalanan File Hataları

Geliştirilen sistem sayesinde parçalar üzerinde oluşan tüm hatalar tespit edilebilmektedir. Bu sayede araç son kullanıcısı olan bizlere hatalı ürünler ulaşmadan önce tespit edilebilmektedir. Gerçek zamanlı olarak tüm parçalardaki hata tipleri kaydedilmekte ve raporlanmaktadır.

Özellikle Şekil 5.1(a) hata tipi insan gözüyle yapılan muayenede yakalanması oldukça zor bir hata tipidir. Çalışmadan önce parçada görülen hataların %50 kadarını oluştururken sistem kurulumundan sonra söz konusu hatalardan herhangi biri müşteriye gönderilmemiştir. Parça üzerinde yapılan kontrollerde Şekil 5.1'de görünen hata tipleri %100 oranda tespit edilebilmektedir.

İnsan gözü muayenesinde OK kasasına gönderilen parçalar içindeki hataların %40'ı ise çapak (bkz. Şekil 3.28) ve eksik enjeksiyon (Şekil 3.32) hatalarıdır. Endüstriyel görüntü işleme sistemim tarafından her insan gözünün ayırt edemeyeceği küçüklükte çapak ya da eksik enjeksiyon hataları tespit edilebilmektedir. Sistem kurulumundan sonra herhangi bir eksik enjeksiyon veya çapak hatası müşteriye gönderilmemiştir.



(a) (b)

Şekil 5.2. Doğru File Kesim Yönü (a), Yanlış File Kesim Yönü (b)

File kesim yönü hatası (bkz. Şekil 5.2) ve file parçasındaki ölçüsel hataların toplam hatalar içinde %10'luk bir paya sahiptir. Sistemin devreye alınmasının ardından tüm file hataları bertaraf edilmiştir.

Kalıp içi kameralar tarafından kontrol edilen durumlar fabrika içinde yılda ancak 1-2 kez oluşabilmekte ve genellikle sebep dikkatsiz operatör olmaktadır. Ancak söz konusu durumun oluşması durumunda hem üretim haftalarca durmakta hem de kalıp üzerinde tamiratın bedeli çok yüksek olabilmektedir. Bu sebeple parça kontrolü yapılmasa bile sadece kalıp içi kamera sistemi fabrikadaki tüm plastik enjeksiyon makinelerine adaptasyonu planlanmaktadır.

Aşağıdaki çizelgede aynı kontrollerin operatör tarafından yapıldığında aldığı zaman ve endüstriyel görüntü işleme sistemi tarafından gerekli süreler gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Gerekli Süreler

Operasyon	**Operatör Kontrolü (saniye)**	**Endüstriyel Görüntü İşleme Sistemi (saniye)**
File Kesim Yönü Kontrolü	5	0,120
File Ölçü Kontrolü	12	0,180
Kalıp İçi Kontrol	5	0,220
Eksik Enjeksiyon	8	0,330
Çapak	8	0,425
Enjeksiyon Sonrası File Hataları	7	0,225
Toplam Gerekli Süre	**45**	**1,5**

Operatörün tüm kontrolleri eksiksiz şekilde yapabilmesi için 45 saniye süreye ihtiyacı vardır. Endüstriyel görüntü işleme sistemi için ilk bakışta 1,5 saniye gerekli olduğu görünmektedir. Ancak sistem tarafından file kontrolleri (file kesim yönü kontrolü, file ölçü kontrolü) ve kalıp içi kontroller aynı anda yapılabilmektedir. Bu sebeple yaptığım sistemin gerçekte ihtiyacı olan süre 1,28 saniyedir.

Bu çalışmanın ana katkılarını şu şekilde sıralayabiliriz. Çalışmada yapılan aydınlatma sistemi siyah renkli malzemelerdeki kusurların tespitini kolaylaştırmaktadır. Ayrıca plastik malzemeler üzerindeki çiziklerin tespiti için temel oluşturmaktadır. Bu sebeple sistemi yapılan plastik parça üzerindeki tüm kusurların tespiti yapılabilmiştir. Geliştirilen bu sistemle plastik parçaların kalite kontrolünde endüstrinin üretim kalitesi artacaktır. Hayati önem taşıyan bu parça hatalı olarak son kullanıcıya ulaşması engellenmiştir. Ayrıca hatalı olarak üretilmiş hammaddeler geri dönüşüme kazandırılmış ve israf önlenmiştir.

Gelecek çalışmalarda endüstriyel kamera, insan gözü ve insan eli ile birleşik olarak çalışabilecek bir sistem geliştirilmesi planlanmaktadır. Endüstride sadece plastik ürünlerin kontrolü için değil, tüm üretimi yapılan ürünlerin kalite kontrolünün yapılabileceği bir kalite kontrol merkezi tasarımı, üretimi ve devreye alınması Doktora eğitimi ve tez çalışması esnasında çalışılacaktır. Kalite kontrol sistemlerinde sadece insan ya da sadece endüstriyel kamera kontrolü kullanılmaktadır. Ancak en doğru sonuçların iş birlikleri sonucunda ortaya çıktığı aşikardır. İnsan gözünün endüstriyel kamerayı, endüstriyel kameranın insanı uyardığı ve yönlendirebildiği bir sistem üzerinde çalışılacaktır.

KAYNAKLAR

AIA, EMVA, JIIA, 2013. Global Machine Vision Interface Standards, http://www.emva.org/cms/upload/Marketing_edocs_download/FSF_Vision_Standards_Brochure_A4_screen.pdf (Erişim Tarihi: Mayıs 2018).

Blackledge, J., Dubovitskiy, D. 2008. A Surface Inspection Machine Vision System that Includes Fractal Texture Analysis. *International Society for Advanced Science and Technology, Journal of Intelligent Systems*, 3(2): 76-89.

Bonnot, N., Seulin, R., Merienne, F. 2004. Machine vision system for surface inspection on brushed industrial parts. *Machine Vision Applications in Industrial Inspection,* 5303: 64-72.

Bosche, F.N.,Haas, C.T. 2008. Automated retrieval of Project three-dimensional CAD objects in range point clouds to support automated dimensional QA/QC, J. Inf. Techno. Constr, Germany.

Bruce G.B. 2012. Machine Vision Handbook, Springer-Verlag London Limited, 660 pp.
Canny, J. (1986). A computational approach to edge detection. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell*., 8(6): 679–698.

Chen, T., Wang, Y., Xiao, C., Wu, Q.M. 2016. A Machine Vision Apparatus and Method for Can-End Inspection. *Transactıons On Instrumentatıon And Measurement,* 18(56): 1-11.

Chen, W., Lu, C., Zhao, S. 2012. Segmentation of embossed characters pressed on metallic label based on surface normal texture. *Int. J. Adv. Comput. Technol. (IJACT),* 4(19): 332–340.

Deriche, R. 1990. Fast algorithms for low-level vision. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell*., 12(1): 78–87.

Engel 2005. Yüzey hataları eğitimi.

Faugeras, O., Luong, Q.T. 2001. The Geometry of Multiple Images: The Laws That Govern the Formation of Multiple Images of a Scene and Some of Their Applications, *MIT Press, Cambridge*, MA.

Hagen, N., Kudenov, M.W. 2013. Review of snapshot spectral imaging technologies. Opt. Eng., 52(9): 090 901–1–090 901–23.

Haralick, R.M., Shapiro, L.G. 1992. Computer and Robot Vision, Addison-Wesley Reading, MA.

Hartley, R., Zisserman, A. 2003. Multiple View Geometry in Computer Vision, *Cambridge University Press*, Cambridge.

Jain, R., Kasturi, R., Schunck, B.G. 1995. *Machine Vision*, McGraw-Hill, New York.

Kamal, I.A., Alaoui, A.A. 2008. Online Machine Vision Inspection System for Detecting Coating Defects in Metal Lids. Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists, 19-21 March, 2008, Hong Kong.

Lapray, P.J., Wang, X., Thomas, J.B., Gouton, P. 2014. Multispectral filter arrays: Recent advances and practical implementation. *Sensors,* 14(11), 21 626–21 659.

Li, Y., Li Fu, Y., Wang, Q.L., Tan, M. 2010. Measurement and Defect Detection of the Weld Bead Based on Online Vision Inspection. *Transactıons On Instrumentatıon And Measurement,* 59(7): 1841-1849.

Mkwelo, S. 2004. A machine vision-based approach to measuring the size distribution of rocks on a conveyor belt. *Yüksek Lisans Tezi*, University of Cape Town, Department of Electrical Engineering, Cape Town.

Nashat, S., Abdullah, A., Abdullah, M.Z. 2014. A Machine Machine vision for crack inspection of biscuits featuring pyramid detection scheme. *Journal of Food Engineering* 120 (2014): 233–247.

Oechsle, O. 2009. Towards the Automatic Construction of Machine Vision Systems using Genetic Programming. *Doktora Tezi*, University of Essex, School of Computer Science and Electronic Engineering, England.

Omron, 2020. Lens Seçim Tablosu http://www.ia.omron.com/products/family/3284/ download/catalog.html-(Erişim Tarihi: Ocak 2020).

Pernkopf, F., O'Leary, P. 2003. Image acquisition techniques for automatic visual inspection of metallic surfaces, *NDT&E Int.*, 36(8): 609–617.

Pithadiya, K.J., Modi, C.K., Chauhan, J.D. 2009. Comparison of optimal edge detection algorithms for liquid level inspection in bottles. Second International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology, India.

Pochyly, A., Kubela, T., Kozak, M., Cihak, P. 2010. Robotic vision for bin-picking applications of various objects. Robotics, 41st International Symposium, Germany.

Rosato, D.V. 2000. Injection Molding Handbook, Kluwer Academic Publishers.

Sawadisavi, S.V., Edwards, J.R., Resendiz, E., Hart, J.M. 2008. Machine-Vision Inspection of Railroad Track. Federal Railroad Administration. Illinois.

Seulin, R., Merienne, F., Gorria, P. 2001. Machine Vısıon System For Specular Surface Inspectıon: Use Of Sımulatıon Process As A Tool For Desıgn And Optımızatıon. Regional Council of Burgundy. France.

Singh, S., Kaur, M. 2012. Machine Vision System for Automated Visual Inspection of Tile's Surface Quality. *IOSR Journal of Engineering,* 2(3): 429-432.

Steger, C. 1998. Analytical and empirical performance evaluation of subpixel line and edge detection, in Empirical Evaluation Methods in Computer, *IEEE Computer Society Press*, Los Alamitos, 188–210.

Telljohann, A. 2017. Introduction to Building a Machine Vision Inspection, *Consulting Team Machine Vision (CTMV), CTMV GmbH, Germany.*

Waskewitz, P. 2017. Machine Vision in Manufacturing. Robert Bosch GmbH. Germany.

Zhang, H., Li, X., Zhong, H., Yang, Y. 2018. Automated Machine Vision System for Liquid Particle Inspection of Pharmaceutical Injection. Transactıons On Instrumentatıon And Measurement, 18: 1-20.