

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OTOMASYON SİSTEMLERİNDE GÖRÜNTÜ
İŞLEME TEKNİKLERİNİ KULLANAN ÜRÜN TANIMI
UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zeynel ÇAN

**Enstitü Anabilim Dalı : BİLİŞİM SİSTEMLERİ
MÜHENDİSLİĞİ**
**Tez Danışmanı : Prof. Dr. İsmail Hakkı
CEDİMOĞLU**

Mart 2021

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMASYON SİSTEMLERİNDE GÖRÜNTÜ
İŞLEME TEKNİKLERİNİ KULLANAN ÜRÜN TANIMI
UYGULAMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zeynel ÇAN

Enstitü Anabilim Dalı : BİLİŞİM SİSTEMLERİ
MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 10 / 03 / 2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr.
Jüri Başkanı

Prof. Dr.
Üye

Doç. Dr.
Üye

BEYAN

Tez içerisindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Zeynel ÇAN

18.01.2021

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Pr. Dr. İsmail Hakkı Cedimoğlu'na teşekkürlerimi sunarım.

Teknosem Test ve Analizleri A.Ş. şirketine ve ailesine gerçekleştirilen çalışmayı TC95'nolu Ar-Ge projesi olarak desteklediğinden dolayı ve Uygulama geliştirme sürecinde maddi-manevi her türlü destelerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca yanımda olan ve bu süreçte beni sürekli destekleyen, çalışmamı en iyi şekilde tamamlayabilmemi sağlayan sevgili aileme, babam Mustafa ÇAN, annem Yasemin ÇAN ve kardeşim Biyomedikal Mühendisi Aytaç ÇAN'a teşekkür ediyorum.

.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
TABLolar LİSTESİ	xiii
ÖZET	xiv
SUMMARY	xv
 BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
 BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR TARAMASI	6
 BÖLÜM 3.	
BİLİMSEL ALTYAPI	10
3.1. Görüntü İşleme	10
3.1.1. Görüntü	10
3.1.2. Görüntü yapısı	11
3.1.2.1. Analog görüntü	12
3.1.2.2. Sayısal görüntü	12
3.1.3. Görüntü türleri	12
3.1.3.1. İkili görüntü	12
3.1.3.2. Gri seviyeli görüntü	12
3.1.3.3. Renkli görüntü	13

3.1.4. Görüntü karakteristikleri	13
3.1.4.1. Çözünürlük	14
3.1.4.2. Histogram	14
3.1.4.3. Parlaklık	15
3.1.4.4. Karşıtlık	15
3.1.4.5. Renk uzayları	16
3.1.5. Görüntü yakalama ve sayısal görüntü işleme	20
3.1.6. Görüntü işlemenin kullanıldığı alanlar	23
3.1.7. Görüntü işleme teknikleri	24
3.1.7.1. Görüntünün grileştirme	25
3.1.7.2. Görüntü histogramı	26
3.1.7.3. Görüntü parlaklığı	27
3.1.7.4. Görüntü kontrastı	28
3.1.7.5. Görüntü eşikleme	29
3.1.7.6. Görüntü yumuşatma(filtreleme)	30
3.1.7.7. Görüntü keskinleştirme	33
3.1.7.8. Kenar belirleme	33
3.1.7.9. Görüntü bölütleme	38
3.1.7.10. Köşe saptama	39
3.1.7.11. Morfolojik işlemler	41
3.1.7.12. Görüntü üzerindeki nesnelerin tespiti	46
3.1.7.13. Görüntü mozaikleme	47
3.1.7.14. Öznitelik çıkarımı	47
3.1.7.15. Görüntü çakıştırma	53
3.1.7.16. Homografi	55
3.1.7.17. Görüntü çarpıtma	56
3.1.7.18. Görüntü harmanlama	57
3.1.8. Görüntü üzerindeki ışık etkisi	58
3.1.9. Görüntü işlemede kamera etkisi	59
3.1.9.1. CCD görüntü sensörleri	60
3.1.9.2. CMOS görüntü sensörleri	61
3.1.9.3. Kamera konumunun belirlenmesi	61

3.1.10. Görüntü işleme teknolojileri	61
3.1.10.1. Donanımsal teknolojiler	62
3.1.10.2. Yazılımsal teknolojiler	63
3.2. Gömülü Sistemler	71
3.2.1. Gömülü sistem kullanımları	72
3.2.2. Gömülü sistem tarihçesi	73
3.2.3. Gömülü sistem gereksinimleri	74
3.2.3.1. Güvenilirlik	74
3.2.3.2. Maliyet	74
3.2.3.3. Güç sarfıyatı	75
3.2.3.4. İşlemci gücü	75
3.2.3.5. Bellek kullanımı	75
3.2.3.6. İşlem zamanı	75
3.2.3.7. Boyut	76
3.2.3.8. Kullanım ömrü	76
3.2.3.9. Parça sayısı	76
3.2.4. Gömülü Sistemlerin Tasarımı	76
3.2.4.1. Kullanıcı Arayüzleri	76
3.2.4.2. Platform	77
3.2.4.3. Araçlar	78
3.2.4.4. Hata Ayıklama	78
3.2.4.5. İşletim Sistemi	78
3.2.4.6. Başlangıç	78
3.2.4.7. Test	79
3.2.5. Gömülü sistem kartları	80
3.3. Haberleşme Teknolojileri	90
3.3.1. Ağ topolojileri	90
3.3.2. OSI referans modeli	91
3.3.2.1. Uygulama Katmanı	92
3.3.2.2. Sunum katmanı	93
3.3.2.3. Oturum katmanı	93
3.3.2.4. İletim katmanı	94

3.3.2.5. Ağ katmanı	95
3.3.2.6. Veri bağlantı katmanı	95
3.3.2.7. Donanım katmanı	95
3.3.3. TCP/IP referans modeli	96
3.3.4. TCP/IP katmanları ve protokolleri	97
3.3.4.1. Uygulama	98
3.3.4.2. Aktarım	98
3.3.4.3. İnternet	99
3.3.4.4. Arayüz	99
3.3.5. Soket uygulaması	99
3.3.6. Endüstriyel sistemlerde haberleşme teknolojileri	101
3.3.6.1. Kablolu haberleşme	101
3.3.6.2. Kablosuz haberleşme	105
 BÖLÜM 4.	
MATERYAL VE YÖNTEM	111
4.1. Uygulama Tanımı	111
4.1.1. Problem	111
4.1.2. Kapsam	111
4.1.3. Amaç	112
4.1.4. Özellikler	112
4.2. Uygulama Modeli	113
4.2.1. Donanımsal model	114
4.2.2. Yazılımsal model	117
4.3. Uygulama Tasarımı	124
4.3.1. Arayüz tasarımı	125
4.3.2. Fiziksel ortam analizi	130
 BÖLÜM 5.	
ARAŞTIRMA BULGULARI	132

BÖLÜM 6.

SONUÇ VE ÖNERİLER 136

KAYNAKLAR 140

ÖZGEÇMİŞ 150



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ADC	: Analogtan sayısala sinyal dönüştürücü
AMQP	: Gelişmiş kuyruk mesajı protokolü
ARM	: İşlemci mimarisi
ARP	: Adres çözümleme protokolü
ASCII	: Bilgi değişimi için amerikan standart kodlama sistemi
ATM	: Eşzamansız iletim modu
BRIEF	: İkili gürbüz bağımsız temel öznitelikler
BSD	: Özgür yazılım lisansı
CCD	: Şarjla birleştirilmiş cihaz
CIE L*a*b	: Parlaklık, kırmızı-yeşil, sarı-mavi renk uzayı
CMOS	: Tamamlayıcı metal oksit yarı iletken
CMYK	: Turkuaz, eflatun, sarı, yeşil renk uzayı
COAP	: Kısıtlı uygulama protokolü
CPU	: Merkezi işlem birimi
CRF	: Köşe tepki fonksiyonu
CSI	: Kamera bağlantı arayüzü
DCE	: Veri iletişim cihazı
DDS	: Veri dağıtım hizmet protokolü
DHCP	: Dinamik ana bilgisayar yapılandırma protokolü
DNS	: Alan adı sistemi
DOS	: Disk işletim sistemi
DPI	: Bir inçlik alanda nokta sayısı
DSP	: Dijital sinyal işleme
DTE	: Veri ucu cihazı
F(x,y)	: X ve Y parametrelerine bağlı bir fonksiyon tanımı
FAST	: Hızlandırılmış segment testi özelliği

FPGA	: Alanda programlanabilir kapı dizileri
FTP	: Dosya transfer protokolü
Gx, Gy	: X ve Y parameterlerinin birinci derece türevlerini belirtir
GPIO	: Genel amaçlı arayüz veriyolu
GPIO	: Genel amaçlı bir giriş-çıkış entegresi
GPL	: Genel kamu lisansı
GPU	: Grafik işlem birimi
HD	: Yüksek çözünürlük
HSV	: Renk özü, doygunluk, parlaklık
HTTP	: Hiper metin transfer protokolü
I2C	: Seri haberleşme arayüzü
IBM	: Uluslararası iş makineleri
ICMP	: İnternet mesaj kontrol protokolü
IGMP	: İnternet grup yönetim protokolü
IOT	: Neslerin internet
IP	: İnternet protokolü
IPP	: Intel performans ilkeleri
ISO	: Açık sistem arabası
JPEG	: Depolama birimi olarak görüntü formatı
LOG	: Laplacian algoritması
LTI	: Geçici parlaklık iyileştirme
MAC	: Ortam erişim yönetimi
MIT	: Massachusetts teknoloji enstitüsü
MQTT	: Telemetri kuyruk mesaj aktarımı
OCR	: Optik karakter tanımlama
ORB	: Yönlendirilmiş FAST ve döndürülmüş BRIEF algoritması
OSI	: Açık sistem arabası
POP	: Postane protokolü
PPI	: Bir inçlik alanda piksel sayısı
RAM	: Geçici depolama ünitesi
RANSAC	: Rastgele örneklem uzlaşım algoritması
RGB	: Kırmızı, yeşil, mavi renk formatı

ROM	: Salt okunur bellek
SBC	: Tek kartlı bilgisayarlar
SIFT	: Ölçekten bağımsız öznitelik dönüşümü
SMTP	: Basit posta aktarım protokolü
SNMP	: Basit ağ yönetim protokolü
SURF	: Hızlandırılmış gürbüz öznitelikler
TCP	: İletim denetimi protokolü
UDP	: Kullanıcı veribloğu iletişim kuralları
URL	: Tekdüzen kaynak bulucu
UTP	: Korumasız bükümlü kablo
VGL	: Geometrik görü kütüphanesi
VIL	: Resim işleme görü kütüphanesi
VNL	: Rakamsal görü kütüphanesi
VSL	: Akış görü kütüphanesi
YCbCr	: Parlaklık ve mavi-kırmızı renk uzayı
QML	: QT modelleme dili
XML	: Genişletilebilir işaretleme dili
XMPP	: Genişletilebilir mesajlaşma ve varlık protokolü

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Örneklem frekansına bağlı çözünürlük	14
Şekil 3.2. Örnek karakterize histogram gafiği	15
Şekil 3.3. Görüntü parlaklık değişimi	15
Şekil 3.4. Farklı karşıtlık değerlerinin karşılaştırılması	16
Şekil 3.5. Renk uzaylarının sınıflandırılması	17
Şekil 3.6. RGB renk uzayı birim küpü	17
Şekil 3.7. CMYK renk uzayı birim küpü	18
Şekil 3.8. HSV uzayında renk oluşumu	19
Şekil 3.9. YcbCr renk uzayı	19
Şekil 3.10. CIE L*a*b renk uzayı küresi	20
Şekil 3.11. Genel hatları ile görüntü işleme çevrimi	21
Şekil 3.12. Görüntü işleme teknikleri	25
Şekil 3.13. Renkli görüntünün griye çevrilmesi	26
Şekil 3.14. Görüntüye histogram eşitleme uygulanması	27
Şekil 3.15. Görüntü parlaklık değişimi	28
Şekil 3.16. Görüntü kontrast değişimi	28
Şekil 3.17. Görüntü eşikleme uygulaması	30
Şekil 3.18. Filtreleme yöntemi ile gürültü giderme	31
Şekil 3.19. Ortalama filtreleme ile görüntü değişimi	32
Şekil 3.20. Medyan filtresinin görüntü üzerindeki etkisi	33
Şekil 3.21. Kenar belirleme filtreleri	33
Şekil 3.22. Prewitt filtresi sonuçları	35
Şekil 3.23. Sobel filtresi sonuçları	36
Şekil 3.24. Roberts filtresi sonuçları	36
Şekil 3.25. Laplacian filtresi sonuçları	37
Şekil 3.26. Canny filtresi sonuçları	38

Şekil 3.27. Hough algoritması ile köşe saptama	40
Şekil 3.28. Harris ve Stephens algoritması ile köşe tespiti	41
Şekil 3.29. Yayma morfolojik operatörü ile görüntü genişletme	43
Şekil 3.30. Aşındırma morfolojik operatörü ile görüntü küçültme	44
Şekil 3.31. Açma operatörünün görüntü üzerine uygulanması.....	44
Şekil 3.32. Kapama operatörünün görüntü üzerine uygulanması	45
Şekil 3.33. Boşluk doldurma operatörünün görüntü üzerine uygulanması	45
Şekil 3.34. SIFT ile anahtar nokta tanımlayıcıları oluşturma	50
Şekil 3.35. FAST ile anahtar nokta tanımlayıcıları oluşturma	51
Şekil 3.36. SURF ile anahtar nokta tanımlayıcıları oluşturma	52
Şekil 3.37. BRIEF ile anahtar nokta tanımlayıcıları oluşturma	53
Şekil 3.38. ORB ile anahtar nokta tanımlayıcıları oluşturma	53
Şekil 3.39. OpenCV kütüphaneleri	66
Şekil 3.40. EmguCV katmanlı mimarisi	70
Şekil 3.41. Apollo rehber bilgisayarı	73
Şekil 3.42. Zyng gömülü kart özellikleri	86
Şekil 3.43. Ağ topoloji modelleri	91
Şekil 3.44. OSI modeli katmanları ve protokolleri	92
Şekil 3.45. TCP/IP modeli katmanları ile OSI modeli katmanları karşılaştırılması	97
Şekil 3.46. Socket işlem yapısı	100
Şekil 3.47. Kablosuz haberleşme teknolojilerinin karşılaştırılması	106
Şekil 4.1. Raspberry Pi 4B modeli ve V2 kamera modülü özellikleri	114
Şekil 4.2. Uygulama modelinde kullanılan filter, lens ve kızıl ötesi ışık kaynağı	115
Şekil 4.3. Raspberry Pi giriş çıkış bağlantıları	116
Şekil 4.4. Harici devre elemanı	117
Şekil 4.5. Kamera sistemi bağlantısı	117
Şekil 4.6. Görüntü işlem algoritması	119
Şekil 4.7. Arayüz üzerinden belirlenen genel ürün ve özel ürün alanları	120
Şekil 4.8. Otsu Eşikleme Metodu Sonrası genel ürün alanı, özel ürün alanı ...	120

Şekil 4.9. Kameradan alınan ikili formattaki görüntü ve program içerisinde bir sonraki ürün ile karşılaştırılacak alanların gösterimi	121
Şekil 4.10. Uygulama süreç akış diyagramı	123
Şekil 4.11. Çalışma modunda arayüz ekranı	125
Şekil 4.12. Düzenleme modunda arayüz ekranı	127
Şekil 4.13. Arayüz üzerinde ayarlanabilir ürünler ve alanlar bölümü	128
Şekil 4.14. Sorunsuz parça durumu	128
Şekil 4.15. Hatalı parça durumu	129
Şekil 4.16. Uygulama test ortamı	130



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1. BeagleBoard gömülü kart özellikleri	81
Tablo 3.2. BeagleBone gömülü kart özellikleri	82
Tablo 3.3. PandaBoard gömülü kart özellikleri	83
Tablo 3.4. Zotac gömülü sistem özellikleri	84
Tablo 3.5. Nano gömülü sistem özellikleri	85
Tablo 3.6. Wade gömülü sistem özellikleri	86
Tablo 3.7. SBC2440 gömülü sistem özellikleri	87
Tablo 3.8. RaspberryPi gömülü sistem özellikleri	88
Tablo 5.1. İşlem süreleri	134
Tablo 5.2. Ürün program değişim süreleri	135
Tablo 5.3. Maliyet karşılaştırması	135
Tablo 6.1. Uygulama genel başarımlar sonuçları	139

ÖZET

Anahtar kelimeler: Robotik Otomasyon Sistemleri, Görüntü İşleme, Gömülü Sistemler, Döküm Sektörü, RaspberryPi, OpenCV, TCP-Socket

Günümüzde üretim sektöründeki tüm firmalar, özellikle döküm sektöründe üretim yapan firmalar, için herhangi bir üretim bandındaki son ürünün kalitesi en önemli etkenlerdendir. Bu bağlamda firmalar üretimin son aşaması haline gelen kalite kontrol işlemini minimum hata ile gerçekleştirme çabasıdadırlar. Kontrol işlemini gerçekleştirmek için geleneksel yöntem olarak sensörlerden oluşan kontrol kuleleri kullanılmaktadır. Bu yöntem mekanik algılayıcılardan oluşan bir elektronik aksam olması nedeni ile zamanla ve bazı fiziksel nedenlerden dolayı hatalı sonuçlar verebilmektedir. Ayrıca üretim bandında yeralan her bir farklı ürün için değişen sayıda sensörlerin ve farklı tasarımların kullanılması üretim esnekliğini ve üretim hızını düşürmekle birlikte bu süreçteki maliyeti arttırmakta bir okadar da üretimdeki kaliteyi azaltmaktadır. Bu sebeplerden dolayı geleneksel yöntem artık firmalar tarafından tercih edilmemektedir. Bu çalışmada firmaların sorunlarına ve taleplerine cevap verebilecek, geleneksel yöntemle alternatif bir uygulama önerilmiştir.

Çalışmada Raspberry Pi 4B geliştirilebilir kartı ve Raspberry Pi V2 Infrared kamerası ile gömülü bir sistem oluşturulmuştur. Bu sistem özellikle alüminyum parçaların görüntülerinin işlenmesinde karşılaşılan zorluklar ve ortamda bulunan güneş ışınlarının görüntüyü etkilemesi nedeniyle güneş ışığını soğurması için tasarlanan bir lens ve filtreyle birlikte güçlü bir kızılötesi ışık kaynağını barındıran bir fiziksel ortam ile desteklenmiştir. Gömülü sistemi programlayabilmek için .Net ortamında C# programlama dili kullanılarak bir masaüstü uygulaması geliştirilmiştir. Gömülü sistem; Brightness, Contrast, Hue, Saturation, Threshold, Erode, Dilate, MatchTemplate ve Surf Alghorithm gibi görüntü işleme tekniklerinin kullanıldığı OpenCV kütüphanesi ile verimli çalışabilen Python programlama dili sayesinde programlanmıştır. Gerçekleştirilen arayüz ile 32 farklı ürün ve her bir ürün üzerinde belirlenebilecek 32 farklı alan için sistem programlanabilmektedir. Kart ile arayüz arasındaki bağlantı TCP protokolü üzerinde bir Socket uygulaması ile gerçekleştirilmiş böylelikle bağlantı Ethernet ve Wifi üzerinden kablolu ya da kablosuz yöntemle güvenli bir şekilde sağlanmıştır.

Arayüz üzerinden; Odak, Eşik, Yoğunluk, Pozlama gibi parametreler ile esnek şekilde programlanabilen sistem, kameradan alınan canlı ürün görüntüsü ve programda belirtilen referans görüntüsünü hızlı ve doğru bir şekilde ortam değişkenlerinden etkilenmeyecek yüksek verimlilik ile tarayıp karşılaştırmaktadır. Uygulama, üretim süreçlerindeki 'Kalite Kontrol' işleminin minimum zaman ve maliyetle yapılmasını sağlarken maksimum performans ve verim sağlayabileceğini öngörmektedir.

PRODUCT DEFINITION APPLICATION USING IMAGE PROCESSING TECHNIQUES IN AUTOMATION SYSTEMS

SUMMARY

Keywords: Robotic Automation Systems, Image Processing, Embedded Systems, Casting Industry, RaspberryPi, OpenCV, TCP-Socket

The quality of the final product in any production line for all companies in the manufacturing sector in the world, especially firms producing in the casting industry, is one of the most important factors. In this context, companies are trying to realize the quality control process, which has become the final stage of production, with minimum error. The control towers consisting of sensors are used as the traditional method to carry out the control process. This method which is an electronic component consisting of mechanical sensors can give erroneous results due to some physical reasons and with time. In addition, the use of varying numbers of sensors and different designs for each different product on the production line reduces production flexibility and production speed, while increasing the cost in this process and also reducing the quality in production. For these reasons, traditional method is no longer preferred by companies. In this study, an alternative application which responds to the problems and demands of companies to the traditional method was realized.

In the study, an embedded system was created with Raspberry Pi 4B developable card and Raspberry Pi V2 Infrared camera. This system is supported by a physical environment containing a powerful infrared light source with a lens and filter designed specifically to absorb sunlight due to difficulties in processing images of aluminum parts and the sunlight in the environment affecting the image. To program the embedded system, a desktop application has been developed using the C# programming language in a .Net environment. Embedded system was programmed with the Python programming language using the OpenCV library, which contains image processing techniques such as Brightness, Contrast, Hue, Saturation, Threshold, Erode, Dilate, MatchTemplate and Surf Algorithm. With the interface implemented, the system can be programmed for 32 different products and 32 different areas that can be determined on each product. The connection between the card and the interface has been realized with a Socket application on the TCP protocol, so the connection has been secured over the Ethernet and Wifi via the wired or wireless method.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte her alanda yenilikler yaşanmış olup en önemli gelişme üretim sektöründe gerçekleşmiştir. İnsan gücüne dayanan üretim sistemleri gelişen teknoloji sayesinde otomasyon sistemlerine dönüştürülmüş ve üretim kapasiteleri muazzam derecede arttırılmıştır. Teknoloji sayesinde üretim metodları geliştirilmiş ve maliyetler minimum seviyelere çekilmiştir. Ancak bu gelişmeler ile birlikte artan üretim kapasitesi ve hız, kalite kontrol problemlerini ortaya çıkarmış, oluşan bu uyumsuzluk maliyetlerin artmasına neden olmuştur. Bunlar dışında kalite kontrol işlemlerinin insanlar ile yapılması süreçteki başarı oranının insan faktörüne bağlı olmasına neden olmaktadır. İnsan faktörü kalite kontrol işlemini yavaşlatabilir veya zayıflatabilir. Bu yüzden kalite kontrol sistemlerinin de otomasyon sistemlerine entegre edilmesi daha yüksek kalite ve başarıyı getirmektedir. Kontrol sistemleri, özellikle çalışılması zor ve tehlikeli olan uzun süreli ve hata kabul etmeyen işlemlerde tercih edilmektedir.

Savunma, güvenlik, sağlık, sanayi, teknoloji, uzay ve endüstri gibi birçok alanda etkin bir rol oynamakta ve çözümler sunmakta olan görüntü işleme, günümüzde en önemli araştırma konularından biri haline gelmiştir. Görüntü işlemenin en temel adımı, görüntünün işlenebilmesi için sayısal görüntü haline getirilip bilgisayar ortamına aktarılması işlemidir. Sayısal görüntü işleme konusunda geliştirilen algoritmalar çok fazla işlem yüküne sahiptir. Bu yüzden klasik bilgisayar sistemleri hız bakımından işlenen görüntünün boyutları arttıkça yetersiz kalmaya başlamaktadır. Dolayısıyla görüntü işleme hızlı sistemler gerektirmektedir. Gerçek zamanlı bir hareketli görüntü işleme algoritmasının uygulanabilmesi için ortalama saniyede en az 15 ila 25 görüntünün işlenmesi gerekmektedir. Bu noktada paralel ve hızlı işlem yapabilen bağımsız görüntü işleme yeteneğine sahip gömülü sistemlerin geliştirilmesi önemli noktalardan biri haline gelmiştir.

Üretim kotasının son yıllardaki sürekli artışı, üreticiler arasında kalite açısından bir rekabet ortamının oluşmasına neden olmuştur. Rekabet üreticinin kaliteden ödün vermeden hatta geliştirerek daha fazla üretim yapmasını tetiklemiştir. Bu süreçte üretilen her hatalı veya kalitesiz ürün üreticiye zaman kaybı ve maliyet olarak döneceğinden, üretimin her aşamasında çalışmalar dikkatle incelenmekte, kontrol edilmekte ve geliştirilmektedir. Bu yüzden ürünlerin kalite kontrol süreci, üretim aşaması süresine eklenip önemli bir işlem kategorisinde yer almaktadır. Son zamanlarda kalite kontrol sistemlerinde hata tespiti için insanlar yerine; sürekli çalışma, uzun vadede maliyetinin düşük olması, kararlı çalışma vb. avantajlarından dolayı sensör kuleleri veya görüntü işleme sistemleri kullanılmaktadır.

Görüntü işlemenin temelini oluşturan Görüntü analizi; insan görme sistemine benzer bir yapıda çalışarak nesnelere ait görüntüler üzerinde hesaplamalar yaparak anlamlı bilgiler üretmek demektir. Görüntü işleme yöntemleri her ayrı uygulamalar için değişik algoritmalar içermektedir. Elde edilen bir görüntünün görüntü analizinde kullanılabilmesi için görüntü kirliliklerin giderilmesi, ayrıntıların daha belirgin hale getirilmesi gibi görüntü kalitesinin iyileştirilmesine yönelik işlemlerden geçirilerek, görüntünün hatasız ve kolay işlenebilmesi için daha belirgin ve anlaşılır hale getirilmesi gerekmektedir.

Günümüzde otomasyon teknolojilerin neredeyse hepsi bilgisayarla görme ve robotik uygulamaları içerisinde barındırmaktadır. Otomasyon sistemlerinde en çok kullanılan bilgisayarla görme uygulamalarından olan nesne tanıma, görüntü üzerinde ortak özelliğe sahip nesneleri çeşitli görüntü işleme algoritmaları sayesinde bulup sınıflandıran ve bir sonuca varan işlemleridir. Gelişen teknoloji beraberinde nesne tanıma uygulamalarının ve bu uygulama kapsamında kullanılan çeşitli sensörlerin içinde bulunduğu robot kollarının kullanımını önemli hale getirmiştir. Son yıllardaki sıkı rekabet dolayısıyla daha etkin ve daha verimli üretim sistemlerine ihtiyaç duyan firmalar, üretimde insanların yerini alan robot kolların kullanımına yönelmiştir. Görüntü işleme ile ürün tanıma ve kalite kontrol işlemleri birçok endüstriyel ortamda potansiyel uygulama sahasına sahip olması sebebi ile robotik alanında da önemli bir noktaya sahiptir. Nesne belirleme yöntemleri genellikle ürünleri boyut ve özelliklerine

göre farklılaştırarak hangi konumda olduğunu belirlemek veya çalışma için en uygun bölgeyi tespit etmek gibi kullanılmaktadır.

Gelişen teknoloji ile paralel olarak otomasyon sistemlerinde çözülmek istenen sorunun niteliğine uygun çözüm yöntemleri de artarak çeşitlilik göstermektedir. Bu bağlamda görüntülerin alınıp ve üzerinde işlemler yapıp elde edilen verilerden anlamlı sonuçlar çıkaran görüntü işleme teknolojileri de gün geçtikçe artmakta ve önem kazanmaktadır. Görüntü işleme teknolojileri donanımsal teknolojiler ve yazılımsal teknolojiler olarak ikiye ayrılmaktadır. Donanımsal teknolojileri, paralel çalışabilen işlemcileri barındıran ve görüntü verilerini sinyal seviyesinde işleyebilen Raspberry Pi ve Nvidia Cuda gibi gömülü sistemler oluştururken, Yazılımsal teknolojileri OpenCV ve EmguCV gibi birçok görüntü işleme kütüphaneleri oluşturmaktadır. Görüntü işleme teknolojileri, Uygulamada da gerçekleştirildiği gibi görüntü verilerinin çokluğundan dolayı temel olarak görüntü verilerini olabilecek minimum parçalara bölüp eş zamanlı işlemeyi hedef edinmektedir.

Gömülü sistemler içerisinde yer alana grafik işlemciler, işlem ve özellik bakımından normal işlemcilerden daha yüksek başarımlar elde etmekte olup, günümüzde üç boyutlu grafikleri işleyebilmek için genel amaçlı işlemciler yerine kullanılmaktadır. Gömülü sistemler içerisinde bulunan gelişmiş Grafik işlemcileri yoğun işlem gerektiren uygulamalarda kullanılarak yüksek performans sağlamaktadır. Günlük hayatta çok sık kullanılan cihazların içerisinde yer alan Gömülü sistemler, belirli bir amaca yönelik tasarlanmışlardır. Kapasite bakımından sınırlı kaynağa sahip olmak ile birlikte çoğunlukla gerçek zamanlı işlem yapma gereksinimi olan ve genellikle boyut olarak daha küçük platform ve uygulamalarda yer almaktadır.

İnsanların yerine çevredeki sıcaklık, basınç gibi fiziksel ortam değişikliklerini algılayan cihazlar ‘Sensör’ olarak adlandırılmakta ve teknolojinin ilerlemesiyle beraber kullanımı hemen hemen her alanda görülmektedir. Çalışma yerlerine ve amaçlarında göre birçok sensör çeşidi bulunmakta olup, Döküm sektöründe de kullanılan tüm makineler ve cihazlarda farklı amaçlar doğrultusunda kullanılmaktadır. Döküm sektöründe başarının en temel unsuru; maksimum üretim, verimlilik ve

kalitede sürdürülebilirlik ile teknolojik gelişmelerin sektöre zamanında ve uygun bir şekilde adapte edilmesinden geçmektedir. Fakat söz konusu bu başarı, onlarca değişken parametrelerin yer aldığı tezgâhlara bağlıdır. Bu yüzden dökümhaneler artık tezgâhlara uygun ‘Hücre Tipi Robotlu Üretim’ modelini uygulamaktadır. Bu üretim modelinde; Döküm tezgâhı ile yağlama robotu, kepçe robotu, parça alma robotu, parça soğutma havuzu ve kesme tezgâhı birbirleri ile entegre halde tam otomatik bir üretim sistemi oluşturmaktadır.

Döküm sektöründe oluşturulan bu üretim hattından maksimum üretim sayısı ve kalite için hattan çıkan ürünün kalite kontrolü hat içerisine bir hücre şeklinde eklenerek zaman tasarrufu yapılmaktadır. Geleneksel yöntemde ürünün kontrol işlemi hat üzerinde yer alan kontrol sensör kuleleri ile yapılmaktadır. Parça alma robotunun kontrol kulesindeki sensörlere ürünü okutması ile yapılan bu işlem parçanın özelliğine göre sensörlerin düzenlemesini gerektirdiği ve her farklı parçada farklı sayıda sensör kullanılması bunların sürece dâhil edilmesini gerektirdiği için hem zaman kaybı hem de ekstra maliyet oluşturmaktadır. Bu çalışmada geleneksel yöneteme alternatif bir yöntem önerilmektedir.

Gerçekleştirilen çalışmada ürünlerin kontrolü için kullanılan sensör kuleleri yerine üretim çevriminde aktif olarak çalışabilecek gömülü bir görüntü işleme sistemi getirilmiştir. Bu çalışma ile döküm sektöründeki üretim hattında maksimum üretim verimi ve kaliteye, minimum maliyet ve süre zarfı içerisinde ulaşılmak istenmiştir. Ortalama 600 ila 900TL fiyat aralığında olan ve en az 3 genellikle 6 ile 12 arasında sensörden oluşan sensör kulelerinin yerini alacak olan görüntü işleme sistemi içerisinde barındırdığı uygun maliyetli gömülü sistem sayesinde maliyet avantajı sağlamaktadır. Bunun dışında her farklı üretim hattı için tekrar düzenlenmesi gereken sensör kulelerinin üretim çevrimine adapte edilme işlemleri sensör adetine bağlı olarak değişmekle birlikte ortalama 30-40dk arası sürmekte olup bu işlem gerçekleştirilen görüntü işleme gömülü sistemi ile ürün özelliğine bağlı olarak en fazla 3dk içerisinde ara yüz uygulaması aracılığıyla programlanabilmektedir. Bu özelliği ile zaman tasarrufu sağlarken diğer yandan maksimum verim ile üretim yapılabilmesine olanak sağlamaktadır.

Son olarak mekanik bir aksam olan sensör kulelerinin belirli bir zaman sonra arızalanması nedeniyle hem üretim sürecini aksatmakta hem de ekstra maliyet oluşturmaktadır. Bunun dışında uzun süre çalışan sensörlerin belirli bir noktadan sonra aynı verimde çalışamaması neticesinde kalite kontrol sürecine hatalı ürünün onay alması gibi aksaklıklara neden olmaktadır. Önerilen sistem ile bu gibi sorunların yaşanmaması ve uzun süreli maksimum performans sağlanması hedeflenmiştir.



BÖLÜM 2. LİTERATÜR TARAMASI

Uygulamayı konu alan bu tez çalışması dört aşamadan oluşmaktadır. Birinci bölüm uygulama hakkında genel bilgiler içermektedir. Uygulama içerisinde kullanılan teknolojiler hakkında bilgiler verilmekte ve uygulama problemi, kapsamı ve amaçlarından bahsedilmektedir. Son olarak literatürdeki yakın çalışmalar konu alınmıştır. İkinci bölüm kaynak araştırmasından oluşmaktadır. Bu bölümde uygulamada kullanılan teknolojiler ve bu teknolojilerin literatürde yer aldığı genel kavramlarından bahsedilmektedir. Konu başlıkları genel hatları ile Görüntü işleme, Gömülü sistemler ve Haberleşme teknolojileri şeklindedir. Üçüncü bölümde ise uygulama içeriğinden bahsedilmektedir. Uygulamanın donanımsal ve yazılımsal altyapısından, gerçekleştirilen uygulama ara yüzü, kullanılan gömülü sistemin ara yüz ile programlanması ve haberleşme yönteminden bahsedilmektedir. Ayrıca görüntü işleme aşamalarından ve kullanılan veri tabanı yönetiminden bahsedilmektedir. Son bölüm olan dördüncü bölüm ise uygulama testi sonucunda elde edilen verilerden, uygulamanın süre, maliyet, performans ve fiziksel ortam gibi etmenlerin analizlerinden bahsedilmekte olup ileriki çalışmalar için öneriler ve açıklamalardan oluşmaktadır.

Görüntü işleme ile ilgili literatürde birçok çalışmanın yer aldığı görülmektedir. Uygulama ile aynı konu başlığı altında olan nesne tespiti, öznitelik çıkarımı, hata denetimi gibi konularda yapılan çalışmalar incelenmiş ve genel hatları ile çalışmalara bu bölümde değinilmiştir. Aynı şekilde gömülü sistemler ile ilgilide literatürde yine birçok çalışmanın yer aldığı görülmüştür. Burada incelenen çalışmalar gerçekleştirilen uygulama kapsamında gömülü sistemlerde görüntü işleme kullanılarak ürün tanıma, hata tespiti gibi konuları ele alan çalışmalar olmaktadır. Fakat genel hatları ile ve uygulamada kullanılan teknolojileri bu amaç ve kapsamda birleştiren bir çalışma literatürde yer almamaktadır. Bu bağlamda gerçekleştirilen çalışma literatürde öncü çalışmalar arasında yerini almaktadır. Gerçekleştirilen uygulamanın çalışma

prensibine en yakın olan araştırma 2019 yılında Yavuz Köse'nin yapmış olduğu 'Döküm sektöründe görüntü işleme teknikleri kullanılarak parça kontrolü' adlı çalışmadır [1]. Çalışmanın en önemli özelliğini görüntünün boyut, renk ve kontrast gibi değişkenlerin değişimlerinden etkilenmeden ve yüksek performans ile doğru sonuçlar verdiğini belirttiği ve birçok sensörün yapacağı işi tek bir kameraya indirgeyip yüksek performans ve minimum maliyet sarfıyatı sağlayacağını belirttiği çalışmasıdır. Görüntü işleme tekniklerinin ve gömülü sistem mimarilerinin bir arada kullanıldıkları diğer çalışmalar ise şu şekildedir:

Sedat ve Tolga'nın 2018 yılında yapmış oldukları çalışmada; tarımsal alanlarda bilgisayar veya yüz tanıma ile otomatik kontrol edilebilen gezgin robot kullanarak domates bitkisinin görüntü işleme ile tespit ve analizi konu alınmıştır [6]. Erhan Kâhya'nın 2014 yılında yaptığı çalışmada ise, robotik kol ile meyve hasadı için en önemli girdi olan görüntü işleme yardımıyla meyvenin dal üzerindeki konumunun belirlenmesi ve kesme işleminin yapılması sağlanmıştır [21].

2008 yılında Mustafa Uzer tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışmasında; görme tabanlı mobil robot, bir kamera yardımı ve görüntü işleme algoritmaları ile otonom bir şekilde hareket ettirilmektedir [22]. Mehmet Karakoç tarafından 2016 yılında yapılan başka bir çalışmada; bir elektronik kartın baskı devresini delme işlemini düşük maliyet ve hızlı bir şekilde gerçekleyen görüntü işleme sistemi konu almaktadır [27].

Nurettin ve Recep tarafından 2013 yılında yapılan çalışmada ise, beş serbestlik dercesine sahip robot kolu kinematik açıdan incelenmiştir. İnceleme sonucu elde edilen veriler, Matlab ortamında benzetimler yapılmış elde edilen sonuçlar ile robot kol tasarımı gerçekleştirilmiş ve robot gövdesine yerleştirilen bir kamera yardımı ile görüntü işleme teknikleri kullanılarak kolun hareketleri kontrol edilmiştir [35]. Diğer bir çalışmada ise Yasin ve arkadaşları, farklı özellikteki plakaların konum ve açılarını görüntü işleme algoritmalarıyla Matlab içerisinde tespit etmişlerdir [36].

Yine benzer bir çalışma olan; görüntü işlemeye dayalı elektro-pnömatik parça tasnif robotu adlı çalışmada, kalite kontrolü ön tanımlı ürünlere göre gerçekleştirebilecek

bilgisayar tabanlı yapay görme sistemi ile geometrik tolerans kontrol sistemi tasarımının yapılması ele alınmıştır. İncelenen çalışma 2016 yılında Eyüp ve arkadaşları tarafından hayata geçirilmiştir [108]. Alpaslan ve arkadaşlarının 2008 de yaptıkları çalışmada; gezgin robotların hareketleri esnasında ihtiyaç duydukları konum bilgilerini alabilmek için görüntü tabanlı bir sistem sunulmaktadır [109].

Adamo ve arkadaşları tarafından 2009 yapılan çalışmada iki adet kamera kullanılarak hata bulma denetimi, Canny kenar bulma algoritması vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir [110]. George ve arkadaşlarının 2013 yılında yaptıkları başka bir çalışmada ise hataların bulunması için Fuzzy Means Clustering adlı kümeleme algoritması kullanılmıştır [111]. Şaban Öztürk'ün 2015 yılında yaptığı yüksek lisans çalışmasında renksiz halde olan düz ve buzlu camların hatalarının tespit edilerek ürün güvenilirliğini artırmak amaçlanmıştır [82].

Memet Balcı ve arkadaşlarının 2016 yılında yaptıkları çalışmada ise Türkiye’de yetiştirilen Napolyon kirazlarının boyutlarının belirlenmesine görüntü işleme tekniklerinin kullanılarak ürünlerin daha doğru sınıflandırılması amaçlanmıştır [112]. 2017 yılında Serdar ve Umut tarafından konu alınan bir diğer çalışmada, ortamda bulunan fındık meyvelerinin gerçek zamanlı olarak tespiti görüntü işleme yöntemleri ile gerçekleştirilmiş ve sınıflandırılmıştır [113]. 2018 yılında Kürşad Uğur tarafından yapılan bir başka çalışmada görüntü işleme yöntemleri kullanılarak silindirik cisimlerde ölçümler ve üretim de oluşan hata tespitleri yapılmıştır [114].

Gül ve arkadaşlarının 2011 yılında yaptıkları bir çalışmada ise Planogram bilgisi bağlam olarak kullanılarak market görüntülerinden anlamlı bilgi çıkartılabileceği varsayımıyla envanter yönetimi için yenilikçi bir yöntem önerilmiştir [115]. Fuat Esmaray'ın 2014 yılında gerçekleştirdiği ‘Açık Kaynak Kodlu Görüntü İşleme Uygulamaları’ adlı yüksek lisans tez çalışmasında EmguCV kütüphaneleri ile OpenCV fonksiyonlarının .Net platformunda C# dilinde temel görüntü işleme uygulamalarını geliştirmesi hedeflenmiştir [10]. Çağrı Kaymak'ın 2016 yılında yaptığı bir diğer çalışmada ise SIFT, SURF, FAST ve ORB gibi öznetelik çıkarım algoritmalarından faydalanılarak nesne bulma ve tanıma algoritmaları bir robot kol

üzerinde uygulanmıştır [53]. Mustafa ve İsmail'in 2019 yılında yapmış oldukları çalışmada gerçek zamanlı bir görüntü işleme sistemi Zynq gömülü mimarisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir [116]. Rashid tarafından 2018 yılında yapılan yüksek lisans tez çalışmasında Raspberry Pi tabanlı bir kamera sistemi kullanılarak güvenlik sistemi oluşturulmuş ve yüz tanıma işlemi gerçekleştirilmiştir [117]. Osman tarafından 2014 yılında gerçekleştirilen yüksek lisans tez çalışmasında ise gömülü sistemlerde kullanılmak üzere bir görüntü işleme kütüphanesi geliştirilmiştir [118].

2016 yılında Kaymak tarafından yapılan uygulamada bir Raspberry Pi tabanlı sistem ile nesne tanıma ve konum tespiti yapılmaktadır. Bu sistemde nesnenin istenilen konuma taşınması bir robot kol aracılığı ile gerçekleştirilmektedir [53]. Raspberry denetimli ve görüntü işlemeye dayanan Gömülü sistem tabanlı diğer bir nesne takibi uygulaması Öztürk tarafından 2015 yılında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ise morfolojik işlemler ve medyan filtresi kullanılarak nesnelerin merkezleri belirlenerek takibi sağlanmıştır [119]. Bir diğer çalışmada Boyraz ve Yıldız kızılötesi kamera kullanılarak Raspberry tabanlı bir damar görüntüleme sistemi ile insanların sağ ve sol ellerinden alınan görüntüler üzerinde görüntü işleme yöntemleri aracılığı ile damar tespiti yapmaktadırlar [120].

Erken ve Urhan tarafından 2017 yılında gerçekleştirilen bir diğer çalışmada ise Raspberry tabanlı ve nesnelerin interneti kavramına dayandırılan bir bebek uyku takip sistemi gerçekleştirilmiştir [121]. Kiraz meyvesinin ağaçta tespit edilerek insan gücü kullanılmadan toplanmasını hedefleyen bir başka çalışma ise Berki ve arkadaşları tarafından 2017 yılında oluşturulmuştur [122]. Küçükmanisa ve Urhan tarafından yapılan bir diğer uygulamada Gömülü sistem tabanlı ve gerçek zamanlı aracın şeritten ayrılması durumunda görüntü işleme yöntemleri yardımıyla tespit edilerek sürücüye uyarı veren bir sürücü uyarı sistemi sunulmuştur. Son olarak Burak ve Ersen'in 2019 yılında yaptıkları çalışmada, metal sektöründe kullanılmak üzere gömülü sistem tabanlı ve hatalı ürünleri referans görüntüler üzerinden karşılaştıran bir hatalı ürün tespit sistemi geliştirilmiştir [123].

BÖLÜM 3. BİLİMSEL ALTYAPI

3.1. Görüntü İşleme

3.1.1. Görüntü

Bilgisayar ortamında elle veya otomatik olarak oluşturulmuş gerçek veya sanal grafikler gibi resmi oluşturan her kareye görüntü denilmektedir [1,2]. Gerçek hayatta üç boyutlu nesnelerden oluşan her bir karenin basit iki değişkenli fonksiyonu olarak tanımlanan görüntü, bilgisayar ortamında bir matrise denk gelmektedir. Görüntüler piksellerden oluştuğu için matrisin her bir hücresi bir piksele eşittir. Görüntünün piksel sayısı arttıkça çözünürlüğü de doğru orantılı olarak artmaktadır [3,4].

Görüntü işleme, görüntünün yakalanıp başka bir aygıtta okunabilir bir biçime dönüştürülmesi ya da bir elektronik ortamdan başka bir elektronik ortama aktarılması işleminden farklı olarak, kaydedilmiş olan mevcut görüntülerin iyileştirilmesi ya da analizi için farklı tekniklerle işlenmesi demektir [5].

Dijital görüntü işlemenin ilk adımı olan görüntü elde etme, sensörlerden gelen verinin bilgisayar ortamında bir işleminden geçtikten sonra görüntüleyici çıkışa iletilmesi işlemidir [23]. Görüntü elde etmede kullanılan yazılım ve donanım görüntü kaynağına bağlı olarak farklılık gösterebilmekte olup, gerçek üç boyutlu nesnelerin dijital görüntülere dönüştürülmesinde; kamera ve uydu gibi görüntüleme araçları kullanılmaktadır. Algılama sensörlerinin çıkışı, görüntülenen değere bağlı değişen sürekli voltaj dalgası olup, dijital görüntü elde etme için bu sürekli veriyi örnekleme ve niceleme yöntemlerini barındıran normalize işleminden geçirmek gerekir [7].

3.1.2. Görüntü yapısı

Dijital görüntünün satır ve sütun indisleri görüntü içerisinde herhangi bir noktayı tanımlayan elemanlardan meydana gelmiş bir matris olarak nitelendirilmekte olup matrisin her bir elemanı o noktanın rengi hakkında bilgi içermektedir. Bu dijital dizinin veya matrisin her bir elemanına görüntü elemanı veya piksel denir [7]. Gerçekte bir görüntü; ' $f(x,y)$ ' şeklinde iki değişkenli bir fonksiyon olarak tanımlanır. Bu fonksiyonda ' f ' bir kuvvet birimi olmakta iken ' x ve y ' değişkenleri ise görüntünün konumlarını belirtmektedir. Bu bağlamda genel tanımı ile Dijital bir görüntü, ' x,y ' konumlarına karşılık gelen noktaların ' $f(x,y)$ ' parlaklık değerlerini içeren bir matrisidir. Çözünürlük ise görüntüdeki yatay piksel sayısı ve dikey piksel sayısının çarpımı ' $(x*y)$ ' olarak ifade edilir. Pikseller için boyut söz konusu olmadığından çözünürlük görüntünün boyutları ile ilgili bir bilgi içermez. Ancak çözünürlük düştükçe (görüntüdeki piksel sayısı azaldıkça) görüntüdeki netlik de azalmaktadır [23,8].

Görüntü işleme, dünden bugüne hep var olmuştur. Görme yetisine sahip canlılar görüntü sinyallerinin uzay zamanda bulunan analog temelli görüntülerini sürekli işlemişlerdir. Teknolojinin son zamanlardaki gelişmesi ile analog görüntünün dijital ortamlarda ifade edilmesi sorunu, gerçek hayattaki görüntülerin çeşitli teknolojiler vasıtasıyla sayısal olarak elektronik ortamlara aktarılması ile çözülmüştür [9,10].

3.1.2.1. Analog görüntü

Etrafımızdaki nesnelere ait, uzay zamanda sürekliliği olan ve görme sistemleri ile algılanabilen sürekli sinyaller analog görüntüyü oluşturur. Bir başka tanımda analog görüntüler; kaynağındaki biçimiyle kaydedilebilen, saklanabilen ve iletilebilen görüntüler olarak ifade edilmektedir [11]. Sayısal olarak ifade edilemeyen bütün görüntüler analog görüntülerdir. Bir bilgisayarın kendi görüntüsü analog görüntü iken, ekranda dijital olarak oluşturulan görüntü ise sayısal görüntüdür [9].

3.1.2.2. Sayısal görüntü

Uzay zamanda bulunan görüntülere ait analog sinyallerin elektronik araçlar aracılığıyla algılanıp bir sayı tablosu şekline dönüştürülmesiyle oluşturulan dijital verilere sayısal(ayrık) görüntü denir. Yine bir başka tanımda sayısal görüntü, ‘Analog sinyalin sayısal sinyale dönüşmüş halidir.’ olarak belirtilmiştir [9]. Analog görüntüleri yakalamak, saklamak, değiştirmek üzere dijital ekipmanlar kullanılır. Bu ekipmanlar ile görüntüler ilk olarak sayısallaştırma ya da tarama olarak adlandırılan süreç içerisinde sayısal veri setlerine dönüştürülür [12].

3.1.3 Görüntü türleri

İkili, gri seviyeli ve renkli görüntüler olmak üzere üçe ayrılan görüntü türlerinden kısaca bahsedecek olursak; İkili görüntüler; siyah beyaz görüntüler olarak nitelendirilmektedir. Gri seviyeli görüntüler; Siyah ile beyaz arasında bulunan tüm renk tonlarını ifade etmek için piksel değeri ‘0 ile 255 arasında olan görüntülerdir. Renkli görüntüler ise mavi, yeşil ve kırmızı olmak üzere üç ana renk bileşiminden elde edilen görüntülerdir [4].

3.1.3.1. İkili görüntü

İkili görüntülerde görüntünün piksel değerleri ‘0 veya 1’ olmaktadır. Burada ‘0’ değeri siyahı ‘1’ değeri ise beyazı temsil etmektedir. Görüntü üzerindeki ‘1’ değeri beyazın piksel değerini(255) ifade etmektedir. Böyle bir durumda arka plan kısmı siyah ile gösterilirken görüntü üzerindeki hedef nesneler ise beyaz ile gösterilmektedir. İkili görüntülerde bir piksel ‘1’ bitlik yer kaplamaktadır [4].

3.1.3.2. Gri seviyeli görüntüler

Sadece grinin tonlarından oluşan görüntülerdir. ‘0 ile 255’ arasında 256 farklı piksel değeri alabilen gri seviyeli görüntülerde her farklı değer grinin farklı tonlarını barındıran 8bit alanlar ile ifade edilmektedir. Piksel değeri olarak ‘0’ siyahı temsil etmekte olup ‘255’ ise piksel değeri ise beyazı temsil etmektedir [4].

3.1.3.3. Renkli görüntüler

Renkli görüntüler genellikle kırmızı mavi ve yeşil olmak üzere üç farklı bileşenden oluşmaktadır. Gri seviyeli görüntülerde olduğu gibi her bileşen '0 ile 255' arasında değer almakta ve bu üç farklı bileşenden tüm renkler oluşturulmaktadır. Renkli görüntüler üç bileşenden oluştuğu için görüntünün her pikseli 24 bitlik yer kaplamaktadır. Görüntüdeki piksel sayısı ve görüntünün gri renk düzeyi, görüntü kalitesini ve boyutunu etkiler. Görüntüler R(Kırmızı), G(Yeşil), B(Mavi) kodlarıyla oluşturulan üç adet gri düzeyli görüntü değerinden oluşur [4]. Farklı dalga boylarında elde edilmiş üç gri düzeyli görüntü üst üste düşürülerek renkli görüntü oluşturulur. Bu dalga boyları şu şekildedir; '0,4-0,5' mm dalga boyu mavi rengi, '0,5-0,6' mm dalga boyu yeşil rengi, '0,6-0,7' mm dalga boyu kırmızı rengi ifade eder [9].

3.1.4. Görüntü karakteristikleri

Her bir bölge ayırt edici özellikleri, sayısal bir görüntüde görüntü özneteliğini oluşturmaktadır. Görüntü karakteristikleri, görüntü özneteliğini belirtebileceği gibi görüntü içerisinde sadece bir nesne veya bir bölge ile ilgili olabilir. Piksel yoğunluğu, histogram, parlaklık, çözünürlük, karışıklık ve renk, doku, şekil gibi özellikler görüntü özneteliğini oluşturan temel karakterlerdir. Sayısal görüntülerde görüntü bölütleme, görüntü karakteristiklerine göre yapılır. Görüntü işlemeye başlamadan önce görüntü bölütleme başarısını en iyi etkileyecek hedef nitelik seçilerek görüntü karakteristikleri belirlenir. Bir başka görüntü karakteristiği de görüntü formatıdır. Günümüzde en çok kullanılan görüntü formatları; JPEG, BMP, TIFF, GIF, PSD, PNG, PICT şeklindedir [10].

3.1.4.1. Çözünürlük

Bir görüntüde bulunan özniteliklerin toplamını ifade eden kavrama çözünürlük denir. Bu bağlamda çözünürlük; görüntüyü oluşturan piksellerin toplam miktarıdır. Sayısal görüntüdeki detayların ayırt edilmesiyle ilgili olan çözünürlük kavramı görüntüdeki piksel sayısını ifade ettiğinden, bir görüntünün çözünürlüğünü bulabilmek için toplam piksel sayısını incelemek gerekir. Sayısal görüntünün her piksel değeri ' $f(x,y)$ ' fonksiyonu ile tanımlanmış iki boyutlu matris ile ifade edilir. Yani ' x ' piksel yüksekliğinde ve ' y ' piksel genişliğindeki bir görüntünün çözünürlüğü ' $(x*y)$ ' işleminin sonucu kadardır [13].

Uzamsal frekans değeri bir sayısal resimde çözünürlüğü göstermek için örnekleme yapılan ve kullanılan nesnel bir ölçüttür. Sayısal görüntülerin örnekleme frekansı 'PPI ya da DPI' ile ifade edilir. Örnekleme frekansı ne kadar yüksek olursa görüntü çözünürlüğü de o kadar iyi olmaktadır [14]. Şekil 3.1.'de fiziksel boyutları aynı görüntülerin örnekleme frekansına bağlı çözünürlüklerdeki değişimleri gösterilmiştir.

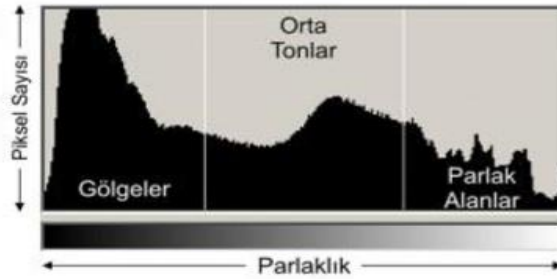


Şekil 3.1. Örnekleme frekansına bağlı çözünürlük [14].

3.1.4.2. Histogram

Sayısal görüntülerde, her piksel değerinden görüntüde ne kadar yer aldığını gösteren grafiğe histogram denir. Histogramlar her türdeki görüntüler için oluşturulabilir olup histogram grafiklerinden; görüntünün parlaklık durumu, kontrastı ya da tonları hakkında bilgiler elde edilebilir. Görüntü bölütlemeye uygun eşik değerinin belirlenmesi ve nesnelerin tespiti için histogram grafiklerinden yararlanılır [10,15].

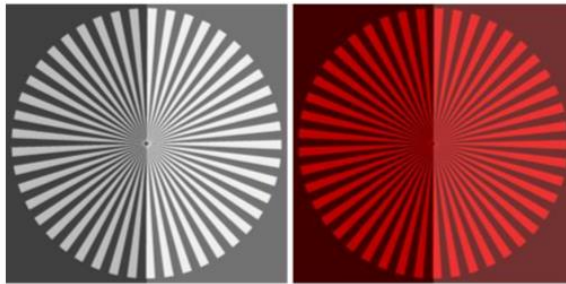
Şekil 3.2.'de sayısal görüntünün histogramı ile sayısal görüntü karakteristiklerinin dağılım yoğunluğu gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Örnek karakterize histogram grafiği [15].

3.1.4.3. Parlaklık

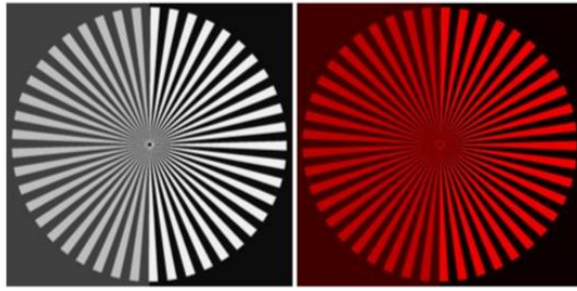
Sayısal görüntülerde siyahların tam siyah ve beyazların tam beyaz olma durumlarını ifade eden kavrama Parlaklık denilmektedir. Eş parlaklık değerine sahip alanlar görüntü histogramından eşikleme ile seçilebilir ve bu alanlar belirlenen amaçlar doğrultusunda işlenebilir [16]. Şekil 3.3.'de gri ve renkli görüntülerde parlaklık değişimi, piksel değerleri değiştirilerek gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Görüntü parlaklık değişimi [16].

3.1.4.4. Karşıtlık

Görüntüdeki en koyu ve en parlak alanlar arasındaki mesafe karşıtlık kavramı ile ifade edilir. Karşıtlık işlemi ile görüntünün gölgeleri koyulaştırılarak parlaklıkları arttırılır. Görüntü işlemede karşıtlık işlemi ile gerçekleştirilmek istenen amaç, hedef görüntünün bütün görüntü içerisinde belirginleştirilerek görüntünün bölütlenmesini kolaylaştırmaktır. Görüntü alanları karşıtlık ayar değişimi ile birbirlerine yakınlştırılabilir ya da uzaklaştırılabilir [16]. Şekil 3.4.'de gri ve renkli görüntüdeki farklı karşıtlık değerlerinin görüntüye etkisi gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Farklı karşıtlık değerlerinin karşılaştırılması [16].

3.1.4.5. Renk uzayları

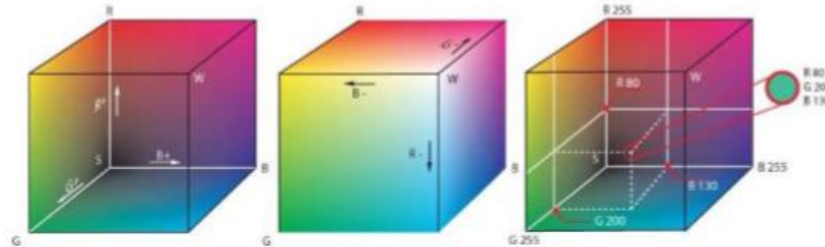
Fiziksel ortam veya ışık özelliklerini içeren, görsel algılamalar aracılığıyla bir gözlemcinin farkına vardığı ışıksal enerjiyi ifade eden renk kavramının görüntü işleme ile olan bağlantısı bu ışıksal enerjinin eksiksiz bir şekilde dijital ortama iletilmesiyle başlamaktadır. Tüm renkleri temsil eden renk uzaylarındaki renklerin elde edilmesinde, birbirinden bağımsız üç değişken kullanılması gerektiği fikri Renkmetri biliminin temelinden gelmektedir [17].

15. yüzyılın başlarında renk; ışığın taşıdığı bilgilerden biri görsel algılamada bir özellik olduğu ortaya çıkarılmıştır. Teknolojinin gelişimi ile birlikte, renklerin sayısal ifade biçimleri üzerine 1900'lü yılların başından itibaren çeşitli çalışmalar yapılmıştır [18]. Şekil 3.5.'te görüldüğü üzere ve bu araştırmalardan elde edilen sonuçlar ile renk uzaylarını cihaz bağımlı ve cihaz bağımsız diye sınıflandırmak mümkündür.



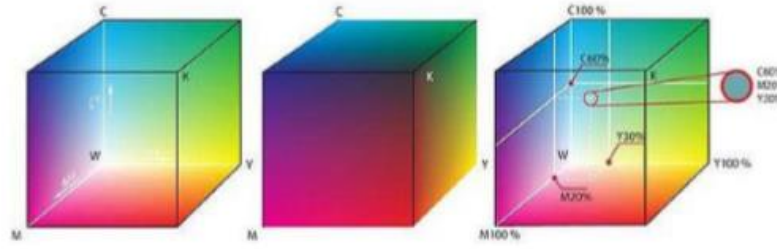
Şekil 3.5. Renk uzaylarının sınıflandırılması [18].

RGB; Elektromanyetik spektrumda insan gözü ile görülebilen maksimum ve minimum dalga boyları arasındaki noktaların birleşimi ile sanal ortamda renkler oluşturulur. İnsan gözü elektromanyetik spektrumda 400nm ile 700nm dalga boylarını arasındaki değerleri algılar. Burada spektral tanımlama; ilgili renge ait olan dalga boyunun grafiksel eğrisi olarak gösterilmesi şeklinde belirtilmiştir. Doğada bulunan tüm renkler belirlenen spektrum dalga aralığındaki üç temel rengin R-G-B(Kırmızı-Yeşil-Mavi) belirli oranlarda karışmasıyla oluşur [19]. Şekil 3.6.'da Elektromanyetik spektrumda göz ile görülebilir ışık aralığı RGB formatında gösterilmiştir.



Şekil 3.6. RGB renk uzayı birim küpü [19].

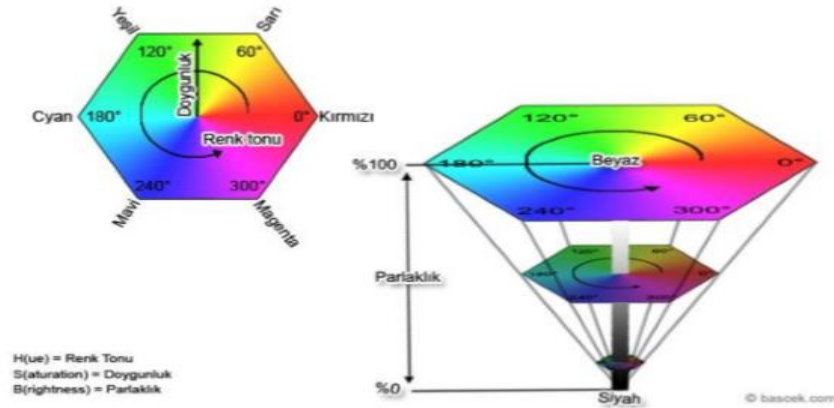
CMY/K; Genel olarak kullanılan dört ana renkten; Cyan(Turkuaz), Magenta(Eflatun), Yellow(Sarı) ve Black(Siyah) diğer renklerin çıkarılması temeline dayanan CMY/K renk modeli bu açıdan RGB modelinden farklıdır. RGB birim renk küpünde diğer tüm ara renkler, ikincil renk olarak ifade edilen renklerin üst üste eklenmesi ile elde edilir. Ara renk elde edilme başarısı düşük olduğu için genelde daha basit işlemlerde tercih edilmektedir. İşlenmiş bir görüntünün basılmadan önce genellikle bu renk dönüşümüne uğradığı görülmüştür [10]. Şekil 3.7.'de CMYK renk uzayı gösterilmiştir.



Şekil 3.7. CMYK renk uzayı birim küpü [10].

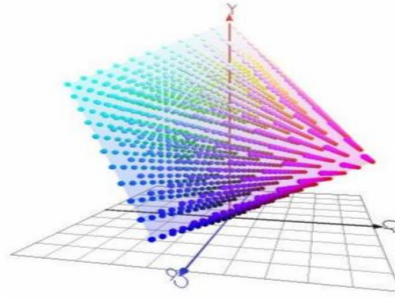
HSV; Bir rengin görsel özelliklerinin üç farklı öznitelikten oluştuğu düşüncesine dayanan HSV renk uzayı, renkler üzerindeki işlemlerde daha çok sezgisel olması amacıyla geliştirilmiştir [14]. HSV renk uzayı: Renk(Hue) ve Doygunluk(Saturation) değerlerinin üstüne Işık(Luminance), Parlaklık(Brightness) ve Yoğunluk(Intensity) değişkenlerinde herhangi biri ile birlikte üç ana bileşenden oluşmaktadır. RGB uzayından farklı olarak HSV renk uzayında renkler matematiksel denklem ile oluşturulur. Genellikle kullanıcıların renkleri görerek seçmeleri gerektiği durumlarda etkin olarak kullanılır [20].

Renk tonunu ifade eden ‘Hue’ bileşeni, renkleri açısal olarak oluşturur. Renk geçişleri sırası ile 0 derece kırmızı, 120 derece yeşil ve 240 derece mavi olacak şekildedir. Ara renkler her bir derecelik açısal değişimler ile oluşur. ‘Saturasyon’ değişkeni Şekil 3.8.’de gösterilen koninin merkezinde yarıçap uzunluğunu ifade ederken ‘0-1’ aralığında değer alan ‘Doygunluk’ ise koninin yüksekliğini ifade eder. Tüm ana renkler birleşim noktası olduğu için koninin merkezi beyazdır. Koninin merkez ekseninde kenarlara doğru gidildikçe doygunluk değeri arttığından kenarları renklerin tam tonlarını göstermektedir. Merkezde maksimum değerine sahip value, koninin tepesine doğru azalarak gri tonda renklerin oluşmasını sağlar, tam tepede minimum value değeri ile siyah renk oluşur [10].



Şekil 3.8. HSV uzayında renk oluşumu [10].

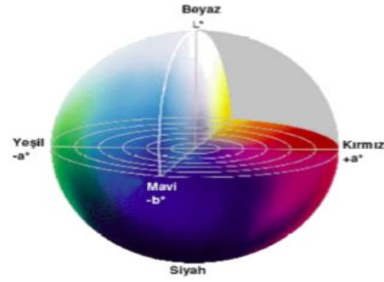
YCbCr; Y(Luminance) parlaklık, Cb mavi kroma ve Cr ise kırmızı kroma bileşenlerini ifade eden YcbCr renk uzayı genellikle dijital videolarda kullanılır. Resimleri üç katmanda oluşturmaktadır. Böylelikle görüntüye daha az bit ayırarak bellekte daha az yer kaplamasını sağlamıştır. Dijital ortamda YCbCr renk uzayı ile ifade edilen görüntüler, RGB renk uzayında ifade edilen görüntülerden daha verimlidirler [10]. Şekil 3.9.'da Y, Cb ve Cr değişkenlerine bağlı renk uzayı gösterilmiştir.



Şekil 3.9. YCbCr renk uzayı [10].

CIE $L^*a^*b^*$; CIE tarafından oluşturulan bu renk uzayı, renklerin insan tarafından algılanış şeklini referans alarak oluşturulmuştur. Aygıtlardan bağımsız renklerin nasıl görüldüğü ile ilgili standartları ise “ $L^*a^*b^*$ ” renk uzayı tanımlar. Renk yönetim sistemleri bu renk uzayı modelini, sonuçları önceden tahmin edilebilecek şekilde bir rengi bir renk uzayından diğerine dönüştürmek için kullanır. “ $L^*a^*b^*$ ” renk uzayı dikeyde sarı-mavi, yatayda yeşil-kırmızı eksenlerine dayanan küresel bir yapı içerir.

Bu renk uzayında temel düşünce bir rengin aynı zamanda dört ana renk(Mavi-Sarı-Yeşil-Kırmızı) içerisinde olamayacağı teorisi üzerine kurulmuştur [21]. Şekil 3.10.'da gösterilen CIE $L^*a^*b^*$ renk uzayı küresinde de görüldüğü üzere L, a ve b değişkenleri renk uzayında L; parlaklık (Lightness), a; +a kırmızı, -a yeşil ve b; +b sarı, -b mavi eksenlerini ifade etmektedirler.



Şekil 3.10. CIE $L^*a^*b^*$ renk uzayı küresi [21].

3.1.5. Görüntü yakalama ve sayısal görüntü işleme

Görüntü yakalama, gerçek bir olgunun herhangi bir görüntüsünün kamera gibi görüntü alabilecek donanımlar sayesinde fotoğrafının çekilmesidir. Görüntü yakalama, film ve benzeri hareketli görüntülerden programlar aracılığıyla da gerçekleştirilmektedir. Ayrıca Print Screen tuşu ile görüntü almakta bir görüntü yakalama şeklidir [1]. Şekil 3.11.'de görüntü yakalama anından itibaren bir görüntü işleme çevriminde yer alabilecek aşamalar sırasıyla verilmiştir. Bu kısımda bu başlıklar ana hatları ile anlatılmış olup ilerleyen bölümlerde detaylı bir şekilde incelenecektir.

Sayısal görüntü işleme kesin çizgiler ile ayrılmamakla birlikte genel olarak üç farklı seviyede incelenebilir. Bunlar; düşük seviye, orta seviye ve yüksek seviyede görüntü işlemedir. Şekil 3.11.'de görüldüğü üzere düşük seviye işleme; gürültü azaltma, kontrast artırımı ve görüntü belirginleştirme gibi giriş seviyesi işlemleridir. Düşük seviye işlemede hem giriş değeri hem de çıkış değeri bir görüntüden oluşmaktadır. Orta seviye işleme; bölütleme ve nesnelerin sınıflandırılması gibi işlemleri kapsamaktadır. Orta seviye görüntü işlemede giriş bir görüntü değeri iken çıkış genellikle girişteki görüntüden elde edilen nesnelerin özelliklerinden oluşmaktadır.

Yüksek seviye işleme ise ayrıştırılan nesnelerin gruplandırılması ve anlamlandırılması gibi ileri düzey işlemleri barındırmaktadır [25].



Şekil 3.11. Genel hatları ile görüntü işleme çevrimi [25].

- Görüntü iyileştirme: Sayısal görüntü işlemenin en çok kullanılan ve en basit yöntemlerinden biri olmak ile birlikte genel olarak görüntü iyileştirme, ayrıntıları belirleyerek görüntü özneliklerini çıkarmak amacı ile kullanılmaktadır. Birçok uygulamada gerçekleştirilen bir örnek ile açıklarsak, görüntünün daha iyi görünmesi için kontrastın artırılması işlemidir [23].
- Görüntü yenileme: Görüntüyü iyileştirme adımlarından biri olmakla birlikte görünüm kalitesinin kişinin kendi görüşüne göre belirlenemeyeceği görüşüne dayanan öznelikten çok nesnel bir işlemdir. Görüntü yenileme yönteminde görüntü genellikle istatistiksel ve matematiksel yenileme yöntemleri kullanılarak iyileştirilir [24].
- Renkli görüntü işleme: Teknolojinin son zamanlardaki gelişim ile birlikte gündeme gelen görüntü işleme tabanını değiştirecek bir yaklaşımdır. Genel görüntü işleme algoritmalarının tersine ikili ya da gri formattaki görüntüler dışında renkli görüntüler üzerinden görüntü işleme temeline dayanır [23].

- Çözünürlük: Farklı çözünürlük derecelerinin temelini oluşturur. Genellikle veri sıkıştırma ve görüntülerin sürekli daha küçük bölgelere bölünmesi işlemlerinde kullanılır [24].
- Veri sıkıştırma: Görüntüyü kaydetmek için gerekli alanı küçültmek ya da görüntüyü iletmek için gerekli band genişliğini küçültmek amacı ile kullanılır. Kaydetme teknolojisi son yıllarda oldukça fazla ilerleme göstermesine rağmen iletim kapasitesi için internet kullanımı ile bağlantılı olmasından dolayı aynı şey söylenemez. Bu yüzden sıkıştırma yöntemleri veri boyutunu azaltmak ve iletim hızını arttırmak için sıklıkla kullanılmaktadır [23].
- Morfolojik işleme: Görüntü içerisindeki aranan nesnelerin ya da özniteliklerin çıkarılmasında kullanılır [24].
- Bölütleme: Görüntünün kendisini oluşturan parçalara veya sınıflara bölünmesi işlemi olarak tanımlanan ve sayısal görüntü işlemede en zor bölümlerden biri olan görüntü bölütleme, içerisinde barındırdığı algoritmaları ile bir görüntüdeki elemanların veya nesnelerin gruplandırılması ve sınıflandırılması için kullanılır [23].
- Sunum ve özellik çıkartımı: Görüntüdeki ayrıştırılacak nesnenin sınırlarını gösteren ya da belirli bir bölgenin tamamını içeren piksel grubu olmaktadır [24]. Sınır tanımlama ve alan tanımlama adımlarından oluşup görüntü üzerindeki objelerin belirginleştirilmesini sağlamaktadır.
- Tanıma: Görüntü üzerindeki bir nesneyi, onu tarif eden öznitelikler ile birlikte ayrıştırma işlemidir [23].
- Görüntü dönüşümleri: Değişik açılarda elde edilen görüntünün istenilen açıdan çekilmiş gibi görünmesini sağlayan tekniktir [26].
- Görüntü onarma: Görüntünün niteliğini ve kalitesini, çeşitli filtreler ile işleme sokarak istenilen seviyeye yükseltme işlemidir [4]. Bozulmuş veya gürültüye maruz kalmış görüntüyü orijinal haline döndürmeyi amaçlar.
- Görüntü algılama: Görüntü algılama algoritmaları görüntünün yaydığı enerjinin algılanması, kaydedilmesi, elde edilen verilerden bilgi çıkarılmak üzere işlenmesi ve analiz edilmesinde kullanılır [26].

3.1.6. Görüntü işlemenin kullanıldığı alanlar

Temel olarak görüntü işleme seviyeleri üç kısımda incelenmektedir. Bunlar; düşük, orta ve ileri seviyeli görüntü işleme yöntemleridir. Gürültünün azaltılması, kontrastın ayarlanması, görüntünün keskinleştirilmesi gibi işlemler, görüntünün düşük seviyede işlenmesinde yer alan daha basit işlemlerdir. Orta seviyede ise görüntünün bölütlenmesi, görüntü içerisindeki objelerin belirlenmesi ve gruplandırılması gibi işlemler yer alır. Orta seviyede görüntü işlemede; girdi olarak görüntünün kendisi yer alırken, çıktı olarak bu görüntüdeki öznitelikler yer almaktadır. İleri düzeyde görüntü algılanması ise yüksek seviyedeki işlemlerde yer almaktadır [2,27].

Günümüzde görüntü işlemenin uygulama alanları oldukça fazladır. Görüntü işleme kavramının hızla gelişmesi gün geçtikçe bu alanda da çeşitliliğin hızla arttırmasına neden olmaktadır. Temel olarak görüntü işleme: Tıp ve Biyolojide(kemik kırıkları ve tümör tespitinde, biyomedikal görüntüleme işlemlerinde), Astronomide(uydu görüntülerinin elde edilmesinde), Endüstri ve Mühendislikte(robot-bilim teknolojisinde, tekstil ve gıda endüstrilerinde süreç ve ürün denetimi aşamasında, barkod okuma gibi belge işlemlerinde), Güvenlik, Savunma Sanayi ve Hukukta(parmak izi, plaka ve yüz tanıma sistemlerinde, kâğıt para kontrolü işlemlerinde ve hedef belirlemede kullanılır), Sporda(sporcunun hızını belirlemede), Bankacılıkta, Ticarete, Sanatta, Coğrafyada(hava tahmini ve uydu görüntülerinin elde edilmesi işlemlerinde), Fizikte(elektron hareketlerinin görüntülenmesinde), Programlamada(üç boyutlu modelleme işlemlerinde), Uzay bilimlerinde(uydu ve radar görüntülerinin analizinde) kullanılmakta olup teknolojinin yer aldığı tüm alanlarda varlığını devam ettirmektedir [28,29,30].

3.1.7. Görüntü işleme teknikleri

Probeleme uygun olarak geliştirilen görüntü işleme teknikleri, çeşitli yöntemlerin birlikte kullanılmasını, birtakım ölçütlerin dâhil edilmesini ve işlem hızlarının artırılmasını sağlamaktadır. Görüntü işlemede farklı alanlar ve bu alanlara bağlı farklı

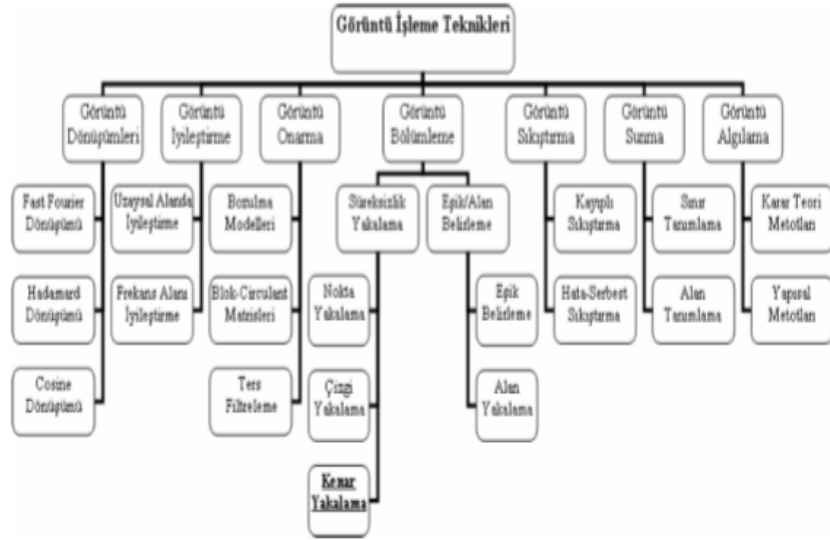
yöntemler kullanılmaktadır. Görüntülerin modellenmesi, görüntülerden analiz sonucu çeşitli verilerin elde edilmesi, görüntü karşılaştırılması, benzerlik ölçümleri, görüntü aramaları, görüntü eşlemeleri gibi uygulamalar farklı algoritmalar ile yapılmaktadır. Yöntemler, üzerinde çalışılacak görüntülerin özelliklerine göre belirlenir. Üzerinde çalışılan görüntüler farklı çözünürlük veya bit derinliğine sahip olabildiği gibi içerisinde gürültü içerebilir [27].

Görüntü işleme uygulamaları, sürecin bilgisayar ortamında en uygun şekilde tasarlanmasını ve etkili iyileştirme yöntemlerini içermesini gerektirmekle birlikte gerçek hayatta uygulanabilir seviyede olmasını gerektirmektedir. Bu şartlar göz önüne alınarak görüntü işleme için gerekli altyapı oluşturulmalıdır. Görüntü işlemede, farklı amaçlar için kullanılan görüntü işleme yöntemleri genel olarak üç grupta toplamıştır [5,7].

- Nokta işleme teknikleri,
- Görüntü zenginleştirme yöntemleri,
- Morfolojik işlemler.

Nokta işleme teknikleri arasında; negatif görüntü işleme ve görüntü histogramı eşitleme, parlaklık ayarlama ve kontrast geliştirme gibi işlemler yer almaktadır. Görüntü yumuşatma, görüntü keskinleştirme ve kenar belirleme yöntemleri ise görüntü zenginleştirme yöntemleri arasında yer almaktadır. Son olarak genişletme ve aşındırma, açma ve kapama operatörleri ise morfolojik işlemler arasında yer almaktadır [2].

Görüntü işleme tekniklerinin uygulanması için gerek şart görüntünün sayısal görüntü haline getirilmesidir. Sayısal görüntü, bir görüntünün piksellerini barındıran ikili matrislerden(satır-sütun) oluşmasıdır [4]. Şekil 3.12.'de belirtildiği gibi sayısal görüntü üzerindeki görüntü işleme teknikleri kapsamlı olarak yedi başlık altında toplanmaktadır.



Şekil 3.12. Görüntü işleme teknikleri [4].

Bu bölümde Şekil 3.12.'de gösterilmiş olan ve uygulamanın temelini oluşturan görüntü işleme teknikleri kapsamlı bir şekilde incelenmektedir.

3.1.7.1. Görüntü grileştirme

Renkli görüntüyü gri görüntüye çevirmede çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında en çok kullanılan ortalama yöntemidir. Renkli görüntüyü oluşturan RGB(Yeşil-Kırmızı-Mavi) piksellerinin ortalaması ile elde edilen görüntü gri değerini vermektedir. Örneğin I(130, 60, 200) piksel değerlerine sahip renkli görüntünün piksel değerlerinin aritmetik ortalamasına bakıldığında piksel değeri 130 olan gri seviyeli bir görüntü oluşmaktadır. Grileştirmede kullanılan ikinci bir yöntem ise parlaklık yöntemidir. Ortalama yöntemine benzeyen bu yöntem görüntünün aydınlık değerleri üzerinden işlem yapmaktadır [5]. Kırmızının '0.2989', yeşilin '0.5870' ve mavinin '0.1140' değerlere sahip olan renkli bir örnek görüntüde, görüntünün gri seviyesini bulmak için bu bileşenlerin piksel değerleri kendilerine ait olan bu aydınlık değerler ile çarpıldıktan sonra elde edilen değerler toplanır. 'I(130*0.2989+ 60*0.5870 +200*0.1140)' Gerçekleştirilen işlem sonucunda 96,877 gri seviyeli piksel değeri bulunur [4]. Şekil 3.13.'de ortalama yöntemi ile renkli görüntünün gri seviyeli görüntüye çevrilmesi gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Renkli görüntünün griye çevrilmesi [4].

3.1.7.2. Görüntü histogramı

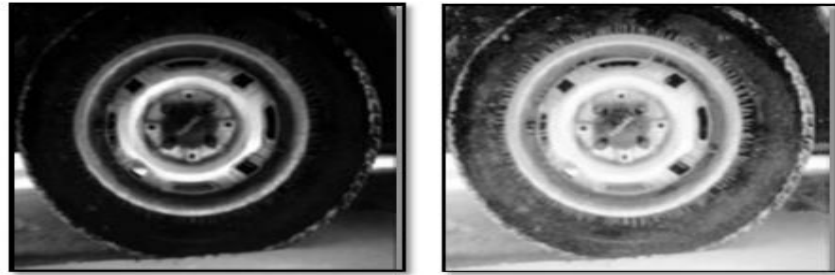
Görüntünün her bir gri ton seviyesinin(0-255) görüntüdeki bulunma sıklığı(frekansı) olarak adlandırılan histogram her bir noktadaki piksellerin tespiti ve bu piksellerin sayısının ne olduğunu göstermektedir. Böylece histogram üzerinden görüntü ile ilgili çeşitli bilgilerin çıkartılması sağlanmış olur. Görüntü üzerine uygulanmak istenen eşik değeri, histogram üzerinden görülebilecek aydınlık-karanlık bölge değerlerinden elde edilecek bilgi ile belirlenir [31,32].

Histogram eşitleme kontrast iyileştirme teknikleri arasına yer almaktadır. Görüntünün tümüne uygulanabileceği gibi sadece belli bir bölgesine de uygulanabilir olan histogram eşitlemesi, renkli görüntüdeki parlaklığın en çok toplandığı alana en fazla oranda uygulanmaktadır. Histogram tüm görüntüye uygulandığında global histogram eşitleme, görüntünün belli bir bölgesine uygulandığında ise lokal histogram eşitleme olarak adlandırılmakta olup, lokal histogram eşitleme genellikle histogramı dar olan görüntülerde görüntü içerisindeki bölgeleri ayırmak için kullanılmaktadır [8,9,25,33,34]. Histogram eşitlemenin genel adımları şu şekildedir:

- Görüntünün histogramı oluşturulur.
- Histogramın her değerinin kendisinden öncekiler ve kendisinin toplamı ile elde edilen değerleri içeren kümülatif histogram grafiği oluşturulur.

- Gri seviye değerlerin elde edildiği aşamadır. Burada Kümülatif histogram değerleri normalize edilerek yeni görüntüde olması istenilen renk değerleri ile çarpılarak elde edilen değer tam sayıya yuvarlanır.
- Son adımda elde edilen değerler ile gerçek görüntüdeki değerler birbirleri ile karşılaştırılarak yeni histogram grafiği oluşturulur.

Şekli 3.14.'de yukarıda belirtilen adımlarla bir görüntü üzerinde belirlenen değer ile histogram eşitleme sonucu verilmiştir.



Şekil 3.14. Görüntüye histogram eşitleme uygulanması [31].

3.1.7.3. Görüntü parlaklığı

Görüntünün gri değerlerinin ağırlıklı ortalamasına ve varyansına bakılarak görüntünün genel görünümü hakkında temel bilgiler elde edilebilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre gri değerlerinin ağırlıklı ortalaması görüntünün parlaklığını, varyans da kontrastını göstermektedir. Görüntü piksellerinin gri değerleri arttırılıp azatılarak görüntü parlaklığı değiştirilebilir [31]. Şekil 3.15.'de piksel değerlerinin değişimine göre görüntünün parlaklığındaki değişim gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Görüntü parlaklık değişimi [31].

3.1.7.4. Görüntü kontrastı

Görüntünün özneliliklerini ifade etmek için kullanılan kontrast terimi sözcük anlamı olarak karşıtlık demektir. İnsan gözü ortalama otuz farklı skala arasında gri değerlerini ayırt etme kapasitesine sahiptir. Bir görüntüdeki en düşük ve en yüksek gri değerler arasındaki farkın belirli bir sınırdan düşük olması durumunda, bu görüntüdeki detaylar insan gözü tarafından düzgün bir şekilde algılanamaz. Bu tipteki düşük kontrastlı görüntülerin histogramlarında, gri seviyeli piksel yoğunluğu kısıtlı bir alanda belirmektedir. Kontrast kavramı bir görüntü içindeki gri seviyenin değişim genliğini ifade etmekte olup, insan gözünün algılayamayacağı düşük kontrastlı görüntüler çeşitli görüntü değişim fonksiyonları ile düzeltilebilmektedir. Farklı türdeki düşük kontrastlı görüntüler için farklı fonksiyonların kullanıldığı bu iyileştirme adımlarında; örneğin koyu tonların ağırlıklı olduğu bir görüntüyü geliştirmek için gri değerlerini açık tonları gösteren yüksek değerlere ulaştırılması gerekir [31]. Şekil 3.16.'da görüntü üzerindeki kontrastın farklı değerlerde görüntüyü nasıl etkilediği gösterilmiştir.

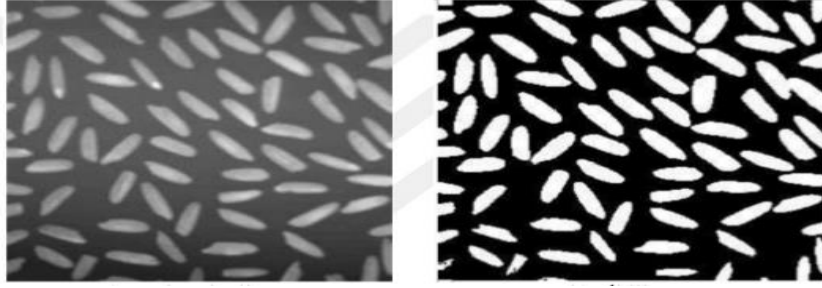


Şekil 3.16. Görüntü kontrast değişimi [31].

3.1.7.5. Görüntü eşikleme

Farklı gri seviyelere sahip bir görüntüleri ikili görüntü haline getirebilmek için kullanılan eşikleme yöntemi temelde ikili sistemden oluşmaktadır. Burada '0' siyah, '1' beyaz rengi göstermekte olup görüntünün '0 ve 1'lerden oluşan bir matris haline getirilmesi sağlanır. Eşikleme yöntemi uygulanırken bir eşik değeri belirlenir ve bu değerin üstündeki değerler için görüntüdeki ilgili piksel '1', altındaki değerler için ise '0' olarak atanır. Bu yöntemin tam tersi şeklinde çalışan farklı algoritmalarda bulunmaktadır. Her bir yöntemde eşik değeri '0-255' arasında belirlenebilir [25,23].

Görüntü işlemede en fazla kullanılan yöntemlerden biri olan görüntü eşikleme yöntemi gri seviyeli görüntülerde uygulanmaktadır. Görüntü eşikleme temelde görüntü üzerindeki nesnelerin arka plandan ayrılması ve analiz edilmesi için kullanılmaktadır. Görüntü eşikleme, belli bir eşik değerinin altında kalan bölümleri siyah piksele üzerindeki ise beyaz piksele dönüştüren bir teknik olmakla birlikte burada siyah ve beyaz '0 ve 1' şeklinde de sembolik olarak gösterilmekte ve '0' piksel değeri siyahı, '1' piksel değeri ise '255' değerini yani beyazı temsil etmektedir. Yapılacak olan analizin doğru sonuç verebilmesi için eşik değerinin en uygun değer olarak belirlenmesi eşikleme yönteminin en önemli noktalarından birisidir. Eğer eşik değeri çok yüksek belirlenirse görüntü üzerindeki birçok obje siyaha dönüştürülmüş olacak diğer taraftan eşik değeri çok düşük belirlenirse görüntüdeki objelerin birçoğu beyaz olacaktır ki buda görüntüdeki nesneleri ayırabilmek için doğru sonuçlar veremeyecektir. En uygun eşik değerini belirlemek için genellikle Otsu metodu uygulanmaktadır. Gri seviye görüntüler üzerinde uygulanabilen bir eşik tespit yöntemi olan otsu metodu görüntünün histogram değerlerine göre hesap yapmakta ve temel olarak görüntüyü arka plan ve ön plan olarak iki grupta sınıflandırmaktadır. Daha sonra tüm eşik değerleri için bu iki renk sınıfının varyansı hesaplanmakta ve varyans değerini minimumda tutan eşik değeri görüntü için en uygun eşik değeri olarak belirlenmektedir [37]. Şekil 3.17.'de belirli bir eşik değeri ile eşikleme yönteminin görüntü üzerinde gerçekleştirilmesi gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Görüntü eşikleme uygulaması [37].

Görüntü bölütlemenin genel amacı, görüntüyü farklı özellikleri barındıran benzersiz sınıflara ve anlamlı bölgelere ayırmaktır. Eşiklemeye ise amaç görüntü içerisindeki nesneleri görüntü arka planından ayırmaktır [19]. Bu sebeple eşikleme ayrıca görüntü bölütleme işlemi için kullanılan en önemli yaklaşımlardan birisi olmaktadır. Bölütlemenin en basit tekniği olan eşikleme yöntemi, dijital bir görüntüyü bölümlere ayırabilmek için basit işlemlerden oluşan metotlardan meydana gelmektedir. Eşikleme işlemi, görüntünün birkaç anlamlı parçaya ayrılmasına dayanan en iyi eşik değerlerinin bir kümesinin belirlenmesi olarak ifade edilir [39]. Görüntüdeki gri seviye bölümlerini gösteren görüntü histogramından yararlanılarak gerçekleştirilen eşikleme yönteminde, koyu bir arka plan üzerinde açık renkli nesnelerden oluşan görüntü, nesnelere ve arka plana ait pikseller olmak üzere iki gruptan oluşmaktadır [40]. Sonuç olarak histogramdan göreceli olarak belirlenen bir ‘T’ eşik değeri ile görüntüdeki piksel değerleri karşılaştırılır. Piksel eşik değerinden büyükse nesne, aksi takdirde arka plan olarak atanır [7,41].

3.1.7.6. Görüntü yumuşatma (filtreleme)

Sayısal görüntü kaydedicilerin görüntüyü hatalı bir şekilde elde etmeleri ve aydınlatma gibi çevre koşullarının yetersizliğinden kaynaklanan hatalardan dolayı genellikle görüntü üzerinde gürültüler oluşur. Oluşan bu gürültüleri ortadan kaldırmak ve görüntüdeki ayrıntıları ortaya çıkartmak için çeşitli filtreler kullanılır. Filtreleme işleminin temelinde görüntü üzerinde başka bir görüntü varmış gibi düşünülüp her pikselin yeniden hesaplanması yatar. Görüntü üzerindeki ilgili pikselin yeni değeri hesaplanırken komşu piksellerin değerleri de göz önünde bulundurulmalıdır.

Genellikle kullanılan filtreler(3x3) matris yapılarından oluşur ve iyileştirilecek görüntünün pikselleri üzerinde gezdirilir. Filtrenin her piksel değeri görüntünün karşılık gelen piksel değeri ile çarpılarak filtre matrisinin eleman sayısına bölünür [25]. Filtre matrisi yapılacak işleme göre değişmekte olup; kenar bulma, gürültü giderme, görüntü keskinleştirme, yumuşatma gibi işlemlerde farklılık göstermektedir.

Görüntü yumuşatma operatörleri; görüntüdeki gürültünün indirgenmesi için kullanılır. Çözünürlüğün indirgenmesi işlemlerinde; görüntünün gürültü değeri yüksek frekansta ise alçak geçirgenli filtre kullanılır. Fakat görüntünün çözünürlüğü çok yüksek ise ön görüntüleme işlemleri için tüm çözünürlüğe bakılmaz [7,42].

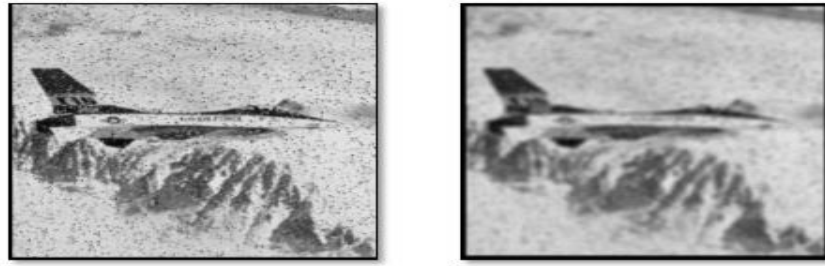
Gürültü; elimizdeki veri, ses veya görüntünün bozulması olarak tanımlanmaktadır. İstenmeyen etki olarakta belirtilen gürültü elektronik ortamda sinyallerin bozulmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla doğru bilgi aktarımını bozarak orijinal veriden uzaklaşmamıza neden olmaktadır. Gürültü, görüntü üzerindeki herhangi bir pikseli '0 ya da 255' olarak değiştirilmesinden yola çıkarak ani renk değişimine sebebiyet vermektedir. Görüntü üzerindeki ortalama piksel değeri '0 ya da 255'e yaklaştıkça görüntü daha keskin hale gelmektedir. Yani görüntü üzerindeki bozulmuş piksel değeri komşu piksellerden farklılık göstermektedir. Kısacası gürültü olmaması için piksellerin birbirleri ile etkileşim içerisinde olması gerekmektedir. Piksel bozulmalarını düzeltmek için Median(medyan) ve Mean-Average(ortalama) algoritmaları en çok kullanılan algoritmalarındandır [4]. Şekil 3.18.'de Ortalama filtreleme yönteminin görüntü üzerindeki etkisi gösterilmiştir.



Şekil 3.18. Filtreleme yöntemi ile gürültü giderme [4].

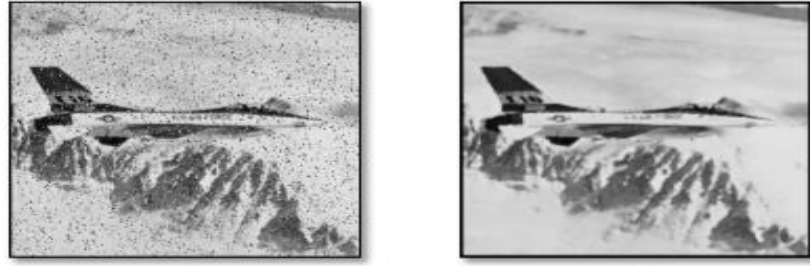
Ortalama Filtreleme; Ortalama filtrelemede, görüntünün gürültüsünü gidermek için bozuk alanın etrafındaki piksel değerleri toplanır. Her satır ve sütunda bulunan değerler görüntünün o pikseline ait gri seviye aralığını belirtmekte olup bulunan toplam değer görüntünün çevresindeki piksel sayısına bölünür. [4].

Ortalama filtre alçak geçirgen filtrelerden olup görüntü üzerinde piksellerin gri ton değerlerinin yakın olduğu bir alana yerleştirildiğinde merkezdeki gri ton değeri değişmemektedir. Fakat aynı filtre gri ton değerlerinde büyük değişiklikler olan bir alana uygulandığında, merkez ile çevre pikseller arasındaki fark azalacaktır. Bu bağlamda ortalama filtreler görüntüdeki gürültüleri ortadan kaldırmak için kullanılırken görüntüyü bulanıklaştırmaktadırlar [7,43]. Şekil 3.19.'da da görüldüğü gibi ortalama filtre gürültüyü gidermesine karşılık görüntüyü bulanıklaştırmaktadır.



Şekil 3.19. Ortalama filtreleme ile görüntü değişimi [7].

Medyan Filtreleme; Doğrusal olmayan filtrelerden olan Medyan filtresi, görüntü üzerindeki gürültülerin giderilmesinde etkilidir ancak görüntünün kenar bölgelerini bozmaktadır. Medyan filtresi, bir noktanın komşu piksellerinin gri ton değerlerinin küçükten büyüğe sıralanmasıyla oluşan listenin ortanca değerini temel alır. Sıralama işlemini temel alan bu gibi filtrelerde bir pikselin yeni gri ton değerini belirlemek için bu pikselin bir komşuluğu kullanılır [7, 44]. Şekil 3.20.'de medyan filtresinin görüntü üzerindeki başarılı etkisi görülmektedir.



Şekil 3.20. Medyan filtresinin görüntü üzerindeki etkisi [7].

3.1.7.7. Görüntü keskinleştirme

Keskinleştirme işlemi, görüntüdeki küçük detayların(yüksek frekanslı bileşenlerin), köşelerinin daha belirgin hale getirilebilmesi işleminde kullanılan görüntü işleme yöntemlerinden birisidir [7].

3.1.7.8. Kenar belirleme

Görüntü işlemedeki en temel kavramlardan biri olan kenar belirleme tekniği, bir görüntüdeki aydınlatma veya yüzey yansımaları gibi görüntünün fiziksel özelliğinde meydana gelen değişiklik olarak tanımlanmaktadır. Genel manada görüntünün içeriğini oluşturan nesneler, arka plandan farklı gri ton değerleriyle belirlenirler. Bu bağlamda bir görüntünün gri seviyelerinde ani değişikliklerin olduğu bölgelere kenar adı verilir. Görüntü üzerine yüksek geçiren filtre etkisi gösteren bir maske geçirmek, görüntüdeki kenarları belirlemede en çok kullanılan yöntemdir. Kenar belirleme yöntemlerinin temel mantığı bölgesel türeve dayanmaktadır [20,21]. Kenar belirleme yöntemlerinde kullanılan maskeler ve yapıları Şekil 3.21.'de gösterilmiştir:

-1	-1	-1
2	2	2
-1	-1	-1
Yatay		

-1	-1	2
-1	2	-1
2	-1	-1
+45°		

-1	2	-1
-1	2	-1
-1	2	-1
Dikey		

2	-1	-1
-1	2	-1
-1	-1	2
-45°		

Şekil 3.21. Kenar belirleme filtreleri [20].

Bölütleme, örüntü tanıma, sınıflandırma gibi birçok görüntü işleme algoritmasının önemli parçası haline gelen kenar belirleme algoritmaları, görüntü işleme uygulamalarının en temel adımlarından biri olan görüntü üzerinde doğru ve hızlı bir şekilde kenarların elde edilmesi işleminde kullanılır. Yüksek seviyeli uygulamaların performansı önemli ölçüde kenar belirleme algoritmalarının başarısına bağlı olarak değişmektedir [23,45].

Kenarlar, genel anlamda görüntü üzerindeki iki farklı alanın sınırlarını belirleyerek görüntüyü iki farklı bölgeye ayırırlar. Bir görüntüdeki kenarları bulmanın temel amacı, görüntü içerisinde istenilen detayları ortaya çıkarmaktır. Kenar belirleme algoritmalarında görüntüdeki renk geçişlerini belirginleştirerek görüntü içerisindeki gizli ayrıntıları ön plana çıkarır [25]. Bu bölümde başlıca kenar belirleme algoritmalarından olan ‘Gradient, Laplacian ve Canny’ kenar belirleme algoritmalarından bahsedilmektedir.

Gradyan Tabanlı Algoritmaları; Kenar belirleme işlemleri genel olarak bir görüntüdeki yoğunluk seviyelerindeki değişimleri tespit etmek için kullanılmaktadır. Gradyan tabanlı algoritmalarda yoğunluk seviyesindeki değişim, görüntünün biri ‘x’ doğrultusundaki diğeri ‘y’ doğrultusundaki gradyanı elde etmek için kullanılan iki maskeden oluşan gradyan opertörü ile ölçülür. [23,46].

Kenar belirleme yöntemi için kullanılan operatörler ile görüntünün gradyanı hesaplandıktan sonra eşikleme yöntemi ile kenarların tespit edilme aşamasına geçilir. Görüntüdeki her bir nokta için elde edilen gradyanın büyüklüğü ile eşik değeri karşılaştırılır. Karşılaştırılan noktanın değeri seçilen eşik değerinden büyükse bu noktanın bir kenar olabileceği aşikârdır. Burada önemli olan nokta eşik değerinin doğru seçilmesidir çünkü doğru seçim kenarların iyi bir şekilde elde edilmesini sağlayacaktır. Eğer eşik değeri uygulama için çok yüksek seçilirse, kenar noktaları verimli bir şekilde tespit edilemez. Diğer durumda pek çok gürültülü noktanın kenar noktası olarak seçilebileceği ihtimali ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle eşik değerinin en doğru şekilde belirlenmesi ideal bir kenar belirleyici için son derece önemlidir [25].

Başlıca gradyent kenar belirleme algoritmalarından olan Prewitt, Sobel ve Roberts algoritmaların performanslarının karşılaştırılmasına yönelik olarak yapılan çalışmalarda; Sobel kenar belirleme algoritmasının Roberts ve Prewitt algoritmalarına göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür [23,45].

Prewitt Operatörü; Kernel matrisinin dizimi; $[1,1,1;0,0,0;-1,-1,-1]$ veya $[1,0,1;1,0,-1;-1,0,1]$ şeklinde olan prewitt algoritması görüntü üzerinde düşey ve yatay keskinlik sağlar [2,47]. Prewitt algoritması basit hesaplarına rağmen görüntü üzerinde bazı gürültüler üretmektedir [48].

Birinci derece türevleri olan 'Gx ve Gy'yi kullanan maskelerle görüntüyü filtreleyen Prewitt yöntemi, görüntü üzerinde filtre gezdirilmesi bakımından daha az zaman harcar [7,23]. Daha gürültülü sonuçlar verme eğiliminde olan prewitt kenar filtresinin Şekil 3.22.'de 'Gx ve Gy' maskeleri geçirildikten sonraki görüntüleri gösterilmiştir.



Şekil 3.22. Prewitt filtresi sonuçları [7].

Sobel Operatörü; Sobel Algoritması, yatay ve düşey yönde keskinlikleri yakalayan ve birinci kısmi türeve dayanan bir algoritmadır. Kernel matrisi dizilimi; $[1,2,1;0,0,0;-1,-1,-1]$ veya $[1,0,-1;2,0,-2;-1,-2,-1]$ şeklinde olan sobel algoritması [2,48], yatay ve düşey yönde keskinlikleri yakalayarak görüntü üzerindeki gürültü etkisinin azaltır. Sobel filtresi(3x3)'lük alanlar üzerinde gezdirilerek görüntüyü etkiler [7,23]. Şekil 3.23.'de görüntü üzerindeki sobel filtresi etkisi görülmektedir.



Şekil 3.23. Sobel filtresi sonuçları [7].

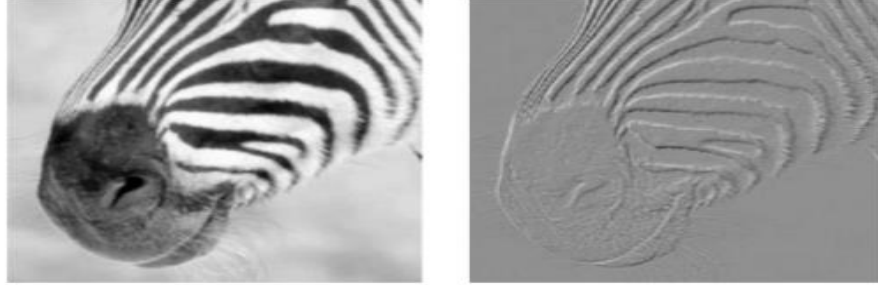
Roberts Operatörü; Diagonal olarak kenar tarayan roberts algoritmasının kullandığı kernel matrisi; $[1,1,0;1,0,-1;0,-1,-1]$ veya $[2,1,0;1,0,-1;0,-1,-2]$ şeklindedir. Bilinen en eski ve klasik kenar belirleme algoritması olan roberts, simetrik olmadığı için 45 derecelik kenarlarda etkili sonuçlar vermemektedir. Buna rağmen basit hesaplanmasından dolayı özniteliklerin çıkarılmasında hızlı sonuçlar sağlamaktadır. Özetle, yatay ve düşey kenarları algılayabildiği için hızlı ve basit özellikleri ile gerçek zamanlı uygulamalarda tercih edilmektedir [2,47,48]. Hızlı olmasının yanında görüntü üzerindeki her noktada kenar belirleme tarafında yeterince etkili olmadığı Şekil 3.24.’de görülmektedir.



Şekil 3.24. Roberts filtresi sonuçları [2].

Laplacian Algoritması; ‘Marr-Hildreth’ algoritması olarakta adlandırılan ‘LoG’ Algoritması, görüntüdeki keskin geçişleri bulmak için kullanılan türev temelli bir algoritmadır. Türev temelli algoritmalar, kenar belirleme algoritmalarından önce görüntüye bir filtre uyguladıkları için gürültüye çok daha duyarlı olup daha iyi sonuçlar verebilmektedirler. Bu işlemler sonucu elde edilen ‘LoG’ metodu görüntüdeki kenarları ve oval bölgeleri bulmakta oldukça başarılı bir filtredir

[2,49,50]. Şekil 3.25.'de Laplacian filtresinin orijinal görüntü üzerindeki etkisi gösterilmiştir.

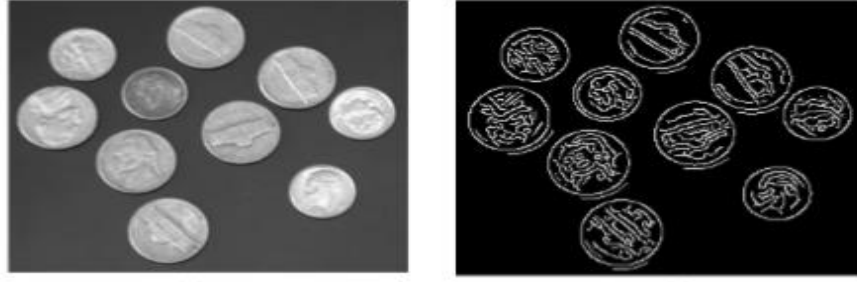


Şekil 3.25. Laplacian filtresi sonuçları [2].

Canny Algoritması; Kenar bulmada yaygın olarak kullanılan ve başarılı sonuçlar veren Canny algoritması dört aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak görüntüdeki gürültü, bir sigma değerine göre üretilen gaussian filtresi yardımı ile azaltılır. Ardından gradyent operatörü ile kenar gradyentin büyüklük ve yönü hesaplanır. En son aşamada ikili eşikleme uygulanarak istenmeyen ayrıntılar görüntüden atılır [2]. Canny kenar belirleme algoritmasını oluşturan dört ana aşama sırasıyla şu şekildedir [49];

- Görüntü üzerinde gaussian filtresi ile yumuşatma uygulanır.
- Gradyentin büyüklüğü ve yönü, kısmi türevler için sonlu fark yaklaşımları kullanılarak hesaplanır.
- Görüntünün büyüklük eşdeğerine maksimum olmayan noktaların bastırılır.
- Çift eşikleme algoritması kenar piksellerini bulabilmek için kullanılır.

Yapılan araştırmalara göre minimum hata ile en doğru sonuçlar canny kenar belirleme filtresi ile elde edilmiştir. Dolayısıyla canny en iyi kenar belirleme filtrelerinden biri olarak kabul edilmektedir [23,25,45]. Şekil 3.26.'da yukarıda verilen dört adımın sırasıyla uygulanması sonucu Canny algoritması ile görüntü üzerindeki kenarların yakalanması gösterilmiştir.



Şekil 3.26. Canny filtresi sonuçları [23].

3.1.7.9. Görüntü bölütleme

Temel olarak görüntüyü anlamlı ve benzer alanlardan oluşan kümelere ayırma işlemi olarak tanımlanan görüntü bölütleme işlemi, görüntüyü daha iyi analiz edebilmek için gerçekleştirilen görüntü işleme adımlarından biridir. Ayrılmış her bölümdeki pikseller, öznitelikleri aynı olan birer kümeye aittir. Sonuç olarak görüntü üzerinde herbiri bir etikete sahip pikseller kümesi oluşmaktadır. Hedef takibi, nesne sınıflama, görüntü tanıma ve görüntü kodlama gibi alanlarda yaygın olarak kullanılan bölütleme algoritmaları genellikle yüksek seviyeli sayısal görüntü işleme işlemlerinin ilk parametreleri olarak değerlendirilir [25].

Görüntü üzerindeki pikseller arasındaki değerlerinin süreksizlik ve benzerlik özelliklerine dayanan bölütleme algoritmaları temel olarak iki gruba ayrılmaktadır. Gri seviyelerdeki ani değişimlerin göz önünde bulundurularak görüntünün bölütlendiği kenar tabanlı bölütleme ilk grupta yer almaktadır. Bu bölütleme işleminde görüntüdeki çizgiler ve kenarlar belirlenerek birbirlerine bağlanır ve alanlar kenar çevrelerini kapsayacak şekilde tanımlanır. İkinci grupta bölge ve eşikleme tabanlı bölütleme algoritmaları yer almaktadır. Bu tip bölütleme işlemlerinde görüntü üzerinde belirli bir bölümde bulunan pikseller arasındaki benzerlikten yola çıkılarak bölütleme yapılır. Bu işlemler süresince piksellerin çeşitli yerel özelliklerinden yararlanılır [45]. Histogram eşikleme, bölge büyütme, bölüm ayırma ve birleştirme, kümeleme, sınıflandırma, kural tabanlı veya bilgi tabanlı olmak üzere birçok bölütleme tekniği mevcuttur [23]. Bu bölümde en çok kullanılan görüntü bölütleme algoritmalarından bahsedilmektedir.

Kenar Tabanlı Bölütleme; Amacı bir doğrultudaki aydınlıktan karanlığa geçişin en fazla artığı bölgenin görüntü yoğunluğunun gradyanını hesaplamak olan kenar tabanlı bölütleme farklı renk değerlerinin bir bölgeden diğer bölgeye geçtiği alanları belirler. Kenar tabanlı bölütleme tekniklerinde öncelikle kenar belirleme algoritmaları kullanılarak görüntünün kenarları tespit edilir. Fakat görüntüde sınırlar tam olarak belirlenemediğinden kenar tabanlı yaklaşımlar yanlış sonuçlar verebilir. Bu yüzden ucu açık olan kenarlar birleştirilerek görüntü kapalı alanlar halinde bölütlenir [2].

Bölge Tabanlı Bölütleme; Yakın parlaklıktaki piksellerin belirtilen benzerlik durumuna göre bölgelere ayırma temeline dayanan bölge tabanlı metodlar kenar tabanlı metodları tamamlayıcı niteliktedir. Bölge tabanlı metodlar verilen pikselin komşu piksellerine ve homojenlik durumuna bakarak bölgeleme işlemini gerçekleştirir. Homojenlik durumu kontrolü belirlenen eşik değerine dayanmaktadır. Bu yüzden doğru tanımlanmış bir eşik değeri bölütleme işlemi için hayati önem taşımaktadır. Doğru eşik değerinin belirlenebilmesi içinde görüntü üzerinde sürekli denemeler yapılmalıdır [2,23,45].

Eşikleme Tabanlı Bölütleme; Daha çok basit bölütleme uygulamalarında tercih edilen eşikleme tabanlı bölütleme algoritmaları basit bir hesaplama yöntemine sahip olsada hızlı ve etkili sonuçlar verebilmektedir. Temel olarak istenilen sonuca göre bir eşik değeri belirlenir, daha sonra bu eşik değeri ile görüntü üzerindeki tüm pikseller karşılaştırılır. Karşılaştırılan piksel değeri eşik değerinden büyük ise burada algılanılmak istenecek bir nesne olduğu sonucuna varılır. Eğer piksel eşik değerinden küçükse bu alan görüntüde arka plan olarak tanımlanır [2].

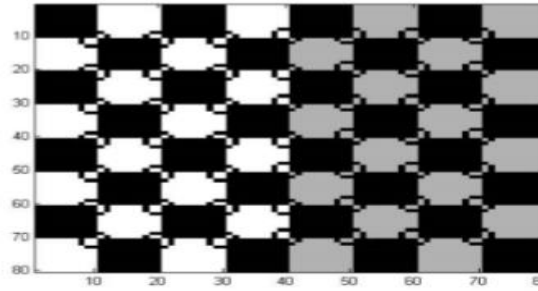
3.1.7.10. Köşe saptama

Bu bölümde en çok kullanılan köşe belirleme algoritmalarından olan; Hough, Harris ve Stephens, Susan algoritmalarından bahsedilmektedir.

Hough algoritması; Belirlenen kenarların farklı geometrik şekillere benzerliğinin karşılaştırılması mantığı ile çalışan Hough algoritması görüntüdeki dikdörtgen biçimli kenarların köşelerinin tespiti edilmesi sırasında aşağıdaki adımları takip eder [51]:

- Kaynak görüntü üzerinde kenarlar belirlenir.
- Eşikleme yöntemi kullanılarak görüntü ikili formata dönüştürülür.
- Her kenar pikseli için noktanın üzerinde olabileceği olası geometrik şekillerin karşılaştırılması yapılır.
- Karşılaştırmada en yüksek değere sahip pikseller köşe noktaları olarak atanır.

Şekil 3.27.'de yukarıdaki adımların uygulandığı bir görüntü üzerinde köşelerin Hough algoritması ile belirlenmesi gösterilmiştir.



Şekil 3.27. Hough algoritması ile köşe saptama [51].

Harris ve Stephens algoritması; Köşe belirleme işlemlerinde literatürde de belirtildiği üzere en yaygın kullanılan algoritmalarından biri olan Harris and Stephens köşe saptama algoritması, genellikle kenar bulma algoritmalarından sonra görüntü üzerinde uygulanarak görüntüdeki yatay ve düşey çizgilerin oluşturduğu olası dikdörtgenleri bulmak için kullanılan bir köşe belirleme yöntemidir [2].



Şekil 3.28. Harris ve Stephens algoritması ile yatay ve düşey doğrultuda köşe tespiti [2].

Şekil 3.28.'de de gösterildiği gibi Harris ve Stephens köşe saptama algoritması ile tespit edilen köşe noktaları kullanılarak belirlenen dikdörtgen formuna yakın kapalı şekiller, aday görüntüler olarak adlandırılmaktadır. Bu algoritma ile köşeler belirlenirken yatay ve düşey çizgiler $(180+15)$ ve $(90+15)$ derece açı yapan çizgiler arasından belirlenirken bunun dışındaki çizgiler dikkate alınmamaktadır. Aday görüntünün en üst tarafındaki ve en alt tarafındaki çizgiler görüntünün sınır çizgileri olarak kabul edilmektedir [51].

Susan algoritması; Smith ve Brady tarafından 1997 yılındaki çalışmada ortaya konulan Susan köşe belirleme algoritması, parlaklık karşılaştırmasına dayalı çalışan köşe belirleme algoritması, merkez piksele yakın yoğunlukta olan bir bölge içindeki piksellerin durumunu hesaplar. Türev hesaplama mecburiyetini ortadan kaldırır fakat görüntünün gürültüye daha duyarlı olduğu durumlarda algoritmanın verimliliği düşmektedir [52].

3.1.7.11. Morfolojik işlemler

Gürültü sebebiyle birbirine karışmış olan görüntüleri birbirinden ayırabilmek için veya birbirinden ayrı olan resimleri tek bir obje haline getirebilmek için uygulanan işlemler olarak adlandırılan morfolojik işlemlerin çok fazla çeşidi olmasına rağmen temelde iki ana başlık altında ifade edilmektedir. Bunlar; aşındırma ve yayma işlemleridir. Açma, kapama, boşluk doldurma gibi diğer morfolojik işlemler daha çok bu teknikler kullanılarak yapılan işlemlerdir. Görüntü analizlerinin daha iyi sonuçlar verebilmesi

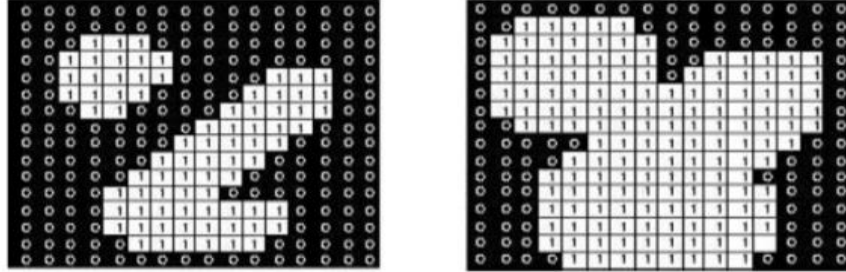
veya görüntüdeki nesnelerin ayırt edilebilmesi için Morfolojik işlemlerden yararlanılmaktadır [4].

Morfolojik işlemler, matematiksel fonksiyonlara dayalı bir analiz ve işleme yöntemi olan morfolojik işlemlerin temeli geometrik yapılara dayanmaktadır. Genellikle matematiksel morfoloji operatörleri, görüntü içerisinde ayırt edilmek istenen objeler ve alanlar üzerine uygulanmaktadır. Yapıtaşı elemanı, görüntü işlemede kullanılan ve ana görüntü üzerinde dolaştırılan matrisin morfolojik operatörler için özel olarak tasarlanmış halidir. Morfolojik işlemin niteliğine göre, hedef görüntüdeki her piksel, farklı büyüklüklerde ve şekillerde olan yapı taşlarının merkez noktaları ile karşılaştırılarak sonuç görüntü elde edilir.

Yayma; Bir görüntü üzerindeki objeyi işlemiden geçirerek objenin görüntü üzerinde kalınlaştırılmasını sağlayan morfolojik operatördür. Görüntü işlemede odak görüntüyü büyütme ve görüntü içerisindeki nesnelere odaklanmak için sıklıkla kullanılan yayma işleminde, orijinalinde birbirinden ayrı olan objelerin işlem sonrasında birbirine yapışması ve görüntüdeki bir takım boşlukların istem dışı doldurulması gibi problemler yaşanabilmektedir. Yayma işleminde kullanılan yapı elemanı(3x3)'lük bir matrisden oluşmakta olup her satır ve her sütun elemanı genellikle '1' ile gösterilmektedir. Sembolik olan '1'in ikili görüntüdeki asıl değeri '255'e yani beyaz piksele eşdeğerdir. Bu yapı elemanı sembolik olarak beyaz piksellerden oluşan örnek bir yapıtaşı elemanıdır [4].

Yayma diğer bir tabir ile genişleme işlemi, yapıtaşı elemanın görüntü üzerinde taratılması ile gerçekleşir. Tarama sonucunda yapıtaşı elemanının merkezi ile objenin çakıştığı bölge yapıtaşı elemanı niteliği kadar genişler. Alandaki her bir pikselin yapıtaşı elemanı kadar büyümesi ile arka plan küçülürken obje büyümüş olur. İşlem içeriğinden bahsedecek olursak; yapıtaşı elemanın orijini, görüntü üzerinde '0' değerli bir piksel ile karşılaştırılırsa herhangi bir değişiklik meydana gelmeyecek fakat değeri '1' olan bir piksel ile karşılaştırılırsa yapıtaşı elemanı ile ilgili bölge mantıksal 'OR' işlemine tabi tutularak bölgenin piksel değeri '1'e çekilecektir. Böylelikle orijinal görüntüdeki bölgenin etrafı genişletilmiş olacaktır. Şekil 3.29.'da '1'ler ile belirtilen

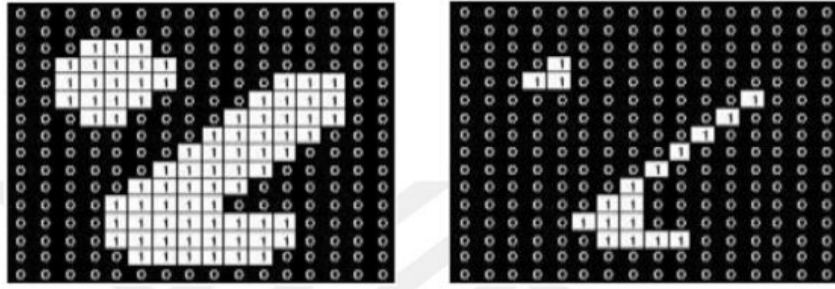
iki farklı beyaz bölgenin yayma işlemi ile genişletilerek birbirlerine yaklaştırılması gösterilmiştir.



Şekil 3.29. Yayma morfolojik operatörü ile görüntü genişletme [4].

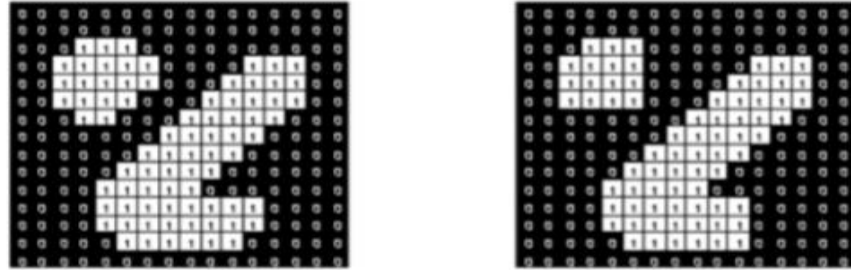
Aşındırma; Yayma işleminin tam tersi mantıkla çalışan Aşındırma işlemi görüntü üzerindeki objenin küçültülerek netleştirilmesi işleminde kullanılır. Aşındırma işlemi sonrasında yayma işleminin tersi mantığı ile görüntü üzerinde yapışık olan objelerin birbirinden ayrılabilir ya da görüntü üzerinde bazı boşluklar oluşabilir. Yayma işleminde olduğu gibi aşındırma işlemi de yapıtaşı matrisinin görüntü üzerinde taratılması ile gerçekleştirilir [4].

Aşınma işleminin çalışma prensibi, yapıtaşı elemanının merkez noktası dışındaki yerlerin arka plan halini alması ile nesne üzerinde bir aşınma oluşması ve objenin küçülmesi üzerinedir. Aşındırmanın temel tanımı, ikili bir görüntüdeki objeyi küçültme işlemi olarak literatürde yer almaktadır. Aşındırma işleminde de yayma işleminde olduğu gibi yapıtaşı elemanı görüntü üzerinde piksel piksel dolaştırılarak yapıtaşının merkezi ile obje karşılaştırılır. Ancak burada yapıtaşı elemanın merkez pikseli '1' değeri ile karşılaşırsa yapısal eleman içerisindeki pikseller ve objeye karşılık gelen pikseller '0' olarak değiştirilir. Böylelikle görüntü üzerindeki nesne aşındırılmak suretiyle küçültülmüş olur. Şekil 3.30.'da '1'ler ile belirtilen beyaz bölgelerin Aşındırma yöntemi ile küçültülmesinden bahsedilmiştir.



Şekil 3.30. Aşındırma morfolojik operatörü ile görüntü küçültme [4].

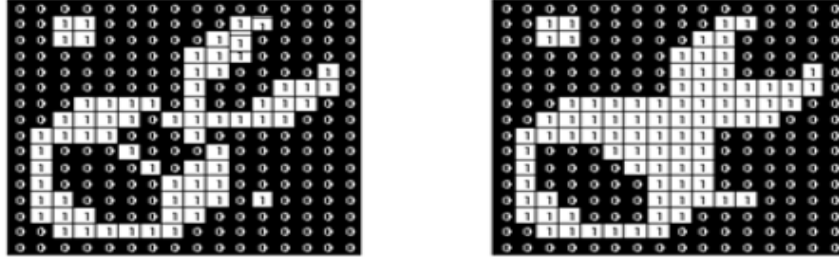
Açma; Genellikle aşınma ve genişleme operatörlerinin ardından kullanılan bir morfoloji operatörü olan açma işlemi, kullanılan yapıtaşı elamanından daha düşük piksel seviyesine sahip alanların diğer bölgelerden ayrılması prensibi ile çalışmaktadır. Şekil 3.31.'de de görüldüğü üzere açma işlemi sonucunda nesnelerdeki ince çizgiler ortadan kalkar, ufak benekler yok olur ve nesnelerin keskin ayrıntıları yumuşayarak daha ince bağlar ile birbirine bağlanmış nesneler görüntü üzerinde birden çok bölgeye ayrılır. Açma işlemi geometrik olarak, bir elemanın bir bölge içerisinde taşınmasına ve eşleşen alanların sınırlarının çizilmesine benzetilebilir [7].



Şekil 3.31. Açma operatörünün görüntü üzerine uygulanması [7].

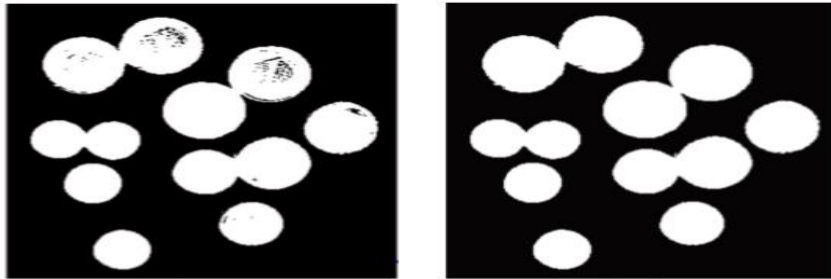
Kapama; Genişleme ve aşınma operatörlerinin ardından kullanılan kapama operatörü açma operatörünün tam tersi mantığı ile çalışmaktadır. Buradaki asıl amaç boşlukları doldurmaktır. Ancak bu matematiksel morfolojik operatör, yalnızca obje içerisindeki boşlukları doldurabilmektedir. Genellikle kapama işlemi sonrasında görüntü üzerindeki nesnelere ait girintiler ortadan kalkmaktadır. Geometrik olarak, bir yapıtaşı elemanını bir bölgenin dışında gezdirmeye benzetilen kapama işlemi ile görüntü

içerisindeki objenin detayları kaybolur fakat görüntüdeki gürültüler yok edilerek görüntünün sınırları netleştirilir [7]. Şekil 3.32.'de kapama operatörü ile '1'lerden oluşan dağınık beyaz bölgenin sınırları net bir şekilde çizilmektedir.



Şekil 3.32. Kapama operatörünün görüntü üzerine uygulanması [7].

Boşluk Doldurma; Görüntüler gri seviyeden ikili seviyeye dönüştürülürken görüntüde var olan objeler içerisinde boşlukların olduğu görülebilmektedir. Burada Boşluk doldurma işlemi siyah arka plandan ayrılan beyaz objelerin üzerindeki boşlukları gidermek amacı ile kullanılır. Boşlukların doldurulmasının görüntü işlemedeki önemi görüntüleri analiz etme kısmında ortaya çıkmaktadır. Doğru sonuçlar verebilecek daha temiz ve net bir görüntü işleme ve görüntü bölümlenme için boşluk doldurma işlemi neredeyse bir gerekliliktir [7]. Şekil 3.33.'de görüldüğü üzere boşluk doldurma işleminde arka plandan ayrılan nesneler üzerindeki boşluklar, yayma işlemi temel alınarak doldurulmaktadır.



Şekil 3.33. Boşluk doldurma operatörünün görüntü üzerine uygulanması [7].

Temel matematiksel operatörler olan yukarıda anlatılan operatörlerin dışında inceltme, kalınlaştırma, iskelet operatörü gib birçok matematiksel morfolojik operatörler vardır [7]. Bu operatörler uygulama yapısına veya istenilen işlem niteliğine göre seçilmekte ve kullanılmaktadır.

3.1.7.12. Görüntü üzerindeki nesnelerin tespiti

Görüntü eşleme ya da görüntü tespiti genel olarak bir görüntü parçasının başka bir görüntüdeki yerinin kontrol işlemi olarak adlandırılmaktadır. Görüntüden noktalar, kenarlar ya da alanlar çıkarılarak çeşitli detaylara yönelik nesne tespiti işlemi yapılır. Görüntü üzerindeki nesnelerin tespiti için görüntünün; grileştirme, ikili formata dönüştürme, morfolojik işlemler, gürültü giderme, kenar bulma gibi bazı işlemlerden geçmesi gerekmektedir. Genel olarak bir görüntü üzerinde yani bir veri setinden görüntünün işlenip nesne tespitine kadar geçen süreçte gerçekleştirilen adımlar aşağıdaki gibidir [53].

- Test görüntüsünün oluşturulması,
- Anahtar noktalarının belirlenmesi,
- Tanımlayıcıların hesaplanması,
- Tanımlayıcıların eşleştirilmesi,
- Homografi tahmini,
- Nesne tanıma ve yer belirleme.

Bilgisayarla görü alanlarından biri olan nesne bulma ve tanıma, teknolojinin son yıllardaki gelişimi ile birlikte en etkili araştırma konularından biri haline gelmiştir. Bu iki kavramı tanım olarak inceleyecek olursak; Nesne bulma, bir görüntüde belirlenmesi istenen objenin, görüntü üzerinde sınırlanması ile nesne tanıma ise bilinmeyen nesneleri içeren bir görüntüde objelerin sınıf etiketlerini oluşturması olarak tanımlanmaktadır. Görüntü eşleme alanında yapılan ilk çalışmalar 1960'lı yıllarda Roberts tarafından gerçekleştirilmiş olup günümüzde bu alandaki çalışmalar hızla artmaktadır. Görüntü eşleme işlemleri birçok alandaki kapsamlı uygulamalar için çok önemli bir yere sahiptir [54].

Son yıllardaki gelişmeler ile endüstriyel alandaki uygulamalarda, farklı ölçek veya aydınlatma gibi dış etmenler nesne takibi, görüntü eşleştirme, nesne yeri saptama ve nesne tanıma gibi işlemler için sorun teşkil etmeye başlamıştır. Bu gibi durumlarda sorunları çözmek için öznitelik tabanlı nesne belirleme algoritmalar kullanılmaktadır. Bu algoritmalar nesne çıkarım işleminin en önemli kısımlarından olmakla birlikte bu yöntem kullanılarak çıkarılan öznitelikler, görüntüde bulunan anahtar noktaların tanımlayıcıları olarak ifade edilmektedir. Görüntüde bulunan bu anahtar noktalar görüntüyü gereksiz bilgilerden arındırarak nesne tanıma işlemini kolaylaştırmak ile birlikte görüntü üzerinde parça, kenar veya köşe noktaları olabilmektedir [55].

3.1.7.13. Görüntü mozaikleme

Görüntü mozaikleme işlemi temel olarak beş kısımdan oluşmaktadır. İlk olarak öznitelik çıkarımı işlemi gerçekleştirilir. Burada her bir görüntünün özellikleri tespit edilir. İki veya daha fazla görüntünün eşleştirilmesi için kullanılan görüntü çakıştırma işlemi ikinci kısımda yer almaktadır. Homografinin hesaplanmasını sağlayan Ransac algoritması üçüncü kısımda bulunmakta ve son iki kısım çarpıtma ve harmanlama işlemlerinden oluşmaktadır. Görüntü çarpıtma işlemi kabaca geometrik dönüşümler kullanılarak görüntünün dijital olarak manipüle edilmesi olarak tanımlanabilmektedir [56,57]. Bu bölümde aşağıda yer alan görüntü mozaikleme işlemleri detaylı olarak anlatılmaktadır.

- Öznitelik Çıkarımı
- Görüntü Çakıştırma
- Ransac ile Homografi Tahmini
- Görüntü Çarpıtma ve Harmanlama

3.1.7.14. Öznitelik çıkarımı

Nesne tanıma işlemlerinde sınıflandırılacak görüntü çok fazla miktarda gereksiz bilgi içerdiğinden dolayı daha düşük boyuttaki başka bir veri kümesine dönüştürülür:

Gereksiz veri nesne, tespitinde sınıflandırma hassasiyetini düşürürken işlem süresini yüksek oranda arttırdığı için bu yöntem kullanılmaktadır. Görüntüdeki objeye ait gereksiz verinin ortadan kaldırılıp, nesneyi temsil eden ve toplam veriden çok daha düşük boyuttaki karakteristik bilginin elde edildiği dönüşüm işlemi olarak tanımlanan öznitelik çıkarımına genel bir ifade ile boyut azaltma işlemi de denilmektedir. Uygun bir şekilde çıkarılan öznitelikler nesne bulma ve tanıma gibi uygulamaların başarısını etkileyen temel etmenlerdendir [56].

Görüntü mozaikleme'nin ilk adımı olan öznitelik çıkarma işlemi bir nevi boyut azaltma işlemidir. Görüntü işleme sürecinin oldukça önemli bir bölümünü kapsayan bu işlem ile öznitelikler tespit edildikten sonra, özniteliklerin etrafında yerel bir alan elde edilir. Elde edilen bu alanların karşılığını tutan veri yapılarına öznitelik sınıfı denilmektedir [57,58].

Öznitelik çıkarma işleminin sonuç performansını etkileyen iki temel unsur vardır. Bunlar öznitelik çıkarımı için doğru ve uygun bir yapının tasarlanmasıdır. Başarılı bir öznitelik çıkarımının hedefine ulaşabilmesi için, aynı özniteliklere sahip nesnelerin farklı görüntülerden sürekli ve doğru bir şekilde çıkarımı için özniteliklerin tekrarlanabilir ve kesin olması gerekmektedir. Farklı görüntü yapılarının birbirine karışmaması ve doğru tespiti için öznitelikler farklı olmalıdır [59].

Öznitelik çıkarma işleminde sınıflandırma özellikleri doğru bir şekilde belirlenirse, genel veriden ilgili alanın çıkarılması çok daha kolay olacaktır. Bu bağlamda bir görüntünün diğer görüntüye göre dönüşümünü bulma işlemi olan öznitelik tespiti için literatürdeki yaklaşımlar şu şekildedir [60].

- Öznitelikli Yaklaşım: Bu yöntem görüntü özniteliklerinin doğru algılanmasına ve öznitelikler arasındaki benzerliklerin doğru hesaplanmasını temel alır ve ayırt edici özniteliklerin yokluğunda bu yaklaşım başarı sağlayamaz.
- Özniteliksiz Yaklaşım: İki görüntü arasındaki farklılık küçük olduğunda kullanılan yaklaşım şeklidir. Eğer iki görüntü arasındaki hareket büyük ise

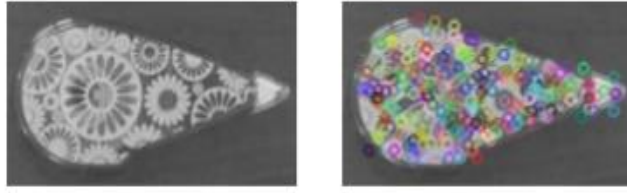
hareket parametreleri genelleştirilmiş korelasyon kullanılarak hesaplanmaktadır.

Bu bölümde en iyi bilinen ve en çok kullanılan öznitelik çıkarım algoritmalarından olan; SIFT, FAST, SURF, BRIEF ORB algoritmalarından detaylı bir şekilde bahsedilmektedir.

SIFT(Ölçekten Bağımsız Öznitelik Dönüşümü); Genel anlamda görüntüdeki köşe özniteliklerini algılayarak görüntüden tanımlayıcı bir küme çıkaran algoritmadır. Çıkarılan küme içerisinde görüntüye ait çevrilme, döndürme ve uzaklaştırma gibi özellikler yer almaktadır. Bu tanımlayıcılar görüntü eşleştirme işlemi için yeterli olup ayrıca gürültü, bulanıklık, kontrast değişiklikleri ve deformasyonlar gibi görüntü bozulmalarına karşı dayanıklıdır. Farklı görüntülerdeki benzer nesneleri belirleyebilmek için kullanılan SIFT algoritmasının başlıca işlem adımları aşağıdaki gibidir [56]:

- Gauss ölçek alanı hesaplanır,
- Gauss farkı hesaplanır,
- Aday anahtar noktalar belirlenir,
- Piksel hassasiyeti ile aday anahtar noktaların yerleri kesinleştirilir,
- Gürültü nedeniyle kararsız anahtar noktaları filtrelenir,
- Kenarları oluşturan anahtar noktaların tespiti yapılır,
- Her anahtar noktaya sabit bir yön atanır,
- Anahtar nokta tanımlayıcıları oluşturulur.

SIFT yüksek çözünürlüğe sahip görüntülerde obje belirleme için kullanılan ve doğru sonuçlar üretebilen bir algoritmadır. Görüntü karşılaştırma için sağlam bir algoritma olmasına rağmen işlem süresi açısından diğer öznitelik algoritmalarına göre daha yavaş kalmaktadır [61]. Şekil 3.34.'de SIFT algoritması ile görüntü üzerinde tanımlanan ve diğer görüntüler ile karşılaştırmada kullanılacak olan anahtar noktalar gösterilmiştir.



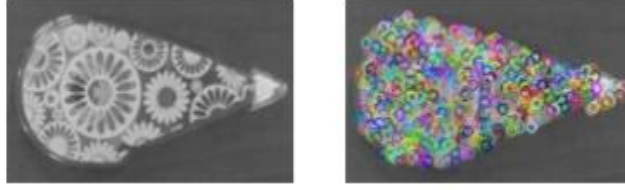
Şekil 3.34. SIFT ile anahtar nokta tanımlayıcıları oluşturma [61].

SIFT algoritması 2004 yılında Lowe tarafından önerilmiş olup görüntüdeki öznitelikleri çıkarmak amacıyla oluşturulmuştur. Görüntünün elde edildiği kameranın açısından bağımsız ve ortamın ışık koşullarından etkilenmeden anahtar noktaları belirleyebilmesi özelliği ile SIFT literatürdeki diğer öznitelik çıkarım algoritmalarından üstün görülmektedir [53,63].

FAST(Hızlandırılmış Segment Testi Özelliği); 1998 yılında Traykoviç ve Hedley tarafından geliştirilen bir öznitelik çıkarma algoritması olan FAST algoritması amacını gerçekleştirebilmek için kenarlar üzerindeki köşeleri algılamaya öncelik vermektedir. FAST'e göre kenarlar üzerindeki köşeler komşu noktalardan daha iyi ayırt edilebilirler. FAST algoritmasının literatürdeki öncü çalışmasına göre aşağıdaki kriterlere uygun olması gerekmektedir [64]:

- Belirlenen köşe nokta pozisyonlar tutarlı ve gürültüye karşı etkilenmemesi istenirse haraketsiz olmalıdır.
- Tespit edilen köşe noktaları mümkün olduğunca doğru pozisyonlarda olmalıdır.
- Tüm bu süreç yeterince hızlı olmalıdır.

Köşelerin belirlenmesinde gerekli olan hesaplama hızını artıran FAST algoritması aynı zamanda yüksek nokta güvenirliliği ve iyi yer belirleme sağlamaktadır. FAST algoritması komşuluktaki görüntü yoğunluğunu temel alan köşe belirleme fonksiyonunu kullanmaktadır. CRF, yerel maksimum olarak düşünülmüş görüntü ve köşeler üzerinden hesaplanır ve sonuç olarak sayısal bir değer üretir [61]. Şekil 3.35.'de aynı görüntü üzerinde bu sefer FAST algoritması ile anahtar noktalar gösterilmiştir.



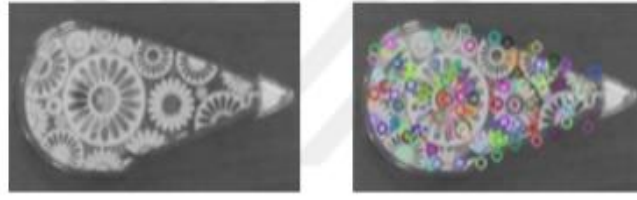
Şekil 3.35. FAST ile anahtar nokta tanımlayıcıları oluşturma [61].

2006 yılında Rosten ve Drummond tarafından yapılan çalışmada önerilen FAST algoritması görüntüdeki anahtar noktaların tespiti için kullanılmaktadır [65]. Gerçekleştirilen çalışmada FAST'in genel tanımı “öznitelikleri elde etmek için gerekli olan anahtar noktaların tespitini köşe noktalarını bularak gerçekleştirmekte olup yüksek hız ve güvenilirliğe sahiptir.” olarak belirtilmektedir. Son olarak bu algoritma sadece görüntüdeki anahtar noktaların tespitini yapabildiği için genellikle diğer öznitelik çıkarım algortitmaları ile birlikte kullanılmaktadır [53,61].

SURF(Hızlandırılmış Gürbüz Öznitelikler); Bilgisayarlı görü alanında yaygın olarak kullanılan SURF algoritması, algılanan noktaların kalitesini korurken, algılama işlemini hızlandırmayı hedeflemektedir. Düşük boyutlu tanımlayıcılar ile kullanılan SURF, daha çok eşleştirme hızını belirgin olarak artırmaya odaklanmıştır. Literatüre bakıldığında öznitelik çıkarma işleminde etkinliğini ve dayanıklılığını kanıtlamış olan SURF, temel olarak üç öznitelik algılama kavramını kullanmaktadır. Bu kavramlar [56,61]:

- Algılama,
- Tanıma,
- Eşleştirme.

Şekil 3.36.'da yine aynı görüntü üzerinde belirlediği öznitelikleri gösterilen SURF algoritması temel olarak; Anahtar noktaların yerinin saptanması ve tanımlayıcılarının oluşturulması ile iki adımdan oluşmaktadır [61]:



Şekil 3.36. SURF ile anahtar nokta tanımlayıcıları oluşturma [61].

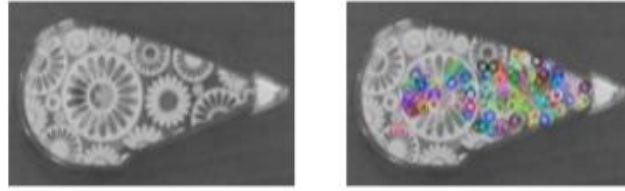
2006 yılında yaptığı çalışma ile ilk olarak Herbert tarafından ortaya çıkarılan SURF algoritması, ölçek ve açı değişimlerinden etkilenmeyen ve SIFT'den esinlenilmiş bir algortimadır. SURF içerik olarak Haar dalgacık yanıtlarının toplamına dayanmaktadır. İşlem süresini azaltmak için integral görüntüler kullanmakta olan bu algortimada tanımlayıcı dedektör olarak 'Fast-Hessian' detektörü kullanılmaktadır. SURF detektörü Hessian matris determinantının maksimum olduğu noktaların görüntülerinin elde edilmesini sağlamaktadır. Ölçek ve konum seçimi için, görüntünün ikinci dereceden türevi yardımıyla görüntüdeki maksimum ve minimum noktaların bulunmasını sağlaması temeline dayanmaktadır [1].

BRIEF(İkili Gürbüz Bağımsız Temel Öznitelikler); Calonder ve arkadaşları tarafından 2010 yılında yapılan çalışmada, görüntüdeki anahtar noktaların tanımlayıcılarını hızlı bir şekilde hesaplamak için kullanılan BRIEF algoritması, görüntü bulanıklıklarına ve değişimlerine karşı son derece etkili olup ayırt edici özelliklere sahip bir performans sunmaktadır [67]. BRIEF algoritması diğer öznitelik belirleme algoritmaları ile birlikte kullanıldığı zaman maksimum verim elde edebilmektedir. Bunu nedeni BRIEF algoritmasının sadece anahtar noktaların tanımlayıcılarını oluşturan bir algoritma olmasıdır [53]. Şekil 3.37.'de farklı açılardaki iki görüntü içerisinde nesne belirleme işlemi BRIEF algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.37. BRIEF ile anahtar nokta tanımlayıcıları oluşturma [61].

ORB(Yönlendirilmiş FAST ve Döndürülmüş BRIEF Algoritması); Rublee ve arkadaşları tarafından 2011 yılında önerilen ORB algoritmasının en önemli özelliği, görüntüdeki özniteliklerin çıkarılmasında SIFT veya SURF algoritmalarına karşı etkili bir seçenek olmasıdır. Anahtar noktaların belirlenmesi için FAST algoritmasını kullanan, anahtar noktaların özniteliklerini belirleyerek sınıflarını oluşturmak için ise BRIEF algoritmasını kullanan ORB algoritması görüntü üzerinde ışık yoğunluğunun değişimine karşı duyarlı iken gürültü ve açı değişimlerine karşı etkisiz kalmaktadır. ORB algoritmasında öncelikle FAST algoritması ile farklı özelliklerdeki anahtar noktalar elde edilerek sıralanır. Daha sonra belli bir eşik değerine bağlı olarak en belirgin köşeleri ifade eden anahtar noktalar seçilir [68]. Şekil 3.38.'de ORB algoritmasının yukarıda belirtilen adımları sırasıyla gerçekleştirilen uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 3.38. ORB ile anahtar nokta tanımlayıcıları oluşturma [61].

3.1.7.15. Görüntü çakıştırma

Gerçek bir görüntüdeki nesnenin farklı zamanlarda, bakış açıları ve algılayıcıları ile elde edilen iki veya daha fazla görüntüsünün birbiri üzerine eklenmesi işlemi olarak tanımlanan çakıştırma işlemi, bir görüntü üzerindeki objenin başka bir görüntüde ona karşılık gelen noktalar ile hizalanması işlemidir. Görüntü mozaikleme bir diğer önemli adımı olan görüntü çakıştırma işlemi, bir görüntüden yüksek çözünürlüklü referans görüntülerinin oluşturulması amacıyla kullanılmaktadır. Son yıllardaki görüntü elde etme cihazlarında görülen gelişim ve artan veri miktarı ortaya çıkan görüntü çeşitliliği otomatik görüntü çakıştırma kavramını doğurmuştur. 1992 yılında Brown tarafından yayımlanan görüntü çakıştırma yöntemlerinin incelendiği kapsamlı

bir araştırmaya göre görüntü çakıştırma uygulamalarının görüntüyü elde etme usullerine göre üç ana gruba ayrıldığı gösterilmiştir [61,69,70]:

- Farklı Bakış Açıları(Çok Bakışlı Analiz): Aynı sahnenin görüntülerini farklı açılardan elde ederek iki boyutlu görünüme sahip bir sahnenin üç boyutlu temsilini oluşturabilmek amacıyla. Bu grupta yapılan çalışmalara bilgisayar ile görüde uzaktan algılama uygulamaları örnek verilebilir.
- Farklı Kareler(Çok Zamanlı Analiz): Aynı sahnenin görüntülerini farklı zamanlarda, sık ve düzenli olarak farklı koşullar altında elde ederek aradaki görüntü değişimlerini bulmak ve değerlendirmek amacıyla.
- Farklı Sensörler(Çok Modlu Analiz): Aynı sahnenin görüntülerini farklı sensörler tarafından elde ederek daha ayrıntılı sahneler oluşturabilmek için farklı kaynaklardan gelen verileri entegre etmek amacıyla.

Çakıştırma algoritmalarında yer alan her bir farklı yöntem sadece görüntüler arasındaki varsayılan geometrik deformasyon türünü ve çakıştırma doğruluğunu dikkate almaktadır. Çünkü işlem yapılacak görüntülerin çeşitliliği ve görüntü üzerindeki gürültüler, süreci olumsuz yönde etkilemektedir. Bu yüzden genel çakıştırma işlemleri için geçerli evrensel bir yöntem bulunmamaktadır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde çakıştırma yöntemlerin büyük bir kısmının dört aşamadan oluştuğu görülmektedir [71,72]:

- Öznitelik algılama
- Öznitelik eşleştirme
- Model tahmin dönüşümü
- Görüntü örnekleme ve dönüşüm

Genel olarak bir çakıştırma işleminin her bir adımında bazı zorluklar bulunmaktadır. Öznitelik türlerinin uygun olup olmadığına karar verilmesi bu sorunlardan ilkidir. Diğer bir problem ise özniteliklerin genellikle fiziksel olarak yorumlanabilen ve kolayca saptanabilen kendine özgü nesneler olmasıdır. Referans ve algılanan görüntülerde tespit edilen öznitelik setlerinin beklenmedik durumlar olduğunda

yeterince ortak öğelere sahip olması bir başka sorunu belirtmektedir. Son olarak saptama yöntemleri, başarılı bir yerleştirme doğruluğuna sahip olmalı ve varsayılan görüntü bozulmalarına karşı da hassas olmamalıdır [71, 73].

3.1.7.16. Homografi

İki boyutlu bir izdüşümsel dönüşüm olan Homografi, bir düzlemdeki noktaları diğer düzlemdeki noktalar ile eşleştirmektedir. Homografi işlemleri görüntü çakıştırma, doku çarpıtma ve panoramik görüntü oluşturma gibi birçok alanda etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Görüntülerde öznitelik çıkarımı sonucu belirlenen anahtar noktaların eşleştirilmeleri bazı durumlarda hatalı olabilmektedir. Elde edilen veri setindeki aykırı eşleşmeleri ortadan kaldırarak doğru sonuçlara ulaşmak için RANSAC olarak adlandırılan algoritma kullanılmaktadır [74,75].

RANSAC; 1981 yılında Fischler ve Bolles tarafından önerilen parametre tahmin yaklaşımı olan RANSAC algoritması, ana görüntüdeki anlamsız noktalar ve bölgelerin ortadan kaldırılması için tasarlanmıştır. Bu algoritma, eşleşen nokta çiftlerinden elde ettiği dönüşüm matrisini kullanarak noktaların üst üste gelip gelmediğinin kontrolünü gerçekleştirir ve aynı zamanda iki görüntüyü birbiriyle ilişkilendiren(3x3)'lük homografi matrisi ile dönme, ötelenme ve bozulma kaynaklı değişkenleri bulabilmektedir. RANSAC algoritması işlemleri en doğru sonucu veren dönüşüm matrisini belirledikten sonra aykırı eşleşmeleri tespit edip ortadan kaldırarak en uygun nokta çiftlerini oluşturur [76]. RANSAC algoritması çok sayıda aykırı değerle başa çıkabilecek bir kapasitededir. Diğer taraftan bir çizgi modelinin aykırı değerlerinin belirlenmesinde iki adet noktaya ihtiyaç duyulurken, homografi modelinde dört tane nokta eşleniğine ihtiyaç duyulmaktadır. İzdüşüm matrisi tanımı ise iki boyutta görüntüleri birbirleriyle ilişkilendirmek için kullanılan homografi matrisi olarak belirtilmektedir [53].

Baskın tekniklerin aksine daha yüzeysel yöntemler ile geliştirilen RANSAC, model parametrelerinin tahmini için en az sayıda işlemi gerçekleştirerek sonuçları üreten bir örnekleme tekniğidir. Geleneksel örnekleme tekniklerinde, başlangıç çözümü elde

etmek için mümkün olan en büyük miktardaki veriyi kullanır ve aykırı noktaları ayıklar. Mümkün olan ve tutarlı veri noktalarını içeren en küçük kümeyi kullanan RANSAC modelinin temel algoritma basamakları aşağıda özetlenmiştir [56,75]:

- Gerekli minimum sayıda nokta, rastgele model parametrelerini belirlemek için seçilir,
- Modelin parametreleri belirlenir,
- Önceden tanımlı noktalar kümesinin toplam sayısı incelenir,
- Kümedeki toplam nokta sayısının aykırı olmayanların sayısına bölümü önceden tanımlanmış eşik değerini aşarsa işlem sonlandırılır,
- Diğer durumlarda 1 ile 4 arasındaki adımlar tekrarlanır.

3.1.7.17. Görüntü Çarpıtma

Orijinal görüntüdeki piksel değerlerinin değişimi sonucu görünümü değiştiren süreç olarak adlandırılan Görüntü Çarpıtma hem yaratıcı amaçlar hem de görüntü bozulmaları için kullanılır. Bu çarpıtma işlemi farklı şekillerde gerçekleştirilebilir. Örneğin; Saf Çarpıtma, renklerin değişmeden noktaların eşleştirilmesi anlamına gelir. Görüntü çarpıtma işlemi matematiksel bir fonksiyon temeline dayanmakta olup fonksiyon injektif ise görüntünün orijinali yeniden oluşturulabilirken, fonksiyon tam eşleşiyor ise herhangi bir görüntü ters olarak dönüştürülebilir. İleri çarpıtmada, giriş görüntüsünden çıkış görüntüsüne doğru koordinatların dönüştürülmesi yer alırken Ters çarpıtma da bu işlemin tam tersinden oluşmaktadır [56,77].

Tüm giriş görüntülerinin çarpıtılması ile tek bir çıkış görüntüsü oluşturulur. İlk adımda görüntü çıktısının boyutu hesaplanır. Bu işlem her bir görüntü için çarpıtılan kordinat noktalarından yola çıkılarak gerçekleştirilmektedir. Her görüntünün dört köşesinin eşleştirilmesi ve çıktı görüntüsündeki boyutların maksimum ve minimum değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Son adımda referans görüntü üzerinden her bir pikselin eşleştirilmesi yapılırken eşleşmeyen pikseller siyah olarak atanır. Eşleştirme işlem sırasıyla noktaların ileri ve ters çarpıtılması yapılarak gerçekleştirilir [56,78].

3.1.7.18. Görüntü Harmanlama

Çarpıtma sırasında oluşan gürültüleri yok etmek için üst üste gelen bölgedeki renk piksellerinin ayarlanması işlemi olarak tanımlanabilen Harmanlama işlemi, genellikle görüntü mozaikleme işlemlerinin son adımı olarak karşımıza çıkmaktadır. Örtüşen pikselleri birleştirmek için renk değerlerinin ağırlıklı ortalamalarının kullanan bu işlemde alfa kanalı olarak adlandırılan alfa faktörünün kullanılması ile pikselin merkezi '1' değerini almakta pikselin sınırlarına doğru ilgili piksel değerleri azalarak '0' değerini almaktadır. Sonuç olarak görüntülerin kenarları yumuşatılmış olup görüntüdeki nesneler arasındaki farklar minimuma indirilmiştir. Ancak bu yöntem basit ve hızlı olmasına rağmen elde edilen mozaik görüntü kalitesi yeterli seviyede olmayacaktır. Gölgeleme ve yüksek frekanslı ayrıntılarda bulanıklığa sebep olan görüntüdeki hatalar ve bozuk parametre verileri, örnekleme sürecinde görüntü kalitesinin düşmesine neden olacağından, karmaşık topoloji ve geometriye sahip görüntüler için parametrelerin oluşturulması zor ve hayati bir öneme sahiptir. Literatürdeki son çalışmalarda bu tarz hataları giderebilmek için, dalgacık alanı harmanlama gibi bazı yöntemler kullanılmış ve çoklu çözünürlüklü harmanlama mantığı oluşturulmuştur. Diğer taraftan bu yöntemler çok yüklü hesaplamalar gerektiren Poisson denkleminin en küçük kare çözümünü gerektirmektedir.

Pürüzsüz geçiş teknikleri ve en uygun iz bulma teknikleri olmak üzere iki ana kategoriye ayrılan harmanlama yöntemleri genel hatları ile yumuşatma gibi çok hızlı çalışan fakat net sonuçlar üretmeyen basit tekniklerden, farklı frekans bantlarında uygulanan karmaşık tekniklere kadar uzanmaktadır. Burada bahsedilen Gradyan alanı yöntemleri ilk kez 1983 yılında literatürde yer almıştır. Son yıllardaki çalışmalarda yoğunlukla birçok yöntemin birlikte hibrit olarak kullanıldığı araştırmalar mevcuttur. Bir diğer ana grup olan en uygun iz bulma yöntemi ise, nihai mozaik görüntüde yanlış hizalanmış yapıları ve yoğunlukları azalmış her bir görüntünün en iyi piksellerini bulmaya çalışır. Bu yöntemler basit yumuşatma tekniklerinden daha iyi fakat gradyan alanı tekniklerinden daha kötü sonuçlar vermektedir. Diğer taraftan işlem hızı açısından değerlendirirsek gradyan alanı tekniklerinden çok daha hızlı sonuçlar vermektedir.

3.1.8. Görüntü üzerindeki ışık etkisi

Kameralar tarafından alınan görüntülerin kalitesi görüntü işleme ve hata analizleri için oldukça önemlidir. Çünkü görüntü işleme algoritmaları bu görüntüleri işleyerek sonuca varmaktadır. Eksik bilgiler içeren bir görüntü hatalı değerlendirmeler yapılmasına neden olacaktır. Bu bağlamda görüntü işleme sistemlerinin ilk ve en önemli adımlarından bir tanesi dış ortamdan görüntüyü en doğru şekilde alabilmektir. Çünkü dış ortamdan alınan görüntünün uygunluğu ile görüntü işlemenin başarımı doğru orantılı olmaktadır. Alınan görüntüdeki negatif etkiler analiz sonuçlarını etkileyecektir. Doğru görüntü alabilmenin en önemli noktası, işlem sırasında kullanılacak özelliklerin ön plana çıkarılması ve kullanılmasına gerek olmayan özelliklerin ise olabildiğince bastırılmasıdır. Gerçekleştirilecek işleme sistemi bu doğrultuda planlanmalıdır. Bu planlamada iki temel aşama yer almaktadır; ilki aydınlatma sistemi, diğeri ise kamera konumunun belirlenmesidir. Ürünün yapısı, ortamın durumu ve ışıklandırmanın durumu kamera konumunu etkileyecek birçok değişkenden bazılarıdır. Görüntü edinmekte yaşanabilecek bazı sorunların çözümü için kamera konumunu veya kamera sayısını değiştirmek gerekebilir fakat bu gibi çözümlerde farklı tip hataların oluşabilmesi ve ölçüm hesaplama zorlukları yaşanabilmektedir. Bu gibi durumlarda yansıma gibi negatif problemlerin görüntü işleme algoritmaları ile daha rahat giderilebilmesi için kamera cismi tam karşıdan görebilecek şekilde dik bir açı ile yerleştirilmektedir [82].

Görüntü işlemede diğeri önemli bir nokta ise ışık kaynağının düzgün seçilmesidir. Işık kaynağı sistemin çalışma alanına uygun olmalıdır ki görüntü en iyi şekilde elde edilebilsin ve dolayısıyla görüntü işleme sürecinde gerekli adımların azaltılmış olması sağlansın. Aslında buradaki asıl amaç görüntü kontrastını optimize edebilmektir. Yani görüntü maksimum yoğunlukta iken en iyi kontrastın sağlanmasıdır. Işık kaynağının seçiminde ana mantık cismin yüzey özelliğine göre radyasyon özelliklerinin seçilmesidir [84].

Gün ışığının renk ve yoğunluğunun günün saatine, yılın zamanına hatta havanın durumuna göre değişiyor olması görüntü işlemede çevre aydınlatması için kullanılmasının pek mümkün olmadığını göstermektedir. Dolayısıyla kontrolsüz ışığın engellenemediği durumlarda görüntü işleme sistemleri olumsuz yönde etkilenmektedir. Işık kaynakları kamera pozisyonlarına bağlı olarak dört farklı şekilde çevreyi aydınlatmaktadır. [83].

- Olaysal Işık Aydınlatması: Kamera ve ışık kaynağı cisim ile aynı tarafta bulunur ve elde edilen görüntüde görülen, cisim tarafından yansıtılan ışık yoğunluğudur.
- Verici Işık Aydınlatması: Kamera ve ışık kaynağı cismin karşısındadır. Böylelikle görüntüde cisim koyu biçimde görünürken arka plan net bir açıklıkta oluşmaktadır.
- Açık Alan Aydınlatması: Açık arkaplan üzerinde koyu renkli objeleri göstermek için kullanılan bu yöntemde, Kamera ve ışık kaynağı cisim ile aynı tarafta olmaktadır ve kameraya yansıtılan ışığın bir kısmı görüntü işleme için kullanılmaktadır
- Koyu Alan Aydınlatması: Kamera ve ışık kaynağı cisim ile aynı tarafta olup, sadece saçılan ışık kamera tarafından yakalanır. Koyu arkaplan üzerinde açık renkli objeleri göstermek için kullanılır.

3.1.9. Görüntü işlemede kamera etkisi

Ortam şartlarının en uygun hale getirilmesi görüntünün en az kayıpla alınabilmesini sağlayacaktır. Bunun için ortamın aydınlık seviyesi, ışıklandırmanın homojenliği, arka plan karmaşıklığının önlenmesi, uygun açıyla ve uygun kamerayla görüntü almak gibi konularda en iyi verimi sağlamak gerekmektedir. Doğru ortam koşulları oluşturulduğunda kamera tarafından elde edilen görüntünün, işlemek için en uygun görüntü olacağı aşîkârdır. Bu bağlamda kamera tarafından alınan görüntü başarı performansını direkt olarak etkilemektedir. Bu yüzden kullanılan kameranın yapılan işe uygun olması ve kamera için uygun yerin belirlenmesi gereklidir. Görevi bir görüntüyü işleyerek elektriksel sinyallere dönüştürmek olan kameralar, temel

prensipte cisimden yansıyan ışınların lensler tarafından algılanmasına dayanır. Kamera lensine gelen ışınlar görüntü sensöründe işlenir ve elektriksel sinyallere dönüştürülür. Görüntü sensörleri bir görüntüdeki en küçük birim olan piksel adı verilen görüntü elemanlarını algılamaktadır. Sensörlerin algılama işlemi sırasında ışık yoğunluğunun önemi oldukça yüksektir. Çünkü ışık yoğunluğu ne kadar fazlaysa sensörde üretilen elektron miktarıda o kadar fazla olacaktır. Sensörlerden elde edilen elektronlar bir sonraki aşamada dönüştürücü yardımıyla sayısal sinyallere dönüştürülürler. Günümüzde yaygın olarak kullanılan, CCD ve CMOS olarak adlandırılan iki adet görüntü sensörü teknolojisi bulunmaktadır. Bu iki görüntü sensörü yapı bakımından birbirlerinden farklılıklar gösterebilirler de temel çalışma mantığı aynıdır [82].

Cisimden yansıyan ışınlar görüntü sensörüne düştüğünde herhangi bir renk bilgisi algılanmadan sadece aydınlık ve karanlık olarak adlandırılmaktadır. Görüntü sensörleri renk durumunu önlerine konulan bir filtre yardımıyla algılar. RGB ve CMYK renk uzay filtreleri sayesinde renk uzayında bulunan renkler elde edilebilmektedir. RGB için bu durum kırmızı, yeşil ve mavi renklerin belirli oranlarda karıştırılmasıyla diğer tüm renklerin elde edilmesi gibidir.

3.1.9.1. CCD görüntü sensörleri

Piksel adı verilen ve silisyum içeren küçük noktacıklardan oluşan CCD sensörleri her piksel üzerine düşen aydınlık yoğunluğuna göre bir elektriksel sinyal üretir ve bu sinyaller ADC ile sayısal sinyallere dönüştürülmektedir. Sadece ışığın yoğunluğunu fark edebilen CCD görüntü sensörleri görüntüdeki renkleri algılayamaz. Renklendirme işlemi görüntü sensörünün önüne eklenen bir filtre yardımıyla yapılmaktadır [82].

3.1.9.2. CMOS görüntü sensörleri

Işığın doğal etkilerinden dolayı zayıf görüntü kalitesi sağlamakta olan CMOS sensörlerinin, Teknolojinin gelişmesiyle birlikte düşük ışıktaki çekim yapabilme kabiliyeti artırılmış ve kullanıma oranları yükselmiştir. Üretim maliyetleri düşük olan bu sensörler, her pikselin elektronik olarak birbiri ile iletişim halinde olması

mantığıyla çalışmaktadır. Fakat bu durum görüntüde küçük noktalar ya da çizgiler şeklinde olan gürültü oranının daha yüksek olmasına neden olabilmektedir. Sensörün üretim boyutlarının çok küçük olması nedeniyle mikro sistemlere monte edilmesi kolaylaşmakta ve tercih edilebilirliği gün geçtikçe artmaktadır. Her piksel için ayrı bir çıkış hattının bulunması sayesinde her pikselin değeri ayrı ayrı okunabilmekle birlikte tasarım mimarisi ve üretiminde kullanılan malzemeler sayesinde çok düşük gerilimlerde çalışabilmekte dolayısıyla enerji tüketimleri minimum seviyede olmaktadır. Ancak kullanıldıkları ortamda yeterli aydınlatma olmazsa CCD algılayıcılardan daha yüksek gürültü oluştururlar. Bu yüzden görüntü işlemedeki verimleri düşebilmektedir [82].

3.1.9.3. Kamera konumunun belirlenmesi

Ürün kalite kontrol işlemlerinde algılayıcılardan elde edilen görüntüler bilgisayar ortamına aktarılarak burada işlenmektedir. Bu yüzden yazılan görüntü işleme programı ne kadar gelişmiş olursa olsun işlenen görüntünün kalitesi sonuçları büyük oranda etkilemektedir. Bu yüzden işlenecek görüntünün düzün bir şekilde alınması, doğru bir kamera seçilmesi ve konumlandırılması görüntü işleme için önemli bir başlangıç şartlarındandır. Kameranın konumu, görüntüsü alınacak cismin yüzey özelliklerini en iyi yansıtabileceği bir yer olarak belirlenmelidir [82].

3.1.10. Görüntü işleme teknolojileri

Sayısal görüntü işleme algoritma bakımından çok fazla işlem gerektirdiği için bu işlemlere cevap verebilecek hızlı sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yüzden ilgili işlemlerin eş zamanlı yürütülmesi gerektiği durumlarda seri programlama mantığı ile çalışan standart bilgisayarlar yetersiz kalmakta olup paralel hesaplama teknolojisi geliştirilmiştir. Paralel hesaplama, bir işlemi çözüme kavuşturmak için birden fazla bilgisayar kaynaklarının aynı anda kullanılması olup bu noktada görüntü işlemenin artan işlem hacmini karşılayabilecek ve görüntü ile ilgili işlemleri paralel olarak işleyebilecek algoritmalar ortaya çıkmıştır [10]. İlgili problemlere yaklaşım açılarına bağlı olarak farklı algoritmalar ile çözüm geliştirmeyi amaç edinmiş olan Görüntü

işleme sistemlerini günümüzde; görüntünün sayısal sinyali üzerinde işlem yapan teknolojiler olarak adlandırmak mümkündür. Görüntü işleme teknolojileri Donanımsal ve Yazılımsal olarak iki an grupta incelenmektedir.

3.1.10.1. Donanımsal teknolojiler

Görüntü işleme sırasında işlem hacmi çok fazla olduğundan, görüntü işlenirken bu kapasiteyi karşılayacak paralel programlama teknolojilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda donanımsal teknolojiler, görüntü verilerini doğrusal olmayan analog görüntünün sayısal sinyalini işleyen bir teknolojiyle gerçekleştirir [85]. Bu bölümde görüntü işleme alanında en çok kullanılan donanımsal teknolojilerden bahsedilmektedir.

Bi-i Görü Sistemi; Gerçek zamanlı işlem yapabilme kabiliyetine sahip bir kamera sistemi olan Bi-i Görü Sistemi, analog görüntünün sayısal sinyalini kendi işlemcisinde hücresel sinir ağı yapısı ile paralel ve çok hızlı bir şekilde işleyebilmektedir. Görüntünün sayısal sinyali üzerinde görüntüyü analiz eden işlemcisine ek olarak sayısal işaretleri işleyebilen bir DSP mikroişlemci bulunmaktadır. Bu görü sistemlerinde var olan iki işlemcinin birbirleri ile entegre bir şekilde çalışması görüntü işleme başarısını arttırmaktadır [86].

EYE-RIS; Anafocus firması tarafından geliştirilmiş olan bu sistem eş zamanlı görüntü işlemeyi desteklemektedir. Bunun yanında optik olarak görüntüyü elde etmeyi ve gerekli analizlerin sonucuna göre karar vermeyi sağlayan EYE-RIS görü sistemi, görüntü verilerini paralel bir şekilde işler. Yani analog görüntünün sayısal sinyalini paralel işleyen yapıda organize edilmiştir. Temelde insan sisteminin makineye aktarılması yatmaktadır [86].

Nvidia CUDA; Nvidia'nın GPU gücünü kullanarak hesaplama performansını büyük ölçüde artırmak için tasarlanan paralel hesaplama mimarisi olan CUDA teknolojisi, gerekli olan tüm işlemlerin işlemciler ile yapılabilmesine olanak sağlamıştır. Böylelikle GPU'lar sistem içerisinde ikinci bir işlem merkezi olarak görev

alabilmektedirler. Görüntü işleme için yazılımsal algoritmalar üretmekten çok görüntü verilerinin çok çekirdekli işlemcilerde paralel işlenebilmesi için bir mimari altyapı sağlayan CUDA teknolojisi, CPU ve GPU'yu birlikte kullanmaktadır [86].

3.1.10.2. Yazılımsal teknolojiler

Görüntüyü donanımsal işleyen teknolojilerin yanında, bilgisayar ortamına sayısallaştırarak alınan görüntüleri işleyecek yazılımsal teknolojilerde bulunmaktadır. Görüntü işlemenin işlem hacminin büyük olması nedeniyle yazılım teknolojileri de paralel çözümleme mantığını esas almaktadır. Bu amaçla farklı yapay zekâ teknikleri kullanan hücresel algoritmalar geliştirilmiştir. Her alanda görüntü işlemenin hızla gelişmesi bütün programlama dillerinin görüntü işlemek için araçlar sunmasına ve yine bu amaçla görüntü işleme kütüphaneleri geliştirmesine neden olmuştur [85]. Bu bölümde görüntü işleme alanında en çok kullanılan ve gerçekleştirilen uygulamada da yararlanılan yazılımsal teknolojiler kapsamlı bir şekilde bahsedilmektedir.

OpenCV; Willow Garage tarafından oluşturulan ve Intel tarafından geliştirilmiş OpenCV Kütüphanesi, C diliyle yazılmış olup gerçek zamanlı bilgisayarla görme ve görüntü işleme uygulamaları için kullanılabilir. Windows, Linux, Mac OS X platformları üzerinde çalışabilen, açık kaynak kodlu bir kütüphane olan OpenCV, işlem performansını arttırmak ve eş zamanlı uygulamalarda yüksek verim alabilmek için tasarlanmıştır. Ayrıca değişen işlemci donanım teknolojileriyle uyumluluk göstermesi en önemli özelliklerinden biridir. Çok çekirdekli GPU işlemcilerini kullanan OpenCV, verileri paralel işleyebilmek için geliştirilmiş ücretsiz bir kütüphanedir. Bununla birlikte işlemci firmalarının ürünlerinde daha güçlü optimizasyon sağlamak için geliştirdikleri kendi opencv kütüphaneleride mevcuttur. Intel şirketi bu amaçla işlemcileri için IPP kütüphanelerini geliştirmiştir [87].

Temelde açık kaynak kodlu bir görüntü işleme kütüphanesi olan OpenCV, donanımsal olarak geliştirilen sistemler için optimize edilmiş algoritmik çözümler sunar. Hareketli ya da hareketsiz görüntüler üzerinde işlemler yapabilmek için geliştirilmiş bu kütüphaneler, hız açısından optimize edilmiş fonksiyonlardan oluşmaktadır. Görüntü

işleme yapılacak sistemin donanımsal yapısına ve kullanım amaçlarına göre oluşturulan ‘500’den fazla fonksiyon; bilgisayarda görüntü işleme alt yapısını geliştirerek birçok farklı uygulamanın kolaylıkla geliştirilebilmesini sağlamıştır. OpenCV kütüphaneleri ile genellikle aşağıda verilen uygulamalar gerçekleştirilmektedir [10].

- İnsan Bilgisayar Etkileşimi ve Hareketli Robot Teknolojileri,
- Nesne Bölümleme ve Bölütleme işlemleri,
- Yüz Tanıma ve İşaret Dili Tanıma,
- Hareket Analizleri(Yakalama, Algılama ve Takip),
- Çiftli ve Çoklu Kamera Kalibrasyonu ve Derinlik Hesaplama,
- Üç Boyutlu Görme ve Medikal Resim İşleme.

Görüntü işleme tekniklerinin bilgisayar ortamında yüksek performans ve hızlarda yapılabilmesini sağlayan IPP, VXL, LTI gibi kütüphaneler, kendi içerisinde işleme teknikleri ile ilgili birçok algoritma barındırmaktadır. VXL kütüphaneleri işlevlerine göre dört gruba ayrılmaktadır [87].

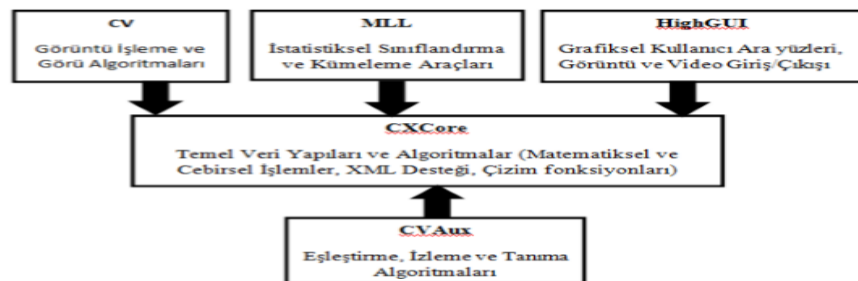
- VGL(Vision Geometry Library): Geometrik görü kütüphanesi.
- VNL(Vision Numerics Library): Rakamsal görü kütüphaneleri.
- VIL(Vision Image Processing Library): Resim işleme görü kütüphaneleri.
- VSL(Vision Streaming Library): Akış görü kütüphaneleri.

OpenCV görüntü işleme kütüphanesi, 1999 yılında İntel tarafından geliştirilmeye başlanmış olup daha sonra Nvidia, AMD ve Google gibi büyük firmalar tarafından desteklenerek açık kaynak mimarisinde geliştirilmeye devam etmektedir. Başlarda C programlama dili ile geliştirilmeye başlanmış ve daha sonra C++ dili ile devam edilmiş olan OpenCV, ilk olarak 2000 yılında OpenCV Alfa olarak kullanılmıştır. Açık kaynak kodlu bir kütüphane olması yanında BSD lisansı ile geliştirilmektedir. Bunun anlamı geliştirilmek istenen projelerde bu kütüphaneden ücretsiz olarak yararlanabilmektir. Windows, Linux, Android, Mac OS ve iOS gibi platformlarında çalışabilen bağımsız altyapıya sahip bir kütüphane olan OpenCV platformu, yüz tanıma, nesneleri ayırt

etme, insan hareketlerini tespit etme, OCR gibi işlemler için görüntü işleme ve makine öğrenmesine yönelik '2500'den fazla algoritma içermektedir. OpenCV, açık kaynak kodlu yapısından dolayı görüntü işlemede büyük topluluklar tarafından kurulmuş ve sürekli güncellenmektedir. Böylece OpenCV Kütüphanesi görüntü işleme dünyasında en büyük kütüphane haline gelmiştir. Ayrıca diğer bir özelliği olan platform bağımsız yapısından dolayı hemen hemen bütün programlama dillerine uyarlanabilmektedir [87]. Genel hatları ile OpenCV'yi oluşturan beş ana bileşen bulunmaktadır. Bunlar:

- Core: XML işlemleri için gerekli bileşenleri, temel fonksiyonları ve matris gibi veri yapılarını içermektedir. Görüntü üzerinde çizim yapabilmek için kullanılacak temel metotları tanımlar
- HighGui: Grafiksel kullanıcı arabirimleri için gerekli olabilecek metotları barındırır.
- ImgProc: Görüntü işlemede kullanılan tüm öznitelik fonksiyonlarını barındıran bileşendir.
- ImgCodecs: Dosya sistemlerinde veri okuma/yazma işlemlerini sağlayan metotları barındıran bileşendir.
- VideoIo: Görüntüleme cihazlarına erişme ve görüntü alma-yazma gibi fonksiyonları barındıran bileşendir.

OpenCV görüntü işleme fonksiyonları bileşenlerinde olduğu gibi beş ana kütüphaneden oluşmaktadır [10]. Şekil 3.39.'da gösterilen kütüphanelerden bu bölümde detaylı olarak bahsedilmektedir.



Şekil 3.39. OpenCV kütüphaneleri [10].

CV Yapısı; Temel fonksiyonlarından, hareketli ve hareketsiz görüntüler üzerinde yüksek seviyeli görüntü işleme algoritmalarına kadar birçok işlemi gerçekleştiren bir kütüphane olan CV, temel operasyonlar, yapısal analiz, hareket analizi ve nesne takibi gibi görüntü işleme fonksiyonlarından oluşmaktadır. Kütüphane içerisinde tanımlanmış fonksiyonlardan bazıları aşağıda gösterilmiştir [10].

- Genel Görüntü İşleme(Kenar ve Köşe Belirleme, Morfolojik İşlemler, Filtreleme ve Renk Dönüşümleri, Görüntü Bölütleme İşlemleri, Histogram Oluşturma)
- Yapısal Analiz(Kontur İşleme, Hesaplamalı Geometri Analizi, Düzlemsel Alt Bölümler, Hareket Analizi ve Nesne Takibi İşlemleri, Optik Akış, Hareket Şablonları)
- Örüntü Tanıma ve Nesne Algılama
- Kamera Kalibrasyonu ve Üç Boyutlu yapılandırma(Kamera Kalibrasyonu, Tahmini Pozlama İşlemleri)

MLL Yapısı; Makine öğrenmesi için gerekli analizlerin yapılmasında ve verilerin sınıflandırılmasında kullanılan fonksiyonları içeren CV kütüphanesinde, işlenmiş görüntüden analizlerin yapılmasını sağlayan temel fonksiyonlar bulunmaktadır. İçerdiği fonksiyonları aşağıda verilen MLL Kütüphanesi verileri sınıflandırma ve istatistiksel çıkarımlarda bulunma gibi görüntü işlemenin nihai hedefi olan kararlar için uygun veri analizleri yapmaktadır [10].

- Ortak sınıflar ve fonksiyonlar.
- Normal bayes sınıflandırıcıları.
- K'nın en yakın komşuluk modeli.
- Karar verme ağaçları.
- Artırıcılar.
- Rastgele ağaçlar.
- Beklenti maksimizasyonu.
- Yapay sinir ağları.

HighGUI Yapısı; Görsellik oluşturabilmeyi sağlayan bir grafik arabirimi olmakla beraber, resim ve videoları kaydetme, yükleme ve hafızadan silme için gerekli işlem fonksiyonlarını içinde barındıran bir opencv kütüphanesidir. Kullanıcı arayüzleri için form verilerini oluşturmaktadır [10]. HighGUI kütüphanesinin içinde barındırdığı fonksiyonlar aşağıdaki gibidir:

- Basit arayüz fonksiyonları.
- Görüntü yükleme ve kaydetme fonksiyonları.
- Video giriş/çıkış fonksiyonları.
- Yardımcı sistem fonksiyonları.

CXCore Yapısı; Görüntü işleme için sağladığı temel yapıtaşları aşağıda verilen CXCore Kütüphanesi, çeşitli veri yapılarının tanımlandığı ve xml desteği sunan bir kütüphanedir [10].

- Temel yapılar.
- Dinamik yapılar.
- Dizi işlem fonksiyonları.
- Çizim fonksiyonları.
- Veri yapıları fonksiyonları.
- Hata denetim fonksiyonları.

CXAux Yapısı; Fonksiyon sınıflarından bazıları aşağıda belirtilen CXAux Kütüphanesi temelde; şablon eşleştirme, şekil eşleştirme, bir objenin ana hatlarını bulma, yüz tanıma, ağız hareketleri izleme, vücut hareketlerini tanıma ve kamera kalibrasyonu gibi pek çok algoritmayı bünyesinde barındırmaktadır [10].

- Biçimsel fonksiyonlar.
- Üç Boyutlu Oluşum fonksiyonlar.
- Nesne nitelik fonksiyonları.
- Gizli Markov Modelleri.

Literatürde OpenCV'nin alternatif olarak yer alan bazı görüntü işleme kütüphanelerinden aşağıda bahsedilmektedir [10].

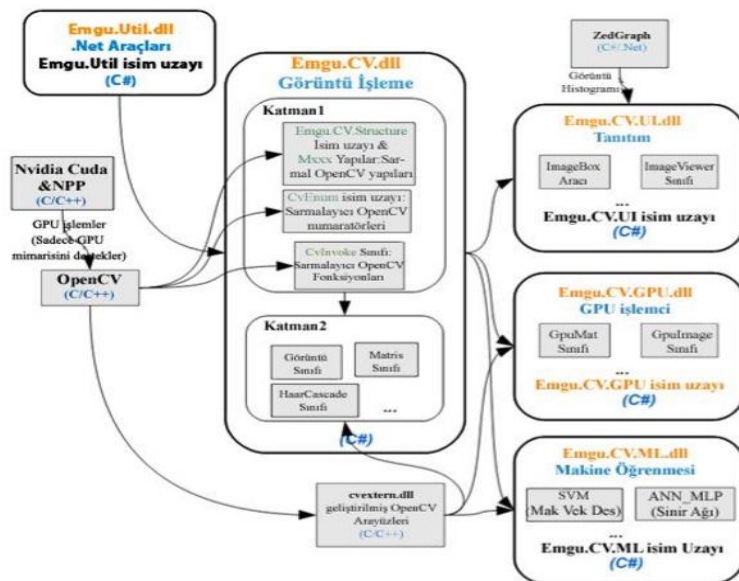
- MATLAB: Genellikle akademik araştırmalarda ve performansın önemli olmadığı durumlarda kullanılan bir kütüphane olan Matlab, sadece görüntü işleme kütüphanesi olmak yerine içerisinde görüntü işlemeye yönelik temel algoritmaları barındıran çok amaçlı bir programlama dili olarak bilinmektedir.
- Halcon: Genellikle endüstriyel projeler için tercih edilen ticari bir yazılımdır. İçerisinde birçok hazır fonksiyon bulunduran, geliştirme ortamının yanı sıra çeşitli programlama dilleri için kütüphane bulunduran bu yapı çoğunlukla hızlı uygulama geliştirmede kullanılmaktadır.
- OpenFrameworks: C++ programlama dili ile açık kaynak olarak geliştirilen bu kütüphane platform bağımsız olarak çalışabilmektedir. Temel çıkış amacı kolay ve hızlı uygulama geliştirme olan bu algoritma OpenCV kütüphanesinin birçok algoritmasını kullanmaktadır.
- CIMG: Sadece C++ dili için desteği bulunan açık kaynak kodlu bir görüntü işleme kütüphanesi olan CIMG; Windows ve Linux platformları üzerinde çalışabilmektedir. Birçok algoritmayı barındırmasına rağmen OpenCV kadar performanslı ve geniş bir altyapıya sahip değildir.
- Fiji: Java platformu için geliştirilmiş ve GPL lisansına sahip bir açık kaynak görüntü işleme kütüphanesi olan Fiji; Windows, Linux ve MAC OS gibi platformlar üzerinde çalışabilmektedir. Bilimsel görüntü analizi için geliştirilmiştir ve Biyomedikal alanları için özelleştirilmiş algoritmalara sahiptir.

Endrov, ImageJ, Lead tools, Pink, Image Magick, Boost gibi daha birçok kütüphaneye sahip olan OpenCV görüntü işleme teknolojisi, Google ve NASA tarafından birçok projede kullanılmaktadır. Bu projelerden en önemli olanları; cadde ve sokakları haritalamak amacıyla yürütülen Street View projesi ve Marsa gönderilen keşif aracı ile Mars yüzeyini görüntülemek için gerçekleştirilen projelerdir. [10].

EmguCV; Görüntü işleme yapılarının desteği olmayan programlama dilleri için sağladıkları kütüphaneler olan kelime anlamı olarak sarmalayıcı diye adlandırılan ‘Wrapper’lar, OpenCV kütüphanesini referans alan ve bu kütüphane içerisindeki fonksiyonları kullanarak kendi fonksiyonlarını geliştirebilen kütüphanelere verilen genel addır. Görüntü işleme algoritmalarını farklı platformlarda kullanılabilir hale getiren yazılım kütüphaneleri olarak bilinmektedirler. OpenCV kütüphanesi tüm programlama dillerinde doğrudan kullanılamadıkları için bu tip wrapper’lar oldukça fazla kullanılmaktadır. Wrapper’ların temel yazılış amaçları, desteği olmayan programlama dilleri içinde bu kütüphaneyi kullanılabilir hale getirmek, fonksiyonları belirli bir platformda daha iyi çalışabilecek hale getirmek, kütüphanenin kullanımı kolaylaştırmaktır. .Net framework çatısı altında bulunan C#, VB, C++, Xamarin veya Unity ile görüntü işleme uygulamaları geliştirmeyi sağlayan EmguCV, Windows, Linux, Mac OS X, iOS, Android ve Windows Phone platformlarında çalışabilmekte aynı zamanda güncelliğini devam ettirmek ile birlikte farklı lisanslama prosedürlerine sahiptir [10].

Şekil 3.40.’da belirtildiği üzere EmguCV iki katmanlı bir yapıdan oluşmaktadır [87].

- Layer1; OpenCV’nin doğrudan erişilebilen fonksiyon yapıları.
- Layer2; .Net platformunun sunduğu sınıflar.



Şekil 3.40. EmguCV katmanlı mimarisi [10].

.Net dilleri ile OpenCV kütüphanelerini kullanabilmek için C# dilinde yazılmış bağımsız bir platform olan EmguCV'nin en önemli hedefi OpenCV ile C#'ın güçlü yönlerini bir araya getirerek sistem kaynaklarının daha etkili bir şekilde kullanılmasını sağlamaktır. EmguCV, OpenCV'nin optimize edilmiş etkili fonksiyonlarına ek olarak aşağıdaki avantajları da sağlamaktadır [87].

- Genel renk ve derinliği ile görüntü sınıflandırma.
- Akıllı XML dökümantasyon desteği ile serileştirilebilir görüntü çıkarımı.
- Görüntü ve pikseller üzerinde genel işleme desteği.

Literatürde de adı geçen bazı EmguCV alternatifleri aşağıda belirtilmiştir [10].

- JavaCV: Java teknolojisi çatısı altında kullanılmak için Bytedeco tarafından açık kaynak olarak geliştirilmiş ve güncelliğini devam ettiren bir kütüphanedir. OpenCV kütüphanelerini referans alan bu wrapper, sıklıkla kullanılan birçok algoritmayı kullanılabilirlik açısından kolaylaştırmıştır. Ayrıca java içerisinde C++ dili ile uygulama geliştirmeyi destekler.
- Opencvsharp: Shimat tarafından geliştirilmekte ve güncelliğini sürdürmekte olan bu kütüphane, .Net framework için yazılmış ve .Net dilleri için görüntü işleme yazılımları geliştirebilmeyi amaçlayan bir kütüphanedir. Açık kaynak olduğu için bir lisans maliyetinin olmaması ve platform bağımsız şekilde çalışabilir olması bu kütüphaneyi EmguCV'den ayıran en önemli özelliklerdendir.
- EHE-LAB: EHeLab tarafından Labview için geliştirilmiş bir OpenCV wrapper'ı olan EHE-LAB sadece Windows platformunda çalışabilmektedir. OpenCV'yi referans almış ticari bir üründür ve lisans ücreti bulunmaktadır.
- Ruby-opencv: Ruby için geliştirilmiş açık kaynak kodlu bir wrapper'dır. Topluluk tarafından geliştirilen ve OpenCv'yi referans alan bu kütüphane; Linux, MacOS ve Windows platformu için kullanılabilir.
- LiveCV: QML ile kolay bir şekilde görüntü işleme uygulamaları geliştirmeyi sağlayan OpenCV wrapper'ıdır.

‘Opencvsharp, OpenCVDotNet, SharperCV’ ise EmguCV alternati olan görüntü işleme kütüphanelerinden bazılarıdır.

3.2. Gömülü Sistemler

İçerisinde yer aldığı sisteme zekâ niteliği katan elektronik, donanım ve yazılımların bütünü olarak ifade edilen gömülü sistemleri, genel amaçlı bilgisayar sistemlerinden ayıran özelliklerin başında belirli bir amaç için tasarlanmış olmaları gelmektedir. Genellikle daha büyük sistemlerin içerisinde gömülü olarak çalışan bu sistemler kontrol mekanizması olarak birden fazla mikro denetleyici kullanmaktadır. Kısacası gömülü sistemler, özel bir amaçla üretilen kendi kendini kontrol edebilen bilgisayarlı kontrol sistemleridir. Belirli bir amaca yönelik üretildiği için farklı markaların farklı tasarımları dolayısıyla farklı maliyetleri bulunmaktadır. Kullanıcıların üzerinden yazılımları çalıştırabileceği gömülü kartlar merkezinde bu işlemleri gerçekleştirecek mikroişlemci ve mikro denetleyicilerden oluşmaktadır. Dolayısıyla bu tip kartlarda maliyet önemli bir etken olmaktadır [88].

Günümüzde kişisel işlemler için kullandığımız bilgisayarlar Genel amaçlı bilgisayarlar olarak adlandırılmaktadır. Özel amaçlı bilgisayarlar ise işlemlerini gerçekleştirmek için gömülü sistemlere ihtiyaç duymaktadır. Özel amaçlı bilgisayarlar genellikle başka bir sisteme entegre ve sistem içerisinde bulunan bir kontrolör sayesinde istenilen işlemleri gerçekleştiren mantıksal bir yapıdır. Bu nedenle gömülü sistemler çok nadiren çöken ve güncellemeye gerek duyan, güvenlik açıklarına karşı korunaklı yazılımlar ile birlikte üretilir. Gömülü sistemler genellikle sistemdeki çevre elemanlarına bağımlı olarak çalışırlar. Özellikle bazı durumlarda işlemlerin gerçekleşebilmesi için gömülü sistemler ile ilgili yapıların haberleşmesi için veri iletişiminin gerçekleşmesi gerekmektedir. Gönderilen ve alınan mesajlar; veriyi işlemek ve analiz etmek için kullanılabilir. Genelde yavaş işlemciler, basit bir bellek ve küçük boyutlar ile tasarlanan gömülü sistemler, özellikle ticari faaliyetlerde kullanılması nedeniyle maliyeti azaltmış olmaktadır. Gömülü sistemler; uzun yıllar

boyunca hata yapmadan çalışabilecek şekilde tasarlanır. Bu yüzden sistem yazılımları gömülü teknolojiler için oldukça önemli bir bölümü sahiptir [89,90].

3.2.1. Gömülü sistem kullanımları

Gömülü sistemlerde kullanılan geliştirme kartlarının üzerine işletim sistemi ve harici yazılımların yüklenebilir olması bilgisayarların yapabileceği birçok işlemi daha az maliyet ve zaman ile gerçekleştirebilmelerini sağlamaktadır. Bilgisayarlara göre çok daha küçük boyutlarda olmaları ve düşük enerji tüketimlerinden dolayı endüstriyel alanda birçok uygulamada kullanılmaktadır. Bu bağlamda gömülü sistemlerin genellikle kullanıldığı alanlar şu şekildedir: Bankalar, Havacılık Elektronik Modülleri, Cep Telefonları, Ağ Ekipmanları, Yazıcılar, Fotokopi Makineleri, Disket Sürücüler, Ev Otomasyonu Ürünleri, Ev Elektronik Ürünleri, Tıbbi Ekipmanlar, Multimedya Uygulamaları, Endüstriyel Otomasyon Ürünleri, Motor Denetleyiciler, Savunma Sistemleri, Uçuş Kontrol Sistemleri, Medikal Ekipmanlar, Ölçüm Sistemleri, Nesnelerin İnterneti Uygulamaları, Koruma ve Kontrol Sistemleri, Görüntü İşleme, Tarım ve Sanayi, Sensörlü Kontrol Sistemleri gibi [89].

3.2.2. Gömülü sistem tarihçesi

Charles Stark Draper tarafından MIT laboratuvarında geliştirilen Apollo Rehber Bilgisayarı tarihteki ilk gömülü bilgisayar sistemi olarak geçmektedir. Şekil 3.41.'de gösterilen bu ilk gömülü sisteminden Aya yapılan yolculuklarda iki adet kullanılmış olup projesinin en riskli parçası olarak kabul edilmesine rağmen uzay gemisinin komuta modülü sisteminin yönetilmesini sağlamıştır. O yıllarda bu tip sistemlerin kullanılması boyut ve ağırlığı azaltıyor ama riski büyük oranda artırıyor.



Şekil 3.41. Apollo rehber bilgisayarı [90].

Genel anlamda İlk bütünleşik gömülü sistem 1961 yılında Minuteman füzesi için yapılan ‘Autonetics D-17’ rehber bilgisayarı olup en önemli özellikleri; füzenin hedefi daha hassas bulabilmesi için algoritmanın yeniden programlanabilir olması ve bilgisayarın kablo, konektör gibi çevre elemanlarından tasarruf ederek işlemi gerçekleştirebilmesidir. 1960’lardaki bu ilk uygulamalarda maliyetin dikkate alınmıyordu fakat artan üretim ile gömülü sistemlerin fiyatları düşmeye başladı. Bunlarla birlikte işlem gücü ve kullanılabilirliği artmış oldu. İlk mikroişlemci ve mikro denetleyiciler, askeri uygulamalarda kullanılan sistemler ve diğer ufak sistemlerin üretimi Intel tarafından gerçekleştirilmiştir. Mikroişlemcilerin gün geçtikçe standart haline gelmesine rağmen 1970’lerde ‘giriş-çıkış’ yönetimi işlemleri için genellikle harici çipler kullanılmıştır. Diğer taraftan fiyatların hızla düşüyor olması küçük gömülü sistemlerin popülerliğini gittikçe arttırmıştır. 1980’lerin ortalarında harici sistem parçaları, mikro denetleyiciler içerisine mikro işlemciler ile beraber girmeye başlayarak gömülü sistemlerin boyutunda ve maliyetinde önemli etkilere neden olmuştur. 1980’lerin sonundan itibaren tüm elektronik cihazlar için gömülü sistemler genel bir standart haline gelmiş olup bu durum günümüzde de hızlı bir şekilde artmaktadır [90].

3.2.3. Gömülü sistem gereksinimleri

Gömülü sistemlerin tasarımında kullanılabilecek çok sayıda mikro denetleyicilerin bulunması, sistem için gerekli işlemci seçimini yaparken bazı faktörlerin göz önünde bulundurulmasını, maliyet ve tasarım açısından bir gereklilik haline getirmiştir [89].

Bu bölümde gömülü sistem seçimindeki faktörlerden ve gereksinimlerden bahsedilmektedir.

3.2.3.1. Güvenilirlik

Uygulama ortamında oluşabilecek tüm ihtimallerin düşünülerek oluşturulan tasarımlar aracılığıyla sıfırlamaya veya yeniden başlatılmaya ihtiyaç duymayan gömülü sistemler, genellikle cihazların içinde kullanıcıların ulaşamayacağı alanlarda depolanırlar. Gömülü sistemler güvenilir ve sağlıklı çalışabilecek bir donanım ve yazılıma sahip olmalıdır ki bir sistem sorunu ile karşılaşıldığında gömülü sistem kendini otomatik yenileyebilmelidir. Bu yüzden bir gömülü sistem için güvenilirlik ve dayanıklılık son derece önemlidir [90].

3.2.3.2. Maliyet

Bir gömülü sistemin, askeri sistemlerde olduğu gibi çok detaylı ve riskli işlerde kullanılabileceği öngörülmelidir ki bu tür uygulamalarda yapılan işlemlerin kritik önemi sebebiyle, gömülü sistem maliyeti göz ardı edilmelidir. Ancak çoğu gömülü sistem satışa yönelik tüketim mallarının içerisinde bulunduğu maliyet faktörü önem kazanmaktadır. Bu tarz gömülü sistemleri tasarlariken uygun işlemci, bellek ve çevre cihazların seçimi maliyet açısından önemli olduğu gibi yazılıma uygunluğunda projenin devamlılığını sağlamaktadır [89].

3.2.3.3. Güç sarfıyatı

Gömülü sistemin uzun süre işlem yapabilmesi için güç tüketimi önemli bir etkidir. Genellikle uygulama ortamında gömülü sistemlerin ihtiyacı olan enerji şehir şebeke gerilimi yerine bataryalarla sağlanmaktadır. Bu yüzden gömülü sistem kullanılmadığı durumlarda güç sarfıyatını azaltacak tedbirler alınmalıdır [90].

3.2.3.4. İşlemci gücü

Farklı işlem kapasitelerine sahip birçok işlemcinin mevcut olması, Gömülü sistem tasarım aşamasında gerçekleştirilecek uygulama için en uygun işlemci gücünü belirlemede maliyet faktörünü dikkate almayı gerektirmektedir. Aynı güce sahip işlemciler arasında seçim yaparken en etkili etmen maliyet olmaktadır [89].

3.2.3.5. Bellek kullanımı

Gömülü sistemler ek bir depolama alanına sahip olmadıkları için bellek ihtiyaçlarını yazılımın depolandığı ROM ve RAM ile sağlamaktadırlar. Genelde sistem üzerinde koşturulan yazılımların boyutun salt okunur bellek büyüklüğü ile sınırlandırılır. Günümüzde Mikro denetleyicilerin üzerlerine harici bir bellek yerleştirilerek, düşük maliyet ve hızlı işlem yeteneği kazandırılmış gömülü sistemler üretilmektedir [90].

3.2.3.6. İşlem zamanı

Gömülü sistem uygulamalarında bir çevrim içerisinde yer alan işlemler istenilen zaman aralıkları içerisinde gerçekleştirilmelidir. Bu yüzden gerçek zaman gerektiren uygulamalarda özel işletim sistemine sahip gömülü sistemlerin kullanımı zorunlu hale gelmiştir [89].

3.2.3.7. Boyut

Tek bir amaca yönelik tasarlanan gömülü sistemler genellikle bir cihaz içine yerleştirilmiş durumdadırlar. Bu yüzden bir gömülü sistemin boyutu tasarım sürecini etkileyen önemli faktörlerden biridir [90].

3.2.3.8. Kullanım ömrü

Gömülü sistemlerin donanım ve yazılım ömürleri uzun olmalıdır. Gömülü sistem üzerindeki yazılım ve donanım binlerce kez çalıştırılmaya yönelik tasarlanmıştır. Gömülü sistemlerin kullanım ömürlerinin uzun olması, içerisinde bulunduğu cihazın ömrünü de etkileyeceğinden önemli etkenlerdendir [89].

3.2.3.9. Parça sayısı

Gömülü sistemleri oluşturan; işlemci, RAM, ROM ve ‘çevirici-dönüştürücü’ gibi parçalarının tek bir kart üzerine yerleştirilmesi gerekmektedir. Çünkü cihaz içerisinde bulunan ve cihazın ana işlemini gerçekleştiren sistemin çok fazla parçadan oluşmaması gerektiği maliyet ve kullanılabilirlik açısından belirtilmektedir [90].

3.2.4. Gömülü sistemlerin tasarımı

Kullanılan birçok elektronik cihaz içerisinde gömülü sistem barındırdığı için işlemleri gerçekleştirirken genellikle mikroişlemci ya da mikro denetleyici kullanırlar. Nadiren eski sistemler genel maksatlı büyük bilgisayarlar kullanarak kontrol işlemini gerçekleştirirler. Bu bölümde gömülü sistemlerin tasarımında etkili olan bazı özelliklerden bahsedilmektedir.

3.2.4.1. Kullanıcı arayüzleri

Basit fonksiyonlu menüler gömülü sistemlerde yaygın olarak kullanılan standart arayüzlerdendir. Genellikle bir fonksiyon menü sistemini kontrol etmek için diğeri ise seçimi gerçekleştirmek için kullanılmaktadır. Menüler çok basit kullanıcı eylemleri ile kontrol edilebildikleri için oldukça popülerdir. Diğer yöntemlerden biride çıktı arayüzünü en basit hale getirmektir. Bazı tasarımlarda ise ara yüz sistem çalışması hakkında bilgilendirmek amacı ile ışık veren ledleri içerebilmektedir. Bazı durumlarda ise bu ledler kullanıcı için farklı dilleri veya hata çıktılarını gösteren baskılı etiketler ile yapılmış ışık barları olarak kullanılmaktadır. Farklı modlar yöntemi diğer ara yüz tasarım yöntemlerinden biridir. Bu yöntemde kullanıcı seçimi ön planda olduğu için esnek tasarımlar oluşabilmektedir. Modlu tasarımlarda yalın bir yerel dil kullanılırken

ışıklandırma işlemi de bir o kadar önemlidir. Görselleştirme için seçilen renkler genelde herkesin hâkim olduğu renklerden oluşmaktadır. Belirlenen renklere bir olan kırmızı renk tehlike anlamına gelmekte ve tüm sistemi etkileyecek bir hatanın varlığını belirtmektedir. Bir diğer renk ise bir takım problemlerin olduğunu ve dikkat edilmesi bazı durumlarda önlem alınması gerektiğini belirtiren sarı renk olmaktadır, yeşil renk ise sistem durumunda herhangi bir aksaklık olmadığını bildirir. Eğer gerçekleştirilen arayüz bir bilgilendirme ekran gerektiriyorsa genelde düz metin kullanımı tercih edilir. Eğer ekran görsel eğlence öğeleri üzerinde kurulmuş bir tasarımdan ibaretse, görsellik resimler gibi elemanlar ile yakalanmalıdır [88].

3.2.4.2. Platform

Günümüzde standart küçük hacimli gömülü sistem tasarımlarından yüksek işlem kapasitesine sahip geniş gömülü sistem tasarımlarında kullanılabilecek PIC, ARM, MIPS, PowerPC, PIC, Atmel AVR, Renesas vb. gibi pek çok işlemci mimarisi bulunmaktadır. Bu tip işlemciler Linux gibi gerçek zamanlı işletim sistemlerinde kullanılması önerilmekle birlikte verimi yüksektir. Tek bir işlemci üzerinde toplanmış tümleşik devre tasarımlarına sahip sistemler genellikle büyük hacimli gömülü sistem uygulamalarında tercih edilir [88].

3.2.4.3. Araçlar

Gömülü sistem geliştirmede kullanılan; programlayıcı, derleyici, çevirici ve hata ayıklayıcı gibi araçlar bulunmaktadır. Bunun dışında her sistemin ya da uygulamanın gerektirdiği farklı tipte araçlarda gömülü sistem kartlarına eklenebilmektedir [88].

3.2.4.4. Hata Ayıklama

Hata ayıklama genellikle bir mikrokontroler devresi tarafından gerçekleştirilir. CPU tabanlı hata ayıklayıcılar bilgisayar donanımlarındaki hatları tespit etmek, test etmek ya da hata ayıklamak amacı ile kullanılabilirken Mikrokontrolerlar ise sadece CPU'nun yer aldığı donanım üzerinde çalışma olanağı sağlar. Bunun yanında yüksek seviyeli yazılım dillerinde kesme noktası ve tek adımlama gibi en çok kullanılan yaygın işlemleri kullanarak hata ayıklamak mümkün olmaktadır. Bunlar dışında basit olarak işlem kayıtlarının tutulması da bir hata ayıklama yöntemidir. Gömülü sistemin karmaşıklığı arttıkça üst seviye araçlar ve işletim sistemleri için içerisine girmeye başlar. Cep telefonları ve mini bilgisayarlar ileri düzey yazılım ve işletim sistemleri gerektirir. Bu tip sistemlerde, Linux, gibi gömülü işletim sistemleri kullanılmaktadır [88].

3.2.4.5. İşletim sistemi

Gömülü sistemlerin genellikle kendine ait bir işletim sistemleri yoktur. Bununla birlikte farklı üreticilerin gömülü sistemler için özelleştirdiği ya da ürettiği gömülü işletim sistemleri bulunmaktadır. Linux, ARM, Rasbian bu işletim sistemlerinden en çok kullanılanlarıdır [88].

3.2.4.6. Başlangıç

Tüm gömülü sistemlerin bir başlangıç prensibi bulunmaktadır. Bu kod bloklarında genellikle gömülü sistem ayağa kaldırılmaya çalışılır. Bu kısımda; kesmelerin iptal edilmesi, gömülü sistemin donanımsal olarak test edilmesi, işletim sisteminin sorunsuz çalıştırılması ve son olarak sistem için yazılan uygulama kodunun başlatılması gibi işlemler yer almaktadır. Pek çok gömülü sistem kısa süreli güç kayıplarından, sorunsuz bir şekilde veri kaybetmeden kurtarılabilir. Tasarımlarında sistem hatalarını işaret etmesi açısından genellikle ledler kullanılmakta olup genel bir tasarım yaklaşımı olarak gömülü sistem başlangıcında cihaza bağlı tüm ledler yanmalıdır. Daha sonra sistemin durumuna göre ledlerin durumu da değişmektedir [88].

3.2.4.7. Test

Kendini test edebilen gömülü sistemler kullanım açısından oldukça önemlidir. Burada sırası ile gerçekleştirilmesi gereken test işlemleri şu şekildedir. Öncelikle CPU, RAM, ROM, işlemci ve bellek gibi birimlerin test edilmesi gerekmektedir. Güvenliğin kritik olduğu sistemlerde periyodik olarak ya da belirli zaman aşımalarında gerçekleştirilen sistem testi, genellikle sisteme ilk kez enerji verildiğinde bir kereliğine yapılmaktadır. Bir sonraki test; ‘giriş-çıkış’ ünitelerinin ve çevre elemanlarının test edilmesi olmakla birlikte bu test işlemi, kontrol sistemlerinde her çevrimde gerçekleştirilmesi gereken bir güvenlik önlemidir. Üçüncü aşamada batarya ya da ona karşılık gelen enerji kaynağının test edilmesi yer almaktadır. Güç bağlantı üniteleri arasında gerçekleştirilen iletişim testleri genellikle üniteler arasında yollanan ve karşılığında alınan basit mesajlarla sağlanmaktadır. Özellikle senkronize iletişim sistemlerinde bağlantı pinlerinin doğruluğunu test etmek için kablo testleri ön plandadır. Diğer bir test olan donanım testi ise eklenen bir donanım ile ilgili bilgileri kullanıcıya ulaştırabilmek için gerçekleştirilir. Sistemde kullanılanların miktarı, seviyesi ve pozisyonu hakkında bilgiler tüketilebilenlerin testi ile belirlenmektedir. Diğer yandan sistemin çalışması esnasında yürütülen fonksiyonların durumunu ve sistemin genel durumunu ölçmek için operasyonel testler kullanılmaktadır. Son olarak Güvenlik testleri ile sistemin güvenliği belli aralıklar ile test edilmelidir [88].

3.2.5. Gömülü sistem kartları

Günümüzde kullanım kolaylığı, çabuk erişilebilirliği, maliyet düşüklüğü ve esnekliği gibi özellikleri ile gömülü sistem tabanlı SBC’lerin tercih edilirliliği artmakta olup özellikle akademik ve endüstriyel alanda kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır. Bir bilgisayarın gereksinim duyduğu işlemci, bellek gibi ana birimlerin tek bir kart üzerinde birleştirilmesiyle gömülü sistemler oluşturulmaktadır. Gömülü sistemlerde yer alan birimler maliyeti az ve enerji tasarrufu sağlayan basit sistemler olarak tasarlanmaktadır. Tüm bileşenlerinin bütünleşik yapıda olduğu ya da temel işlevleri barındırmasının yanı sıra büyük sistemlere entegre şekilde çalışabilen iki farklı

mimaride tasarlanan SBC’ler, depolama birimi olarak “disk on module”, “disk on chip” ve “compact flash” gibi flash disk teknolojilerini kullanmaktadır.

BeagleBoard; Bu seriye ait üretilen ilk gömülü kart, Texas Instrument tarafından üretilen açık kaynak yazılım ve donanım ile düşük güç tüketimine sahip kartlar olarak bilinmektedir. Bu kartlar günümüzde çoğunlukla akademik alanda yapılan araştırma ve geliştirme çalışmalarında prototip geliştirmek amacıyla kullanılmaktadır. Tablo 3.1.’de BeagleBoard ailesinin en çok kullanılan kartları ve bu kartlara ait genel özellikleri verilmiştir. Bu tip kartların en büyük avantajı kendi özelliklerine yakın diğer gömülü sistemlere göre oldukça uygun fiyatlı olmasıdır. Belirtilen özelliklere bakıldığında gibi kartların desteklemiş olduğu çok sayıda iletişim arabirimleri bulunmakta ve çok çeşitli cihazlarla problemsiz olarak iletişim kurabilmekte oldukları görülmektedir. Bununla birlikte zamanla gelişen teknolojinin kartların işlemci hızlarında, depolama alanlarında ve özelliklerinde, bellek kapasitelerinde ve grafik işlemcilerinde gelişmelere sebep olduğu görülmektedir [91,92].

Tablo 3.1. BeagleBoard gömülü kart özellikleri.

Birim Adı	BeagleBoard	BeagleBoard-xM	BeagleBoard-x15
Ürün Tarihi	Temmuz – 2008	Eylül – 2010	Kasım – 2015
İşlemci(CPU)	ARM Cortex A8(720 Mhz)	ARM Cortex A8(1000 Mhz)	Dual ARM Cortex A15(1500 Mhz)
Grafik İşlemcisi(GPU)	PowerVR-SGX530	PowerVR-SGX540	Dual PowerVR-SGX544
Sayısal Sinyal İşleme(DSP)	TMS x+(520 Mhz)	TMS3 x+ (800 Mhz)	TMS x+(2*700 Mhz)
Bellek(RAM)	128 MB	512 MB	2048 MB
USB Port Sayısı	1 Adet	4 Adet	3 Adet(3.0) - 4 Adet(2.0)
Depolama Birimi	256 MB Flash	1 GB MikroSD Kart	4 GB MikroSD Kart

Ekran Bağlantıları	DVI-D, S Video	DVI-D, S Video	HDMI ve LCD
Ses Giriş-Çıkış	3.5mm jack	3.5mm jack	HDML
Ethernet Bağlantısı	1/10 Mbit	10/100 Mbit	Gigabit Ethernet
İç Birimler	McBSP, DSC, PC, UART, McSPL, PWM, JTAG	I2C, McBSP, MMC2, GPUIO, McPSI	7xUART, LCD, GPMC, SPI, PC, CanBUS
İşletim Sistemi	Debian, Ubuntu, Gentoo, Angstrom	Angstrom, Ubuntu, Android, Windows CE, Symbian, QNX	Debian, Android, Ubuntu
Boyutlar	78,75*76,2 mm	85,09*85,598 mm	107*102 mm

BeagleBone, Texas Instrument tarafından farklı bir aile olarak üretilen BeagleBone gömülü kartları yine açık kaynak ve düşük güç tüketimi üzerinde tasarlanmıştır. Tablo 3.2.'de BeagleBone kartların genel özellikleri gösterilmiştir. Kredi kartı büyüklüğünde, nesnelerin interneti çatısı altında uygulama geliştirmek için tasarlanmış ve genellikle Linux tabanlı işletim sistemleri kullanılarak çalıştırılan BeagleBone geliştirme kartı ilk olarak 2011 yılında piyasaya sürülmüştür.

Tablo 3.2. BeagleBone gömülü kart özellikleri.

Birim Adı	BB	BBB	BBG	BGW
Ürün Tarihi	2011	2013	2015	2016
İşlemci(CPU)	ARM Cortex A8(720 Mhz)	ARM Cortex A8(1000 Mhz)	ARM Cortex A8(1500 Mhz)	Dual ARM Cortex A8(1 Ghz)
Grafik İşlemcisi(GPU)	PowerVR-SGX530	PowerVR-SGX530	PowerVR-SGX530	PowerVR-SGX530
Kablosuz Bağlantı	Yok	Yok	Yok	Wifi 802.11 Bluetooth 4.1
Bellek(RAM)	128 MB DDR2	216 MB DDR2	512 MB DDR2	512 MB DDR3

USB Port Sayısı	1 Adet	1 Adet	1 Adet	4 Adet
Depolama Birimi	MikroSD Kart	MikroSD Kart	Onboard Flash	OnboardFlash
Ekran Bağlantıları	DVI-D	Micro HDMI	Micro HDMI	Micro HDMI
Ses Giriş-Çıkış	3.5mm jack	HDML	HDML	HDML
Ethernet Bağlantısı	Fast Ethernet	Fast Ethernet	Fast Ethernet	Gigabit Ethernet
İç Birimler	UART, PWM, GPMC, MMC, SPI, I2C, CanBUS	UART, PWM, GPMC, MMC, SPI, I2C, CanBUS	UART, PWM, GPMC, MMC, SPI, I2C, CanBUS	UART, PWM, GPMC, MMC, SPI, I2C, CanBUS
İşletim Sistemi	Debian, Ubuntu, Android	Debian, Ubuntu, Android	Debian, Ubuntu, Android	Debian, Ubuntu, Android
Boyutlar	86*53 mm	86*53 mm	86*53 mm	86*53 mm

2013 yılında işlemciadaki gelişmeleri ile, 2014 yılında bellek teknolojisindeki temel gelişmeleri ile, 2015 yılında internet kavramını gömülü kart üzerine entegre etmesi ile, 2016 yılında ise Wifi ve Bluetooth gibi teknolojileri karta adapte etmesiyle ki bu gelişme gömülü sistemlerde öncü adımlardan biri olmuştur. Gömülü sistem kartları piyasasında hızlı bir gelişim göstermiştir [91,92].

PandaBoard; İlk olarak 2010 yılında kullanılmış olan PandaBoard gömülü sistem kartları, düşük maliyet ve güç tüketimi ile piyasadaki diğer kartlardan ayrılmaktadır. İşlemci, grafik işlemcisi, ara bağlantı birim desteği gibi özelliklerinin karşılaştırıldığı PandaBoard ailesi kartlarının genel özellikleri Tablo 3.3.'de detaylı bir şekilde görülmektedir. Genel özellikleri birbirlerine yakın olan bu kartlar 2011 yılından itibaren 'OMAP4430' olarak adlandırılan yonga set ile geliştirilmeye başlanmıştır [91,92].

Tablo 3.3. PandaBoard gömülü kart özellikleri.

Birim Adı	PandaBoard	PandaBoard ES
Ürün Tarihi	2010	2011
İşlemci(CPU)	ARM Cortex A9(1 Ghz)	ARM Cortex A8(1.2 Ghz)
Grafik İşlemcisi(GPU)	PowerVR-SGX540 (300 Mh)	PowerVR-SGX540 (380 Mhz)

Kablosuz Bağlantı	Bluetooth 2.1	Wifi 802.11 Bluetooth 4.1
Bellek(RAM)	1 GB DDR2	1 GB DDR2
USB Port Sayısı	2 Adet(2.0)	2 Adet(2.0)
Depolama Birimi	MikroSD Kart	MikroSD Kart
Ekran Bağlantıları	DVI-D / HDMI / LCD	DVI-D / HDMI / LCD
Ses Giriş-Çıkış	3.5mm jack	HDML
Ethernet Bağlantısı	10/100 Mbit	Fast Ethernet
İç Birimler	UART, PWM, GPMC, MMC, SPI, I2C, Rs-232	UART, PWM, GPMC, MMC, SPI, I2C, Rs-232
İşletim Sistemi	Debian, Ubuntu, FreeBSD, OpenBSD, FirefoxOS	Debian, Ubuntu, FreeBSD, OpenBSD, FirefoxOS
Boyutlar	114*101 mm	114*101 mm

Zotac ION-ITX-A; ‘17x17’cm boyutlarında ve bir gömülü sistem için oldukça ideal olan Zotac gömülü sistem kartları, Tablo 3.4.’te de gösterildiği gibi birçok gömülü sistemde bulunmayacak özelliklerin hepsini bir kart üzerinde bulundurmaktadır. Bu özelliği ile gelişmiş bir kart olmakta ve bir uygulama içerisinde çok yönlü kullanılabilir olması ile tercih sebebi olmaktadır [88].

Tablo 3.4. Zotac gömülü istem özellikleri.

Özellikler	Zotac ION-ITX-A
Ürün Tarihi	2018
İşlemci(CPU)	İntel Atom 330(1.6 Ghz)
Grafik İşlemcisi(GPU)	NVIDIA GeForec 9400M
Kablosuz Bağlantı	Bluetooth 4.1 / Wifi 802.11
Bellek(RAM)	2 GB DDR2
USB Port Sayısı	4 Adet(2.0) / 2 Adet(3.0)
Depolama Birimi	MikroSD Kart
Ekran Bağlantıları	DVI / HDMI / VGA / RCA
Ses Giriş-Çıkış	3.5mm jack / HDML

Ethernet Bağlantısı	Gigabit Ethernet
İç Birimler	UART, PWM, GPMC, MMC, SPI, I2C, Rs-232
İşletim Sistemi	Debian, Ubuntu, Linux
Boyutlar	170*170 mm

Nano 8050 ITX; Özellikleri Tablo 3.5.'de görüldüğü üzere Nano gömülü sistemi, '12x12'cm boyutunda yüksek özellik kapasitesine sahip gelişmiş bir karttır. Özellikle üç boyutlu grafik işleme ve görüntü işleme uygulamalarında '2048x1536' piksel çözünürlüğü gibi yüksek çözünürlüklerde işlem yapma kapasitesi gelişmiş bir kart olduğunu göstermektedir [88].

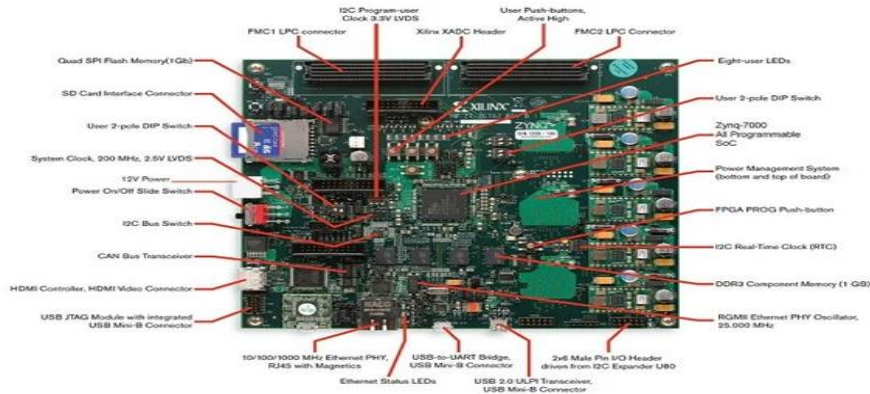


Tablo 3.5. Nano gömülü sistem özellikleri.

Özellikler	Nano 8050 ITX
Ürün Tarihi	2017
İşlemci(CPU)	İntel Duo Celeron M 800(1 Ghz)
Grafik İşlemcisi(GPU)	İntel GMA 4500 MHD
Kablosuz Bağlantı	Wifi 802.11
Bellek(RAM)	1 GB DDR2
USB Port Sayısı	4 Adet(2.0)
Depolama Birimi	MikroSD Kart
Ekran Bağlantıları	VGA / RCA
Ses Giriş-Çıkış	3.5mm jack

Ethernet Bağlantısı	Gigabit Ethernet
İç Birimler	UART, PWM, GPMC, MMC, SPI, I2C, Rs-232
İşletim Sistemi	Debian, Ubuntu, Linux
Boyutlar	120*120 mm

Zynq-700; Çift çekirdekli ‘ARM Cortex-A9’ mimarisine sahip işlemci ile FPGA bileşenlerini aynı yonga seti içerisinde bulunduran her bir bileşeni ile yeniden programlanabilen gömülü sistem mimarisi olan Zynq-700, işlemci ile FPGA arasındaki veri aktarımını hızlı ve güvenli bir şekilde sağlamak amacıyla gelişmiş arabirim veri yolları bulundurmaktadır. Bu sayede görüntü işleme uygulamalarında; griye çevirme, kenar ve köşe bulma, gürültü giderme, keskinleştirme ve filtreleme, öznitelik çıkarma gibi görüntü işleme algoritmaları hiçbir gecikme olmaksızın ve maksimum doğrulukta bu iki birim işlemci ve FPGA arasında anlık olarak veri transferi gerçekleşmektedir [88]. Şekil 3.42.’de Zyng gömülü sistemine ait detaylı bir özellik tanımlı yapılmıştır.



Şekil 3.42. Zynq gömülü sistem özellikleri.

WADE-8656 ITX; Tablo 3.6.’da özellikleri verilen WADE gömülü sistemi kartı, ‘17x17’cm boyutunda ve özellikle simülasyon ve oyun gibi grafik uygulamalarında yüksek görüntü çözünürlüğüne sahip, yüksek performans sağlayan gelişmiş bir karttır [88].

Tablo 3.6. Wade gömülü sistem özellikleri.

Özellikler	WADE-8656 ITX
Ürün Tarihi	2018
İşlemci(CPU)	İntel Quad Core (Duo 2 – Pentium 4)
Grafik İşlemcisi(GPU)	İntel Q965 GMCH
Kablosuz Bağlantı	Wifi 802.11
Bellek(RAM)	2 GB DDR2
USB Port Sayısı	4 Adet(2.0)
Depolama Birimi	MikroSD Kart
Ekran Bağlantıları	VGA / RCA
Ses Giriş-Çıkış	3.5mm jack
Ethernet Bağlantısı	Gigabit Ethernet
İç Birimler	UART, PWM, GPMC, MMC, SPI, I2C, Rs-232
İşletim Sistemi	Debian, Ubuntu, Linux
Boyutlar	120*120 mm

BC2440-IV; ‘6,5x4,5’cm boyutlarında mini bir bilgisayar olarak tasarlanan ‘SBSC2440’ gömülü sistem kartı, Samsung tarafından geliştirilmiş olup Windows CE işletim sistemine sahip bir karttır. Birçok uygulama geliştirmede kullanılmasının yanında Windows uygulama desteğinin olması sayesinde harici yazılımları çalıştırabilme yeteneğine sahip gelişmiş bir karttır [88]. Bu önemli özellikler dışında kuvvetli bir donanıma da sahip olan ‘SBSC2440’ geliştirme kartı, Tablo 3.7.’de detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Tablo 3.7. SBC2440 gömülü sistem özellikleri.

Birim Adı	BC2440-IV
Ürün Tarihi	2018
İşlemci(CPU)	İntel Quad Core (Duo 2 – Pentium 4)
Grafik İşlemcisi(GPU)	İntel Q965 GMCH
Kablosuz Bağlantı	Wifi 802.11
Bellek(RAM)	2 GB DDR2
USB Port Sayısı	4 Adet(2.0)
Depolama Birimi	MikroSD Kart

Ekran Bağlantıları	VGA / RCA
Ses Giriş-Çıkış	3.5mm jack
Ethernet Bağlantısı	Gigabit Ethernet
İç Birimler	UART, PWM, GPMC, MMC, SPI, I2C, Rs-232
İşletim Sistemi	Debian, Ubuntu, Linux
Boyutlar	120*120 mm

Raspberry Pi; Maliyeti oldukça düşük bir mini bilgisayar olan Raspberry Tablo 3.8.'de gösterilmiş olduğu gibi farklı modellere ait farklı özelliklere sahiptir. Genel olarak '1 GHz - 2 GHz' arasında çalışan 64bit işlemciye, '1 Gb - 4 Gb' arasında RAM'e sahiptir. Sahip olduğu temel donanımsal özellikleri(LAN, Bluetooth, Ethernet, Wifi, 40-pin GPIO, HDMI, USB, CSI) sayesinde birçok farklı uygulamada kullanılabilir. Bunun dışında birden çok programlama dilini desteklemesi de Raspberry kartını diğer gömülü sistem kartlarından ayıran en önemli özelliklerindendir. Raspberry sahip olduğu Sony 'IMX219' sensör ile 8mp kamera modülü sayesinde yüksek çözünürlükte video çekebilmekte ve fotoğraf kaydedebilmektedir. Raspberry Pi kamera modülü HD(1080p/30fps) çözünürlükte video çekimi yapabilirken, Ultra HD(3280 x 2464) çözünürlüğünde fotoğraf çekimi yapabilmektedir. 15cm uzunluğunda bir yassı kablo ile CSI portu üzerinden kamera ve kart bağlantısı yapılmaktadır [93].

Tablo 3.8. Raspberry Pi gömülü sistem özellikleri.

Birim Adı	RaspberryPI 1	RaspberryPI 2	RaspberryPI 3	RaspberryPI Zero
Ürün Tarihi	2012	2015	2016	2015
İşlemci(CPU)	ARMv6 (32bit - 700 Mhz)	ARMv7 (32bit - 900 Mhz)	ARMv8 (64bit - 1.2 Ghz)	ARMv6 (32bit - 1 Ghz)
Grafik İşlemcisi(GPU)	Broadcom IV (250 Mhz)	Broadcom IV (250 Mhz)	Broadcom IV (250 Mhz)	Broadcom IV (250 Mhz)
Kablosuz Bağlantı	Yok	Bluetooth 2.1	Wifi 802.11 Bluetooth 4.1	Wifi 802.11 Bluetooth 4.1
Bellek(RAM)	512 MB DDR2	1 GB DDR2	2 GB DDR3	1 GB DDR3
USB Port Sayısı	1 Adet	1 Adet	1 Adet	4 Adet
Depolama Birimi	MikroSD Kart	MikroSD Kart	MikroSD Kart	MikroSD Kart

Ekran Bağlantıları	RCA / HDMI / CSI	HDMI / CSI	HDMI / CSI	Micro HDMI
Ses Giriş-Çıkış	3.5mm jack	HDML	HDML	HDML
Ethernet Bağlantısı	Fast Ethernet	Fast Ethernet	Gigabit Ethernet	Yok
İç Birimler	UART, PWM, GPIO, SPI, I2C	UART, PWM, GPIO, SPI, I2C	UART, PWM, GPIO, SPI, I2C	UART, PWM, GPIO, SPI, I2C
İşletim Sistemi	Raspbian, FreeBSD	Raspbian, Linux, Windows IoT	Raspbian, Linux, Windows IoT	Raspbian, Linux,
Boyutlar	65*56 mm	85*56 mm	85*56 mm	65*30 mm

Tablo 3.8.'de Raspberry gömülü sistem ailesinde 1(B), 2, 3, Zero modelleri ile ilgili detaylı bilgiler verilmektedir. Raspberry'ye ait ilk model Raspberry Pi 1(Model B) 2013 yılında geliştirilmiştir. Bu modelin uygulamalardaki kullanım oranının gittikçe artması nedeniyle 2015 yılında Raspberry Pi 2 ve 2016 yılında Raspberry Pi 3 sürümleri geliştirilmiştir. Üretilen Parsberry Pi kartlarının tamamında Broadcom tarafından üretilen yonga mimarisi ve ARM tabanlı işlemciler kullanılmaktadır. Diğer kartlara göre daha düşük maliyetli olmasından dolayı daha fazla tercih edilmeye başlanmıştır.

Her cihaza uygun olarak tasarlanabilen ve tek karttan oluşan mini bir bilgisayar olan Raspberry İngilteredeki kendi vakfı tarafından bilgisayar teknolojilerini geliştirmek ve kodlama öğretimini yaygınlaştırmak amacıyla ilk olarak 2012 yılında üretim çalışmalarına başlanmıştır. Linux tabanlı Raspbian isminde işletim sistemi kullanan Raspberry aynı zamanda diğer Linux tabanlı işletim sistemleri olan Ubuntu, OpenElec, RISC OS gibi işletim sistemlerini de desteklemektedir. Raspberry normal bir bilgisayardan çok daha az enerji harcamaktadır. Standart bir masaüstü bilgisayarın ortalama saatlik enerji tüketimi 100Wh olduğunu düşünürsek yılda ortalama 876KWh'lık bir enerji ihtiyacı olacaktır. Bir Raspberry ise ortalama 4Wh enerji harcamaktadır. Bu da bir Raspberry için bir yılda harcanacak enerjinin yaklaşık olarak 35KWh olacağı anlamına gelir. Raspberry gömülü sistemler arasında; enerji tasarrufu, boyutu, sahip olduğu özellikleri ve uygun fiyatı ile bir adım öne çıkmaktadır [93].

Raspberry Pi görüntü işleme ve makine öğrenmesi gibi yeni teknoloji uygulamaları için tasarlanmış, minimum boyutta, düşük maliyetli ve genellikle Linux işletim sistemi ile kullanılan mini bir bilgisayar olup, kontrol işlemi için tasarlanmış basit bir mikroişlemci mantığında çalışmaktadır. Ayrıca Raspberry'nin üzerindeki 40 pin sayesinde birçok kontrol uygulaması aynı anda gerçekleştirilebilir. Bluetooth ve Wifi teknolojilerinin karta entegre edilmesi ile çevre birimler ile haberleşme performansı en üst seviyeye ulaşmıştır. Dokunmatik ekran ve kamera modülü portları sayesinde kontrol edilebilecek sistemlere müdahale rahatlıkla yapılabilmektedir. Raspberry Pi kartları ile sıcaklık, nem ve motor kontrolü gibi ev otomasyon uygulamaları şeklinde kontrol uygulamaları gerçekleştirilmektedir. Raspberry'de bulunan 'giriş-çıkış' modülündeki 'GPIO' pinlerinin kullanımı 'BOARD ve BCD' olmak üzere iki farklı yapıda gerçekleşmektedir. Bunun dışında Raspberry kartının çevre birimleri ile haberleşmeyi sağlayan 'DPI, GPCLK, PCM, I2C, SPI ve UART' gibi haberleşme ara yüzleri bulunmaktadır. Bu ara yüzler Raspbian işletim sistemi içerisindeki konfigürasyon aracı ile aktif ya da pasif hale getirilebilmektedir [93].

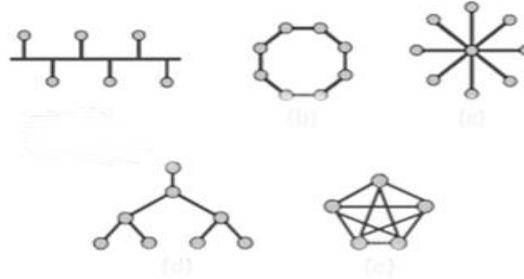
3.3. Haberleşme Teknolojileri

3.3.1. Ağ topolojileri

Genel olarak bilgisayarların veya çevre elemanlarının fiziksel veya mantıksal olarak birbirlerine bağlanma şekillerini ifade eden Topoloji, çeşitlerine göre aşağıdaki gibi beş gruba ayrılmaktadır [94]. Şekil 3.43.'de aşağıda özellikleri verilen her bir bağlantı şeklinin örnek gösterimleri yer almaktadır

- Yol topoloji; Bilgisayarların ve çevre birimlerinin doğrusal bir hat üzerinde konumlandırıldığı bu topolojide her bir birim uygun konnektörle hatta bağlanmaktadır. Başında ve sonunda olmak üzere her iki ucunda sonlandırıcı konnektörler bulunan bu çift yönlü hatta gönderilen bir sinyal, sonlandırıcı konnektörlere kadar giderek tüm birimlere ulaşmış olur.

- Halka topoloji; Fiziksel olarak bilgisayarların ve çevre birimlerinin bir daire üzerinde konumlandırılması ile oluşur. Her birimi diğer iki birim arasına konumlandırılarak, gönderilen sinyalin tüm birimlere ulaştırılması sağlanır.
- Yıldız topoloji; En yaygın kullanılan topoloji türlerinden biri olan Yıldız topolojide, tüm birimler merkezi bir cihaza bağlanmaktadır. Veri iletişimi merkezde bulunan cihaz üzerinden gerçekleştirilir.
- Ağaç topoloji; Temeli yıldız topolojisine dayanan bu bağlantı şekli birkaç yıldız topolojisinden oluşmuş ağların bir omurga üzerinde birbirine bağlanması ile oluşur.
- Mesh topoloji; Bu tip bir bağlantı şeklinde kurulan ağda bütün bilgisayarlar ve çevre birimleri birbirlerine direk bağlanır. Böylelikle bir birimden diğer birimlere kolayca ulaşılmış olur. Ancak her bir bağlantı ağın maliyetini arttıracığından normal bir uygulamada tercih edilmez. Bu topoloji daha çok yönlendirici cihazlar arasında kullanılır.



Şekil 3.43. Ağ topoloji modelleri.

3.3.2. OSI referans modeli

En basit tanımıyla OSI modeli; karmaşıklığı azaltan ve yedi katmandan oluşan, ağ cihazlarındaki birimlerin birbirleriyle nasıl iletişim kuracaklarını belirleyen, ağ yazılım ve donanımlarını kapsayan, ISO tarafından geliştirilen bir referans modelidir. [93]

OSI modeli birbirine bağımlı katmanlar arasında bir yapı üzerine kurulmuş olup, ISO standartlarına dayanarak ağ üzerindeki cihazların birbirleri ile olan iletişim yapılarını tanımlayan bir referans modelidir. İlk olarak 1978 yılında bir fikir olarak ortaya çıkan

OSI modeli, 1984 yılında yeni bir yapı olarak düzenlenmiş ve gün geçtikçe daha geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Günümüzde OSI modeli özellikle ağ işlemleri için temel bir standart haline gelmiştir [93].

OSI modelinin genel amacı; network yapılarının bir standart haline getirilmesidir. Model yapıları iletişimin sağlanmasına yönelik yapılarda karmaşık bir yol haritasına sahiptir. OSI yapısı birbirine bağımlı yedi farklı katmandan oluşmaktadır. Bu katmanlar arasındaki veri iletimi genel hatları ile şu şekildedir: Veri halinde alınan bilgi, taşıma katmanında kesim adı verilen birimlere ayrılarak veri alıcı cihazda tekrar bir araya getirilirken doğru sıralanması sağlanmış olur. Ağ katmanına ulaşan verilere burada adres bildirileri eklenerek veriler paketler haline dönüştürülmüş olur. Gelen paketlere ‘MAC’ adresleri eklenerek çerçeve isimli yapılar veri bağlantı katmanında oluşturulur. En son aşama olarak fiziksel katmanda ise paketlenmiş veriler bit dizisine dönüştürülür [93]. Şekil 3.44.’de yukarıdaki süreçten yer alan adımlar yani OSI modelini oluşturan katmanlar ve her bir katmandaki en çok kullanılan haberleşme protokolleri gösterilmiştir.

	Katman Adı	İçerdiği Protokoller
7.	Uygulama Katmanı	HTTP, HTTPS, SMTP, FTP, TFTP, UUCP, NNTP, SSL, SSH, IRC, SNMP, SIP, RTP, Telnet, ...
6.	Sunum Katmanı	ISO 8822, ISO 8823, ISO 8824, ITU-T T.73, ITU-T X.409, ...
5.	Oturum Katmanı	NFS, SMB, ISO 8326, ISO 8327, ITU-T T.6299, ...
4.	Taşıma (İletim) Katmanı	TCP, UDP, SCTP, DCCP, ...
3.	Ağ Katmanı	IP, IPv4, IPv6, ICMP, ARP, IGMP, ...
2.	Veri Bağlantısı Katmanı	Ethernet, HDLC, Wi-Fi, Token ring, FDDI, PPP, ...
1.	Donanım Katmanı	ISDN, RS-232, EIA-422, RS-449, EIA-485, ...

Şekil 3.44. OSI modeli katmanları ve protokolleri.

Farklı üreticiler tarafından geliştirilen endüstriyel ürünlerin birbirleri ile haberleşmesi için genel bir protokol oluşturmak amacıyla tasarlanan OSI modeli, verinin katmanlar arasında protokoller aracılığıyla üründen bağımsız olarak iletilmesini sağlayarak cihazların birbirleri haberleşmesini sağlamaktadır. Bu model sayesinde farklı birimler

arasındaki iletişim bir standarda oturtulmuş ve farklı standartlar arası genellikle ortaya çıkan iletişim sorunları ortadan kaldırılmıştır. Bu temel işlem yedi adet küçük katmana parçalanmış ve her bir katman için ayrı ayrı bir çözüm yolu oluşturulmuştur. En altta yer alan iki katman yazılım ve donanımdan oluşmaktadır. Bir cihazda çalışan ana uygulama programının, çevre birimleri içerisinde yer alan farklı bir cihaz içerisinde çalışan uygulama programı ile olan iletişimini sağlamak amacıyla olan OSI modelinde, en üst katmandan aktarılan bilgi en alt katmanda makine diline dönüşür ve sonuç olarak ‘1 ve 0’lardan oluşan elektrik sinyalleri ile iletilmiş olur [94].

3.3.2.1. Uygulama katmanı

‘HTTP, SMTP, POP, SNMP, FTP, Telnet, NFS, NTP, SSH, GTP ve SDP’ gibi protokoller ve standartlardan oluşan uygulama katmanı, son kullanıcının kullandığı uygulamaların veri iletişimde uyacakları standartları belirler. Son kullanıcının en sık kullandığı katman olarak da bilinen uygulama katmanı, bilgisayarlar uygulamaları ile ağlar arasında gerçek bir ara birim işlevi sağlamaktadır. Kullanıcıya en yakın olan bu katman diğer katmanlara servis sağlamaz [94].

Kullanıcıların çalıştırdıkları programlar ve bu programların çalıştırdıkları protokolleri barındıran bu katman, OSI modelinde en yukarıda yer alan katmandır. Örneğin e-posta gönderimi, dosya transferi ve veritabanı işlemleri bu katmandaki servisler ile sağlanır. Böylece kullanıcı programlarının, üzerinde çalıştığı makineden veya alttaki katmanlardan bağımsız olması sağlanmaktadır [94].

3.3.2.2. Sunum katmanı

Verilerin kodlama ve dönüştürme gibi işlemlerinin yapıldığı uygulama katmanına geçmeden önceki son olarak işlem gördüğü katmandır. Veri kodlama, çözme ve dönüşümleri gibi işlemlerin yer aldığı sunum katmanı ‘HTML, MIDI, MPEG, JPEG, TIFF’ gibi standartlardan oluşmaktadır. Verilerin ilgili kanallara iletilmesini sağlayan Sunum katmanı, bu noktada bilgilerin yapısal özellikleri ve biçimsel yapısına yönelik düzenleme işlemlerini gerçekleştirmektedir [94].

Diğer çevre birimleri ile iletişimde kullanılacak verinin formatının belirlendiği bu katmanda, uygulama katmanından gelen her türlü bilginin ortak anlaşılabilir bir dille(ASCII) çevrilmesi sağlanır. Genellikle Hoffman kodlama sistemlerinin kullanıldığı veri sıkıştırma işlemleri de ayrıca bu katmanda gerçekleşmektedir [94].

3.3.2.3. Oturum katmanı

Oturum katmanını iki cihaz arasındaki iletişimin güvenli bir şekilde kurularak başlatılmasını ve sonlandırılmasını işlemlerini sağlamaktadır. Bu katmanda ‘NFS, SQL, ASP, RPC’ gibi protokoller yer almaktadır. Veri iletişiminde temel işlevler olan; bağlantı kurma ve sonlandırma gibi işlevleri gerçekleştirdiği için sistem açısından son derece önemli bir katmandır. Bu nedenle güncelliğini sürekli koruyan sistem işleyişinin en temel noktasıdır [94].

Uygulamalar arasındaki bağlantıları kurma, yönetme ve sonlandırma görevlerine sahip olan oturum katmanı, bir cihazın birden fazla cihazla aynı anda iletişim kurması gerektiği durumlarda iletişimin doğru bir şekilde sağlanmasından sorumludur. Farklı cihazlarda yer alan oturumlar arasındaki bağlantıyı; ‘Named Pipes, NetBIOS, SIP, SAP, SDP’ protokolleri aracılığıyla oluşturmaktadır. İçerisinde barındırdığı NetBIOS ve Sockets gibi yapılar sayesinde farklı cihazlar ile aynı anda birden fazla bağlantıyı yönetebilmektedir [94].

3.3.2.4. İletim katmanı

‘DCCP, SCTP, SPX, TCP ve UDP’ gibi iletişim protokollerine sahip olan iletim katmanı, Üst katmandan gelen verileri bölümler halinde alt katmana iletirken, alt katmandan bölümler halinde gelen verileri birleştirerek üst katmana sunan böylelikle katmanlar arasındaki veri iletişimini sağlayan yapıdır. Ayrıca bu katman veriyi gönderen ve alan birimler arasında mantıksal bir bağlantının kurulmasını, veri akış kontrolünü ve verinin bütünlüğünü sağlamaktadır [94].

En temel işlevi; katmanlar arasında gerçekleştirilemeyen önemli işlemlerin sistem tarafından yönetilmesini sağlamaktır. ‘Quality of Service’ tanımı, bir ağ yapısının kalitesinin ölçümünde kullanılan kriterleri belirtmektedir. İletişim maliyeti, yapısal şekil, ağ kalitesi, bant genişliği, kayıp paketler, hata düzenlenmesi şeklinde olan bu kriterler sayesinde ağların servis sistemlerinin kaliteleri arttırılmaktadır [94].

Oturum katmanının içerisinde ekstra bir kontrol katmanı olan İletim katmanı, veri paketlerinin noktalar arasında sorunsuz bir şekilde gönderilmesinden sorumludur. İletim sırasında gönderilen paketler sürekli olarak bir önbellekte tutulur. Eğer veri paketi doğru bir şekilde gönderilmemiş ise, aynı paket birkaç kez daha gönderilir. Diğer taraftan veri doğru bir şekilde alınmış ise karşı tarafa işlem onay sinyali gönderilmekte olup sıradaki veri akış işlemine geçilir [94].

3.3.2.5. Ağ katmanı

‘IP, ICMP, IPsec, ARP, RIP, OSPF, BGP, IPX’ gibi protokollerden oluşan Ağ katmanı, Bir üst katmandan parçalar halinde gelen veriyi gideceği adres bilgisi ile alıcıya ileten ağ katmanı fiziksel olarak Routerların işlemlerini gerçekleştirmektedir. En temel işlevi; başka bir yapısal ağa yönlendirilmeyi en kolay ve en güvenli şekilde sorunsuz olarak sağlamak olan Ağ katmanı ile farklı ağ bağlantılarına gönderim işlemini en uygun maliyet ile gerçekleştirilebilmektedir. İletim katmanından gelen verilerin doğru adreslere ağdaki trafiği etkilemeyecek ve çakışmalara sebep olmayacak şekilde gönderilmesinden sorumlu olan ağ katmanı, veri paketine nereye gitmesinin gerektiğini gösteren ‘1 ve 0’lardan oluşan etiketler ekler [94].

3.3.2.6. Veri bağlantı katmanı

‘Ethernet, Token Ring, FDDI, PPP, HDLC, Frame Relay, ATM ve Fibre Channel’ gibi protokolleri içeren, donanım katmanına erişmek ve kullanmak ile ilgili kuralları belirleyen Veri bağlantı katmanı işlemlerinin büyük bir bölümü ağ kartı içerisinde gerçekleşir. Bu katmanda genellikle ağ üzerindeki diğer bilgisayarları tanımlama ve fiziksel katmandan gelen verilerin hata kontrol işlemleri gerçekleştirilir. Ayrıca veri bağlantı katmanında veriler standart bir uzunluk ile aktarılır. Standart uzunluğu

karşılamayan verilere bit ekleme işlemi yapılarak veriler standart hale getirilir. Bu katmanda ağ katmanından gelen veri paketleri hata bitleri eklenerek çerçeve adı verilen birimler halinde fiziksel katmana iletilir. Switch(Anahtar) ve Bridge(Köprü) cihazlarının görev aldığı bu katmanda ağa bağlı cihazların 'MAC' adresleri belirlenmiş olur [94].

3.3.2.7. Donanım katman

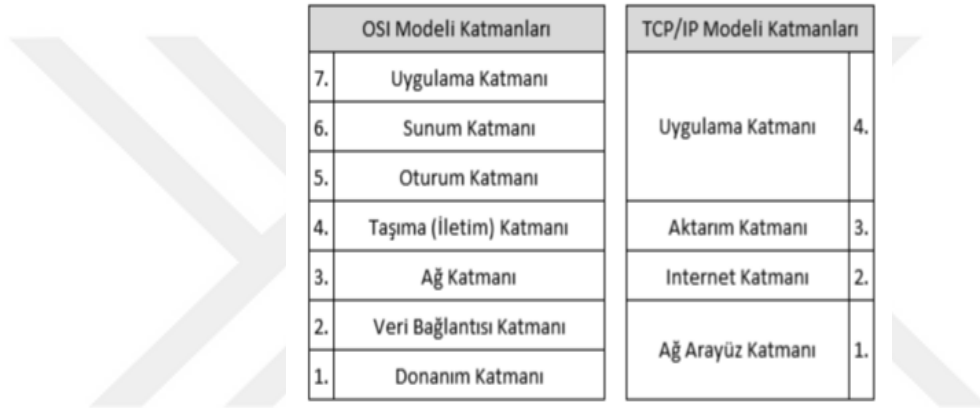
Verilerin fiziksel olarak iletilmesinin gerçekleştiği katman olup, verinin içeriği ile ilgilenmek yerine verinin taşınacağı ortam, bağlantı şekli ve konnektör türü, kablolama, veri gönderim hızı ve mesafesi gibi özelliklerle ilgilenilir. '10BaseT, 10BaseF, 100BaseT, 100BaseTX, UTP, RJ-45, RS-232, V.35, V.34, T1, E1, ISDN, SONET, DSL ve 802.11a/b/g/n' protokollerini içeren bu katman OSI modelinin en alt seviyesinde bulunan katmandır. Bu katmanda verinin fiziksel olarak iletilmesi; Koaksiyel, UTP veya Fiber Optik kablolar ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca IEEE 802. 3, 802. 4 ve 802. 5 gibi standartlara sahip olan donanım katmanı kablolamayı ve ağ kartına bağlanmayı sağlayarak, verinin gönderilmesini ve alınmasını sağlayan katmandır [94].

Bu katman, ağ kablolarından ve ağ kartlarına gelen verilerin elektrik sinyallerine dönüştürülmesi sürecinde görev almaktadır. Yani, bu katmanda üst katmanlarda gelen ham veri, elektrik sinyaline dönüştürülür. Eğer elektrik sisteminde ya da devre kartlarında bir problem yaşanır veya kablo bağlantılarında bir problem yaşanır veri aktarımı gerçekleşemez. Ağın elektriksel ve mekaniksel karakteristiklerini belirleyen donanım katmanı, modülasyon teknikleri, çalışma voltajı, çalışma frekansı gibi temel özelliklere sahiptir. [94]

3.3.3. TCP/IP referans modeli

TCP/IP modeli; 1970'li yıllarda 'ArpaNet' tarafından geliştirilmiş, olabilecek tüm ağ sistemlerinde sorunsuz iletişim kurmak amacıyla olan bir haberleşme modelidir. En önemli özelliklerinden biri iletim hatlarının kopması durumunda iletimin alternatif

yollar kullanarak devam etmesini sağlamasıdır. TCP/IP Modeli, OSI Modelinden referans alan dört katmanlı mimariye sahip bir protokoldür. Şekil 3.45.’de gösterildiği gibi bu katmanlar Uygulama, Aktarım, İnternet ve Ağ Arayüz katmanlarından oluşmaktadır. Uygulama katmanı OSI modelindeki uygulama, sunum ve oturum katmanlarının tümüne, aktarım katmanı taşıma katmanına, internet katmanı ağ katmanına, ağ ara yüz katmanı ise OSI Modelindeki veri bağlantı ve donanım katmanlarının birleşimine denk gelmektedir. Yine Şekil 3.45.’de OSI modelindeki katmanlar ile TCP/IP modelindeki katmanların karşılaştırılması gösterilmiştir [95].



Şekil 3.45. TCP/IP modeli katmanları ile OSI modeli katmanları karşılaştırılması.

OSI protokolleri TCP/IP’ye göre daha yavaş geliştirilmektedir. İnternet kavramının sürekli gelişmesi ile TCP/IP protokolü hızla gelişmekte olup daha çok uygulamaya dönük bir yaklaşım modeli sunmaktadır. TCP/IP, temelinde ‘IP’ mantığının yer aldığı ve ‘TCP-UDP’ standartlarının kullanıldığı bir protokol kümesidir. Veri iletişim gereksiniminin fazla olduğu sistemlerde gösterdiği performans ve platformdan bağımsız olarak çalışması sayesinde oldukça yaygınlaşmış bir protokol olan TCP/IP protokolü bugün, internete bağlı olduğu milyonlarca cihazın birbirleri ile haberleşmesin kullanılan bir altyapı oluşturmuştur. Çok basit ve esnek yapıya sahip olması nedeniyle TCP/IP protokolü bugün hemen hemen her işletim sisteminin standart olarak kullandığı bir protokoldür. Bu bağlamda TCP/IP’nin bugün evrensel bir protokol olduğu sonucuna varılabilir [96].

3.3.4. TCP/IP katmanları ve protokolleri

Cihazlar üzerinde çalışan uygulama programları arasındaki iletişimi sağlayan TCP/IP protokolü, Sunucu(Server) ve Kullanıcı(Client) taraflı iki farklı fonksiyonel mimaride haberleşmeyi gerçekleştirmektedir. TCP protokolü sayesinde uygulamalardan biri gelen veriyi işleyip diğer uygulamaya iletirken, ikinci uygulama işlenmiş veriyi görüntüleyip kullanır. TCP/IP referans modelinde her katman değişik görevlere sahip olup altındaki ve üstündeki katmanlar ile gerekli bilgi alışverişini sağlamakla yükümlüdür. Bu bilgi alışverişinde kullanılan farklı protokoller bulunmaktadır. Bu kısımda, TCP/IP referans modelinde yer alan her katman ve katmanların barındırdığı iletim protokolleri detaylı bir şekilde incelenmektedir.

3.3.4.1. Uygulama

TCP/IP referans modelinin en üst katmanında yer alan Uygulama katmanı, ağa ulaşmak ve ağ üzerinde iletişim kurmak isteyen tüm yazılımların kontrol edildiği katmandır. Bu katmanda yer alan temel protokoller, uygulama programların çalışma mantığını ve programlar arasındaki veri iletişimin nasıl olması gerektiğini belirlemek ayrıca kullanıcıların talep ettiği bilginin ilk olarak nasıl elde edilebileceğinin belirlemek amacıyla kullanılır. ‘HTTP, SMTP, FTP, SNMP, Telnet’ gibi protokollerin yer aldığı bu katmanda; uzaktan erişim, web sayfalarını görüntülemek, dosya transferi ve posta uygulamaları gibi uygulamalar yer almaktadır [93,97].

3.3.4.2. Aktarım

Uygulama katmanından gelen veriyi ihtiyaç duyulduğunda küçük parçalara ayırıp ağ katmanına gönderen, ‘DCCP, SCTP, SPX, TCP ve UDP’ gibi protokollerden oluşan Aktarım katmanı, uygulama tarafından ihtiyaç duyulan her bağlantısı için socket adı verilen sanal bir ağ geçidi oluşturmaktadır. Socket, internette ana sistemler arasında güvenilir, noktadan noktaya ve akış tabanlı bağlantılar oluşturmak için kullanılan sanal bir ağ yapısıdır. Uzaktaki bir cihaza bağlanarak veri gönderme ve alma işlemlerini gerçekleştirerek bağlantı kontrolünü sağlamak gibi temel görevleri olan Socket

uygulaması çift yönlü bir iletişim protokolüdür. TCP/IP protokolü sistemin kendi içerisindeki işlemleri gerçekleştirebilmek için iki farklı temel protokolü içermektedir. Bunlar TCP ve UDP olarak adlandırılan protokollerdir. Bu protokoller, daha alt katmanlardan gelen verilerin hangi bölümlere gideceğini belirler. TCP/IP referans modelinin 3. katmanı olan aktarım katmanı, ‘Datagram’ adı verilen paketler içerisine verinin kimlik bilgilerini yerleştirir. Bu katmanda yer alan uygulamaların kullandığı protokoller değiştikçe üzerinde iletişimi sağladıkları port numaraları ve kanallarında değişmektedir. Bu bağlamda dosya transferi için ‘FTP’ protokolü ‘20’ numaralı portu kullanırken, e-posta uygulamaları için ‘SMTP’ protokolü ‘25’ numaralı portu, Tarayıcı üzerinde çalışan uygulamalar için ‘HTTP’ protokolü ‘80’ numaralı portu kullanmaktadır [93,99,100].

3.3.4.3. İnternet

‘IP(IPv4, IPv6), ICMP, ARP, IGMP ve IPsec’ gibi protokollere sahip olan İnternet katmanı, Ağ katmanı olarak da adlandırılmaktadır. Paketlerin ağ üzerindeki hareketlerini düzenleyen bu katman, paketin istenilen noktaya ulaşması için rota belirler ve paketi doğru yere ulaştırmak için kendi başlık bilgisini bir üst katmandan gelen veriye ekler. TCP/IP referans modelinin 2. katmanı olarak görev alan İnternet katmanı aktarım katmanından gelen verilerin IP paketleri haline dönüştürülüp yönlendirilmesinden sorumludur. Ayrıca bilgisayarlar arasındaki iletişimin nasıl gerçekleşeceğini de İnternet katmanı belirlemektedir [93].

3.3.4.4. Arayüz

‘ATM ve Ethernet’ gibi protokolleri içerisinde barındıran Arayüz katmanı; ağ bağdaştırıcıları, tekrarlayıcılar, yönlendiriciler ve kablolar gibi ağın fiziksel özellikleri ile ilgili araçları bulundurmaktadır. TCP/IP modelinin en alt katmanında yer alan bu protokol, iletmeye hazır veriyi haberleşme kanalından iletmek için tasarlanmış olup bilgisayarlara bağlı olan ağ cihazlarını göstermekte ve verilerin elektriksel işaretler yoluyla çeşitli iletim ortamlarından fiziksel olarak aktarılmasını sağlamaktadır. Ayrıca ‘MAC’ adreslerinin nasıl kullanılacağı da bu katmanda tanımlanmaktadır. OSI

referans modelindeki fiziksel katmanı ve veri bağlantı katmanlarının her ikisine birden karşılık gelmektedir [93]. Bu bölümde Arayüz katmanında yer alan protokoller incelenmektedir.

3.3.5. Soket uygulaması

Haberleşme uç noktalarını belirten Soket, bir tür süreçler arası haberleşme yöntemidir. Temel mantıkta dosyalara benzeyen soketler dosyalardan veri okuma mantığı ile çalışmaktadır. Günümüzde tasarlanan birçok uygulamanın haberleşme altyapısı soketlerden oluşmaktadır. Örneğin web sunucuları '80', telnet sunucuları '23' numaralı bağlantı noktaları üzerinde çalışır. Soket programlamanın temelini oluşturan terimler şu şekildedir [101]:

- İstemci(Client): Hizmeti isteyen soket ucudur. İsteddiği zaman sunucuya bağlanır, isteklerinin yanıtını alır ve bağlantıyı kapatır.
- Sunucu(Server): Hizmeti veren soket ucudur. İstemcinin herhangi bir anda kendisine bağlanıp, ondan hizmet isteyebileceğinden sürekli çalışmaktadır.

İSTEMCİ	SUNUCU
Soket oluştur	Soket oluştur
	Sunucu adres bilgilerini yerleştir
	Soketi adres ve isim bilgileri ile ilişkilendir
	Soketi dinlemeye başla
Bağlantı yap	Bağlantıyı kabul et
Veri gönder	Veri al
Veri al	Veri gönder
Diğer işlemler...	Diğer işlemler...
Soketi kapat	Soketi kapat

Şekil 3.46. Soket işlem yapısı.

Bir soket uygulamasında verinin iletiminde gerçekleştirilen işlemler Şekil 3.46.'da ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir. Veri iletim işlemi istemcinin sunucu üzerinde bir bağlantı açması yani soket oluşturması ile başlamaktadır. Sunucu, istemci isteğini

kabul eder ve bağlantı oluşturulur. Çift taraflı veri iletim işlemi gerçekleştirildikten sonra bağlantı istemci tarafından oluşturulan bir istek ile kapatılır. Böylelikle veri iletimi güvenli ve doğru bir şekilde gerçekleştirilmiş olur. Bütün mesajlar protokol gereği olan fiziksel katmandan, mantıksal '1 ve 0'lara karşılık gelen elektriksel sinyaller ile gönderilir. Oluşturulan soket programı ya sunucu ya da istemci olabildiği gibi ikisinde görevini yerine getirebilecek bir programda dâhil olabilir.

3.3.6. Endüstriyel sistemlerde haberleşme teknolojileri

Endüstriyel uygulama ortamlarında donanımsal ve yazılımsal mimarilerin birbirleri ile haberleşmesinde ihtiyaçlara ve sahip olunan altyapıya göre farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler kablolu veya kablosuz olmak üzere iki farklı çeşitte olabilmektedir. Bu tip veri iletim sistemlerinde belirli kurallara ve standartlara uyulmak zorundadır. Bu bağlamda karmaşık yapıya sahip ağ modellerinde, güvenli ve doğru bir veri iletimi sağlamak için uluslararası standartlar organizasyonu tarafından, OSI referans modeli önerilmektedir [104].

3.3.6.1. Kablolu haberleşme

Veri iletim standartının yedi katmandan oluşan her basamağında temel veriye üst bilgisi eklenerek ilgili alıcıya iletilir. Üzerinde yedi katmanın üst bilgilerinin bulunduğu veri göndericinin iletmek istediği alıcıya içeriği değişmeden ulaştırılmış olur. Endüstriyel alanda kullanılan kablolu haberleşme yöntemleri verinin fiziksel bir altyapıda elektrik sinyallere iletilmesini konu alır [104]. Bu bölümde otomasyon sistemlerinde sıklıkla kullanılan kablolu haberleşme teknolojilerinden bahsedilmektedir.

RS-232; Seri arabirim standartlarının en yaygın olarak kullanılanı ve en eski yöntemlerden biri olan 'RS-232', endüstride kullanılan elektronik otomasyon sistemlerinde, kontrol veri iletişimde, bilgisayarlar ve çevre birimlerinin

haberleşmesinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. ‘DTE ve DCE’ olmak üzere iki uçtan oluşan bilgisayar ve çevre birimleri ile seri iletişim gerçekleştiren cihazlar arasında asenkron iletişimi sağlamak amacıyla geliştirilen bir haberleşme standardı olan ‘RS-232’, iki uç arasında asimetrik haberleşme yapıldığı durumlarda kullanılmakta olup ilk olarak 1962 yılında ortaya çıkmış ve kullanılmaya başlanmıştır [105].

RS-422/485; İlk olarak Apple tarafından kullanılan bir standart olan ‘RS-422’, veri gönderme ve veri alma sinyallerinden oluşmakta ve her ikisi için de bir hat bulundurmaktadır. Bu sayede ‘RS-422’ yüksek gürültüde ve uzak mesafelerde daha iyi sonuçlar verebilmektedir. ‘RS-485’ standardı ise, ‘RS-422’yi temel alan 32 cihaza kadar haberleşme imkanı sağlayan bir standart olup maksimum yükte dahi gerekli sinyal gerilimlerini sağlayabilmekte ve birçok birimden oluşan ağları destekleyebilmektedir. ‘RS-485’ standardı, 1200 metreye kadar cihazlar arası iletişime izin vermektedir [105].

İki veri hattı arasındaki diferansiyel gerilimi ölçen, simetrik ve çok noktalı bağlantıya ihtiyaç duyulan uygulamalarda kullan ‘RS-485’, Otomasyon sistemlerindeki karmaşıklığın artması, algılama elemanlarının sayısındaki kayda değer artış ve projelerin kontrol edilebilirliğinin gittikçe azalması sebeplerinden dolayı ortaya çıkmıştır. Daha az kablo ile daha fazla veri taşıyabilen ve veriyi sadece iletmekle kalmayıp durum kontrolünü de aynı hat üzerinde gerçekleştirebilen seri haberleşme protokolleri bu ihtiyacı karşılamak için oluşturulmuştur [104].

USB; Tak kullan olarak kullanılabilen ‘USB’ standardı, portatif çevre birimlerinin bilgisayara dışarıdan kolayca bağlanabilmesini sağlamaktadır. Enerji tasarrufu sağlayabilmek için tasarlanmış olan bu port harici bir güç kaynağına ihtiyaç duymaması ve cihazlarda kullanılabilmesi için sürücülerin yüklenmesine ihtiyaç duymaması sayesinde tercih edilen bir haberleşme standardıdır. ‘USB’, birçok çevrebiriminin direk olarak bilgisayara bağlanmasını sağlamaktadır. Bir ana denetleyiciye maksimum 127 cihaz bu protokol aracılığıyla bağlanabilmekte olup farklı İki bağlantı arasındaki mesafe en fazla 5 metre olabilmektedir. Fiziksel

cihazların birçok fonksiyonu yerine getirebilmesi için ‘USB’ terminolojisinde fonksiyon yapısı ön plana çıkmıştır [105].

‘USB’ standartındaki fonksiyonlar 32 aktif lojik kanala sahip olmak ile birlikte sinyaller ‘D+ ve D-’ olarak adlandırılan çift bükümlü veri iletim kablosu üzerinden aktarılmaktadır. Böylelikle uzun mesafelerde sinyallerin gürültüden etkilenmesi minimuma indirilmiştir. İletilen sinyal lojik seviyeleri ‘0,0-0,3’Volt düşük seviye ve ‘2,8-3,6’Volt yüksek seviye olarak belirlenmiştir. Düşük güçteki cihazların kullanılabileceği besleme uçları(VCC, GND) ‘USB’ modülü üzerinde yer almaktadır [105].

Ethernet; Aynı ortamda birbirleriyle alakalı işlerde çalışan bir topluluk cihazlarının veri alış verişi ve çevre birimlerinin haberleşmesi amacıyla geliştirilmiştir. Ethernet bağlantılarının yakın mesafede gerçekleşiyor olması maliyeti azalttığı gibi esnekliği arttırmaktadır. Bu protokol cihazın veri göndermeden önce ağı dinlemesi temeline dayanır. Eğer ağa bağlı kablo üzerinden başka bir terminal veri gönderiyorsa, ağı müsait olana kadar bekler ve en uygun durumda veri gönderimini tekrarlar. İki bilgisayar aynı anda veri göndermek isterse çarpışma oluşur. Bu durumda her iki veride iletilemez. Uygun durumlarda tekrar iletmeyi bekleyen verilerde gönderici tarafından ağın durumunu milisaniyeler içinde taraması sebebiyle her hangi bir gecikme yaşanmaz [105].

Düz, yıldız ve ağaç topolojilerinde kullanılabilir olan Ethernet protokolünde; ağ üzerinden aktarılacak veri, sabit boyutlarda küçük paketler haline getirilmiştir. Paketler küçük yapıda olduğu için saniyeler içinde farklı bilgisayarlar tarafından veri iletimi gerçekleştirilmekte olup büyük boyuta sahip dosya transferinde küçük parçalar ile veri iletimi ağın tamamını uzun süre meşgul tutmayarak ağdaki veri iletimde aksaklıklara neden olmamaktadır. Ethernet kablosu üzerinde 8 adet metal bağlantı noktası bulunan ‘RJ45’ konnektörü yer almaktadır. Ethernet ilk olarak kalın koaksiyel kablo üzerinden 10Mbps hız özelliği ile geliştirilmiş fakat ilerleyen teknolojik altyapı sayesinde Fast Ethernet ve Gigabit Ethernet olarak adlandırılan, 100Mbps ve 1Gbps hızlara çıkabilen teknolojiler geliştirilmiştir. Ethernet'in 1Mbps olan band genişliğini 1Gbps'a

çıkarılmış olması ve diğer teknolojilere göre daha az maliyetli olması ‘LAN’ uygulamalarında tercih edilen çözümlerden biri olmasına neden olmuştur [105].

GPİB IEEE-488; 15 cihaza kadar, 8 bit paralel elektrik hattı üzerinden haberleşme ortamı sağlayan ‘GPİB’ standarttı, 24 farklı sinyal yoluna sahiptir. Orijinal standartta 1Mbps hız ile veri aktarılırken, ‘IEEE-488’ ile bu hız 8Mbps’a çıkmaktadır. Konuşmacı, dinleyici veya denetleyici olabilen ‘GPİB’ cihazlarından konuşmacı, veri alan dinleyici veya dinleyicilere mesaj gönderebilmektedir. Denetleyiciler ise, ağ üzerindeki tüm cihazlara hattın durumu hakkında bilgi göndermektedir. Birçok denetleyici olabileceği gibi anlık olarak denetleme görevini tek bir cihaz yönetebilmektedir [105].

PLC; Gönderilecek veriyi belirli bir frekanstaki radyo işaretleri ile modülasyon işlemine tabi tutarak ileten ve Enerji Hattı Düzenleme sistemleri için geliştirilmiş ortak bir standart olan ‘PLC’, sinyal iletimi için kullanılan bakır iletkenlerle işlevlerini gerçekleştiren bir kontrol sistemidir. ‘PLC’ sistemlerinde kullanılan frekans bandı ve modülasyon tekniği haberleşmenin verimliliği ve hızı açısından önemlidir. ‘PLC’lerde Orta Frekans(300KHz/3MHz), Yüksek Frekans(3MHz/30MHz) ve Çok Yüksek Frekans(30MHz/300Mhz) spektrumları olmak üzere kullanılan üç farklı frekans bandı bulunmaktadır. ‘PLC’ haberleşmesi genellikle uzun mesafeli ve düşük hızlarda veri iletimi için kullanılmaktadır [104].

Modbus; 1979 yılında Modicon firması tarafından geliştirilmiş bir protokol olan ‘Modbus’ protokolü, ‘Sunucu-İstemci’ tabanlı olarak endüstride kullanılan uygulamaların haberleşme altyapısında kullanılmaktadır. Birden fazla ‘master-slave’ sistemlerini izlemek ve aygıtları programlamak amacıyla, ‘PLC’leri, algılayıcıları ve diğer aygıtları birbirleri ile haberleştirmek veya alan içerisindeki cihazların uzaktan kontrolü için kullanılan bir protokoldür. Verilerin alıp gönderilebildiği ve bir merkezden yönetildiği endüstriyel ağ sistemi olarak tanımlanabilen ‘Modbus’, açık kaynak bir protokol olması yönünden farklı üreticiler bu protokole uygun cihazları herhangi bir maliyet olmaksızın üretebilir ve bu protokolü kullanabilirler. Bu gibi özelliklerinden dolayı günümüz endüstrisinde yaygın olarak kullanılabilen ‘Modbus’,

sadece akıllı cihazlara değil gelişmiş sensörlere de direkt olarak uygulanabilir esnekliğe sahiptir [104].

Profibus; Endüstriyel otomasyon uygulamalarında standart olarak kabul edilen bir ağ iletim protokolü olan ‘Profibus’ haberleşme sistemi, programlanabilir lojik kontrol üreticileri tarafından geliştirilmiş olup geniş kapsamlı üretim otomasyonu için tasarlanmış üreticiden bağımsız açık kaynak iletişim standarttı olarak tanımlanmaktadır. Otomasyon sistemleri ile merkezi olmayan cihazlar arasında hızlı ve doğru veri iletimi sağlayan bu sistem, özellikle programlanabilir lojik kontrolörün merkezde, çevre birimlerinin çalışma sahasında olduğu durumlarda iletim hatlarının oluşturulması için en çok tercih edilen yöntemlerden birisidir. OSI referans modeline yönelik bir protokol mimarisi tabanında geliştirilen ‘Profibus’, etkili bir haberleşme protokolü olmanın yanında kullanıcı arabirimi olarak ‘1. ve 2.’ katmanlarda görev almaktadır [104].

MPI; Ayarları ve kullanımı oldukça basit olan ve özellikle işlemciler arası haberleşme işlemlerinde yoğun olarak kullanılan ‘MPI’ standarttı, bir bağlantı kablosu ve konnektör dışında bir donanım ihtiyacı duymaz. Maksimum 32 adet katılımcının bağlanabildiği ‘MPI’ ağının, iletim hattı uzunluğu en fazla 50 metre olabilmektedir. Maksimum verimin sağlandığı 50 metre skalasının üzerindeki mesafeler için ‘RS-485’ yükseltici konnektörünün kullanılması gerekmektedir. Toplamda 10 adet kullanılabilir olan bu yükselticilerin hat uzunluğu 1000 metreye kadar çıkabilmektedir. ‘MPI’ iletim hattındaki başlangıç ve bitiş noktalarında yer alan birimlere sonlandırıcı direnci kullanılmalıdır ki hat üzerindeki diğer cihazlar ile sorunsuz bir şekilde iletişime geçilebilsin [104].

3.3.6.2. Kablosuz haberleşme

Kurulum maliyetlerini azaltması, kablolama hatalarını ortadan kaldırması, bağlantı kopma gibi sorunların yaşanmaması ve donanım karmaşıklığının ortadan kaldırması ile birlikte teknolojinin hızla gelişmesi kablosuz iletişim ile yapılan çalışmaların sayısını oldukça artmaktadır. Her bir çeşidinin diğerinden farklı bir işlevi bulunan

kablosuz ağ sistemleri, kendi içerisinde kullanıldığı alanlara göre türlere ayrılmıştır. Kablosuz ağ çeşitliliğin genel nedeni belirli bir yapıya göre hazırlanmış bu nedenle diğer yapılarda farklılık gösterebilecek sistemsel ürünler olmasıdır. Sistemlerin farklı olması, bağlantıların daha aktif bir şekilde kullanılmasını sağlamıştır. Şekil 3.47.’de özellikle endüstriyel sistemlerde kullanılan kablosuz haberleşme teknolojilerinin özellikleri karşılaştırılmış olup bu bölümde bu teknolojilere değinilmektedir.

Kapsama	Kablosuz Teknoloji	Standart Ekleri	Tarih	Frekans	Hız (Teorik)	Mesafe (Teorik)
WPAN	NFC	ISO 14443	2004	13.56 MHz	424 Kbit/s	4-10 cm
	Bluetooth	802.15	1999	2.4 GHz	1-24 Mbit/s	1-100 m
	Zigbee	802.15.4	2004	2.4 GHz	1-2 Mbit/s	10-75 m
WLAN	Wi-Fi	802.11	1997	2.4 GHz	1-2 Mbit/s	30-100 m
		802.11a	1999	5 GHz	25-54 Mbit/s	25-75 m
		802.11b	1999	2.4 GHz	6-11 Mbit/s	35-100 m
		802.11g	2003	2.4 GHz	24-54 Mbit/s	25-75 m
		802.11h	2004	5 GHz	24-54 Mbit/s	25-75 m
		802.11n	2006	2.4/5 GHz	200-540 Mbit/s	50-125 m
		802.11ac	2013	2.4/5 GHz	540-1300 Mbit/s	100-200 m
WMAN	WiMAX	802.16d (sabit)	2001	2-11GHz	75-100 Mbit/s	6.5-10 km
		802.16e (mobil)	2005	2-6GHz	30 Mbit/s	1.5-5 km
	LTE		2009	2-8 GHz	50-100 Mbit/s	1.5-6 km
WWAN	WiMAX2	802.16m	2011	2.3-3.5 GHz	360 Mbit/s	75 km
	LTE-Advanced		2010	2-8GHz	300 Mbit/s	100 km

Şekil 3.47. Kablosuz haberleşme teknolojilerinin karşılaştırılması.

RF; Bağlantılar arasındaki iletişimi belirli bir frekans bandı aralığında sağlayan elektromanyetik dalgalar yoluyla gerçekleştirmekte olan ‘RF’ haberleşme yöntemi, ev otomasyon sistemleri ve güvenlik sistemleri gibi daha basit uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. İletişimde kullanılan elektromanyetik dalgalar ‘10kHz - 3000GHz’ frekans aralığını kapsamaktadır. ‘2,4-2,8GHz’ frekans bandı aralığında çalışan, Geniş bant kablosuz iletişim sağlayan sistemler belirli bir maliyet gerektirirken daha basit uygulamalar için kullanılan ‘433-860MHz’ frekans bandında çalışan kablosuz haberleşme sistemleri ise her hangi bir lisans ücreti gerektirmemektedir [104].

GPRS; Uzun ömürlü, fiziksel koşullara dayanıklı ve gömülü olarak kullanılan ‘SIM’ kartları üzerinden veri iletimini sağlayan ‘GPRS’ protokolü, özellikle düşük maliyetli sistemlerde daha çok tercih edilmektedir. Yüksek güç tüketimine rağmen yüksek veri iletim hızı, düşük maliyet ve fiziksel ortamlarda dayanıklılık gibi özellikleri bulunan ‘GPRS’ hücresel haberleşme teknolojisi; ‘2G, 3G, 4G, 4.5G, 5G’ gibi iletişim protokollerine sahiptir. Verilerin ‘GSM’ şebekeleri üzerinden 115Kbps'e kadar varan hızlarda iletilmesini sağlayan radyo frekansı tabanlı mobil iletişim servisi olan ‘GPRS’, periyodik olmayan verilerin iletiminde ve küçük veri miktarlarının tekrarlı iletiminde yaygın olarak kullanılan sistemlerdendir. Sistemler arasında veri iletişimin sağlanması standart OSI modelinin fiziksel katmanı ve veri bağlantı katmanı aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. ‘GPRS’ ağları için ‘IEEE2 tarafından belirlenen uluslararası standartlar oluşturulmuştur [104].

İletişim hızı, haberleşme mesafesi, veri güvenliği ve fiziksel ortam gibi veri iletimini olumsuz etkileyecek etmenlerin uygulamalar üzerindeki etkisi diğer haberleşme sistemlerine nazaran ‘GPRS2 sistemlerinde minimum seviyelere indirilmiştir. Hücresel sistemler olarak da adlandırılan ‘GPRS’, hızla büyüyen teknolojik altyapı sayesinde sürekli kullanımını artırmaktadır. Fiziksel ortamdaki olumsuzluklara dayanabilmesi diğer kablosuz haberleşme yöntemlerinden farklılık gösteren en önemli özelliklerinden biridir. ‘GPRS’ haberleşme yöntemi, ‘GSM’ şebekesinin çekim gücünün yüksek olduğu her bölgede fazla donanım altyapısı ve maliyeti gerektirmeden, yüksek oranda veri güvenliği sağlayan kaliteli bir haberleşme sistemidir [106].

Bluetooth; Cep telefonu gibi iletişim aygıtlarında veri iletimini sağlamak için oldukça fazla kullanılan kablosuz haberleşme teknolojisi olan Bluetooth, 24Mbps seviyelerine kadar veri aktarımına izin vermekte ve 2,45GHz ‘ISM’ bandında iletişim kurmakta olan Bluetooth teknolojisi, kısa mesafeli kişisel bir iletişim tekniği olarak bilinmektedir. ‘IEEE tarafından 802.15.1’ olarak standartlaştırılmış kablosuz haberleşme teknolojisi olan Bluetooth teknolojisinin, kısa mesafede veri alışverişi için senkronizasyonun uzun sürmesi ve aynı anda kullanılabilecek aygıt sayısının az olması

sebebiyle kullanım alanları kısıtlıdır. Düşük maliyet ve düşük güç tüketimi üzerine kurulan bu teknolojiye, veri iletimini gerçekleştirmek için iki farklı mod bulunmaktadır [104].

1994 yılında geliştirilen ve kısa mesafeli kablosuz iletişim protokolü olan ‘BLE’ (Bluetooth Smart), düşük enerji tüketimi sayesinde özellikle ‘IoT’ uygulamalarında tercih edilmektedir. Teorik olarak veri iletim hızı fiziksel katman üzerinde 1Mbps olarak belirtilse de, uygulama çevirimi içerisinde tüm faktörler göz önüne alındığında veri iletim hızının maksimum 48Kbps seviyelerinde olduğu görülmektedir [107].

Zigbee; ‘IEEE 802.15.4’ standartını kullanan daha çok veri akışının az olduğu yerlerde tercih edilen bir kablosuz iletişim olan ‘Zigbee’, çok düşük güç tüketimine sahip olması, düşük maliyetli olması ve donanım alt yapısının basit olması ile veri güvenliği açısından kararlı çalışması yönleri sayesinde tercih edilebilir kablosuz haberleşme yöntemlerinden biridir. Sağladığı avantajlarının dışında veri iletim hızının düşük olması ve kısa mesafelerde çalışabilmesi gibi bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Diğer kablosuz ağ yapılarının en basit hali olarak karşımıza çıkan ‘ZigBee’, özellikle ev otomasyonu uygulamalarında ve yakın mesafedeki aygıtların kablosuz olarak haberleşmesi durumlarında tercih edilmektedir [104].

Arıların hayatlarında çizdikleri yoldan esinlenerek isimlendirilmiş olan ‘Zigbee’, enerji tasarrufu sağlayabilmek için uygulama tarafında kullanılmadıkları durumda pasif olarak çalışmaktadır. Dört katmandan oluşan ayrıca yıldız, nokta ve ağaç yapıları gibi çeşitli yapıları da desteklemekle birlikte, genellikle uzaktan kumanda ve kısa mesafeli sensör uygulamalarının haberleşme altyapısı olarak kullanılan bir kablosuz haberleşme protokolü olan ‘ZigBee’, Lisanssız radyo spektrumunu kullanmakta olup üç farklı lisanssız bantta çalışabilmektedir [107].

Wi-Fi; Günümüzde üretilen tüm akıllı sistem uygulamalarında kullanılabilen ‘Wi-Fi’ teknolojisi, ‘IEEE 802.11’ standartına dayalı olarak geliştirilmiş olup en önemli özelliklerinden biri kapsama alanının diğer teknolojilere oranla çok daha fazla olmasıdır. Altyapı sisteminin gelişmiş olması büyük boyutlu veri aktarımı

yapabilmesini sağlamaktadır. Bu özelliklerinin yanında yüksek oranda güç tüketimi nedeniyle kullanılabilirliği azalmaktadır. ‘Wi-Fi’, hızlı ve kolay erişilebilirlik, hassas ve güvenlik, yüksek servis kalitesi ve rahat kullanılabilirlik gibi özellikleri sebebiyle tercih nedeni olan ‘IEEE’ tarafından kablosuz yerel ağlar için geliştirilmiş bir radyo iletişim standartıdır [106,107].

6LoWPAN; Ağ üzerinde yer alan aygıtların iletişim kurabilmeleri için kullandıkları İnternet Protokolünün temelinde ‘IP’ adresleri yer almaktadır. Akıllı sistemlerin gelişmesi ile çok daha fazla birimin internet ağına katılması ‘IPv4’ protokolünün ‘IP’ adreslemesinde yetersiz kalmasına neden olmaktadır. Bu yüzden ‘IPv4’ün yerine daha gelişmiş özelliklere sahip ‘IPv6’ sistemi geliştirilmiştir. ‘IPv6’nın kısaltması olarak bilinen ‘6LoWPAN’, ‘IEEE 802.15.4’ standartına uygun olarak çalışan bir ağ teknolojisidir. Düşük güç tüketimi özelliği ve mikro cihazlar üzerinde haberleşme sağlayabilmesi ile gün geçtikçe değer kazanan ‘6LoWPAN’, paketleri gönderme, alma, kapsülleme ve sıkıştırma gibi ekstra özellikleri de içerisinde barındırmaktadır [106].

LoRaWAN; LoRa Alliance tarafından yönetilen açık standart bir protokol olan ‘LoRaWAN’; bölgesel bir networkde genellikle batarya ile çalışan ölçüm noktaları için tasarlanmış iki yönlü ve güvenli iletişimi hedefleyen bir kablosuz haberleşme teknolojisidir. Uzun mesafe anlamına gelen ‘LoRaWAN’, Sensörlerin yoğun olduğu uygulamalarda enerji verimliliği sağlamak amacıyla yaygın olarak kullanılmakta olup, lisanssız spektrumda çalışan bir teknolojidir. Temel olarak bilinen üç tip ‘LoRaWAN’ ağ geçidi olup bunların her biri kullanım durumlarına ve uygulama gerekliliğine göre farklı şekillerde devreye alınmaktadır. Bulunduğu ortama göre ‘300bps - 50Kbps’ arası veri aktarım hızına sahip olan bu teknolojinin, merkezi alanlarda 2km, kırsal alanlarda ise 10km’ye kadar kapsama alanı bulunmaktadır [107].

NB-IoT; Hücresel telekomünikasyon bantları kullanılarak servislerin birbirleri ile haberleşmesini sağlamak için geliştirilmiş bir kablosuz haberleşme teknolojisi olan ‘NB-IoT’ ‘3GPP’ tarafından standartlaştırılmıştır. ‘NB-IoT’ sisteminin kullanım açısından farklı bir teknolojiye sahip olması ‘GSM’ altyapısını kullanmasından

gelmektedir. Özelleştirilmiş bir altyapısının olması standart yaklaşımlardan daha fazla maliyet oluşturmaya neden olabilmektedir. ‘NB-IoT’ teknolojisi, stratejik olarak 25G’den önceki bir ara adım şeklinde değerlendirilmekte olup bazı önemli özelliklere sahiptir. Bunlar; küçük veri paketi boyutu, düşük güç tüketimi, yüksek iletim gücü ve aşılması zor alanlarda daha iyi performans, lisanslı bant kullanımı ile riskin az olduğu üst seviye güvenlik yaklaşımı şeklindedir [107].

SIGFOX; Ultra Dar Bant modülasyonunu kullanarak veri iletimini sağlamak için 200kHz bandında çalışmakta olan ‘Sigfox’, düşük boyutlu verileri iletmek için kullanılan basit bir protokol olarak değerlendirilmektedir. ‘Sigfox’ teknolojisi ile gönderilecek verinin daha az enerji tüketimini neden olması daha uzun batarya ömrünü sağlamasına neden olacaktır. Gürültüye karşı çok dayanıklı olan ve uzun mesafelerde doğru iletim sağlayabilen bu teknoloji, ileteceği her mesajı 100Hz genişliğinde ve bölgeye bağlı olarak saniyede ‘100-600’bit hızında aktarabilmektedir [107].

Wi-SUN; Örgü ağ topolojisi üzerinde çalışabilen ve ‘IEEE’ ile Alliance ortaklığında geliştirilen ‘Wi-SUN’, açık kaynak bir kablosuz haberleşme protokoldür. Uygulamalarda daha çok sensörler arasındaki iletişimi sağlamak için kullanılan bu teknolojinin, uç bağlantı noktalarının her zaman aktif olmaya dolayısıyla sürekli harici bir güç kaynağına ihtiyacı bulunmaktadır. Kapsama alanının yaklaşık 1,5km ve veri aktarım hızının ise yaklaşık 75Kbps olan ‘Wi-SUN’ ağ geçidinin kullanım amacı, ethernet ve seri bağlantı arayüzleri ile donatılmış geniş ağ cihazlarına güvenli bir bağlantı sağlamaktır [107].

BÖLÜM 4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Uygulama Tanımı

Özellikle döküm sektöründeki üretim süreçlerinde görüntü işleme tekniklerini kullanarak ürün kontrolünde yeni bir yöntem olarak tanımlanabilen uygulama, yeni teknolojileri üretim sektörüne entegre etme bağlamında gerçekleştirilen yenilikçi bir yaklaşımdır. Bu bölümde gerçekleştirilen uygulamanın; problem, kapsam, amaç ve özellikleri bakımından detaylı bir açıklama yer almaktadır.

4.1.1 Problem

Döküm sektöründe ürün kalite kontrol işlemi için sensörler yerine görüntü işleme tabanlı bir gömülü sistem olarak gerçekleştirilen uygulamanın ortaya çıkış nedeni, Kontrol işlemindeki sensör kullanımının uzun vadede yüksek verimlikte çalışmamasından doğan hatalı ürün kontrollerine, dolayısıyla kalite performansını düşürmesiyle birlikte sensör ayarları için harcanan uzun sürelerle neden olması problemidir. Kolay kullanılabilirliği, minimum maliyet ve zaman ile maksimum performans ilkesine uyumluluğu ile önerilen yöntem döküm sektöründeki tam otomatik üretim sürecinde yer alan kalite kontrol işlemlerindeki problemleri ortadan kaldırmak amacıyla gerçekleştirilmiştir.

4.1.2. Kapsam

Otomasyon sistemlerinde yaşanan teknolojik gelişmelerin döküm sektörüne adapte etme kapsamında gerçekleştirilen uygulama, görüntü işleme tabanlı bir gömülü sistem ile kalite kontrol süreçlerini geleneksel yöntem olan sensörlere alternatif bir şekilde döküm sektörüne uygulama amacındadır.

4.1.3. Amaç

Üretim sürecindeki kalite kontrol işlemlerini sensörlerin çalışma mantığı olan ‘var-yok’ algoritması tabanlı gerçekleştiren uygulama bu süreçteki verimlilik, performans ve kalite gibi belirleyici etmenleri maksimum seviyede tutarken maliyet ve süre gibi önemli etmenleri minimum seviyede tutma amacındadır. Uygulamanın yazılım ve donanım altyapısının geliştirilebilir olması ‘var-yok’ kontrol işlemi dışında boyut ölçüm, doğru kesim hatları belirleme gibi yüksek seviyede görüntü işleme işlemleri için uygun yenilikçi bir uygulama olduğunu göstermektedir.

4.1.4. Özellikler

Literatürde alternatifi bulunmayan gerçekleştirilen uygulamanın yenilikçi sıfatı, düşük maliyetli donanımın etkin ve verimli bir şekilde kullanılması dışında hayata geçirilen gömülü sistem ile üretim çeviriminde offline bir şekilde(bağlantı gerektirmeden) uzun süreli çalışması, ‘TCP’ protokolü üzerinde gerçekleştirilen Soket uygulaması ile ethernet kablosu aracılığıyla kolay bir şekilde karta bağlanıp ara yüz üzerinde hızlı bir şekilde sistemin programlanabilmesi ve 6 eksen ürün alma robotları ile haberleşmesini kart üzerindeki ‘GPIO’ modülü ile sağlayabilmesinden gelmektedir. Bunlar dışında yazılımsal olarak sağladığı birçok özellik ile uygulama verimliliği arttırılmaktadır. Yazılımsal olarak sağladığı özellikler; ara yüz üzerinden kolay bir şekilde programlanan sistemin 32 farklı ürüne ve alana ait görüntüleri ve her bir görüntü için belirlenen farklı parametreleri gömülü sistemde klasik dosya veritabanı ile tutulması, karta bağlantı ve programı karta kaydetme gibi işlemlerin çok hızlı bir şekilde gerçekleşmesini sağlamaktadır. Uygulamanın tam kapasitede programlanması 10MB hafıza alanında yapılabilmesini dolayısıyla yüksek veri tasarrufu sağlamaktadır.

Arayüz üzerindeki görüntü işleme algoritmasının ilk adımı olan genel ürün eşleştirme bölümünde değiştirilebilen odak ve eşik parametreleri ile görüntüdeki tanımlı ürün yakalama alanının esnek bir şekilde ayarlanabilir olması ürün üzerindeki belirli bir alan görüntüsünün daha net alınabilmesini ve eşleştirme işleminin performansının arttırılmasını sağlayan en önemli özelliklerden olup aynı işlem alanlar üzerinde de

uygulanabilir durumdadır. Donanımsal kalitenin eksikliğini önemli bir şekilde kapatan bu özellik ürün kontrolünün doğru bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Ara yüzdeki alan bölgeleri için yer alan diğer bir parametre özelliği ise ‘var-yok’ kontrol seçeneğidir. Bu özellik ile ürün üzerindeki belli bir alanda çapak olup olmadığı ya da alanın doğru boyutlarda üretilip üretilmediği gibi kontroller sağlanabilmektedir. Bir diğer önemli özellik ise pozlama parametresidir. Bu ayar ile kızıl ötesi ışık kaynağının beş farklı modda çalıştırılması yani ışık şiddeti ayarının yapılabilmesi sağlanmaktadır. Işık şiddeti ayarı dökümhanedeki tozlu ortamda ve farklı açılardan ürünü etkileyen güneş ışınları etkisini azaltarak kameranın direk görüntüye odaklanmasını ve net bir görüntü elde etmesini sağlamaktadır. Üretilen alüminyum parçaların fiziki özelliği nedeniyle ışığı yansıtması, parça üzerinde belli noktalarda ışık parlamalarına neden olmakta olup pozlama parametresi bu durumu ortadan kaldırmak için tasarlanmış görüntü işleme yardımcı bir özelliktir.

4.2. Uygulama Modeli

Gerçekleştirilen uygulamanın temellerinden, donanımsal ve yazılımsal altyapısından, kullandığı teknolojilerden bahsedilen bu bölüm yazılım ve donanım olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Donanım bölümünde; gömülü sistem görüntü işleme uygulamasında kullanılan mikro denetleyici kartı ve kameradan bahsedilmektedir. Bunun dışında kameranın görüntü işleme algoritmasında kullanılmak üzere net bir görüntü almasını ve fiziksel ortam koşullarından minimum derecede etkilenmesini sağlayan filtre, lens ve ışık kaynağı gibi şartlandırma elemanlarından bahsedilmektedir. Son olarak gömülü sistem kartı ile ürün alma robotu arasındaki haberleşmeyi sağlayan kart üzerindeki ‘GPIO(giriş-çıkış)’ pinlerinin bağlantısından ve sistem içerisinde kullanılan devre elemanlarından bahsedilmektedir. Yazılım bölümümde ise; uygulamanın bir çevrim sürecinde hangi adımlardan geçtiğini anlatan süreç akış diyagramı ve uygulamanın temelini oluşturan görüntü işleme algoritmasının işleyiş biçiminden bahsedilmektedir. Son olarak genel yazılım içeriğinden bahsedilen uygulamanın veri ve haberleşme yönetimi konu alınmaktadır.

4.2.1. Donanımsal model

Görüntü işleme uygulamaları yüksek işlemci gücü ve hız gerektiren yüksek kapasiteli işlemler arasında yer almaktadır. Bunun yanında görüntü işleme süreçlerinde en yüksek verimi alabilmenin ilk aşaması görüntüyü yüksek kalitede elde etmektir. Bu bağlamda ve uygulamanın ortaya çıkış amaçlarından biri olan minimum maliyet düşüncesi içerisinde projede oluşturulacak gömülü sistem için Raspberyy Pi 4 gömülü bilgisayar ve Raspberry Pi V2 kamera modülü tercih edilmiştir. Şekil 4.1.'de kullanılan bu iki donanımın genel özellikleri verilmiştir.



Şekil 4.1. Raspberry Pi 4B modeli ve V2 kamera modülü özellikleri.

Raspberry Pi 4B modeli 4GB RAM kapasitesi ve 2GHZ işlemci gücü ile gerçekleştirilecek uygulama için en uygun seçeneklerden biri olamakla birlikte test aşamasında sorunsuz bir şekilde görevini yerine getirmiştir. Robotlu tam otomatik bir üretim çevirimi ortalama 45sn sürmektedir. Bu durum gerçekleşen gömülü sistem görüntü işleme uygulamasının 45sn'de bir görüntü almasını ve işlemesini gerektirmektedir. Kullanılan Raspberry Pi kartı bu işlem için yeterli seviyededir. Kullanılan Raspberry Pi V2 Kamerası 8MP çözünürlüğünde FHD görüntüler alabilmekte olup sahip olduğu Sony CMOS görüntü algılayıcı sensörü sayesinde görüntü üzerindeki netliği artırıp detaylara odaklanabilmektedir. Kullanılan kamera tahmin edilenin üzerinde bir performans sağlamıştır. Elde edilen test verileri sonuç kısmında detaylı bir şekilde incelenmektedir.

Gerçekleştirilen gömülü görüntü işleme uygulaması ile elde edilen görüntülerin kalitesini arttırmak ve dolayısıyla görüntüdeki işlemeyi zorlaştıran gürültüleri ortadan kaldırmak için donanım altyapısı çeşitli elemanlar ile desteklenmiştir. Bu elemanlar; Güneş ışınlarına karşı etkili kızılötesi(IR-UV) 5mm otofokus özellikli sabit 'CCTV'

lens, Güneş ışınlarını absorbe eden 50mm filtre ve 100 adet 940nm dalga boyunda 12volt güç çıkışlı güçlü bir kızılötesi ışık kaynağından oluşmaktadır(Şekil 4.2.). Şartlandırma elemanları ile güçlendirilen altyapısı ile gömülü kamera sistemi ‘640*480’ görüntü boyutunda 8bit derinliğinde 96dpi çözünürlüğünde ‘1080p(FHD)’ net görüntüleri ‘.jpeg’ formatında elde edebilmektedir.



Şekil 4.2. Uygulama modelinde kullanılan Filtre, Lens ve Kızılötesi ışık kaynağı.

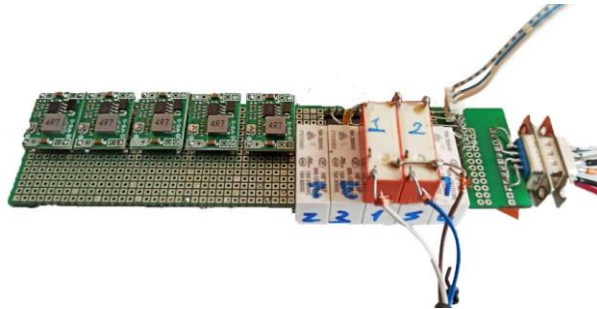
Uygulama ile ürün alma robotu arasındaki bağlantı gömülü kart üzerindeki GPIO modülü üzerinden I2C protokolü ile sağlanmaktadır. Şekil 4.3.’de Raspberry Pi üzerindeki giriş-çıkış pinleri verilmiştir. Giriş sinyallerine bakacak olursak; 7 nolu giriş robottan gelen ‘görüntü işlemeye başla’ sinyali olup 11-13-15-17-19 nolu beş adet sinyal robot tarafından çevrim içerisinde hangi ürün programının çalışması gerektiğini söyleyen program seçim bitleridir. beş farklı girişin ‘1 ya da 0’ olma durumlarına göre ‘ $2^5=32$ ’ farklı program seçimi kontrolü yapılabilmektedir. Bilgisayar ile online kontrolde program seçimi arayüz üzerinden gerçekleşmekte fakat kameranın offline olarak çalışması durumunda program seçimi ürün alma robotu kontrolünde olmaktadır. Gömülü kart üzerinde görüntü işleme çevrimini ve haberleşme işlemlerini gerçekleştiren yazılımlar bu algoritmaya dayalı olarak geliştirilmiştir. Uygulamanın yazılımsal tabanı Bölüm 4.2.2.’de ayrıntılı olarak bahsedilmektedir.

Girişler (Input)		Çıkışlar (Output)	
7	Robot Çevrim Start Sinyali	21	Parça OK Sinyali
11	1.Program Seçim Biti	23	Parça NOK Sinyali
13	2.Program Seçim Biti	31	1.Seviye Işık Biti
15	3.Program Seçim Biti	33	2.Seviye Işık Biti
17	4.Program Seçim Biti	35	3.Seviye Işık Biti
19	5.Program Seçim Biti	37	4.Seviye Işık Biti
		39	5.Seviye Işık Biti

Şekil 4.3. Raspberry Pi giriş-çıkış bağlantıları.

Çıkış sinyallerini kontrol edecek olursak; 21 nolu sinyal ‘ParçaOK’ sinyali olup görüntü işleme çevrimi sonucunda iki farklı karşılaştırma değerlerinin doğru çıkması ile gömülü kart üzerinden robota gönderilen parça doğru sinyalidir. 23 nolu sinyal ise ‘ParçaNOK’ sinyali olup iki farklı değerlendirmeden herhangi birinde yanlış olması durumunda robota iletilen parça red sinyalidir. Parça ile ilgili verilen kararın iki farklı sinyal ile gönderilmesi işlemi hızlandırmak için gerçekleştirilmiştir. Çünkü iki cihaz arasındaki sinyal iletimi 0,1sn bandında gerçekleşmektedir. Böylelikle kameranın robottan gelen ‘ÇevrimStart’ sinyali ile görüntüyü işleyip karara vardığı sonucu robota ulaştırması ortalama 1sn gibi tatmin edici bir zaman diliminde gerçekleşmektedir. 31-33-35-37-39 nolu beş adet çıkış sinyali ise gömülü kamera sistemi üzerinde bulunan ışık kaynağının farklı modlarda çalışabilmesini sağlamaktadır.

Raspberry Pi GPIO pinleri üzerinden maksimum 3.3V çıkış verebilen bir akıllı karttır. Diğer taraftan altı eksen ürün alma robotunun ‘giriş-çıkış’ kartı 24V sinyaller ile yönetilmektedir. Dolayısıyla kamera sistemi tarafındaki bir çıkış ile robot tarafındaki giriş rölesini çektirebilmek ve 12V ile çalışan kızılötesi ışık kaynağının ‘0 ila 12’V arasında skalalandırarak farklı modlarda çalıştırabilmek için harici bir devre elemanı tasarlanıp oluşturulmuştur. Şekil 4.4.’de gösterilen harici devre elemanı 3.3V değerine yükselterek 12V ile bir led sürme işlemini ve 24V röle çektirme işlemini gerçekleştirmektedir.



Şekil 4.4. Harici devre elemanı.

Gömülü sistem ile bilgisayar arasındaki bağlantı ‘TCP’ protokolü üzerinde çalışan bir Soket uygulaması sayesinde ethernet bağlantısı ile yapılmaktadır. Bağlantıda düz kablo kullanılmakta olup iletişim ethernet portu üzerinden kablolu bağlantı için ‘137’

nolu gruptan atanan bir 'IP'nin '5555' portu üzerinden gerçekleşmekte olup aynı bağlantı Wifi üzerinde '1' nolu gruptan atanan bir 'IP'nin '5555' portu üzerinden gerçekleşmektedir. Aynı şekilde gömülü sistem üzerindeki kameradan alınan anlık görüntüler bilgisayar üzerindeki arayüz programına ilgili 'IP'nin '8081' portu ile aktarılmaktadır.



Şekil 4.5. Kamera sistemi bağlantısı.

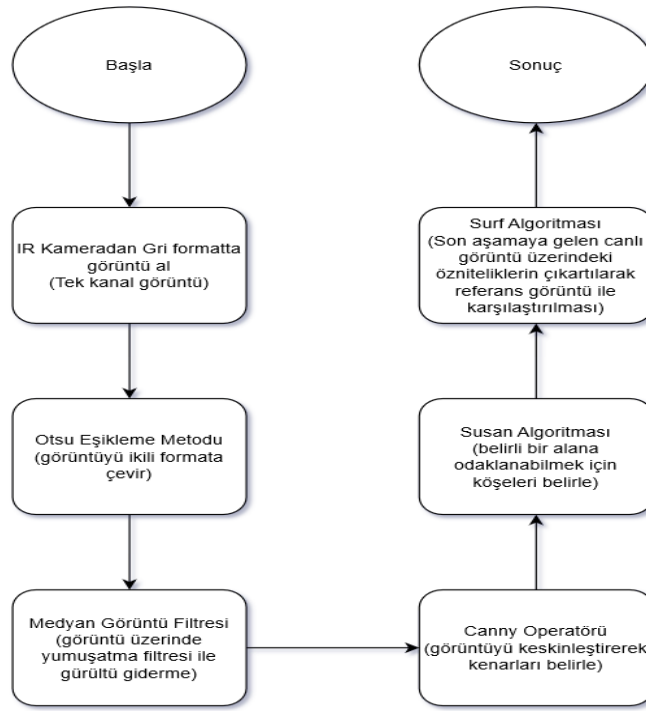
Şekil 4.5.'de bütün elemanları ile sabitlenen donanımın son hali görülmektedir. Test sürecini bu son hali ile gerçekleştiren uygulama, amacı doğrultusunda etkili sonuçlar elde etmiştir.

4.2.2. Yazılımsal model

Üretim hatlarında çok yüksek oranda kullanılan sensörlerin kalite kontrol işlemlerinde ürünün üzerindeki belli noktaların 'var-yok' kontrolünü sağladıkları geleneksel yöntemle alternatif olarak gerçekleştirilen gömülü görüntü işleme sisteminin bu bölümde yazılım kısmından bahsedilmektedir. İki ayrı platformda gerçekleştirilen yazılım uygulamasından genel hatları ile bahsedilecek olursa. Bilgisayar üzerinden kontrol edilebilen ve gömülü sistemin programlanabilmesini sağlayan arayüz programı .Net ortamında C# programlama dili ile form uygulaması yapsında gerçekleştirilmiştir. Gömülü sistem tarafındaki Raspberry Pi kartı üzerinde bağlantı kontrolü ve görüntü işleme işlemleri için iki ayrı kod bloğu paralel olarak çalışmaktadır. Gömülü kart tarafında yazılan iki ayrı kod bloğuda Python programlama dili ile yazılmıştır. Bağlantı bloğu Raspberry Pi ile Bilgisayar arasındaki bağlantı köprüsünü kurmakta ve bağlantıyı kontrol ederek arayüz üzerinden sistemin(kartın) programlanabilmesi gibi işlemleri yönetmektedir. Görüntü işleme

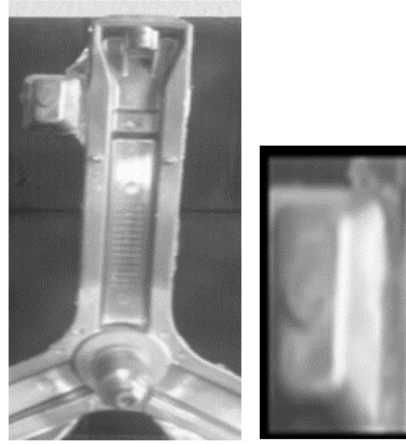
bloğu ise kameranin offline durumda ürün alma robotu ile sürekli çevrimde çalışabilmesini sağlayan blok olup kart üzerindeki giriş çıkışların kontrolünü yapmakta ve karta bağlı olan kamera üzerinden görüntü alarak işleme ve karşılaştırma işlemlerini yapmaktadır.

Gömülü sistem tarafında Raspberry Pi programlanırken Python programlama dili kullanılmıştır. Bunun nedeni python dilinin Raspberry Pi kartı üzerindeki ‘GPIO’ modülünün kullanımını kolaylaştırması ve ‘giriş-çıkış’ kontrollerini ve işlemlerini hızlı gerçekleştirebilmesi ile birlikte görüntü işleme kütüphaneleri ile olumlu çalışması, kısa sürede yüksek verim sağlayabilmesi olarak belirtilebilir. Bu bağlamda gömülü sistemde OpenCV görüntü işleme kütüphanesi kullanılmıştır. Kameradan alınan anlık görüntülerin veri tabanında kayıtlı referans görüntüler ile karşılaştırılması sürecinde, Şekil 4.6.’da görüldüğü üzere, kullanılan algoritmalar OpenCV kütüphanesi ile gerçekleştirilmiştir. Arayüz üzerinde yer alan test programı ile aynı işlem online olarak yapılmakta olup gömülü sistemde kullanılan görüntü işleme algoritması aynı temelde .Net ortamında EmguCV görüntü işleme kütüphanesi ile gerçekleştirilmiştir. OpenCV’nin .Net ortam için geliştirilmiş bir modülü olan EmguCv kütüphanesi aynı alt yapıyı kullandıkları için iki platformdada elde edilen sonuçlar aynı olmaktadır. Şekil 4.6.’da uygulama için özel olarak tasarlanan görüntü işlem algoritmasının adımları verilmiştir.



Şekil 4.6. Görüntü işleme algoritması.

Görüntü İşleme algoritması Raspberry Pi kartına dokuz pin özel şerit kablo ile(CSI portu aracılığıyla) bağlı olan Raspberry Pi V2 IR kızılötesi kamera modülü ile alınan gri formattaki görüntünün net bir şekilde elde edilmesi ile başlamaktadır. Görüntü elde edildikten sonra arayüz üzerinde kaydedilen referans görüntünün hem ürünün tamamı hemde özel alanların her biri için ayrı ayrı bağlantılı bir şekilde yapılan eşleştirme işleminde ilk olarak tüm ürün için belirlenen alanda girilen odak parametresi ile otsu eşikleme metodu uygulanmaktadır. Görüntüyü girilen parametredeki eşik değerine göre ikili formata çeviren metodun gerçekleşmeden önceki hali Şekil 4.7.’de gösterilmiş olup eşikleme uygulandıktan sonraki hali Şekil 4.8.’de gösterilmektedir.



Şekil 4.7. Arayüz üzerinden belirlenen Genel Ürün ve Özel Ürün alanları.



Şekil 4.8. Otsu Eşikleme metodu sonrası Genel Ürün ve Özel Ürün alanı.

Eşikleme yöntemi sonrasında hem ürün hemde alan için belirlenen bölüm üzerinde medyan görüntü filtresi uygulanarak görüntüdeki gürültüler giderilmektedir. Net bir görünümü elde edilen görüntünü son hali için ilk önce canny operatörü uygulanıp görüntünün kenarları belirlenir daha sonra susan algoritması ile görüntünün surf öznitelik algoritmasında kullanılacak olan bölümleri köşeler ile ayrılır. Şekil 4.9.'da ürünün programlanan sabit noktadan kamera tarafından alınan saf gri formdaki görüntüsü verilmekte olup, referans görüntü üzerinde yazılan ürün programının üretim çevriminde gelen ürünler ile karşılaştırılacağı alanlar verilmiştir.



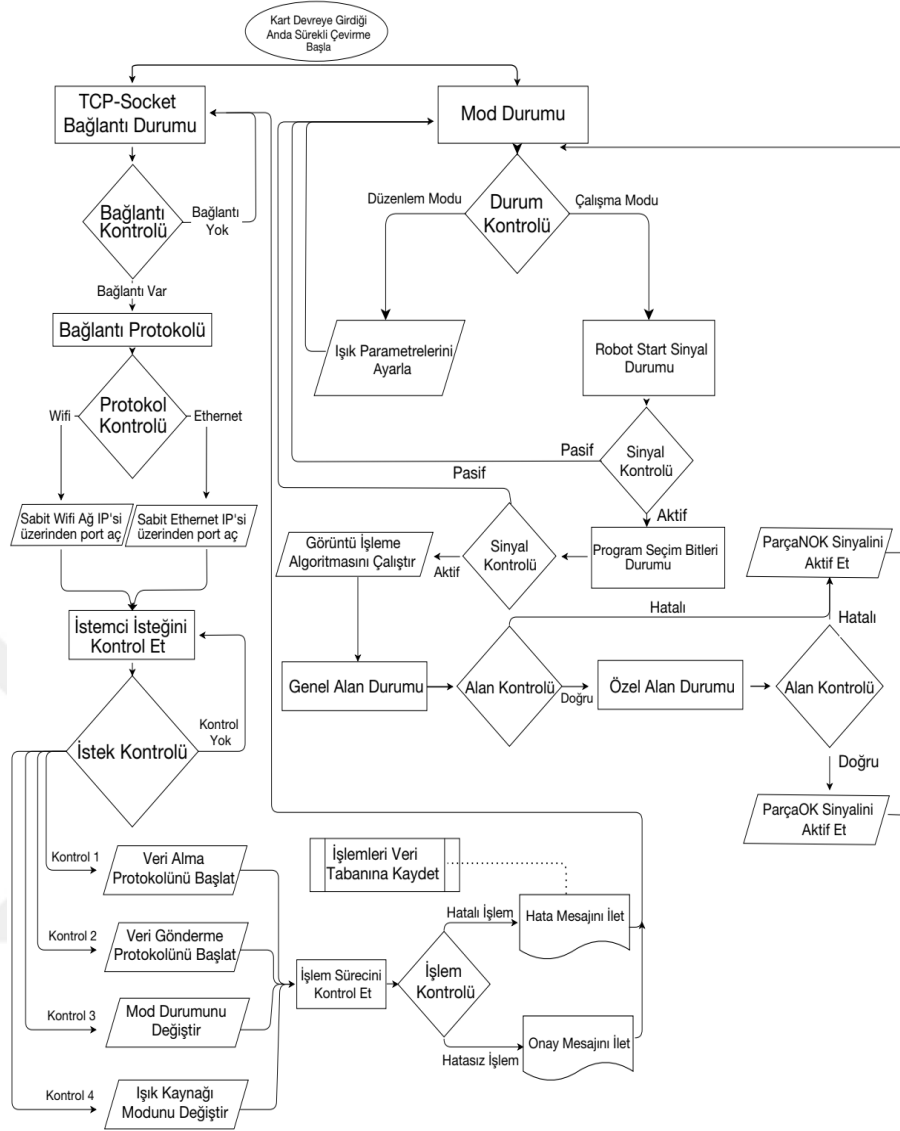
Şekil 4.9. Kamerada alınan ikili formattaki görüntü ve program içerisindeki bir sonraki ürün ile karşılaştırılacak alanların gösterimi.

Susan algoritması aşamasıyla son halini alan işlenmiş görüntünün surf algoritması ile öznitlikleri belirlenerek canlı ürün üzerinde uygulanan aynı yöntem ile çıkarılan öznitelikler karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada arayüz üzerindeki eşik değerleri karşılaştırmadaki eşleşme sınırını belirlemektedir. Surf algoritması sonucu bulunan öznitelik eşleştirme değeri arayüz üzerinden girilen eşik değerinin altında ise ürün hatalı olarak değerlendirilmektedir. Eşik değerinin üstündeki genel ürün ve tüm tanımlı alanlar sonucu 'ParçaOK' ile belirlenen doğru parça sonucu çıkarılmaktadır. Görüntü işleme, ürün alma robotunun yüksek konumlandırma hassasiyetine sahip olması ve ürün hattının sabit olması nedeniyle her çevirmde aynı noktada gerçekleşmektedir. Burada yüksek seviyede bir eksen kaçıklığı görüntü işlemenin doğru bir şekilde yapılmasını engelleyecektir. Donanımsal olarak kalitesi artırılabilir olan gömülü sistemin görüntü işleme performansını arttırabilmek için üst seviye özelliklere sahip bir kamera ile HDR mantığında arka arkaya birkaç görüntünün alınıp birleştirilerek en net görüntü elde edilmesi sağlanabilir. Bunun dışında kullanılan görüntü işleme algoritmalarının kalitesi arttırılabilir özellikle öznitelik çıkarım kısmında farklı algoritmalar denenerek daha üstün performanlar alınabilir.

Gerçekleştirilen uygulamada arayüz üzerinden oluşturulan programlara ait alan görüntüleri ve parametre değerlerine ait veriler hem masaüstü ortamda hem de gömülü sistemde klasik dosya yönetimi sistemi ile tutulmaktadır. Böylelikle iki sistem

arasındaki veri akışı hızlandırılmış olmaktadır. Bilgisayar ile Raspberry Pi kartı arasındaki bağlantı ‘TCP’ protokolü üzerinde çalışan bir soket uygulaması ile düz ethernet kablosu aracılığıyla sağlanmaktadır. TCP-Soket’ uygulamasında gömülü sistem, sunucu olarak kart aktif olduğu andan itibaren çalışmaya başlamaktadır. Bilgisayar bu sistemde istemci konumundadır ve wifi ya da ethernet aracılığı ile bağlanarak karta veri kaydetme ve karttan veri alma gibi işlemleri sunucu tarafında istekte bulunarak gerçekleştirir. Yani veri yönetimi istemci tarafından bilgisayar aracılığı ile yapılırken bağlantı kontrolü sunucu tarafında raspberry pi tarafından sağlanmaktadır. Uygulama yazılımı için gömülü sisteme iki farklı bağlantı şekli olup, ilki ethernet portu ile kablolu bağlantıdır. Kablolu bağlantı ‘137’ grubu standart ve sabit bir ‘IP’ ile ‘5555’ portu üzerinden gerçekleştirilmektedir. İkinci bağlantı şekli olan kablosuz bağlantı gömülü sistem kartı üzerinde bulunan wifi modülü sayesinde aynı ağda ‘1’ grubu standart ve sabit bir ‘IP’ üzerinde yine ‘5555’ portu kullanılarak yapılmaktadır. Gömülü sistem kartı üzerinde bağlı olan kameradan alınan anlık görüntüler bilgisayar ile kartın online olduğu durumda arayüz programına yine ‘TCP’ protokolü üzerinden ethernet kablosu ile aktarılmaktadır. Görüntü aktarımı online olunan zaman boyunca sürekli sağlandığı için diğer haberleşme kanalı olan veri iletimini etkilememesi için ayrı bir kanal üzerinden gönderilmektedir. Kablolu ve kablosuz iki bağlantıda görüntü kartın sabit ‘IP’si üzerinden ‘8081’ portu ile aktarılmaktadır.

Yazılımsal modeli incelenen uygulamanın süreç akış diyagramı Şekil 4.10.’da gösterilmekte olup kamera sisteminin program çevrimi kartın aktif olması ile başlamaktadır. Kart içerisindeki raspbian işletim sistemi devreye girdiğinde bağlantı ve görüntü işleme çevrimini kontrol eden iki kod bloğu sürekli çevrimine başlamaktadır. Bağlantı durumunu sürekli kontrol eden ‘TCP-Soket’ uygulaması sunucu olarak çalışmakta ve bağlantı kurulduğunda bağlantının durumunu kontrol ederek ilgili protokol üzerinde yayın yapılacak port kanalını açmaktadır. Yayın kanalı açıldıktan sonra istemci tarafından gelecek olan istek dinlenilmeye başlanır.



Şekil 4.10. Uygulama süreç akış diyagramı.

Kart üzerinde veri kaydetmek ya da karttan veri almak üzerine olan istek geldiği anda istek numarası kontrol edilir ve ilgili görev başlatılır. İşlem sırasında bir hata(bağlantı kopması ya da anlamsız veri gibi) ile karşılaşılmaz ise yapılan değişiklikler dosya sistemine kaydedilerek işlemin tamamlandığını bildiren onay mesajı istemciye iletir. Hata durumunda istenilen işlem gerçekleştirilmez ve sistemin hata raporu bloğundan ilgili hata durum bildirimi istemci tarafına iletilir iki tarafta gerçekleştirilmeye çalışılan işlem iptal edilir. İki durumda da bağlantı programı bağlantının kontrol edildiği ilk adıma dönerek sonraki istekler için hazır duruma geçer.

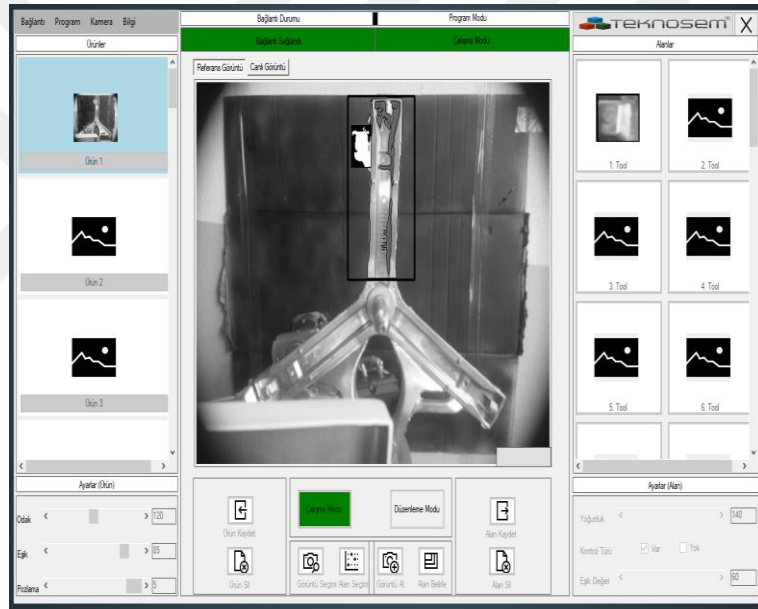
Görüntü işleme sürecini yöneten diğer kod bloğu mod durumu parametresini kontrol ederek çevrime başlar. Mod durumu parametresi bağlantı bloğunda değiştirilmekte olup görüntü işleme bloğunda kontrol edilir. Eğer düzenleme modunda ise ışık parametresindeki değer skalalandırılarak beş farklı çıkış ilgili duruma göre aktif edilir ve ışık kaynağının parlaklığı ayarlanır. Daha sonra blok başa dönerek tekrar mod durumunu kontrol eder. Otomatik mod görüntü işleme çevriminin sürekli çalışmasını sağlayan moddur. Program, Düzenleme modunda iken değişiklik yapılabilmesi için çevrimi durdurmaktadır. Otomatik modda iken kamera robottan gelecek ‘ÇevrimStart’ sinyali beklemektedir. Sinyal gelene kadar blok baştan tekrar yürütülür. Başla sinyali geldikten sonra robot tarafından yapılan program seçim durumu ilgili beş girişin aktif olma durumlarına göre belirlenir. Program seçimi belirlendikten sonra ilgili programın bilgilerine dosya sisteminden erişilerek görüntü işleme algoritması başlatılır. Anlık alınan görüntü ilgili program parametreleri ile karşılaştırılır. Genel ve Özel alanların belirtilen eşik değeri üzerindeki benzerlikleri durumunda ‘ParçaOK’ sinyali aktif edilir. Diğer tüm durumlarda parçanın bir bölümünde hata olduğunu belirten ‘ParçaNOK’ sinyali aktif edilir. Ürün alma robotu verilen çıkışa göre çevrim devam ettirirken görüntü işleme bloğu başa dönerek diğer çevrim için hazır beklemektedir.

4.3. Uygulama Tasarımı

Bu bölümde uygulama yazılımının arayüz ekranından bahsedilmekte olup test sürecinin geçirildiği ortamdan ve ürünün gerçekte son halinden bahsedilmektedir. Windows tabanlı bir bilgisayar üzerinde gömülü sisteme bağlanmak ve programlamak amacıyla masaüstü bir uygulama arayüzü oluşturulmuştur. Arayüz .Net ortamında C# programlama dili ile windows tabanlı bir form uygulaması olarak gerçekleştirilmiştir. Bilgisayar ile karta bağlanıldığında düzenleme modu ile sistem programlanırken yapılan ayarlamaların doğruluğunun kontrolü için gömülü sistem içerisindeki görüntü işleme algoritması, masaüstü uygulamasının kontrol bloğuna eklenmiştir.

4.3.1. Arayüz tasarımı

Düzenleme ve Çalışma olmak üzere iki moddan oluşan uygulama arayüzünün genel görünümü Şekil 4.11.'de gösterildiği gibidir. Çalışma modu gömülü sistemin çevrimi yönettiği durumu belirtmektedir. Çalışma modu ile kamera parça alma robotu ile entegre çalışmaya devam etmekte ve her kontrol komutu geldiğinde görüntü işleme algoritmasını çalıştırıp ürün hakkında bir sonuç vermektedir. Çalışma modunda arayüz üzerinde değişiklik yapılmasına izin verilmemekte olup anlık olarak kamera tarafından işlenen görüntülerin sonuçları arayüz ekranı üzerinden takip edilebilir. Çalışma modu kısacası kamerayı çevrime dâhil eden aktif eden ana işlemdir. Şekil 4.11. çalışma modunda arayüzün durumunu göstermektedir.

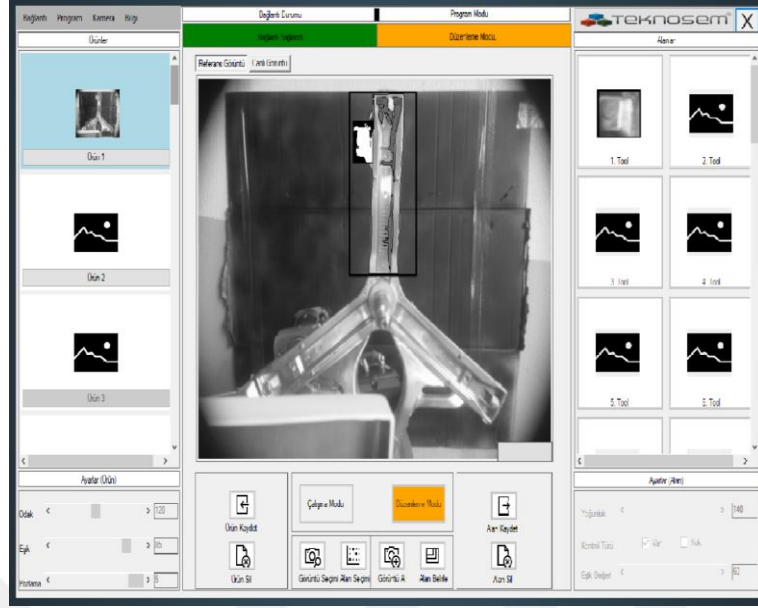


Şekil 4.11. Çalışma modunda arayüz ekranı.

Düzenleme modu ise kart ile sorunsuz bir şekilde bağlantı sağlandığında kartın programlanması için kullanılan bir moddur. Şekil 4.12.'de gösterilen düzenleme modu ile arayüz ekranında ilgili ürünün ve alanlarının kontrolü aktif hale gelmekte olup parametreler düzenlenip kaydedilebilir. Bağlantı durumu Bölüm 4.2.2.'de ayrıntılı bir şekilde incelenmiş olup eğer bir sorun yaşanırsa arayüz ile bağlantı kesilmekte ve arayüz üzerinden bağlantı kesilmesinin muhtemel nedeni gösterilmektedir. Bağlantı anormal bir şekilde kesilirse yapılmış olan son değişiklikler doğru bir şekilde karta kaydedilene kadar aktif olmayacaktır. Düzenleme modu ile kamera robotun isteklerine

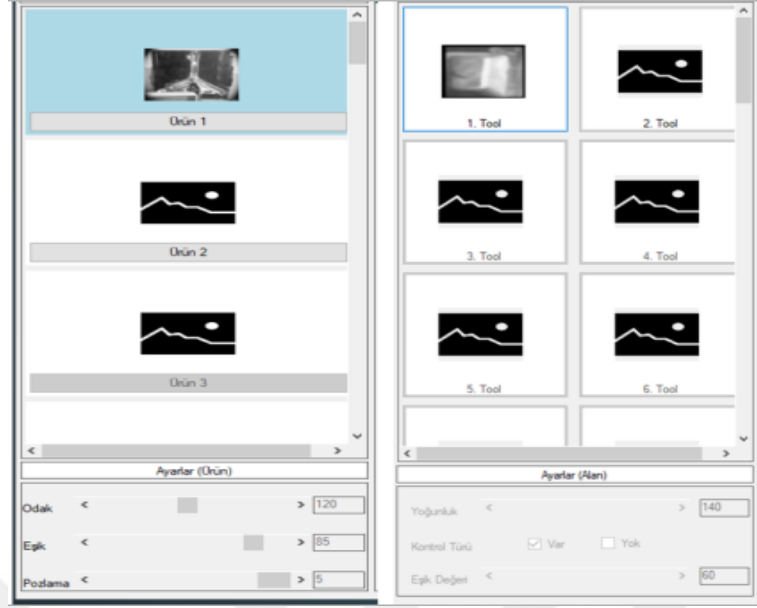
cevap vermeyerek arayüz üzerindeki düzenleme işlemlerinin karta kaydedilip çalışma moduna geçirilmesine kadar beklemektedir. Çevrim sırasında oluşabilecek hataların önüne geçilebilmesi için program iki farklı mod üzerinde tasarlanmıştır.

Arayüzün orta kısmında bulunan Referans görüntü ve Canlı görüntü pencereleri düzenleme modu ile etkin hale gelmektedir. Referans görüntü sekmesinde kaydedilen ve seçili olan ürünün(mavi alan içerisinde belirtilen ürün) kaydedilen parametreleri ile işlenmiş sonuçları yer almaktadır. Şekil 4.12.'deki örnekte 'ürün 1' için ürün görüntüsü üzerinde belirtilen ürün yakalama alanı içerisinde girilen parametreler ile kenarları çizilmiş ve '1.alan' kısmında kaydedilen alan bölgesi görüntü üzerinde görüntü işleme algoritmasının son aşamasında kullanılacak haliyle gösterilmektedir. Düzenleme modundan referans görüntü üzerinde aktif olan kontroller; Görüntü Seçimi, Alan Seçimi, Görüntü Al ve Alan Belirle fonksiyonlarıdır. Yeni bir ürün kaydedilirken boş bir ürün bölümü seçilerek 'Görüntü Seçimi' butonu ile aktif hale gelen 'Görüntü Al' fonksiyonu ile gömülü sistem üzerinde çalışan kameradan anlık görüntü alınarak referans görüntü kısmına eklenir. Referans görüntü bölümüne aktarılan görüntü üzerinde karşılaştırılacak alan(object locater) belirlendikten sonra ürün ayarları kısmında ilgili parametreler düzenlenerek 'Ürün kaydet' fonksiyonu ile kaydediler. Programlanmış kayıtlı bir ürün ise seçili olduktan sonra 'Ürün Sil' fonksiyonu ile tamamen silinebilmektedir. Bu şekilde 32 farklı 'Ürün' kaydedilebilmektedir. Aynı işlemler her bir ürün için farklı 32 adet olabilecek şekilde 'Alan' içinde geçerlidir. Referan görüntü üzerinde alan belirlemek için 'Alan Seçimi' fonksiyonu ile 'Alan Belirleme' butonu yardımıyla gerçekleştirilir. Ürün alanları için alanlar ayarındaki parametreler kullanılmaktadır.



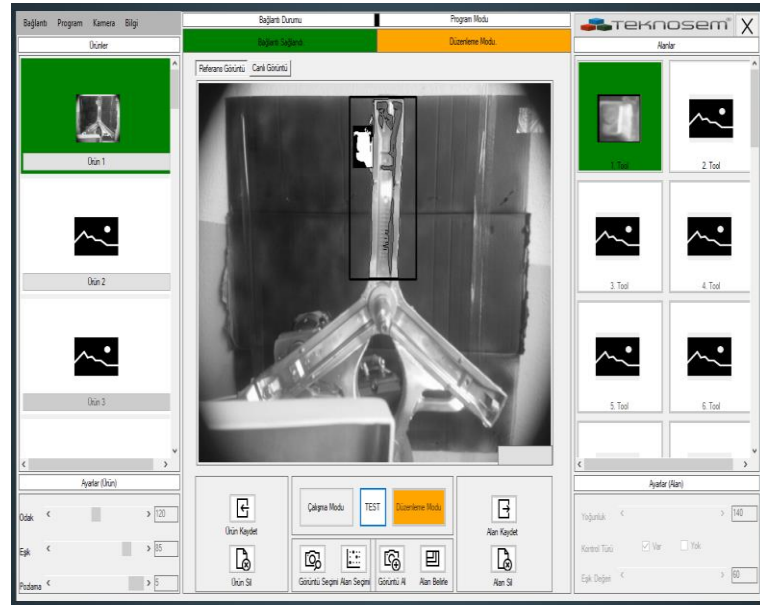
Şekil 4.12. Düzenleme modunda arayüz ekranı.

Canlı ürün penceresinde Bölüm 4.2.2.'de ayrıntılı olarak bahsedilen, kart üzerindeki kameradan alınan anlık görüntüler yer almaktadır. Şekil 4.13.'de ürünler ve alanlar ile ilgili bölüm ve bölümler içerisinde yer alan parametreler gösterilmektedir. Ürünler bölümünün ayarlar kısmında seçili ürünün(ürün 1) odak ve eşik değerleri yer almaktadır. Bu değerler görüntü işleme algoritmasında alana odaklanmak ve kenarları belirlemek için kullanılan parametrelerdir. Pozlama değeri ise gömülü sistem donanımında yer alan ışık kaynağının gücünü ayarlamaktadır. Alanlar bölümünün ayarlar kısmında yer alan yoğunluk parametresi ve eşik değeri canlı görüntüdeki ilgili alanın kaydedilen referans görüntü ile karşılaştırılması işleminde görüntü işleme algoritmasının giriş parametreleri olarak kullanılmaktadır. Kontrol türü ayarı ise karşılaştırmada ürünün olduğu ya da olmadığı durum kontrolünün hangisinin yapılacağını belirtir.



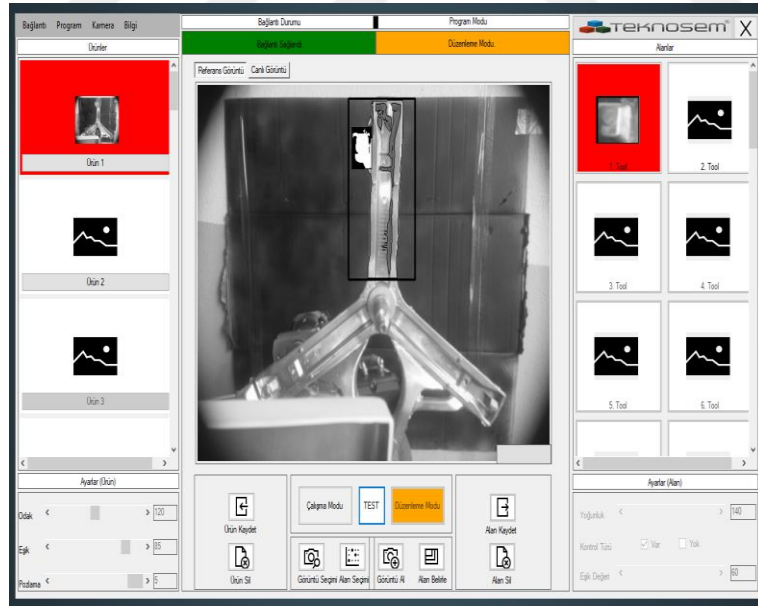
Şekil 4.13. Arayüz üzerinde ayarlanabilir Ürünler ve Alanlar bölümü.

Şekil 4.14.'de gömülü sistem üzerindeki kartta kayıtlı olan aktif kamera programının bir çevrim sonucunda, ürün ve alan bölgelerinin karşılaştırmada doğru sonuçlar verdiği ve 'parçaOK' sonucuna varıp bilgiyi robota ilettiği durumdaki arayüz görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.14. Sorunsuz parça durumu.

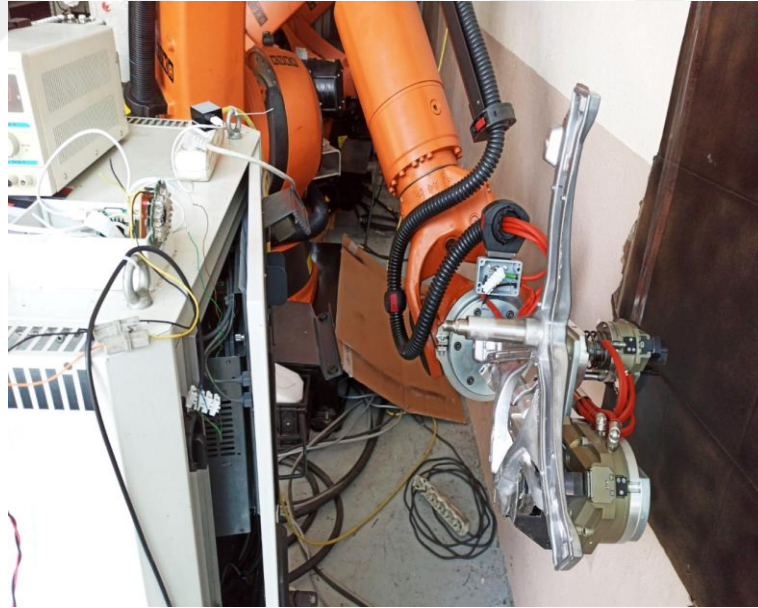
Şekil 4.15.'de ise 'parçaNOK' sonucuna varıldığı hatalı parça durumu gösterilmiştir. Bölüm 4.2.2.'de bir görüntü işleme çeviriminde gerçekleştirilen adımlar ayrıntılı olarak bahsedilmiştir. Uygulama algoritması kapsamında Şekil 4.15.'de hem ürünün hatalı hemde alanın hatalı olduğu görülmektedir. Arayüz üzerinde ortalama sensör kullanımına göre(10 adet) oluşturulan bir program 'TCP' protokolü ile ethernet üzerinden '9 ila 12'sn arasında bağlantının durumuna göre kart üzerinde aktarılmakta olup oluşturulabilecek en büyük program(32 adet) 30sn sürecinde karta kaydedilmektedir. Program kaydetme işlemi her seçili ürün için ayrı ayrı yapılmakta ve program menüsündeki 'Cihaza Verileri Kaydet' fonksiyonu ile ya da çalışma moduna geçirildiğinde gerçekleştirilmektedir. Aynı menüde yer alan 'Cihazdan Verileri Al' fonksiyonu gömülü sistemde bulunan kart içerisindeki tüm veri tabanının bilgisayara aktarılması işlemini gerçekleştirir. Bu işlem karttaki veri durumuna göre '10 ila 45'sn arasında gerçekleşmektedir. Diğer taraftan kayıtlı bir programın görüntü işleme çevrimi ile ürün karşılaştırma işlemi yine program boyutuna göre '1.15 ila 1.95'sn arasında sürmektedir.



Şekil 4.15. Hatalı parça durumu.

4.3.2. Fiziksel ortam analizi

Donanımsal ve Yazılımsal altyapısı tez içerisinde verilen bilgilere göre oluşturulan gömülü sistem görüntü işleme uygulamasının test sürecinin gerçekleştirildiği ortam Şekil 4.16.'da gösterilmiştir. Doğru ürünün karşılaştırıldığı şekilde Raspberry pi kartı ve kamerasından oluşan gömülü sistem bir nokta üzerinde sabitlenmiştir Sistemin genel bağlantı şemaları hakkında detaylı bilgiye Bölüm 4.2.1.'de ayrıntılı olarak değinilmiş olup gömülü görüntü işleme sisteminin Raspberry pi kartı 'GPIO' modülü ile altı eksen robotun haberleşmesini sağlayan(robottan gelen 'ÇevrimStart' sinyali ve hangi programın aktif olduğunu belirten 'ProgramSeçimi' sinyali ile robota giden 'parçaOK' ve 'parçaNOK' sinyali) ve sistem üzerinde kızıl ötesi ışık kaynağının modlarını ayarlamayı(ışık yoğunluğunu değiştirmeyi) sağlayan elektronik devre kartı gömülü sistem ile birlikte sabitlenip bağlantıları yapılmıştır.



Şekil 4.16. Uygulama test ortamı.

Görüntü işleme çevriminde üretim istasyonundan gelen her bir ürünün kontrol edildiği durum Şekil 4.16.'da gösterilmektedir. Ortam şartlandırması test aşamasında aktif olmakla birlikte şartlandırma içerisinde, kameraya eklenen güneş ışınlarına karşı etkili

Ultraviyole(UV) filtre ve lens ile birlikte Infrared(kızılötesi) ışıık kaynağı yer almaktadır. Bunun dışında görüntü üzerinde arka plandan ayrılabilen ve güneş ışınlarından yüksek derecede etkilenmeyen net bir ürün görüntüsü alabilmek için ürünün arka ve üst bölümüne siyah bir plaka eklenmiştir. Sonuç bölümünde incelenen veriler bu test ortamında 24 saat boyunca test çalışması sonucu elde edilmiştir.



BÖLÜM 5. ARAŞTIRMA BULGULARI

Genel hatları ile gerçekleştirilen uygulamaya baktığımızda; test süreci boyunca dört farklı kamera kullanılmış olup bunlar içerisinde uygulama amacına yönelik en iyi sonucu veren Raspberry Pi V2 IR kamerası sonuç kısmında yer alan bilgilerin olduğu gerçek uygulamada yer almıştır. Burada görüntünün sürekli sabit bir noktadan ve aynı pozisyonda güçlendirilmiş ortamda alınması tek kamera kullanımını yeterli kılmıştır. Kullanılan görüntü işleme algoritması oluşturulan ortama göre optimize edilmiş olup uygulama amacında yeterli sonuçlara ulaşmıştır. Görüntüde titreşim, pozisyon kaybı gibi görüntü ekseninde kayma sorunları yaşanmamasının en büyük sebebi; üretimde ortamındaki otomasyon uygulamasının çalışma prensibinden kaynaklanan, altı eksen yüksek hassasiyete sahip robotun her çevrimde ürünü aynı noktada ve aynı pozisyonda kameraya göstermesidir. Bununla birlikte görüntü işleme süreci robotun parçaya tam konuma getirdiğinde gömülü sisteme gönderdiği ‘ÇevrimStart’ sinyalinin ‘1’sn sonrasında başlamakta olup böylelikle görüntüdeki ışık kaynağından veya hareket hızından kaynaklanan anormallikler ortadan kaldırılmıştır. Bu özellikler ile birlikte Bölüm 4.2.2’de bahsedilen görüntü işleme algoritmasında kullanılan median filtre sayesinde görüntü üzerindeki işlemeyi zorlaştıran bulanıklıklar ortadan kaldırılarak dah net bir görüntü elde edilmiştir.

Gerçekleştirilen uygulama sonuç odaklı olarak döküm sektöründe üretim hattındaki ürünlerin kontrolü aşamasında sorunlara çözüm olarak geliştirilmiştir. Buradaki görüntü işleme algoritması kullanıcı tarafından belirlenen parametreler ile kaydedilen referans görüntü üzerinde gerçekleştirilmektedir. Referans görüntü doğru bir şekilde tanımlanan ürünün karşılaştırıldığı görüntü olduğu için makine öğrenmesi veya derin öğrenme algoritmalarının (Machine Learning – Deep Learning) yerine sabit referans görüntü üzerinde karşılaştırmayı etkileyecek parametrelerin kullanımı algoritmaya eklenmiştir. Bu sebeple ürün karşılaştırmasında hataların tespiti için SURF ve SIFT

öznitelik karşılaştırma algoritmaları birlikte kullanılmış ve belirlenen eşik değerleri ile öznitelik algoritmalarının sonuçları değerlendirilmiştir.

Gerçekleştirilen uygulamaya yönelik temel bileşen analizi sonucunda görüntü alanları üzerinde gerçekleştirilecek görüntü işleme algoritmaları ve karşılaştırma işleminde kullanılacak öznitelik çıkarım algoritmaları için en etkili sonuçlar verecek bileşenler; ‘Eşik, Odak, Yoğunluk ve Pozlama’ parametreleri olarak belirlenmiştir. Bu parametrelerin kullanımları ve görevlerinden Bölüm 4.3.1.’de detaylı olarak bahsedilmiştir. Görüntünün net bir şekilde elde edilmesinde gerçekleştirilen işlemler en yüksek verim alındığı noktada sonraki çevrimler için sabit bir hale getirilmiş olup değişkenlik ortadan kaldırılmıştır. Uygulama içerisinde elde edilen veriler(Ürünün referans görüntüleri ve parametre değerleri) arayüz üzerinden kontrollü bir şekilde kullanıcı tarafından kaydedilmektedir. Burada kullanıcının anormal verileri kaydetme gibi bir durum söz konusu değildir. Gömülü sistem ile arayüz arasında bağlantıdan kaynaklanan bir veri iletim hatası olduğunda eksik veya hatalı veriden kaynaklanan problemler ortaya çıkmaktadır. Bu sorunu ortadan kaldırmak için; Anomaly detection algoritması ilk görüntü işleme çevriminde devreye girerek veritabanı kontrolünü yapmakta, veri ile ilgili bir sorun varsa ortaya çıkarmaktadır. Görüntü işleme algoritmasının veritabanındaki doğru değerler ile sabit bir şekilde tekrar etmesinden dolayı görüntü işleme çevriminde anomaly detection algoritması kullanılmamıştır.

Görüntü işleme algoritması temelde iki ana bölümden oluşmaktadır. İlk kontrol, ürünün belirlenen alan içerisindeki genel kontrolüdür. Burada ilk değerlendirme, belirlenen hata payı oranına göre yapılır. İkinci kontrol ise bir ürün üzerinde belirlenebilecek 32 farklı alanın her birinin ayrı ayrı kontrolü şeklindedir. Burada da her alan kendine özel parametreler ile karşılaştırılır. Her karşılaştırma sonucunda ‘parçaOK’ değerini verirse parça onaylanır. Bu yüzden detaylı incelemede iki farklı başarı oranı elde edilmiştir. Bunun sebebi ürünün tamamına göre görüntünün küçük bir kısmını oluşturan alan içerisindeki detayların daha yoğun olmasıdır. Uygulama amacını karşılayacak genel başarı oranı yani tüm kontrollerin doğru olduğu ve parça onay işleminin gerçekleştiği başarı oranı %95,2 olarak belirlenmiş olup hatalı ürünün

doğru kontrolü de %97,6 olarak belirlenmiştir. Buradaki değişim bazı durumlarda hatalı ürünlerin doğru ürün olarak sonuçlanmasından kaynaklanmaktadır.

Gerçekleştirilen uygulama bulgularını inceleyecek olursak, Tablo 5.1.'de verilen bilgiler üretim hattındaki kalite kontrol sürecinin sensörler ile gerçekleştirildiği durumdaki verileri içermekte ve uygulama ile sağlanan işlem süreleri karşılaştırılmaktadır. Altı farklı sensör kullanım durumu uygulama süreleri ile karşılaştırılmış olup, gerçekleştirilen kamera uygulamsı geleneksel sensör kulelerine göre ortalama %56 oranında daha hızlı bir sonuç elde etmektedir. Uygulama yazılımı mevcut durumu en iyi karşılayacak şekilde 32 farklı ürün ve her bir ürün üzerinde 32 farklı alan tanımlı yapabilecek şekilde tasarlanmıştır. Her sonuçta bahsedileceği gibi bu bölümde de 32 adet sensör kullanımı(gerçektede mümkün) durumunda uygulamanın sağlayabileceği yaklaşık olarak maksimum kazanç durumundan bahsedilmektedir. Bu bağlamda uygulama işlem hızı konusunda %65 oranında maksimum fayda sağlamaktadır.

Tablo 5.1. İşlem süreleri.

Sensör(Adet)		3	6	10	12	16	20
Sensör Kulesi	Süre(Sn)	1,80	2,15	2,60	2,90	3,50	3,85
Uygulama	Süre(Sn)	0,55	0,75	1,15	1,30	1,50	1,65

Gerçekleştirilen uygulama 32 farklı ürün programı kaydetme özelliği ile üretim hattındaki esnekliği ciddi oranda arttırmaktadır. Burada bahsedilen konu sensör kulelerinin her ürün değişiminde ürüne göre sayılarının belirlenip tasarımlarının düzenlenmesinin uzun süre kayıplarına yol açmasıdır. Bu bağlamda Tablo 5.2.'de farklı ürünler için kullanılan farklı sayıdaki sensörlerin ayarlanma süreleri ile program arayüzü üzerinden her ürünün programa tanıtılması süreleri karşılaştırılmaktadır. Sonuçlar incelendiğinde gerçekleştirilen uygulamanın sensörlere göre ortalama %76 oranında kazanç sağladığı görülürken yine maksimum kazanç incelendiğinde %89 gibi oldukça yüksek bir sonuçla karşılaşılmaktadır.

Tablo 5.2. Ürün program değişim süreleri.

	Sensör(Adet)	3	6	10	12	16	20
Sensör Kulesi	Süre(dk)	15	25	30	35	45	60
Uygulama	Süre(dk)	3	5	7	8	9	10

Gerçekleştirilen uygulamada yüksek oranda devamlı başarı sağlamanın yanında uygun maliyet hesabında amaçlanan çerçevenin önemli unsurlarındandır. Uygulama için yapılan araştırmalar ve tez içeriğinde açıklanan sebeplerden dolayı en uygun donanımsal altyapı gerçekleştirildiği şekil olarak belirlenmiştir. Raspberry Pi gömülü bilgisayar ve kamera ile sensör, lens ve ışık kaynağı gibi şartlandırma elemanlarından oluşan sistemin maliyeti Tablo 5.3.'de sensör kuleleri ile karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırma döküm sektöründe yüksek oranda kullanılan 'SickGR18' modellenli sensör ile yaklaşık fiyatlar üzerinden yapılmıştır. Karşılaştırmadan çıkan sonuçlara bakacak olursak, Uygulamanın maliyet kazancı ortalama bir sensör kullanımı durumunda %87 seviyesinde olurken maksimum kazanç %96 gibi çok yüksek bir seviyede olmuştur.

Tablo 5.3. Maliyet karşılaştırması.

	Sensör Kulesi	Uygulama
Sensör(Sick GR18)	10*750	-
Gömülü Sistem(Raspberry Pi 4)	-	350
Kamera (Raspberry Pi V2-IR)	-	250
Lens + Filtre(IR-UV)	-	300
Işık Kaynağı(IR Led)	-	100
Elektronik Aksam	10*100	100
Mekanik Aksam	500	50
Toplam(Ücret-TL)	9000	1150

BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Rekabetin yüksek olduğu günümüz üretim piyasalarında üretim yapan birçok sektörde kalite kontrol ve ölçüm işlemleri hem üretim süresi için hem de üretim kalitesi için büyük önem kazanmaya başlamıştır. Daha önceleri çoğunlukla insan gücünden yararlanılarak gerçekleştirilen kalite kontrol işlemleri, insan faktöründen kaynaklanan uzun zaman süreleri ve hatalı kontrol işlemleri nedeniyle sensörlerden oluşan elektronik sistemler tarafından yapılmaktadır. Teknolojinin hızla gelişmesi ve rekabetin yüksek boyutlara ulaşması sensör sistemlerinin yerine de bilgisayarlı görüntü sistemlerinin almasına neden olmuştur. Sensörlerin yerine kullanılan kamera ile görüntü işleme sistemleri kalite kontrol işlemlerinde otomatik denetim sağlayarak süreç verimliliğini arttırmaktadır.

Tez çalışmasına konu olan bu uygulamada Döküm sektöründe yer alan üretim hattındaki kalite kontrol işlemlerinde, sensörlerden oluşan geleneksel kalite kontrol yöntemi yerine alternatif bir yöntem gerçekleştirilmiştir. Dördüncü bölümde yazılımsal ve donanımsal özelliklerinden detaylı bir şekilde bahsedilen bu uygulama ile döküm sektörlerinin üretim hattında yer alan kalite kontrol işlemlerinin verimliliğinin artırılarak minimum zaman ve maliyette maksimum üretim kalitesi hedeflenmektedir. İleri seviye mikro denetleyiciye ve yüksek çözünürlüğe sahip bir kameradan oluşan bu gömülü istem ile üretim hattındaki farklı ürünlerin geliştirilen ara yüz ile programlanarak otomatik çevrim sürecinde offline olarak sürekli kontrol edilmesi sağlanmaktadır. Programlanan referans görüntü ile kameradan alınan canlı ürün görüntüsü, görüntü işleme teknikleri ile karşılaştırılıp ürün hakkında bir sonuca varılmakta, gömülü görüntü işleme sisteminin ürün alma robotu ile entegre çalışması sayesinde otomatik üretim süreci devam ettirilmektedir. Bu bölümde gerçekleştirilen uygulamanın performans, ortam, maliyet, süre gibi temel analizleri yapılmakta, elde edilen sonuçlar detaylı bir şekilde irdelenmekte ve gelecek çalışmalar için önerilerde bulunmaktadır.

Gerçekleştirilen uygulama 3. Bölümde anlatılan donanımsal altyapı koşullarının sağlandığı bir ortamda güneş ışınlarına direk maruz kalmayacak şekilde 24 saat süren sürekli çevrimler ile test edilmiş. Sonuçların incelendiği ilgili tablolarda bu testlerden elde edilen verilerden yararlanılmaktadır. Sonuçlardan ilki olan fiziksel ortam analizine bakacak olursak; Uygulamada elde edilen donanımsal altyapı minimum maliyet düşüncesi hedefinde olduğu için güneş ışınlarının direk maruz kaldığı aşırı tozlu ortamlarda uzun vadede yeterli sonuçlar alınmasını engelleyebilmektedir. Oluşturulan donanım daha güçlü endüstriyel bir kamera ile desteklenirse daha küçük çözünürlüklerde yüksek görüntü kalitesi elde edilebilir. Böylelikle elde edilecek net görüntü ile yazılım kısmında görüntü işleme algoritmaları daha başarılı bir şekilde çalışabilecektir. Aynı zamanda endüstriyel bir kamera ile sahip oluncak ayarlanabilir odaklama özelliği ve odak noktası belirleme özellikleri ile çok daha net görüntüler elde edilebilir. Gerçekleştirilen uygulamada '640*480' çözünürlüğündeki görüntüler 13MP özellikli FHD bir Raspberry Pi kamerası ile elde edilmiş olup uygulama amaçları için yeterli seviyededir. Bunun dışında donanımsal altyapı güneş ışınlarından etkilenmeyecek daha güçlü bir lens ve filtre ile desteklenerek elde edilen görüntü kalitesi arttırılabilir. Güneş ışınlarıyla başa çıkabilmek için uygulamada da kullanılan güçlü bir Infrared(IR-Kızıl Ötesi) ışık kaynağının etkisi arttırılabilir.

Bu gibi geliştirmeler net görüntü elde edebilmek için fiziksel ortamdaki şartlandırma gereksinimini ortadan kaldıracaktır. Uygulamada görüntüyü arka plandan ayırmak ve güneş ışığından etkilenme oranını azaltmak için ürünün üst ve arka kısmına siyah bir plaka yerleştirilmiştir. Hassas görüntü işleme sistemlerinde bu gibi sorunları ortadan kaldırmak için ürünün tamamen kapalı siyah bir alan içerisinde sadece kamera ve güçlü bir ışık ile görüntüsü elde edilmektedir. Fakat Döküm sektöründe robotlu bir tam otomatik üretim hattında bu işlem çok gerçekçi olamayacağı için tezde belirtilen yöntem gerçekleştirilmiştir ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Şartlandırmasız ortamda görüntü işleme yönteminin sonuçları her saat geçişinde değiştiği için sağlıklı sonuçlar elde edilememiş olup görüntü işleme testleri şartlandırılmalı ortamda gerçekleştirilmiştir. Robotlu üretim otomasyon sisteminde sürekli çalışabilecek şekilde tasarlanan uygulamada gömülü sistem olarak Raspberry Pi 4 modeli

kullanılmıştır. Uzun vadedeki sonuçların incelenmesi gerektiği öngörüsünde olarak ilk aşamda; hız, farklı sistemler ile iletişim altyapısı, kullanılabilirlik ve sürdürülebilirlik açısından olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Bu konudaki iyileştirme Endüstriyel ortamda çalışması için tasarlanmış özel bir Raspberry Pi seçimi olabilmektedir.

Sistemin performans analizine bakacak olursak, Donanımsal alt yapı ile desteklenen uygulama yazılımı gömülü sistem üzerinde Python programlama dili ve OpenCV görüntü işleme kütüphanesi ile gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda uygulama yazılımında tasarlanan görüntü işleme algoritması hız ve doğruluk açısından yüksek sonuçlar vermektedir. Sistemdeki parametreler ile esnek bir şekilde programlanabilen uygulama iki aşamada görüntüyü işlemektedir. İlk aşamada ürünün tamamı için belirtilen alanda verilen parametreler ile kontrol işlemi yapılmaktadır. Ürünü tamamı için kontrol işlemi %96,4 oranında doğru eşleme yakayabilmektedir. Görüntü işleme sürecinin ikinci aşaması ürün üzerinde belirlenebilecek 32 farklı alan için kendi parametreleri ile karşılaştırma yapmaktır. Canlı görüntüdeki alanlar ile referans olarak kaydedilen görüntüdeki özel alanların karşılaştırması %95,2 seviyesinde kalmaktadır. Bunun sebebi ürünün tamamına göre görüntünün küçük bir kısmını oluşturan alan içerisindeki detayların daha yoğun olması olarak belirlenmiştir. Yazılımsal olarak geliştirmelerin olabileceği gibi donanımsal altyapının geliştirilmesi bu yüzdeyi genel tespitteki %97 seviyelerinin üstüne çekmekte yeterli olacaktır.

Uygulamada elde edilen eşleştirme sonuçları yeterli seviyededir. Gerçekleştirilen uygulamadaki görüntü işleme algoritmasının doğru ürün tespitindeki elde ettiği sonuç Tablo 6.1.'de verilmiştir. Burada genel görüntü için doğru ürün tespitinde %95,2 oranında başarı sağlanırken, Hatalı ürünün doğru tespitinde %97,6 gibi yüksek bir başarı elde edilmiştir. Karmaşıklık matrisinden elde edilen uygulamanın genel başarı oranı ise %96,4 seviyesindedir. 2. Bölümde verilen literatür incelemesinde yer alan bu bağlamdaki çalışmaların genel sonuçları bu kapsamda verilmediği için çalışmanın sonuçları kendi içerisinde değerlendirilip literatür için öncülük etmektedir.

Tablo 6.1. Uygulama genel başarımları sonuçları karmaşıklık matrisi.

Uygulama (250 çevrim)	Doğru Tespit	Hatalı Tespit		Başarı Oranı(%)
Doğru Ürün(ParçaOK)	238	12	250	95,2

Hatalı Ürün(ParçaNOK)	244	6	250	97,6
	482	18	500	96,4

Son bölümde incelenen süre, performans, fiziksel ortam ve maliyet gibi analizlerin sonuçlarında belirttiği üzere gerçekleştirilen uygulama amaçlanan doğrultuda olumlu sonuçlar elde etmiştir. Literatürde öncü çalışmalar arasında yer alacak olan bu çalışma minimum maliyet ve gerçekleştirilebilir en uygun durum açısından tatmin edici sonuçlar çıkarmış olup, Döküm sektöründe kullanılabilecek gerçek bir gömülü görüntü işleme sisteminin prototipi halini almıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Köse, Y., Döküm Sektöründe Görüntü İşleme Tekniklerini Kullanarak Parça Kontrolü, Maltepe Ünivrsitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2019.
- [2] Turan, B., Görüntü İşleme Algoritmalarının Eş Zamanlı Süreçlere Ayrılarak Kablosuz Ağ Üzerinden Gerçeklenmesi ve Performans Analizleri, Maltepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2017.
- [3] Karakoç M., Görüntü İşleme, Teknolojiler ve Uygulamaları, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisan Tezi, 2012.
- [4] Yılmaz, M., Görüntü İşleme Teknikleri ile Zirai Tuzaklardaki Böcek Adedi Tespiti, Maltepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisan Tezi, 2016.
- [5] Karakoç, M., Görüntü İşleme Teknikleri Ve Yapay Zekâ Yöntemleri Kullanarak Görüntü İçinde Görüntü Arama, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2011.
- [6] Turan, S., Tolga, A., Tarımsal Ürün Bilgilerinin Bir Gezgin Robot Yardımıyla Temin Edilen Görüntülerin İşlenmesi Yoluyla Analiz Edilmesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22(2), 480-488.
- [7] Perihanoğlu, G., Dijital Görüntü İşleme Teknikleri Kullanılarak Görüntülerden Detay Çıkarımı, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2015.
- [8] Luhman, T., Robson, S., Kyle, S., Close Range Photogrametry Principles, Methods and Applications, 528, 2006.
- [9] Bayram, B., Sayısal Görüntü İşleme, Yıldız Teknik Üniversitesi, Akademik Çalışma, 2013.
- [10] Esmeray, F., Açık Kaynak Kodlu Görüntü İşleme Uygulamaları, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisan Tezi, 2014.
- [11] Karsan, S., Sayısal Görüntü ve Sayısal Görüntü İşlemenin Tasarıma Etkisi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2008.

- [12] Al-Karawi, M. K., İkili Görüntü Kullanarak İmza Steganografi Modellerinin Geliştirilmesi, Gazi Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2012.
- [13] Toyran, M., Düşük Çözünürlüklü Görüntülerden Süper Çözünürlüklü Görüntüler Oluşturma, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2008.
- [14] Yalman, Y., Sayısal Görüntüler için Histogram Temelli Gizleme Yöntemi ve Uygulama Yazılımı, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2010.
- [15] Akar, F., Şablon Eşleşme Yöntemi ile Plaka Tanıma ve Değerlendirme Sistemi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2009.
- [16] Chaney, M., Brightness, Contrast, Saturation and Sharpness, Steve's Digicams, 2013.
- [17] Hardeberg, J. Y., Acquisition and Reproduction of Color Image: Colorimetric and Multispectral Approaches, PhD Thesis, Ecole Nationale Supérieure des Telecommunications, 1999.
- [18] Yılmaz, İ., Renk Sistemleri, Renk Uzayları ve Dönüşümler, Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde, 30, 16-18, 2002
- [19] Katırcıoğlu, F., Renkli Görüntülerin Bağintı Matrisine Dayalı Ayrıştırılması ve Kenar Algılama, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2007.
- [20] Taşkın, D., Sıkıştırılmış Video Akımının Düzensiz Haritalar ve Başlangıç Kodlarına Dayalı Şifrelenmesi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2007.
- [21] Kahya, E., Kivi Hasatı İçin Robotik Tutucu Tasarımı Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 6(2), 18-35, 2014
- [22] Uzer, M, S., Görme Tabanlı Mobil Robotun Farklı Renklerde Nesneleri Takibi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2008.
- [23] Gonzalez, R, C., Woods, R, E., Digital Image Processing, Prentice Hall 3rd Edition, New Jersey, 2002.
- [24] Arena, P., Basile, A., Bucolo, M., Fortuna, L., An Objectoriented Segmentation on Analog CNN Chip, IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications, 50(7), 837-846, 2003.
- [25] Arslan, E., Hücresel Sinir Ağı Sistemleri Kullanarak Hareketli Nesnelerin Görüntü İşleme Uygulamaları, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2011.

- [26] Göçeri, E., Yaldir, K., Çok Boyutlu Görüntüler için JPEG2000 Standardını Destekleyen Görüntü İşleme Uygulaması, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2007.
- [27] Karakoç, M., Baskılı Devre Kartlarındaki Delik Alanlarının Görüntü İşleme Teknikleri Kullanılarak Tespit Edilmesi ve Potansiyel Delim Güzergâhının Genetik Algoritmalar ile En iyilenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22(1), 336-345, 2018.
- [28] Alçın, M., Görüntü İşleme Esaslı Parmakizi Doğrulama, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2007.
- [29] Sevgen, S., Hücresel Sinir Ağları için Kararlı Şablon Tasarımı ve Görüntü İşleme Uygulamaları, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2009,
- [30] Yetik, İ. Ş., Sayısal Görüntü İşleme, Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2006.
- [31] Bellanger, M., Digital Processing of Signal: Theory and Practice, John Wiley and Sons, USA, 2000.
- [32] Çayırılı, M., Yanma Olayının Modellenmesi ve Görüntü İşleme Yoluyla Yanma Performansının Optimizasyonu, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2006.
- [33] Huang J., Kumar S, R., Mitra, M., Zhu W.J., Zabih, R., Spatial color indexing and applications, International Journal of Computer Vision, 35(3), 245-268, 2016.
- [34] Polat, R., Biyomedikal Görüntü Bölütleme, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2007.
- [35] Nurettin, G., Recep, K., Beş Serbestlik Dereceli Robot Kolunun Görüntü Esaslı Kontrolü, Atatürk Üniversitesi, 16. Ulusal Makina Teorisi Sempozyumu, 395, 2013.
- [36] Basık, Y., Coşkun, F, D., Hasan, Fatih, G, K., Metin, H., Görüntü İşleme Tabanlı 4 Eksenli Çok Amaçlı Robot Mekanizması, Kocaeli Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Lisans Tezi, 2015.
- [37] Gül Ç., Matlab İle Görüntü İşleme, Sakarya Üniversitesi, Bilgisar Mühendisliği Bölümü, Lisans Tezi, Sakarya, Türkiye, 2015.
- [38] Uslu, R., Elektronik Bir Hücresel Yapay Sinir Ağı Gerçeklemesi Olan ACE16K Üzerinde Görüntü Bölütleme, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2007.

- [39] Nina, O., Morse, B., Barrett, W., A Recursive Otsu Thresholding Method for Scanned Document Binarization, IEEE Workshop on Applications of Computer Vision (WACV), 307-314, 2000.
- [40] Jahne, B., Texture, In Digital Image Processing, Springer, Berlin, Heidelberg, 413-424, 2002.
- [41] Boykov, Y., Jolly, M, P., Interactive Graph Cuts For Optimal Boundary and Region Segmentation Of Objects In N-D Images, In Proceedings of the International Conference on Computer Vision, ICCV-1 IEEE, 2001.
- [42] Önder, M., Uydu Görüntülerinden Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemine Temel Oluşturacak Nitelikte Topografik Harita Üretimine Yönelik Analiz ve Öneriler, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 1997.
- [43] Young, I, T., Gerbrands, J, J., Viliet, L, V., Fundamentals of Image Processing, Delft University of Technology, 1998.
- [44] Qidwai, U., Chen, C, H., Digital Image Processing: an Algorithmic Approach with MATLAB, CRC Press, 2009.
- [45] Acharya, T., Ray, A, K., Image processing Principles and Applications, Wiley-Interscience, 2005.
- [46] Lim, J, S., Two-Dimensional Signal and Image Processing, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1990.
- [47] Yüksel H., Medikal Görüntü İşleme İçin Fraktal Geometri Kullanarak Üç Boyutlu Modelleme ve Hızlı Prototipleme Yazılımının Geliştirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2010.
- [48] Karaduman G., Demiryollarına Ray Profil Analizi İçin Üç Boyutlu Görüntü İşleme, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2013.
- [49] Akar E. O., Tarihi Görüntülerin Kalitesinin Görüntü İşleme Teknikleri Kullanılarak Artırılması, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2006.
- [50] Çil M, M., Temel Görüntü İşleme Algoritmalarının FPGA Üzerinde Gerçeklenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2015.
- [51] Kısa, M., Karayolunda Seyreden Araçların Tanınması, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2014.
- [52] Smith, S., Brady, J., SUSAN a New Approach to Low Level Image Processing, International journal of computer vision, 23(1), 45-78, 1997.

- [53] Kaymak, Ç., Raspberry Pi Devre Kartı Kullanarak Nesne Bulma ve Tanıma Algoritmalarının Bir Robot Kol Üzerinde Uygulanması, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2006.
- [54] Roberts, L. G., Machine Perception of Three-Dimensional Solids, Optical and Electro-Optical Information Processing, MIT Press, Cambridge, USA, 1963.
- [55] Dickinson, S. J., Object representation and recognition, What is cognitive science, 172-207, 1999.
- [56] Varol, A. H., Görüntü Mozaikleme ile Panoramik Görüntü Üretimi, Başkent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2014.
- [57] Mayur, D., Rashmi, S., Image Mosaicing Using Feature Detection Algorithm, International Journal of Informative and Futuristic Research, 2014.
- [58] Fathima, A., Karthik, R., Vaidehi, V., Image Stitching With Combined Moment Invariants and Sift Features, Procedia Computer Science, 420-427, 2013.
- [59] Grauman, K., Leibe, B., Chapter 3 - Local Features: Detection and Description, Visual Object Recognition: Synthesis Lectures on Artificial Intelligence and Machine Learning, 1-23, 2011.
- [60] Nandhini, M., Kumar, R., Anand A., Analysis on Feature Detection for Image Mosaicing, IJAIEEM, 2012.
- [61] Joshi, H., Sinha, K., A Survey on Image Mosaicing Techniques, International Journal of Advanced Research in Computer Engineering and Technology (IJARCET), 365-369, 2013.
- [62] Rey-Otero, I., Delbracio, M., Anatomy of SIFT Method, IPOL Image Processing On Line, 2014.
- [63] Lowe, D. G., Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints, International Journal of Computer Vision (IJCV), 60(2), 91-110, 2004.
- [64] Trajkovic, M., Hedley, M., Fast Corner Detection, Image and Vision Computing, 16(2), 75-87, 1998.
- [65] Rosten, E., Drummond, T., Machine Learning for High Speed Corner Detection, Proceeding of the 9th European Conference on Computer Vision (ECCV), Springer, Berlin, Heidelberg, 430-443, 2006.
- [66] Karakoç, M., Görüntü İşleme Teknolojileri, Uşak Üniversitesi, Akademik Bilişim Dergisi, 2012

- [67] Calonder, M., Lepetit, V., Strecha, C., Fua, P., BRIEF: Binary Robust Independent Elementary Features, European Conference on Computer Vision (ECCV), Springer, Berlin, Heidelberg, 2010.
- [68] Rublee, E., Rabaud, V., Konolige, K., Bradski, G., ORB: an Efficient Alternative to SIFT or SURF, International Conference on Computer Vision (ICCV), 2564-2571, 2011.
- [69] Barbara, Z., Jan F., Image, Image Registration Methods: a Survey, Image and Vision Computing, 21(11), 977-1000, 2003.
- [70] Fitzpatrick, J. M., Derek L. G., Calvin R, M., Image Registration, Handbook of medical imaging, 2, 447-513, 2000.
- [71] Brown, L.G., A Survey of Image Registration Techniques, ACM computing surveys (CSUR), 24(4), 325-376, 1992
- [72] Mistry, D., Banerjee, A., Review: Image Registration, International Journal of Graphics & Image Processing (IJGIP), 2(1), 2012.
- [73] Yamamura, Y., Hyoungeop K., Tan, J. K., Ishikawa, S., A method for Reducing of Computational Time on Image Registration Employing Wavelet Transformation, International conference on Control Automation and Systems (ICAS), 1286-1291, IEEE, 2007.
- [74] Müezzinoğlu, T., Çolak, F., Karaköse, M., Görüntü Mozaikleme Algoritması İçin Deneysel Bir Çalışma, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisan Tezi, 2014.
- [75] Konstantinos, G. D., Overview of the RANSAC Algorithm, Image Rochester NY, 4(1), 2-3, 2010.
- [76] Fischler, M. A., Bolles, R. C., Random Sample Consensus: a Paradigm For Model Fitting With Applications to Image Analysis and Automated Cartography, Communications of the ACM, 24(6), 381-395, 1981.
- [77] Stafford, M., Latha, M., Akshatha, S., Juslin, F., Manasa, B., Shivani, U., Automatic Image Mosaicing Using Sift, Ransac and Homography, International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJETT), 2014.
- [78] Boguslaw, C., Siebert J, P., An Introduction to 3D Computer Vision Techniques and Algorithms, Wiley, 2011.
- [79] Victor, L., Denis I., Seamless Mosaicing of Image-Based Texture Maps, Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 1-6, IEEE, 2007.

- [80] El-Saban, M., Mostafa, I., Ayman, K., Mahmoud, R., Improved Optimal Seam Selection Blending for Fast Video Switching of Videos Captured from Freely Moving Devices, Image Processing of International Conference, (ICIP), 18, 1481-1484, IEEE, 2011.
- [81] Patrik, N., Image Switching using Watersheds and Graph Cuts, Research Article, Lund University, Sweden, 2018.
- [82] Öztürk, Ş., Cam Üretim Hatalarının Görüntü İşleme Tabanlı Bulunması, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2015.
- [83] Erhardt A., Theory and Applications of Digital Image Processing, University of Applied Sciences, 1(2), 3, 2000.
- [84] Emre, E., Sayısal Görüntü İşleme Yöntemi ile Tane Boyut Dağılımı Analizi, Çukorova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2006.
- [85] Altıntaş, V., Görüntü İşlemede Seri ve Paralel Programlamanın Performansı, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS), 6, 131-134, 2011.
- [86] Arslan, E., Arık, S., Hareketli Görüntüde Kenar Belirleme Algoritmasının Analog Hüresel Sinir Ağı ve Sayısal İşaret İşleme İşlemcileri Üzerinde Uygulaması, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2010.
- [87] Bradski, G., Kaehler, A., Learning OpenCV: Computer vision with the OpenCV library, O'Reilly Media, Inc, Sebastopol, 2008.
- [88] Taha, İ., Gömülü Bilgisayar Tabanlı Mobil Robot Sistemi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2009.
- [89] Kaçmaz E., Pic Mikrodenetleyici Kullanarak Ağ Bağlantılı Gömülü Sistem Tasarımı İklimlendirme Cihaz Kontrol Ünitesi Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [90] Tefek, F. M., DTMF Tabanlı, Gömülü Sistem Üzerinden Kablosuz Tarla Sulama Sisteminin Kontrolü, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2010.
- [91] Solak, S., Yakut, Ö., Bolat, E., Yaygın Kullanılan ARM Tabanlı Tek Kart Bilgisayar Sistemleri ve Kullanım Alanları, El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi (ECJSE), 4(1) 2017.
- [92] Nayyar, A., Puri, V., A Review of Beaglebone Smart Board's- A Linux/Android Powered Low Cost Development Platform Based on ARM Technology, International Conference on Future Generation Communication and Networking (FGCN), 9, 55-63, IEEE, 2015

- [93] Zihni, G., TCP/IP ile Kablosuz Algılayıcı Ağlarına Erişim, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisan Tezi, 2011.
- [94] Erkan, N., İnternet Protokolü Üzerinden Ses İletimi ve Bir Yazılım Uygulaması, Kocaeli Üniveristesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2007.
- [95] Karadoğan, İ., Ağ İletişiminde Veri Gizleme Tabanlı Bilgi Güvenliği Uygulamaları, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2016.
- [96] Tanenbaum, A. S., Wetherall, D. J., Computer Networks, Prentice Hall, 5 2010.
- [97] Kadakoğlu S., Kablosuz Yerel Alan Ağlarında(Wlan) Güvenlik Uygulamaları ve Ses Haberleşmesi(VoIP), Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2010.
- [98] Gültunca, C., Nesnelerin İnternetinde Uygulama Katmanı Üzerindeki Haberleşme Protokollerinin İncelenmesi ve Deneysel Karşılaştırılması, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2018.
- [99] Aktepe K., Borland C++ Builder ve TCP/IP ile Gerçek Zamanlı Kamera Görüntü Aktarımı, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2005.
- [100] You C., Chandra K., Time Series Models for Internet Data Traffic, In Proc. 24th Conf. on Local Computer Networks (LCNN), 164-171, IEEE, 1999.
- [101] Timur, B., Endüstriyel Veri İletişiminde TCP/IP Uygulaması,İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2005.
- [102] Ercan, Y., Kablosuz Ağlarda Çoklu Ortam İletimi, Kocaeli Üniversiesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2008.
- [103] Taşer, A., İnternette Güvenlik e Firewall Uygulaması, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 1997.
- [104] Bayındır, R., Güler, N., Vadi, S., Endüstriyel Alanlarda Kullanılan Veri İletim Tekniklerinin Karşılaştırılması, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, 2(1), 181-188, 2014.
- [105] Uzun, T., Güven, B., Kontrol Sistemlerinde Kullanılan Veri Haberleşmesi Teknolojileri, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2007.

- [106] Söğüt, E., Erdem, A., Günümüzün Vazgeçilmez Sistemleri: Nesnelerin Haberleşmesi ve Kullanılan Teknolojiler, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2017.
- [107] Karademiroğlu, O., Baloğlu, A., Akıllı Şehirlerde Kablosuz Haberleşme Teknolojileri ve Doğru Teknoloji Seçimi, İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2019.
- [108] Eyüp, K., Abdullah, A., Levent, Ç., Erol, U., Görüntü İşlemeye Dayalı Elektro-Pnmatik Parça Tasnif Robotu, 5. Ulusal Hidrolik Pnmatik Kongresi, 2016.
- [109] Alpaslan, Y., Oğuzhan, D., Burak, K., Metin Ö., Osman P., Gezgin Robotlar için Görüntü Tabanlı Konumlandırma Sistemi, Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı (TOK), 2018.
- [110] Adamo, F., Attivissimo, F., Di Nisio, A., Savino, M., An Automated Visual Inspection System for the Glass Industry, In Proc. of 16th IMEKO TC4 Symposium, Italy, 9, 22-24, 2008.
- [111] George, J., Janardhana, S., Jaya, J., Sabareesaan, K. J., Automatic Defect Detection Inspectacles and Glass Bottles Based on Fuzzy C Means Clustering, In Current Trends in Engineering and Technology (ICCTET), IEEE, 8-12, 2013.
- [112] Balcı, M., Altun, A., Taşdemir, Ş., Görüntü İşleme Teknikleri Kullanılarak Napolyon Tipi Kirazların Sınıflandırılması, Selçuk Teknik Dergisi, 15(3), 221-237, 2016.
- [113] Solak, S., Altınışık, U., Görüntü İşleme Teknikleri Ve Kümeleme Yöntemleri Kullanılarak Fındık Meyvesinin Tespit Ve Sınıflandırılması, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22(1), 56-65, 2018.
- [114] Uçar, K., Silindirik Cisimlerin Görüntü İşleme ile Hata Tespiti, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2018.
- [115] Varol, G., Salih, R., Sinan, Y., Rafta Ürün Diziliminin Görüntü İşleme ile Tespiti, IEEE, 2014
- [116] Demirci, M., Yabanova, İ., Model Tabanlı Tasarım Metotları Kullanılarak Gerçek Zamanlı Bir Görüntü İşleme Sisteminin Tasarımı ve Gerçeklemesi, Araştırma Makalesi, Politeknik Dergisi, 2019.
- [117] Rashid, E., Raspberry Pi ile Gerçek Zamanlı Yüz Tanıma ve Kontrol Sistemi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2018.
- [118] Seçkin, O., Gömülü Grafik İşlemcileri İçin OpenGL Tabanlı Görüntü İşleme Kütüphanesi Ve İnsan Yüzü Tespit Etme Uygulaması, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2014.

- [119] Öztürk, T., Albayrak, Y., Polat, Ö., Gömülü Sistemlerle Görüntü İşleme ve PI Denetimli Nesne Takibi, Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU), 23, 2178-2181, IEEE, 2015.
- [120] Boyraz, Ö., Yıldız, M. Z., Mobil Damar Görüntüleme Cihazı Tasarımı, 4th International Symposium On Innovative Technologies In Engineering And Science (ISITES), 2016.
- [121] Erken, E., Urhan, O., Nesnelerin İnterneti Tabanlı Bebek Uyku Takip Sistemi, National Informatics Symposium (TBD), 2016.
- [122] Berki, K., Artan, K., Orhan, M., Ağaçtaki Kirazın Tespit Edilmesi, Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi (MCBÜ), 2(24), 93-104, 2017.
- [123] Küçükmanisa, A., Urhan, O., Gömülü Bir Platform Üzerinde Gerçek Zamanlı Şeritten Ayrılma Uyarı Sistemi, Gazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32(4), 1287-1300, 2017.

ÖZGEÇMİŞ

Zeynel ÇAN; İlk, orta ve lise eğitimlerini İstanbul'da tamamladı. 2013 yılında Sakarya Üniversitesi Bilişim Sistemleri Mühendisliği bölümüne bir yıllık İngilizce Hazırlık eğitimini tamamladıktan sonra başladı. 2018 yılında Onur Öğrencisi olarak Bilişim Sistemleri Mühendisliği bölümünden mezun oldu ve Bilişim Sistemleri Mühendisi Ünvanını aldı. 2015 yılında Anadolu Üniversitesi'nde başladığı İngiliz İşletme Lisans eğitimini 2019 yılında Yüksek Onur Öğrencisi olarak bitirdi. 2018 yılında Teknosem firmasında altı ay boyunca yazılım geliştirici olarak çalıştı ve aynı yıl Sakarya Üniversitesi Bilişim Sistemleri Anabilim dalında Yüksek Lisan eğitimine başladı. 2019 yılında Teknosem firmasında Robotik Otomasyon Yazılım Uzmanı olarak çalıştı ve halen çalışmaya devam etmektedir. Bir adet Ulusal Tez yayını ve bir adet Uluslararası Bildiri yayını bulunmaktadır. Tez; Nesnelerin İnterneti Tabanlı Ürün Tanıma ve İstifleme Üzerine Robot Kol Tasarımı ve Uygulaması (Sakarya Üniversitesi Lisans Tezi - 2018). Bildiri; OCR-based Mobile Application for Market-Price Analysis (International Marmara Science And Social Sciences Congress IMASCON - 2019).