



**TARIMSAL ÜRÜN BİLGİLERİNİN
GEZGİN BİR ROBOT ARACILIĞIYLA
ELDE EDİLEN GÖRÜNTÜLERİNİN
İŞLENMESİ YOLUYLA ANALİZ EDİLMESİ**

Sedat TURAN

**Yüksek Lisans Tezi
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
Yrd. Doç. Dr. Tolga AYDIN
2017
Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TARIMSAL ÜRÜN BİLGİLERİNİN GEZGİN BİR ROBOT
ARACILIĞIYLA ELDE EDİLEN GÖRÜNTÜLERİNİN İŞLENMESİ
YOLUYLA ANALİZ EDİLMESİ**

Sedat TURAN

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ERZURUM
2017**

Her hakkı saklıdır



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



TEZ ONAY FORMU

**TARIMSAL ÜRÜN BİLGİLERİNİN GEZGİN BİR ROBOT ARACILIĞIYLA
ELDE EDİLEN GÖRÜNTÜLERİNİN İŞLENMESİ YOLUYLA ANALİZ
EDİLMESİ**

Yrd. Doç. Dr. Tolga AYDIN danışmanlığında, Sedat TURAN tarafından hazırlanan bu çalışma 06/09/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak ~~oybirliği/oy çokluğu~~ (.../...) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Tolga AYDIN

İmza :

Üye : Doç. Dr. Ahmet BARAN

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Levent BAYINDIR

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 21/09/2017 tarih ve 33/73 nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Cavit KAZAZ
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TARIMSAL ÜRÜN BİLGİLERİNİN GEZGİN BİR ROBOT ARACILIĞIYLA ELDE EDİLEN GÖRÜNTÜLERİNİN İŞLENMESİ YOLUYLA ANALİZ EDİLMESİ

Sedat TURAN

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Tolga AYDIN

Robotik sistemlerin bir çeşidi olan gezgin robotların kullanımının, günlük yaşamımızın farklı alanlarında gelişerek arttığı görülmektedir. Bu çalışmada, görüntü işleme yöntemi ile tarımsal ürün bilgilerinin analiz edilmesi için gezgin robotik sistemin kullanılması ve sistem kurulması aşamasında ortaya çıkabilecek problemlerin çözüm yollarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Kablosuz veri iletimi kullanılarak gezgin robot üzerinden gönderilen görüntü, ortam sıcaklığı ve nem verileri kullanıcı tarafına aktarılmıştır. Böylece, kullanıcı tarafında görüntü işleme yöntemlerinden faydalanılarak geliştirilen yazılım sayesinde görüntü verilerinden bazı bilgiler elde edilmektedir.

Tasarlanan gezgin robot, yazılım ve donanım olmak üzere iki ana yapıdan oluşmaktadır. Hareket sistemi ve algılama sistemi donanım yapısını, kontrol sistemi de yazılım yapısını oluşturmaktadır. Hareket sistemi, tarımsal alanlarda kullanıcı tarafından gönderilen hareket emirlerini yerine getiren sistemdir. Algılama sistemi ise, ortam sıcaklık ve nem verilerini alarak kontrol sistemine aktaran sistemdir. Robotik sistem, bu iki sistemin koordineli çalışması ve yazılım ile bağlantısını sağlayan kontrol sistemine sahiptir. Tarımsal mekanizasyon ve bilişim alanlarında yapılan bilimsel çalışmalarda görüntü işleme yöntemleri kullanarak gezgin robot tasarımı fazla kullanılmazken, bu çalışmada yazılım ve donanım yapıları geliştirilerek ikisi bir arada kullanılmıştır. Robotik sistemde; kullanıcıya ortam sıcaklığı ve nem bilgileri aktararak donanıma, görüntü işleme teknikleri kullanılarak tarımsal ürün bilgisi raporlama ve çalışan takip sistemi yazılıma ek yapılmıştır. Bu sayede tarımsal alanlarda robotik sistemlerin kullanımlarının etkinliği artırılmıştır.

Görüntü işleme tekniklerinin kullanıldığı yüz tanıma ve ürün bilgisi analiz denemelerinde gezgin robot üzerindeki kameranın kalitesi, ortam aydınlatması, gölgelenme, ürünlerin fiziksel yapıları ve yüz eğitim sayısı robotik sisteme doğrudan etkisi olduğu anlaşılmıştır. Araştırma sonucunda robotik sistemin arazide rahat hareket edebilmesi için hareket sisteminde kullanılan mekanik yapının sanayi tipinde olması gerektiği görülmüştür.

2017, 153 sayfa

Anahtar Kelimeler: Görüntü İşleme, Gezgin Robotlar, Tarımsal Hasat Robotu, Robotik Hasat

ABSTRACT

MS Thesis

ANALYSIS OF AGRICULTURAL PRODUCT INFORMATION THROUGH PROCESSING OF IMAGES OBTAINED BY A MOBILE ROBOT

Sedat TURAN

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Computer Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Tolga AYDIN

Mobile robots, a kind of robotic system, are now being used ever more in different areas of daily life. This study aims to identify the solutions for the problems that may arise during the use of the mobile robot system throughout the analysis of agricultural product information with image processing method and during the system installation stage. Wireless data transmission was used to send the image, ambient temperature and humidity data from the mobile robot to the user. Thus, the user was able to get certain information from the image data with the software developed using image processing algorithms.

The designed mobile robot consists of two main structures - software and hardware. While the motion system and the sensor system make up the hardware, the control system makes up the software. The motion system fulfills the motion-related orders sent by the user on agricultural lands. The sensor system collects the ambient temperature and humidity data and transfers those to the control system. The robotic system includes the control system which ensures the coordinated operation of these two systems and their connection with the software. In the scientific studies about agricultural mechanization and informatics, it is common to use image processing methods instead of mobile robot designs. This study, on the other hand, uses both of these with software and hardware structures developed accordingly. With the robotic system; the ambient temperature and humidity data are sent to the user, hardware and image processing techniques are used to support the software with agricultural product reporting and employee monitoring system. In this way, the effectiveness of the use of robotic systems on agricultural areas has been improved.

Face recognition and product information analysis studies in which image processing techniques were used has shown that the quality of the camera on the robot, the ambient lighting, shading, the physical structure of the products and the number of number of learning cycles for facial recognition were directly influential on the robotic system. Research findings showed that; the mechanical structure used in the motion system should be of industrial strength in order for the robotic system to be able to move freely on the land.

2017, 153 pages

Keywords: Image Processing, Mobile Robots, Agricultural Harvesting Robot, Robotic Harvesting

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarımın planlanması, yürütülmesi ve ortaya çıkarılmasında yardımlarını ve ilgilerini esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Tolga AYDIN'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma sırasında kullandığım elektronik sistemler hakkında yardım eden Sayın Mekatronik Teknikeri Erbil ERİÇYEL'e, tarımsal konularda ve arazi çalışmalarında yardımını esirgemeyen Sayın Ziraat Mühendisi Murat TURAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman manevi destekleri ile bana güç veren aileme şükranlarımı sunarım.

Sedat TURAN

Eylül, 2017

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Robotların Genel Yapısı.....	2
1.1.1. Robot kavramı ve robotların tarihsel gelişimi	2
1.1.2. Robotların sınıflandırılması.....	7
1.1.2.a. Manipülatör (Gövde) yapısına göre robotlar	9
1.1.2.b. Hareket sistemine göre robotlar	12
1.1.2.c. Kontrol döngüsü tipine göre robotlar	13
1.1.3. Robotu oluşturan alt sistemler ve robotlarla ilgili bazı kavramlar	15
1.1.3.a. Uç eleman veya son etkici (end-effector).....	16
1.1.3.b. Bilek	19
1.1.3.c. Kol	20
1.1.3.d. Temel.....	21
1.1.3.e. Güç birimi.....	21
1.1.3.f. Algılayıcı sistemler ve özellikleri	24
1.1.4. Robotik sistemler için mikrodenetleyiciler	28
1.1.5. Görüntü işleme	29
1.1.5.a. Görüntü işleme kullanım amaçları	32
1.1.5.b. Görüntü işleme uygulama alanları	32
1.1.5.c. Görüntü işlemede zorluklar	34
1.1.5.d. Görüntü işleme için özgür kütüphaneler ve araçlar.....	34
1.1.5.e. Görüntü işleme teknikleri ve algoritmaları.....	37
1.1.6. Tarımsal uygulamalarda görüntü işleme	43
2. KAYNAK ÖZETLERİ	45

2.1. Tarımsal Alanlarda Hasat işlemlerinde Robotik Sistem Kullanımına Yönelik Çalışmalar.....	45
3. MATERYAL ve YÖNTEM	97
3.1. Materyal.....	97
3.1.1. Kamera ve özellikleri	97
3.1.2. Sürmeli kumpas ve metre	100
3.1.3. Isı ve nem ölçer	101
3.1.4. PIC programlayıcı kart ve yazılımı	102
3.1.5. Robotik sistemin yapısı	104
3.1.5.a. Güç kaynağı.....	104
3.1.5.b. Hareket motorları ve kamera motoru	105
3.1.5.c. Robotik sistem ana modül kontrol kartı	106
3.1.5.d. Robotik sistem kablosuz iletişim kartı	108
3.2. Yöntem	108
3.2.1. Gezgin robotik sistemin çalışma yapısı ve akış diyagramı	108
3.2.2. Kullanıcı yazılım arayüz tasarımı.....	113
3.2.3. Görüntü işleme	114
3.2.3.a. Meyve tespit işlemi.....	114
3.2.3.b. Yüz tanıma işlemi.....	118
3.2.4. Kablosuz ısı ve nem ölçümü	126
3.2.5. Gezgin robotik sistemin ve kameranın hareketi	127
3.2.6. Ürün analiz raporu oluşturma.....	130
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	132
4.1. Meyve (Ürün) Tespit İşlem ve Analiz Sonuçları	132
4.2. Tarımsal Gezgin Robotik Sistemin Hareket İşlem Sonuçları	140
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	145
KAYNAKLAR	147
ÖZGEÇMİŞ	154

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

°	Derece
3D	Üç Boyutlu
AC	Alternatif Akım
ALU	Aritmetik Mantık Birimi
bpp	bits per pixel (piksel başına bit sayısı)
CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım
CCD	Charge Coupled Device
cm	Santimetre (Metrenin 1/100 Oranı)
CMYK	Cyan, Magenta, Yellow, Key Renk uzayı
CNC	Bilgisayar Sayımlı Yönetim
DC	Doğru Akım
EEPROM	Elektrikle Silinebilir – Programlanabilir Rom
GPRS	Genel Paket Radyo Servisi
GPS	Küresel Konumlama Sistemi
I/O	Giriş/Çıkış
ICSP	In-Circuit Serial Programming
IP	İnternet Protokol Adres
kg	Kilogram
LDR	Foto Dirençler
mm	Milimetre
nm	Nanometre
OCR	Optik Karakter Tanıma
PIC	Çevresel Arabirim Kontrol Cihazı
RAM	Rastgele Erişimli Bellek
RF	Radyo Frekans
RGB	Red-Green-Blue Renk Uzayı
RH	Nem Birimi
ROM	Sadece Okunabilir Bellek
sn	Saniye

USB	Evrensel Seri Veriyolu
UV	Morötesi Yada Ultraviyole Işınım
V	Volt
Wi-Fi	Kablosuz Bağlantı Alanı



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Kartezyen koordinatlı robotlar.....	9
Şekil 1.2. Silindirik koordinatlı robotlar.....	10
Şekil 1.3. Küresel koordinatlı robotlar.....	10
Şekil 1.4. Mafsallı kol yapılandırılmalı robotlar.....	10
Şekil 1.5. Scara tip robotlar.....	10
Şekil 1.6. Paralel robotlar.....	11
Şekil 1.7. Genel robot alt sistemleri ve bölümleri	15
Şekil 1.8. İnsan kolunun hareketlerini taklit etmeye en yakın robot kol yapısı.....	16
Şekil 1.9. Robotik kol sistemlerinde kullanılan çeşitli takım, aparat ve kavrayıcılar.....	19
Şekil 1.10. Robot bileğinin serbestlik derecesinin altı eksenli bir robotta gösterimi	20
Şekil 1.11. Manipülatör ve insan kol yapısı.....	21
Şekil 1.12. Hidrolik (a) ve pnömatik (b) yapı elemanları	22
Şekil 1.13. Mikrodenetleyicinin kullanım alanlarına örnekler	28
Şekil 1.14. Mikrodenetleyici sistemin blok diyagramı	29
Şekil 1.15. Görüntü yakalama ve sayısallaştırma aşamaları.....	30
Şekil 1.16. Görüntü işleme.....	31
Şekil 1.17. Görüntü işleme yöntem ve teknikleri	37
Şekil 1.18. Görüntü iyileştirme.....	38
Şekil 1.19. Görüntü onarma	38
Şekil 1.20. Görüntüler üzerinde aşınma, genişletme ve sınır işlemleri	39
Şekil 1.21. Görüntüde kenar tespiti.....	39
Şekil 1.22. Görüntü üzerinde bölütleme işlemi	40
Şekil 1.23. Görüntü üzerinde yüz tanıma.....	40
Şekil 1.24. Görüntü üzerinde nesne tanıma ve takip	41
Şekil 1.25. Görüntü üzerinde şablon eşleme.....	41
Şekil 1.26. Görüntü sıkıştırma	42
Şekil 2.1. Robotik görme yöntemi ile meyve tespit robotu	45
Şekil 2.2. Simülasyon modüllerinin tanımı.....	46
Şekil 2.3. Robot hareket dizini.....	47

Şekil 2.4. Üzüm hasat robotu.....	47
Şekil 2.5. Portakal hasat robotu	48
Şekil 2.6. Görsel sensör sisteminin blok diyagramı.....	49
Şekil 2.7. Eğik kafes eğitim sistemi ve salatalık hasat robotu	49
Şekil 2.8. Üç boyutlu (3D) görme sensör	50
Şekil 2.9. Domates hasat robotu	50
Şekil 2.10. Robotik lahana hasat makinesi	51
Şekil 2.11. Karpuz hasat robotu.....	51
Şekil 2.12. Lazer temelli bir bilgisayar görüş sistemiyle otomatik meyve tanınması	52
Şekil 2.13. (a) Uç eleman ve (b) genel görünüm	53
Şekil 2.14. Elmaların görüntü işleme sistemi ile tahmin blok diyagramı	53
Şekil 2.15. Otomatik portakal hasat robotu	54
Şekil 2.16. (a)Uygulama alanı, (b) kameranın sistem üzerindeki konumu.....	55
Şekil 2.17. Robotik sistemin şematik diyagramı ve genel görünümü.....	55
Şekil 2.18. Uç eleman ve robotik sistemin genel görünümü	56
Şekil 2.19. Demeter donanım sisteminin blok diyagramı.....	57
Şekil 2.20. Demeter otomatik biçerdöver	58
Şekil 2.21. Elmaların şeker içerikleri ve dayanıklılıklarının belirlenmesi amacıyla kullanılan sistemin şematik yapısı.....	58
Şekil 2.22. Otomatik pirinç ekim makinesi	59
Şekil 2.23. Çilek hasat robotu.....	60
Şekil 2.24. Robotik salatalık hasat sistemi.....	60
Şekil 2.25. a-b. Portakal hasadı.....	61
Şekil 2.26. Üç boyutlu algılama sistemi	62
Şekil 2.27. (a)(b) Gidiş ve izleme algoritmaları.	63
Şekil 2.28. Robotik çilek hasat robotu.....	64
Şekil 2.29. Yüksek kanallarda yetiştirilen çileklerin ve robotik sistemin genel görünümü	65
Şekil 2.30. Biber hasat robot uç elemanı ve genel görünümü	66
Şekil 2.31. Ekim alanlarını planlayan robotik sistem	67
Şekil 2.32. Geliştirilen robotun genel görünümü.....	68
Şekil 2.33. Ürün hasadında kullanılan robotun yapısı ve hasat şekli.....	68

Şekil 2.34. Bir test sırasında robot hasat makinesi	69
Şekil 2.35. 2D Görüntü sensörleri ile tasarlanmış elma tespit robotu	70
Şekil 2.36. Robotik kiraz hasat robotu.....	71
Şekil 2.37. Robot hasat makinası genel görünümü.....	72
Şekil 2.38. Lazer ışınları ile sap kesme işlemini yapabilen uç eleman.....	72
Şekil 2.39. Robotik çilek hasat makinesi	73
Şekil 2.40. Karpuz gibi ağır kütleye sahip ürünler için hasat robotu.....	74
Şekil 2.41. Salatalık hasat robotu manipülatörünün tararım şeması ve gerçek görüntüsü	74
Şekil 2.42. Elde edilen görüntülerin görüntü işleme adımları	75
Şekil 2.43. Çiçek sapı kesme robotu.....	76
Şekil 2.44. Kivi hasat robot prototipi.....	76
Şekil 2.45. Deney sistemi.....	77
Şekil 2.46. Görüntü füzyonu için görüntü işleme çerçevesi	78
Şekil 2.47. Termal algılama kamerası ile renk kamerasının gerçek zamanlı ortak çalışması	78
Şekil 2.48. Ters kinematik probleminin çözümünde doğrusal olmayan programlama yaklaşımının iki olası çözümü.....	79
Şekil 2.49. Makine görme sisteminin akış şeması	79
Şekil 2.50. Geliştirilen robotik çilek hasat makinesi	80
Şekil 2.51. Otomatik ilaçlama robotu	81
Şekil 2.52. Domates meyvelerinin sürtünme ve yuvarlanma direnci katsayılarını belirlemek için kullanılan test cihazı	82
Şekil 2.53. (a) Manipülatör yapısı, (b) uç eleman	83
Şekil 2.54. Meyve bahçesinde elma hasat robotu test görüntüsü	84
Şekil 2.55. Elma hasat manipülatörünün kinematik diyagramı, 3D modeli ve elma bahçesinde testi	85
Şekil 2.56. Kavun gibi meyveler için çok kollu robotik biçerdöver	86
Şekil 2.57. Meyve nesne tespitinin otomatik yönteminin akış şeması	87
Şekil 2.58. Robotik tatlı biber hasat robotu	88
Şekil 2.59. Serada domates hasatında PR-APT yönteminin uygulanması.....	89
Şekil 2.60. Meyve hasatında sensör teknolojileri ve uygulama alanları	90

Şekil 2.61. Ağaç dalının segmentasyon aşamaları	91
Şekil 2.62. (a) Robot manipülatör, (b) robot uç elemanın içerisinde bulunan üçlü tutucu.....	91
Şekil 2.63. Hem RGB hem de menzil kameralarını içeren algılayıcı teçhizata sahip olan tutucu ve manipülatör	92
Şekil 2.64. (a) Laboratuvar testi için deney düzeneği, (b) sera ölçümü için test düzeneği	93
Şekil 2.65. (a) Kesme noktasının ve meyvelerin algılaması, (b) 3D üzüm kümesinin yeniden yapılandırılması	94
Şekil 2.66. Seralarda çift kollu domates hasat robotu testi	94
Şekil 2.67. Tasarlanan robotik domates hasat sistemi	95
Şekil 2.68. Tasarlanan robotik domates hasat sisteminin çalışma ortamı	96
Şekil 3.1. SmartCam WebCam bilgisayar ve akıllı telefon yazılım arayüzü.....	100
Şekil 3.2. Verniyer (sürgü) tipi kumpas.....	101
Şekil 3.3. Mesafe ölçüm aleti, metre.....	101
Şekil 3.4. Isı ve nem ölçer.....	102
Şekil 3.5. PIC programlayıcı kart	103
Şekil 3.6. MikroPro Mikrodenetleyici hex yükleme yazılımı.....	103
Şekil 3.7. Gerçekleştirilen robotik sistemin genel görünümü.....	104
Şekil 3.8. Robotik sistemin güç elemanları ve aparatları.....	105
Şekil 3.9. Robotik sistem ana modül kontrol kartı	106
Şekil 3.10. Robotik sistem kablosuz iletişim kartı.....	108
Şekil 3.11. Robotik sistemin genel çalışma blok yapısı	109
Şekil 3.12. Kullanıcı ara yüz yazılımı ile kablosuz iletişim kartı arasındaki veri gönderme-alma akış diyagramı	110
Şekil 3.13. Gezgin robot ana modül kontrol kartının çalışma akış diyagramı.....	111
Şekil 3.14. Gezgin robot taraflı ana modülü oluşturulan devre kartının ISIS devre tasarımı örneği.....	112
Şekil 3.15. Kullanıcı taraflı iletişimi sağlayan devre kartının ISIS devre tasarımı örneği.....	112
Şekil 3.16. Gezgin robotik sistemin kullanıcı tarafından kontrolleri, ortam ve ürün bilgilerinin gösterildiği arayüz tasarımı	113

Şekil 3.17. RGB ve CMYK renk uzayları	115
Şekil 3.18. Ürün analizi için tasarlanmış form arayüzü	115
Şekil 3.19. ColorFiltering ve Grayscale Filtreleri.....	118
Şekil 3.20. Bir dizi sıkıştırılmış yüz ifadesi.....	120
Şekil 3.21. Üç boyutlu (3D) yüz tanıma	120
Şekil 3.22. Kullanıcı taraflı yüz tanıma ile yön hareketi	125
Şekil 3.23. Robot kamerasından alınan yüz tanımlamasına göre hareket.....	125
Şekil 3.24. Robotik sistem hareket palet sistemi	127
Şekil 3.25. Robotik sistem hareket sisteminin “Microsoft Robotics Developer Studio 4” ortamında hazırlanmış simülasyonu	128
Şekil 3.26. Grafik oluşturma arayüzü	130
Şekil 4.1. İç mekan denemelerinde kullanılan nesne ve domates özellikleri.....	132
Şekil 4.2. Tarımsal ürün bilgilerinin bir gezgin robot yardımıyla temin edilen görüntülerin işlenmesi *a) genel görünüm (b) ürün tespit ve analiz.....	135
Şekil 4.3. Ürün tespit işlemi sonucu analiz ve grafik oluşturma (kayıt).....	138
Şekil 4.4. Farklı renk tonlarına sahip domatesler	139
Şekil 4.5. Tespit edilen domatesin RGB renk bilgisi.....	139
Şekil 4.6. Daha önce oluşturulmuş gerçek domateslerin veri listesi.....	140
Şekil 4.7. Robotik sistem kullanıcı kontrollü hareket paneli	141
Şekil 4.8. Yüz tanıma ile gezgin robotik sistem hareketi için yüz eğitim örneği	141

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Gövde yapılarına göre robotların sınıflandırılması.....	11
Çizelge 1.2. Gezgin robotların kullanım alanları.....	14
Çizelge 1.3. Hidrolik, pnömatik ve elektrikli tahrik sistemlerinin karşılaştırılması.....	23
Çizelge 1.4. Robotik sistemlerde ve endüstriyel alanlarda yaygın kullanılan sensörler	24
Çizelge 1.5. Robotik sistemlerde kullanılan algılayıcıların seçiminde dikkat edilecek hususlar.....	27
Çizelge 1.6. Sayısal görüntü çeşitleri.....	31
Çizelge 1.7. Görüntü işleminin uygulandığı alanlar	33
Çizelge 1.8. Görüntü işleme algoritmaları.....	42
Çizelge 3.1. Robotik sistemde kullanılan kameralar ve özellikleri	98
Çizelge 3.2. Robotik sistemde kullanılan motor çeşitleri ve teknik özellikleri	105
Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan AForge kütüphaneleri	116
Çizelge 3.4. Nesne renk tespiti kod örnekleri ve açıklamaları	117
Çizelge 3.5. Yüz tespit ve tanıma işlemi aşamaları	122
Çizelge 3.6. Tüm değişkenlerin, vektörlerin ve Haar Cascade lerin tanımı	123
Çizelge 3.7. Haar cascade ler ve eğitilmiş yüz kümesi yüklenir	123
Çizelge 3.8. Kameranın aktif edilmesi ve görüntü alınması.....	124
Çizelge 3.9. DetectHaarCascade ve EigenObjectRecognizer.....	124
Çizelge 3.10. Sıcaklık ve nem değerlerinin ekranda gösterilmesi	126
Çizelge 3.11. Gezgin robota gönderilen motor komutları ve yapılan görevler	129
Çizelge 3.12. Kullanıcı hareket buton kontrolü ve USB porta veri iletim kod parçası	129
Çizelge 3.13. Grafik oluşturma arayüzü kod parçaları ve açıklamaları.....	131
Çizelge 4.1. Renk paleti kırmızı RGB örneği	133
Çizelge 4.2. İç mekanda farklı kamera ve nesneler ile yapılan ürün tespit ve analiz denemeleri	133
Çizelge 4.3. Çalışmada kullanılan kırmızı ton aralığı örneği	135
Çizelge 4.4. Gerçek tarımsal alanlarda farklı domates meyvesi için yapılan denemeler	136

Çizelge 4.5. Yüz tanıma ile tarımsal gezgin robotik sistemin hareket işlem adımı ve deneme örnekleri	142
---	-----



1. GİRİŞ

Ülkemizde ve dünyada tarımsal alanlarda teknolojinin kullanımının, kaliteli ürün elde edilmesi, işgücünün azaltılması gibi nedenlerle büyük gelişme içerisinde olduğu görülmektedir (Kahya 2012). Bilişim çağının gelişen teknolojilerinin ekonomik ve çevre ile bütünleşik tarımsal alanlarda üretim faaliyetlerinde kullanımı Hassas Tarım'ı işaret etmektedir (Tekin ve Değirmencioğlu 2010). Teknolojideki gelişmeler doğrultusunda tarımsal alanlarda kullanılan mekanik yapılara bilgisayarlı sistemler eklenerek bu yapılara farklı özellikler katılmıştır. Çeşitli algılayıcılar ve bu algılayıcılardan gelen veriler doğrultusunda görüntü işleme tekniklerinin de kullanılması tarımsal alanlarda robotik tarıma geçişi sağlamaktadır.

Tarımsal robotik sistemlerin sonuç değerlerinin istenildiği gibi olabilmesi için insan faktörü tarafından yapılacak işin giriş parametrelerinin doğru girilmesi ayrıca çevresel faktörlerin de (arazinin ve ürünün fiziki durumu, hava şartları vb.) iyi değerlendirilmesi gerekmektedir.

Kahya (2012) tarafından ileildiğine göre, robotik sistemlerin tarımsal alanlarda nerelerde kullanıldığını şu şekilde sıralayabiliriz:

- Tohum yatağı hazırlama: Sistem sayesinde tohum yatağı istenen derinlikte ve genişlikte aynı değer olacak şekilde hazırlama imkânı verebilmektedir,
- Tohum haritalama: Tohumların ekim sırasında düzgün dağılımlarının kontrolü yapılması sağlanarak haritalama gerçekleştirilebilir,
- Tohum yerleştirme: Ekim sahasına ekilecek tohumların, derinlik ve tohum miktarlarını kontrollü şekilde yapılmasına olanak verirler,
- Yeniden tohumlama: Tarımsal alanlarda ekimi gerçekleşmemiş veya yeniden ekim yapılması durumunda kullanılan sistemlerdir,
- Robotik ayıklayıcılar: Tarımsal alanlarda istenmeyen yabancı otların görüntü işleme yöntemleri ile konumları bulunarak ayıklanması işleminde kullanılan sistemlerdir,

- Mikro püskürtme: Geliştirilmiş püskürtme yöntemi ile ürünlere püskürtme yapmadan yabancı otların ilaçla mücadelesini sağlamaktadır,
- Yabancı ot haritalama: Tarımsal ekili alanı görüntü işleme yöntemiyle haritalama yaparak yabancı otlarla mücadelede kullanılmaktadır,
- Robotik sulama: Bu sistem sayesinde ekim alanlarındaki ürünlerin özelliklerine göre, istenildiği zaman aralıklarında ve miktarlarında sulama yapma imkânı sağlar,
- Seçici hasat: Tarımsal alanlardaki ürünlerin hasat zamanı gelen ürünleri kullanıcı tarafından verilen parametreler doğrultusunda görüntü işleme teknikleri kullanarak hasat yapılmasına olanak veren bu sistem gerçek zamanlı olarak çalışmaktadır (Blackmore *et al.* 2010).

Bu çalışmada tarımsal ürün bilgilerinin görüntü işleme yöntemiyle analizini gerçekleştiren gezgin robot tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan bu robotik sistemin ana hedefi gezgin robot ile tarımsal ortam verilerinin (ortam sıcaklık ve nem, tarımsal ürün renk, en ve boy) analiz ederek raporlar halinde arşivlenmesidir. Bu amaca yönelik olarak çeşitli elektronik ve mekanik elemanlar temin edildikten sonra gezgin robotun programlanması yapılmıştır. Çalışmada, gezgin robot üzerindeki ana kontrol devresindeki PIC16F628A mikro denetleyici, kullanıcı bilgisayarına usb ile bağlantılı kumanda devresindeki PIC18F2550 mikro denetleyicisi ve tarımsal ürün bilgisinin analiz edildiği görüntü işleme tekniği hakkında bilgi verilerek sistemin nasıl çalıştığı açıklanacaktır.

1.1. Robotların Genel Yapısı

1.1.1. Robot kavramı ve robotların tarihsel gelişimi

Günümüz endüstrisinde yaygın olarak kullanılan robot kelimesi ilk defa, Çekçe’de “zorla çalıştırılan işçi” manasına gelen “robota” kelimesi olarak 1921 yılında Karel Capek’in RUR (Rossum'un Evrensel Robotları) isimli tiyatro eserinde kullanılmıştır. Homeros’un eseri olan İlyada eserinde hareketli üçayaklılardan bahsetmesi, eski Yunan efsanesi olan Talos adlı dev nöbetçinin Tanrı tarafından programlanarak Girit adasını

yabancılardan koruması, mekanik yapılardan oluşan hareket eden fillerin bir Hint efsanesinde bahsetmesi ve eski Mısırlılar tarafından yapılan Tanrı heykellerine mekanik kollar eklenerek rahipler tarafından hareket ettirilmesi robot fikrinin binlerce yıl öncesine dayandığını göstermektedir (Anonymous 2008; Anonim 2009).

Robot tanımı en iyi şu şekilde yapılabilir: “Farklı amaçlar için tasarlanmış birçok görevi yerine getirebilen, kendi kendine hareket edebilen, elektronik, mekanik ve yazılımdan oluşan makinelerdir”. Ayrıca tasarlanan bir robot aşağıdaki üç maddeli modeli içerisinde bulundurmak zorundadır (Yıldız ve Uzun 2004; Kahya 2012).

- İşlem yapma yetisi: Yapması beklenen işi, fiziksel veya sanal olarak yerine getirmelidir.
- İşlemden sonuca varma yetisi: Yapması beklenen işi yaptıktan sonra sonucunu belirleyebilmelidir.
- Yargıya varma ve yeni işlemi belirleme yetisi: Yapması beklenen işin sonucuna göre veya dış etmenlere göre bir hüküm verebilmelidir.

Robotik sistemler alanındaki gelişmelerden kilometre taşları olarak nitelendirilebilecek gelişmeler vardır, bunlar;

- MÖ 270: Eki bir Yunan bilgini olan Ctesibus, tasarlamış olduğu su saatlerinde hareketli figürler kullandı,
- MÖ 100: Tapınak kapılarının otomatik açılır yapıldı (İskenderiye),
- MÖ 60: Alexandria “Otomat” adı verilen makineyi icat etti,
- 1136 – 1206: Çeşitli otomatik makineler El Cezeri'ye tarafından yapıldı
- 1800: Jacques de Vaucanson, Pierre & Henri-Louis Jacquet-Droz, Henri Maillerdet otomatik müzik enstrümanı çalabilen çalgı aleti ve otomatik yazı yazabilen makine geliştirdiler,
- 1801: Joseph Jacquard ilk kez delikli kartlarla kontrol edilebilen tezgâh oluşturdu ve otomatik dokuma makinası geliştirdi,

- 1818: Mary Shelley yapay bir yaşam seklini "Frankenstein" isimli hikâyesinde kullandı,
- 1830: Christopher Spencer tarafında otomatik çalışabilen torna tezgâhı geliştirildi,
- 1892: Seward Babbitt, motorlu tutucuya sahip düzenele ile sıcak metal parçalarını fırından alma işlemini gerçekleştiren robotu geliştirdi,
- 1898: Sırp kökenli mühendis Nikola Tesla, radyo frekanslı kumanda kullanarak denizaltı icat etti,
- 1920 – 1921: Çekoslovak Karel Capek'in yazdığı bir tiyatro oyununda robot kelimesi ilk kez kullanıldı. Çek lisanında “zorla çalıştırılan işçi” anlamına gelen “robota” dan türetmiştir,
- 1938: Willard Pollard ve Harold Roselund, DeVillbis firması için programlanabilir boya püskürtme makinası geliştirdiler,
- 1940: Cisimleri, insan etmeni olmadan algılanması konusunda MIT’de radar teknolojisinin geliştirilmesi,
- 1940: Grey Walter ışığa duyarlılık gösteren ve yönelen ilk gezgin robotu üretti,
- 1941: Isaac Asimov, "Robot" kelimesinden "Robotik" kelimesini türeterek ilk kez kullandı,
- 1942: Isaac Asimov, genel olarak "Robotik" teriminin popularize edilmesiyle alakalı robotların üç yasasını yazdı,
- 1946: George Devol, çeşitli makinelerde kullanılmak üzere genel amaçlı manyetik kayıt yapabilme özelliğine sahip ve istenildiğinde tekrar çalıştırılabilen cihaz geliştirdi,
- 1946: J. Presper Eckert ve John Mauchly, ENIAC isimli ilk elektronik bilgisayarını Pennsylvania Üniversitesi'nde geliştirdi,
- 1948: M.I.T.'den Norbert Wiener yayınladığı kitapta elektronik, mekanik ve biyolojik sistemlerin denetim ve iletişimini inceledi,
- 1951: Raymond Goertz, uzaktan işletilen bir kol tasarımını ABD Atom Enerjisi Komisyonu için geliştirdi,
- 1954: George Devol, genel amaçlı programlanabilir robot tasarladı,
- 1956: Dünyanın ilk robot firması "Unimation Inc." kuruldu,
- 1957: İlk uzay uydusu Sputnik-1 yörüngeye fırlatıldı,
- 1958: Ticari anlamda satışı yapılacak ilk robot üretildi,

- 1959: MIT’de laboratuvarlarında bilgisayar destekli üretim amaçlı bir uygulama da robot kullanıldı,
- 1959: Ticari amaçlı genel bir robotu Planet firması pazarlamaya başladı,
- 1960: Harry Johnson ve Veljko Milenkovic tarafından geliştirilen Versatran isimli robot ticari satışlarına başlandı,
- 1962: General Motors endüstriyel üretim hattında ilk kez robot kullanmaya başladı,
- 1963: Bilgisayar denetimli ve altı eklemden oluşan ilk yapay kol geliştirildi,
- 1964: Yapay Zeka alanıyla ilgili araştırmaları başladı ve laboratuvarları açıldı,
- 1965: Dendral isimli ilk uzman sistem olan yazılım geliştirildi,
- 1966: Kaynak çeşidi olan nokta kaynağı yapabilen ilk robot üretildi,
- 1967: Robot teknolojisini ithal eden Japonya bu teknolojiyi kullanmaya başladı,
- 1968: Stanford Araştırma Enstitüsü görme yeteneği olan ilk gezgin robot olan Shakey’i üretti,
- 1968: Marvin Minsky tarafından gezgin robot türü olan ahtapot benzeri ayakları olan robot geliştirildi,
- 1969: Uzaktan kontrol edilebilen ve mekatronik hareketleri başarı ile yapabilen uzay modülü Alpha, Apollo 11 görevinde yer aldı,
- 1970: Stanford Üniversitesi tarafından, araştırma projelerinde bir standart olarak yerleşmiş olan Stanford robot kolu geliştirildi,
- 1973: Richard Hohn tarafından ilk mini bilgisayar denetimli robot geliştirildi,
- 1974: Prof. Scheinman, mini bilgisayar kullanan robot kollarının pazarlamasına Vicarm Inc. İsimli firmasını kurarak başladı,
- 1974: Üretim hattında küçük parçaların montajını yapabilen robot kullanılmaya başlandı,
- 1976: Viking 1 ve 2 uzay araçlarının geliştirilmesinde robot kollar kullanıldı,
- 1977: Avrupalı bir robot firması olan ASEA, robot boyutu iki çeşit olan üretim gerçekleştirdi,
- 1978: Puma isimli robotun üretimi sonrası pazarlanmaya başlandı,
- 1979: Stanford Cart isimli gezgin robot, engellerle dolu bir odada üzerinde monte edilmiş kameradan gelen görüntüler sayesinde bir uçtan diğer uca geçti,
- 1984: İnsansı robotların konu edildiği Terminatör filmi vizyona girdi,
- 1986: Honda, insansı robot ASIMO’ nun çalışmalarına başladı,

- 1988: SCAMP, duygusal özelliği olan ilk evcil hayvan robotu tanıtıldı,
- 1990: ABD ve Japonyada robot firması sayısı 10 un üzerinde çıktı (ABD 12, Japonya 40),
- 1991: HelpMate, hastaneler için yardım robotu kullanılmaya başlandı,
- 1993: İnsan gibi eğitilen Cob isimli robotu MIT den Rodney A. Brooks yapmayı başardı,
- 1994: Dante II, Carnigie Mellon Üniversitesi'nde gezgin robot ile aktif volkanda gaz örnekleri toplayabilen keşif robotu geliştirildi,
- 1996: Honda firması tarafından geliştirilen prototype 2 yürüyen insansı robotu tanıtıldı,
- 1997: Japonyada ilk defa düzenlenen robotlar arası futbol turnuvası "Robocup" yapıldı,
- 1997: NASA tarafından tam donanımlı deney robotu Mars'ta keşif yaptı,
- 1998: Lego firması çocukların robot biliminde eğitime girişi için Lego Mindstorms satışına başladı,
- 1999: İlk robot köpek AIBO, Sony firması tarafından geliştirildi,
- 2000: Robotlar arası futbol turnuvasında ilk defa insansı üç robot karşılaştılar,
- 2000: ASIMO tanıtıldı,
- 2001: ABD insansız hava aracı (İHA) MQ-1 Predator'u testlerini yaptı,
- 2002-iRobot, Roomba adı verilen kişisel yer temizlik robotu tanıtıldı,
- 2003: Osaka Üniversitesi, insan duygusal hareketlerini taklit eden "Actroid" robotunu geliştirdi,
- 2004: Kuzey Amerika'da Robotik sektörü iş hacmi 1.06 milyar dolara ulaştı,
- 2006: iRobot, Scooba adında yer yıkama robotunun satışını gerçekleştirdi,
- 2008: NASA' nın geliştirdiği keşif robotu Phoenix, Mars'a başarılı şekilde ulaştı,
- 2010: NASA ve GM, insansı astronot robotu "Robonaut-2" geliştirmeye başladı,
- 2011: iRobot, evde hasta ve yaşlı bakımında yardımcı robot AVA platformu duyurdu,
- 2012: Japon mühendisler tarafından 4 ton ağırlığında askeri amaç için kokpitten veya özel bir telefon tarafından kumanda edilebilen "Kuratas" adlı robotu geliştirdiler,
- 2014: Japonya'da haber spikeri olarak insan görünümlü robot kullanıldı,
- 2016: Boston Dynamics geliştirdikleri Atlas adındaki robotu geliştirdi. Bu robot dünyanın en gelişmiş iki ayak üzerinde durabilen engebeli arazi ve iş robotu olarak tanıtıldı,
- 2016: Sofia adlı robot Hanson Robotics tarafından geliştirildi,

-2017: Amazon teslimat işlemlerinde dron ile yapılan testlerin olumlu sonuç verdiğini bildirdi ve yıl içerisinde teslimatlarda dron kullanılacağını duyurdu (Ersöz 2007; Anonymous 2008; Şerbetçi 2012; Yamanol 2016).

Yukarıdaki çalışmalara baktığımızda robotlar çok çeşitli uygulama alanlarında kullanılmakta gün geçtikçe ihtiyaçlar doğrultusunda hızlı gelişim göstermektedir. Bu bağlamda teknolojik arge yatırımlarına büyük destek veren ülkemizde, birçok milli yeni teknolojilerine ek olarak savunma alanında 2016 yılında ilk milli silahlı insansız hava aracını (SİHA) kullanmaya başlamıştır.

1.1.2. Robotların sınıflandırılması

Robotların sınıflandırılmasında; robotlar konusunda mekanik gövde yapıları, kontrol ve hareket sistemlerine göre ileri düzey çalışmalar yürüten ülkeler tarafından değişik sınıflandırmalar yapılmaktadır (Börklü 2007). Bu sınıflandırmalar aşağıda verilmiştir.

Japon Endüstrisi Robot Birliği (JIRA)'ne göre sınıflandırma:

- Sınıf 1: Bir operatör yardımıyla tüm kontrolleri elle yapılan robot sınıfıdır. Bu tip robotlar farklı açılarda özgürce çalışabilmektedir.
- Sınıf 2: Tüm tanımları önceden yapılmış ve değişmeyen bir sıra ile işleri yapan, modifiye edilemeyen robotlardır.
- Sınıf 3: Tüm tanımları önceden yapılmış 2. Sınıf robotların özellikleri ile aynıdır. Fakat görevlerin değiştirilmesi kolaydır, modifiye edilebilir.
- Sınıf 4: Bir operatör yardımıyla yapması gereken hareketleri taklit eder ve bunları hafızasına kaydeder, daha sonra kendisi aynı hareketleri yapar. Playback robotlardır.
- Sınıf 5: Oluşturulmuş bir program ile hareket eden robot sınıfıdır. Programa göre iş yaparak haricinde bir hareket veya karar verme durumu olmaz.
- Sınıf 6: Çevresindeki değişiklikleri algılayabilen, yorumlayabilen ve hareketlerini buna göre değiştirerek görevini en iyi şekilde yapabilen akıllı robot sınıfıdır.

Amerikan Robotik Enstitüsü (RIA)'ne göre sınıflandırma, yukarıda sayılan (JIRA) robot sınıflarında sadece 3. ve 6. sınıfları robot olarak kabul etmektedir.

Fransız Sanayi Robotları Birliği (AFR) robot sınıflandırmasına göre:

- A Türü: Hareketleri operatörler tarafından kontrol edilen robot sınıfıdır. JIRA sınıflandırılmasındaki 1. Sınıf robotları ile aynı kategoridedir,
- B Türü: Önceden belirlenmiş adımlara göre hareketlerini yapan robot sınıfıdır. JIRA sınıflandırılmasındaki 3. Sınıf robotlara eşdeğerdir,
- C Türü: Hareketleri bir program vasıtasıyla yapılan motor kontrollü noktadan noktaya hareket edebilen robot sınıfıdır. JIRA'nın 4. Sınıftaki robotuna eş değerdir,
- D Türü: Özellikleri C sınıfı ile aynı olmasına karşın çevresinden bilgi derleme kabiliyetine sahip, JIRA sınıflandırılmasındaki 6. Sınıf ile aynı olan robot sınıfıdır.

Endüstriyel robotlar üretim sektörü başta olmak üzere çok çeşitli alanlarda, insanların yaptıkları işleri daha hızlı ve hatasız yapabilen özelliklere sahip programlanabilir makinelerdir. Endüstriyel robotların insana benzer en önemli özellikleri bir kol yapısına sahip olmalarıdır. Bir gezgin makine ile robot kolu birleştirilerek malzeme tutma ve taşıma işlemleri gibi işlemler hızlı şekilde yapılabilir. İmalat işlemleri esnasında kesme, şekil verme, yüzey kaplama, silindirik ve düzlem yüzey taşlama gibi işlemleri gerçekleştiren robotlar ayrıca montaj ve kontrol uygulamalarında da kullanılmaktadır (Çiçek 2006; Saygılı 2006; Bayrak 2007). Endüstriyel robot tasarımı yaparken robot için gerekli olan 3 ana öğeyi şu şekilde sıralayarak sınıflandırabiliriz (Kahya 2012). Bunlar;

- 1- Manipülâtör (Gövde) yapısına,
- 2- Hareket sistemine göre,
- 3- Kontrol döngüsü tipine göre.

1.1.2.a. Manipülâtör (Gövde) yapısına göre robotlar

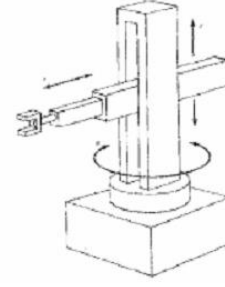
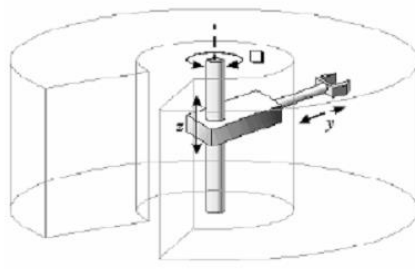
Hareket serbestliğini sağlayan kol, el becerisini sağlayan bilek ve tanımlanmış görevin tamamlanmasını sağlayan uç eleman dediğimiz sonlandırıcıdan (end-effector) oluşmaktadır. Endüstriyel robotlar yapılarına göre şu şekilde sınıflandırılırlar (Çiçek 2006; Bayrak 2007). Bunlar;

- Kartezyen koordinatlı robotlar (Şekil 1.1),
- Silindirik koordinatlı robotlar (Şekil 1.2),
- Küresel koordinatlı robotlar (Şekil 1.3),
- Mafsallı kol yapılandırılmalı robotlar (Şekil 1.4) ,
- Scara yapılandırılmalı robotlar (Şekil 1.5).
- Paralel robotlar (Şekil 1.6),

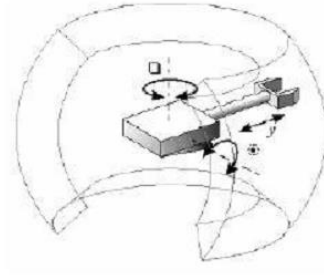
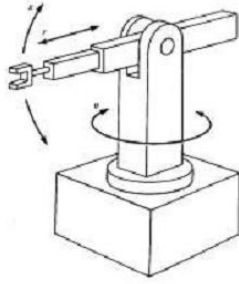
Aşağıdaki şekillerde gövde yapılarına göre robot tipleri görülmektedir (Saygılı 2006; Bayrak 2007; Erpolat 2008).



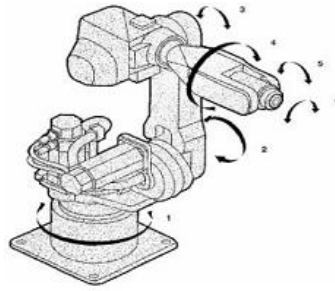
Şekil 1.1. Kartezyen koordinatlı robotlar



Şekil 1.2. Silindirik koordinatlı robotlar



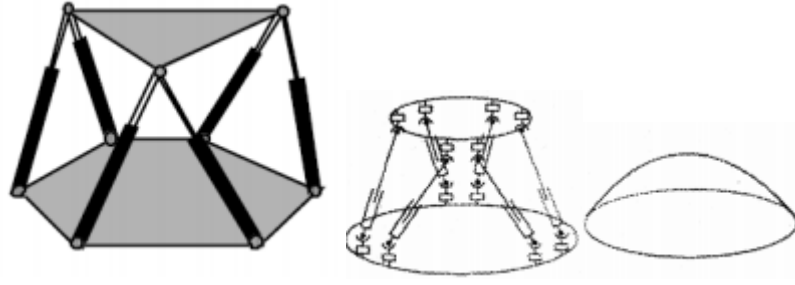
Şekil 1.3. Küresel koordinatlı robotlar



Şekil 1.4. Mafsallı kol yapılandırmalı robotlar



Şekil 1.5. Scara tip robotlar



Şekil 1.6. Paralel robotlar

Gövde yapılarına göre robotların sınıflandırılması Çizelge 1.1’de özet tablo halinde gösterilmiştir (Çiçek 2006; Saygılı 2006; Bayrak 2007).

Çizelge 1.1. Gövde yapılarına göre robotların sınıflandırılması (Çiçek 2006; Saygılı 2006; Bayrak 2007; Erpolat 2008)

Manipülatör (Gövde) yapısına göre robotlar	Robot Tipleri	Mafsal Tipleri (P harfi prizmatik, R harfi aşağı ve yukarı döner özelliği belirtir)	Kullanım Alanları ve Özellikleri	
	Kartezyen koordinatlı robot	Üç prizmatik-kayar-eksenli, 3P	- Demiryolu, köprü inşaatları - Büyük makine montajları - Yük taşımacılığında ve CNC tezgâhlarında	Kinematik yapıları ve hareket analizi basittir. Çalışması için büyük alan gerekir. Büyük yapılarına göre iş alanı küçüktür.
	Silindirik koordinatlı robot	İki prizmatik ve bir döner eksenli, R2P	- Büyük makine montaj sanayi - Yüksek yük kapasitesine sahip işlerde	Kinematik yapıları ve hareket analizi basittir. Güçlü hidrolik elemanlar kullanır. İş alanları sınırlıdır. Tozlu ve ıslak ortamlarda çalışmaları zordur.
	Küresel koordinatlı robot	Bir prizmatik ve iki döner eksenli, 2RP	- Montaj sanayi - Hassas işlerde - Nükleer santraller	Kinematik modeller karışıktır. Hareket analizi zordur. Zeminden uzakta bulunan nesneleri tutabilirler.

Çizelge 1.1. (devam)

Mafsallı kol yapılandırılmalı robot	Üç aşağı-yukarı döner eksenli, 3R	▪ Otomobil sanayinde, tıbbi araç-gereç yapımında, tıpta ve hassas çalışma gerektiren montaj sanayinde ▪ Elektronik montaj sanayi ▪ Nükleer santrallerde	Kinematik yapıları karmaşıktır, hareket analizleri zordur. Maksimum esnekliğe sahiptir. İş alanı robot büyüklüğü ile orantılıdır. Cisimleri farklı şekilde tutabilirler.
SCARA yapılandırılmalı robot	İlk iki eklem dönel, sonraki eklem ise prizmatiktir ve aşağı yukarı hareket edebilir, 2RP	▪ Taşıma ve montaj gibi işlemlerin daha hassas ve hatasız yapıldığı işlerde ▪ Elektronik devre elemanı montajlarında	Kinematik denklemleri karışıktır. Aynı hareketi yüksek hızda tekrarlama kabiliyetine sahiptirler. Özellikle hassas işlerde kullanmak için uygundur.
Paralel robotlar	Üç prizmatik eksenli, 3P	▪ Büyük makine montaj sanayi ▪ Otomobil sanayi ▪ Uçuş, otomobil vb simülasyonlarda ▪ Sinema salonları gibi yerlerde	Yüksek hıza ve yüksek taşıma kapasitesine sahiptir, kinematik denklemleri karışıktır. Çalışma alanı açısından daha limitlidirler, engellerin etrafında dolaşamazlar

1.1.2.b. Hareket sistemine göre robotlar

Noktadan Noktaya Hareket Eden Robotik Sistemler ve Sürekli Güzergâhlı Robotik Sistemler olarak hareket sistemine göre ikiye ayrılırlar (Özdemir 2009).

1) Noktadan Noktaya Hareket Eden Robotik Sistemler: Programlanmış robot, tanımlanmış hedef noktaya ulaşınca durur ve sonrasında robot kol yapması gereken görevi yapar ardından robot bir sonraki noktaya hareket eder. Bu işlem sürekli tekrarlanır (Çiçek 2006).

2) Sürekli Güzergâhlı Robotik Sistemler: Her bir eksenin belirli bir yörüngeyi takip etmesi istenen bu robotların kontrolleri noktadan noktaya robotlara göre daha karmaşıktır. Fakat noktadan noktaya robotlara göre daha düzgün ve kesiksiz hareket eden bu robotlar genellikle küçük boyutludur (Bayrak 2007).

1.1.2.c. Kontrol döngüsü tipine göre robotlar

Robotlar yapılacak işte giriş değişkenlerinin türünü ya da yapısını göz önüne almadan görevini yapıyorsa “Açık Döngü Kontrol Sistemi”, göz önüne alıyorsa “Kapalı Döngü Kontrol Sistemi” denir (Özdemir 2009).

Bir robotun çalışma hacmi, ulaşabileceği maksimum noktalar kümesinden oluşan yüzeyin hacmi olarak adlandırılmaktadır. Bir referans koordinat sistemine göre robotun çalışma hacmi yer değiştirmiyorsa bu robota gezgin olmayan robot adı verilir, eğer yer değiştiriyorsa bu robota “Gezgin veya Mobil Robot” denir (Çelik vd. 2009). Robotların bir alt türü olan gezgin robotlar kontrolü en zor olan robot türüdür. Sabit bir noktada çalışmadıklarından bütün koordinatları bağlıdır ve ufak bir sapma olması sonucunda yanlış veri işlenmesine ve dolayısıyla yanlış karar vermeye neden olabilir. Bundan dolayı gezgin robotlar genelde araştırma ve geliştirme amaçlı olarak kullanılmaktadır (Yıldız ve Uzun 2004).

Tekerlekli, bacaklı ve kanatlı olmak üzere yapısal üç farklı türü olan mobil robotlar pek çok alanda kullanılmaktadır. Mobil robotların kullanım alanları Çizelge 1.2’de verilmiştir.

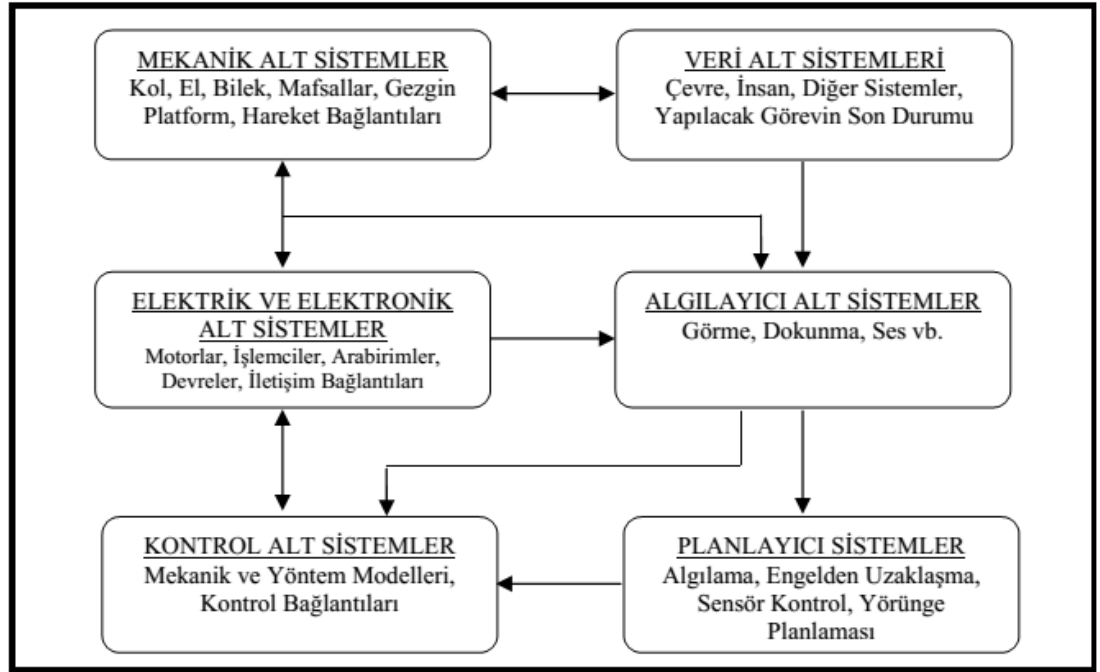
Çizelge 1.2. Gezgin robotların kullanım alanları (Yılmaz vd 2006)

Gezgin (Mobil) Robot Türü	Kullanım Alanlarına Örnekler	
TEKERLEKLI (PALETLI)	Ev ve iş yerlerinde temizlik, güvenlik ve taşıma amaçlı, savaş alanlarında, arama kurtarma (deprem, yangın vb.), bomba imha	Tehlikeli ve hayal ürünü yaratıkların canlandırılması sahnelerin çekiminde, tarımsal alanlarda vb
BACAKLI	Ormanlık alanlarda kesim işlerinde, volkanlarda keşif amaçlı	
KANATLI (UÇAN)	Askeri ve sivil alanlarda genelde hava tahminin de ve atmosferin farklı tabakaları hakkında sağlıklı bilgi alma, savaş alanlarında, coğrafi bilgi ve keşif işlemlerinde	

Kullanılan mobil robotların özellikleri arttıkça, tasarım ve kontrolü de zorlaşmaktadır. Bu sebeplerden dolayı mobil robotların kontrolü bilgisayar sistemine dayalı olarak gerçekleşmesi zorunluluk olmaktadır. Bilgisayar sisteminin robotlar üzerinde kullanılması ile robot operatörünün yükü azalmaktadır, bu tür robotik sistemler yarı-otonom robotik sistemler olarak adlandırılır. Yarı-otonom robot olarak adlandırılan bu tip robotlar sınırlı sayıda hareketleri kendi başlarına problemsiz olarak yapabilmektedirler. Yarı-otonom robotların yazılım, elektronik ve mekanik yapıların geliştirilmesi, bir sonraki adım olan tam otonom robotlara geçilerek insanın operatör görevine son verilmiştir. Otonom robotlarda insan, robotu kontrol eden operatör değil, istenilen işin programını yükleyendir. Otonom robotlar, çevresel faktörleri (ses, görüntü, sıcaklık, nem vb.) giriş verisi olarak program sayesinde ne yapacağına kendisi karar verirler. Mobil robotlar ile operatörü veya programcısı arasındaki iletişim kablosuz iletişim yöntemi ile kurulur. Gezgin robotun kontrolü veya programlanması internet teknolojisi kullanılarak yapılıyorsa, bu tür robotlara “Web Robot” adı verilmektedir. Kullanıcılar, web robotlarını günün her anında internet erişimi olan her yerden kontrol edebilir veya programlayabilirler (Yılmaz vd 2006).

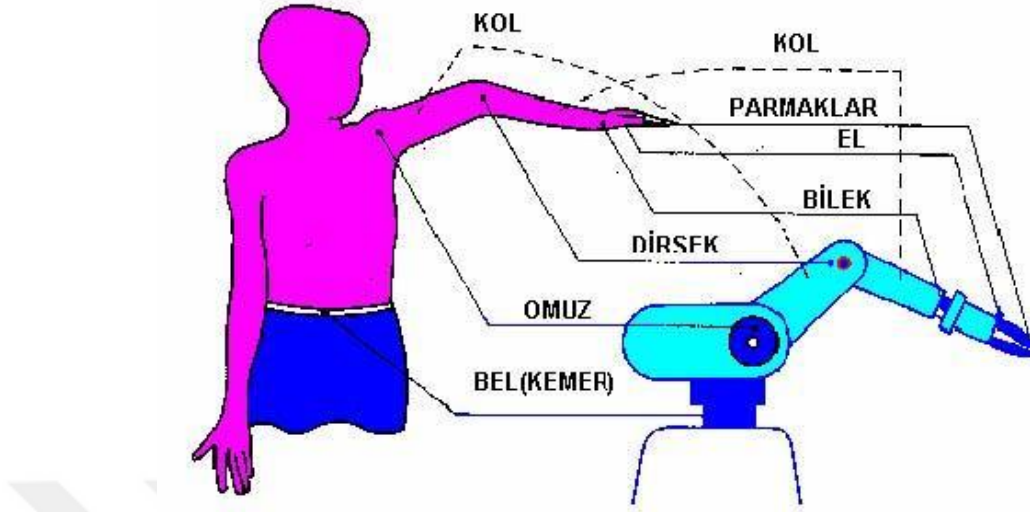
1.1.3. Robotu oluşturan alt sistemler ve robotlarla ilgili bazı kavramlar

Robotik sistemler genelde elektrik-elektronik, mekanik ve yazılımdan oluşan sistemlerdir. Robotik sistemler her ne kadar tek bir sistem gibi gözükse de birçok alt sistemden oluşmaktadır. Bu sistemler Şekil 1.7 de verilmiştir (Özdemir 2009).



Şekil 1.7. Genel robot alt sistemleri ve bölümleri (Özdemir 2009)

Robotik sistemlerin parçası olan robot kolları, insan kol hareketlerini taklit etmekte ve yapısal olarak da benzerlik göstermektedir (Şekil 1.8). Robotik kol yapıları gövde, omuz, kol, dirsek, bilek ve el gibi insanlarda var olan organların görevini yerine getiren benzer mekanik yapılardan oluşmaktadır. Börklü (2007) tarafından bildirildiğine göre endüstriyel robotlar; manipülatör, aktüatörler ve son etkililerden oluşmaktadır.



Şekil 1.8. İnsan kolunun hareketlerini taklit etmeye en yakın robot kol yapısı(Anonim 2015)

1.1.3.a. Uç eleman veya son etkili (end-effector)

Son etkili, manipülatörün hareket alanındaki en son noktaya (eline) birleştirilen parçanın adıdır. Robot uç elemanı olarak da yaygın olarak kullanılır. Robotik sistemin görevine göre robot uç elemanları değişiklik gösterdiklerinden genellikle robot imalatçıları son etkiliyi yani uç elemanları robotik sistemle birlikte sunmazlar, bunlar işin görev ve özelliklerine göre ayrıyeten tasarlanır ve sonradan robot eline monte edilir. Kaynak görevleri için çeşitli kaynak uç elemanları, boya görevleri için çeşitli boyama uç elemanları, çeşitli kavrama ve tutma uç elemanları bu özel tasarımlara örnek olarak verilebilir (Kahya 2012).

Arıkan (1991), robotik sistemin istenilen görevleri tam anlamıyla yapabilmesi için robot bileğine kavrayıcı, takım, aparat ve algılayıcı gibi değişik uç elemanları bağlanabileceğini ifade etmiştir.

Robotik kol sistemleri nesneleri tutma, yakalama ve işlem sonrasında bırakma görevlerini yapabilmeleri için robot bileğin de kavrayıcı yapılara ihtiyaç duyarlar. İşe göre çeşitlilik gösteren kavrayıcılar hidrolik ve pnömatik sistem veya çeşitli motorlar

yardımı ile verilen hareketi kavrama hareketine çevirerek çalışırlar. Robotlarda kullanılan çeşitli taşıyıcı ve kavrayıcı uç elemanlar vardır. Bunlar;

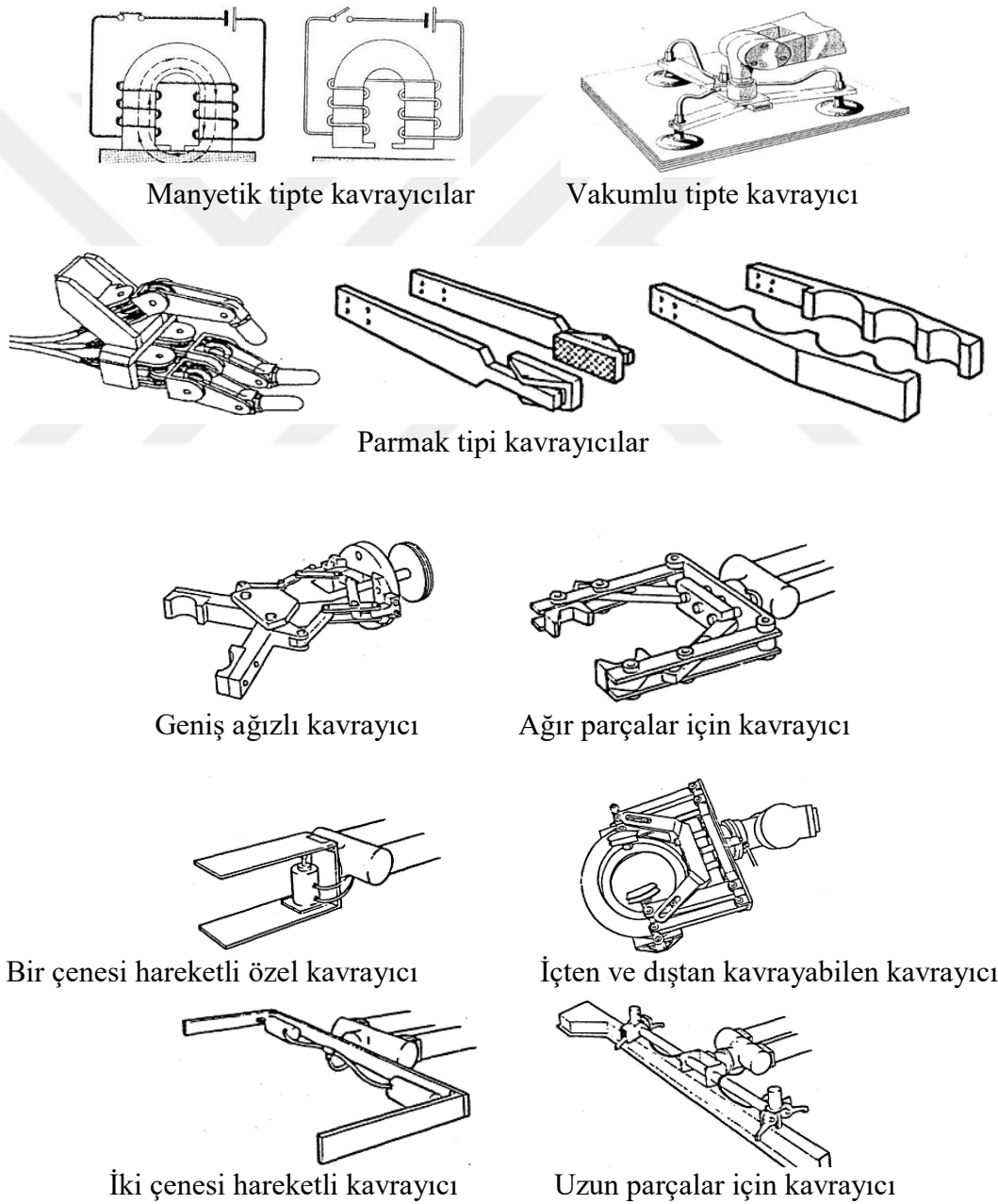
- Mekanik parmak tipi kavrayıcılar,
- Kancalı veya iğneli kavrayıcılar,
- Taşıma platformları,
- Kepçe ve potalar,
- Manyetik kavrayıcılar,
- Vakumlu kavrayıcılar,
- Yapışkan parmaklı kavrayıcılar,
- Universal kavrayıcılar (Arıkan 1991; Özdemir 2009).

Mekanik parmak tipi kavrayıcılar iki veya üç parmaklı olabilir, ancak üç parmaklı kavrayıcılar daha yaygın kullanılmaktadır. Parmak tipi kavrayıcılar kol, dişli, kam mekanizması, vida veya makara-ip gibi mekanik parçalar yardımı ile parmak kavrama görevi yerine getirmektedir. Parmak tipi kavrayıcılar insan el ve parmak yapısına benzerliğinden, değiştirilmeden istenilen ölçüde ve şekilde benzer nesneleri kavrama yeteneği verilerek verimliliği arttırılmaktadır. Bundan dolayı endüstriyel sektörde parmak tipi kavrayıcılar yaygın olarak kullanılmaktadır.

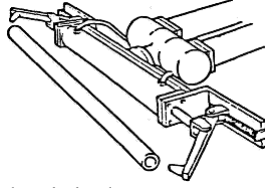
Kancalı kavrayıcılar, işlem yapılacak nesne üzerinde uygun kısımlara kancanın takılması ile çalışmaktadır. Endüstriyel alanlarda erimiş metal sıvıların kullanımı örnek olarak verilebilir.

Manyetik kavrayıcılar, metal parçaların taşınmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Manyetik kavrayıcılar sabit mıknatıs ve elektromıknatıs olmak üzere iki şekilde üretilmektedir, patlama riski olan işlerde daha çok sabit mıknatıs kullanılmaktadır. Metal parçanın kavranma süresi hızlı olması zaman bakımından verimlilik sağlamaktadır.

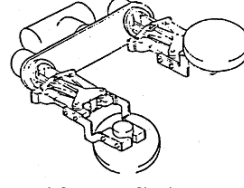
Manyetik kavrayıcıların kullanılmadığı metal olmayan ve düz büyük nesneler ise, genellikle vakumlu kavrayıcılar kullanılarak kavrama ve taşıma işlemleri yapılabilmektedir. Büyük iri düz parçaların taşınması genelde vantuzlar ile yapılırken küçük nesnelerin taşınması vakum pabuçları ile yapılmaktadır (Arıkan 1991; Özdemir 2009). Robotik kol sistemlerinde kullanılan çeşitli takım, aparat ve kavrayıcılar Şekil 1.9’ da görülmektedir.



Şekil 1.9. (devam)



Tüp tipi nesneler için kavrayıcı

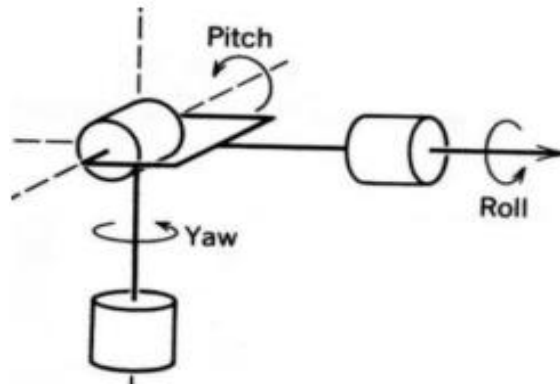


Çift taraflı kavrayıcı (vakumlu)

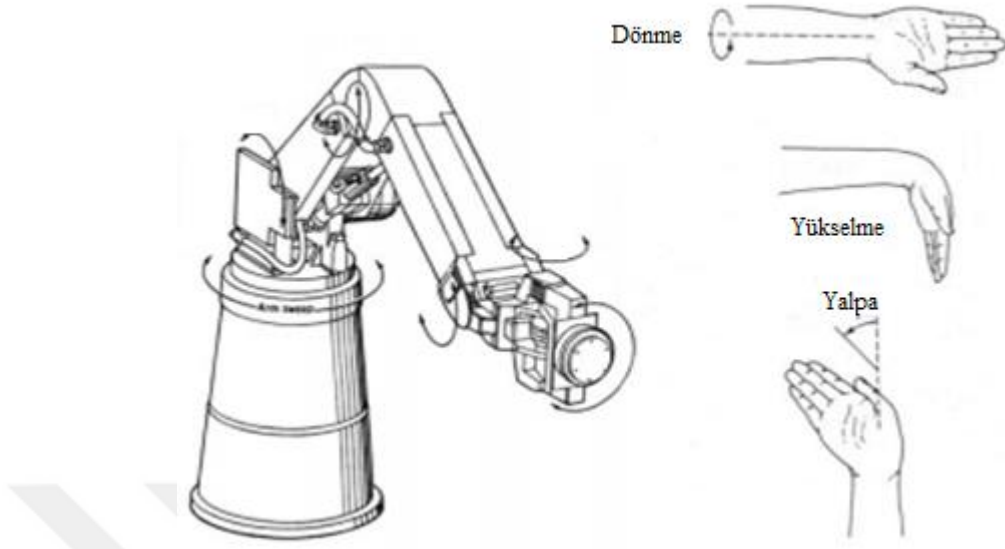
Şekil 1.9. Robotik kol sistemlerinde kullanılan çeşitli takım, aparat ve kavrayıcılar (Arıkan 1991; Özdemir 2009).

1.1.3.b. Bilek

Robotik sisteme monte edilecek uç elemanlar bir bilek ile mafsalla kola bağlanır. İş nesnesinin, aletin veya parçanın iyi kavranabilmesi için bilek yardımı ile uygun yönlendirmeler verilerek uç elemanın verimli şekilde görevini yapması sağlanır. Yaw (yalpa hareketi), pitch (yükselme hareketi) ve roll (dönme hareketi) (Şekil 1.10) olmak üzere bileğin üç serbestlik derecesi vardır (Kahya 2012).



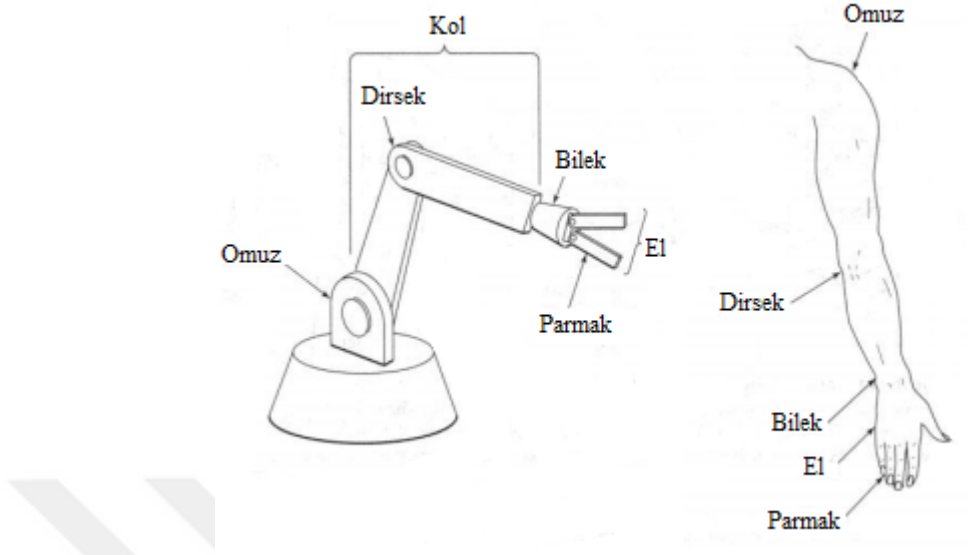
Şekil 1.10. (devam)



Şekil 1.10. Robot bileğinin serbestlik derecesinin altı eksenli bir robotta gösterimi (Gümüsel 2014)

1.1.3.c. Kol

Robotik kol sistemlerinde en az iki adet kol bulunur ve bu kollar mafsallarla birbirine bağlanır. Temel nokta olarak adlandırılan robotun sıfıncı uzvundan başlayan ilk kol (Upper Arm) omuz mafsalı, ikinci kol (Lower Arm) dirsek mafsalı ile birinci kola bağlanarak robot kolu meydana getirirler. Kol yapısı, bitiminde bilek ve sonrasında uç eleman adı verilen end-effector ile bir bütünü oluşturarak iş nesnesinin görevini yerine getirirler. Kollar, robotik sistemin hareket alanının oluşmasında asıl faktörü oluştururlar (Gümüsel 2014). Şekil 1.11’de bir manipülatörün parçaları ile insan kol yapısı arasındaki uyum görülmektedir.



Şekil 1.11. Manipülâtör ve insan kol yapısı (Gümüşel 2014)

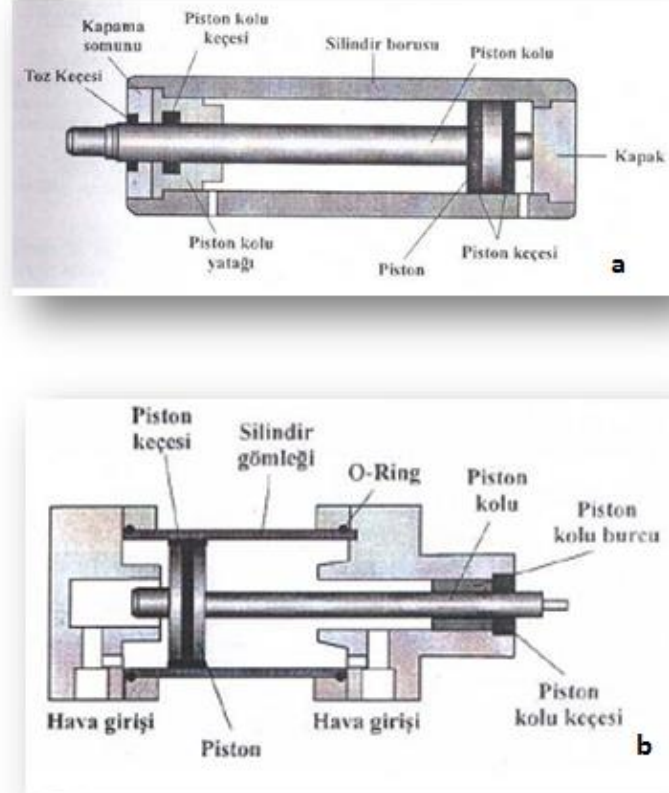
1.1.3.d. Temel

Robot kol yapılarından, birinci kolun bağlı olduğu destek ünitesine verilen isimdir. Robot temel ünitesi sabit olacağı gibi çalışma hattında hareketli yapıda da olabilir (Kahya 2012).

1.1.3.e. Güç birimi

Robotun her eklem hareketi için bir hareket düzeneğine ihtiyaç vardır. Robot hareket elemanları elektrikli, pnömatik veya hidrolik (Şekil 1.12) olmak üzere üç tahrik sistemi tarafından beslenebilmektedir. Genellikle elektrikli tahrik sistemler hidrolik ve pnömatik tahrik sistemlerle birlikte kullanılmaktadır. Günümüzde endüstriyel alanlarda küçük veya orta boy robotlarda genel olarak %30 unda pnömatik, %20 sinde elektromekanik güç birimleri ve hareket elemanları mevcuttur. Büyük robotik sistemler daha fazla ağır işlerde kullanıldığından genelde hidrolik sistemler tercih edilmektedir. Çünkü hidrolik sistemlerde, hidrolik silindir ve motorlar hassas bir denetim ile yüksek kuvvet ve güç üretebilmektedir. Pnömatik sistemler havalı sistemler olduğundan daha

ucuz ve bakımı kolaydır, bu yüzden basit ve hafif işlere uygundur, ancak konum ve hız denetimleri bakımından zordur. Elektromekanik sistemlere; servo motorlar, adım motorlar, doğrusal ve döner selonoidler örnek olarak sayılabilir (Arıkan 1991).



Şekil 1.12. Hidrolik (a) ve pnömatik (b) yapı elemanları (Özdemir 2009)

Adım motor olarak bilinen step motorlar, sürekli dönme hareketi yapan motorlardan farklı olarak bobinlere uygulanan darbeler sayesinde belirli bir açı oranında hareket eden motor tipidir. Disk sürücüler, CNC tezgâhları gibi sürekli dönme hareketi olmayan yapılarda kullanılırlar. Adım motorlarının yapılarında bulunan dört grup bobinin bağlantı şekillerine göre adım motorları Bipolar ve Unipolar olmak üzere ikiye ayrılır. Tekerlek gibi cisimlerin sürekli dönmesi gereken yapılarda yaygın olarak DC motorlar kullanılmaktadır. Bu tarz motorlar çalışma gerilimi ve gücüne göre farklı akım çeken motorlardır. Bilgisayar soğutucu fanı, çizgi izleyen robotlar ve sumo robotlarında

yaygın olarak kullanılmaktadır. Servo motorlar; DC elektrik motoru, dişli sistemi, geri besleme potansiyometresi ve DC motor pozisyon kumanda elektronığı bulunduran küçük güçteki robot uygulamalarında yaygın kullanılan motor tipidir. İkisi enerji ve biri sinyal olan üç kablo ile devreye bağlantısı gerçekleşir (Özdemir 2009).

Özdemir (2009)'in çalışmasına göre; hidrolik, pnömatik ve elektrikli tahrik sistemlerinin karşılaştırılması Çizelge 1.3'de verilmiştir.

Çizelge 1.3. Hidrolik, pnömatik ve elektrikli tahrik sistemlerinin karşılaştırılması (Özdemir 2009)

	Avantajları	Dezavantajları
Hidrolik Sistemler	*Ağır yük taşıma kapasitesine sahiptir. *Orta değerlerde süratlidir. *Yağın basıncı azalmadığı için eklemler hareket olmaksızın sabit tutulabilir. *Hassas kontrol imkânı sağlarlar	*Hidrolik sistemlerin maliyeti yüksektir. *Gürültüye ve akışkanların Sızması ile çevre kirliliğine neden olurlar. *Yüksek hızda çalışması gereken sistemler için uygun değildirler.
Pnömatik Sistemler	*Hidrolik sistemlere göre ucuzdur. *Yüksek hız kabiliyeti sağlayabilir. *Akışkanlar ile çevre kirliliğine sebep olmaz. *Laboratuvar çalışmalarında kullanılabilir.	*Havanın yağa göre sıkıştırılabilir olma özelliğinden dolayı basınç kaybına neden olur. *Gürültü kirliliği oluşabilir. *Hava yağa göre daha fazla sızma özelliğine sahiptir. *Sürekli bakım isteyen bir Yapısı vardır.
Elektrikli Sistemler	*Hızlı ve Hassastır. *Karmaşık kontrol sistemlerinde uygulamaya daha elverişlidir. *Kullanımı kolay ve diğerlerine göre maliyeti azdır	*Dişli ve güç aktarma elemanlarına ihtiyaç duyarlar. *Güç sınırlaması vardır. *Meydana gelen elektrik arkı sorunlara sebep olabilir.

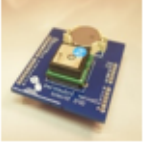
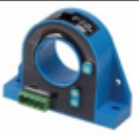
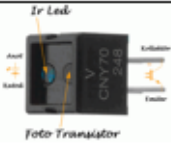
1.1.3.f. Algılayıcı sistemler ve özellikleri

Robotik sistemler, dış ortam ile iletişim kurmak ve anlık ortam değişikliklerine göre görevlerini yerine getirebilmeleri için algılayıcılara (sensörlere) ihtiyaç duyarlar. Sensörler, duyularımız gibi bir sistemin çevresini algılamasını sağlayan elemanlar olarak adlandırılır. Örneğin, insan vücudunda görme duyusu organı olan gözlerin görevini mobil robotlarda kullanılan ışık sensörleri (LDR, kamera, vb.) yapmaktadır (Dede 2011). Robot üzerine monte edilmiş sabit veya hareketli kameradan gelen görüntü verileri, bilgisayar programı yardımı ile işlenerek bir cismin fiziksel yapısı, konumu gibi bilgiler elde edilir. Elde edilen görüntü işleme bilgileri robotun hareketi için giriş verilerini oluştururken (Arıkan 1991), dış uyarıyı işlenebilen ölçülebilen elektrik sinyallerine dönüştürme işlemleri de değişik özellikte sensörler sayesinde yapılabilmektedir. Robotik sistemlerde ve endüstriyel alanlarda kullanılan sensörler Çizelge 1.4’de verilmiştir.

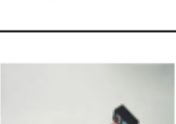
Çizelge 1.4. Robotik sistemlerde ve endüstriyel alanlarda yaygın kullanılan sensörler (Dede 2011)

No	Sensör	Açıklama	Görüntü
1	Mekanik Sensörler (Duyargalar)	Sensörler kategorisindeki en basit sensördür. Çalışma prensibi açma-kapama anahtarlarıyla aynıdır. Genellikle yaylı bir sistem engele çarpınca kontakt kapanır ve elektrik iletimi sağlanır	
2	Eğim & Denge Sensörleri	Bu tür sensörler robotunuzun yüzeyle yaptığı açıyı algılayabilir Sinyal atımının genliği ölçülerek sensörün bağlı olduğu sistemin zeminle açısı saptanabilir	
3	Tilt Sensörleri	Bu sensörler de denge sensörleri gibidir, farklarıysa açısal olarak algılamak yerine anlık çarpmaları ya da sağa, sola, 90 derece ve üstü açılardaki eğilmeleri algılamasıdır	
4	İvme Ölçerler	Kullanım alanları gittikçe artan bir sensör türüdür. Bir yönde hareketle oluşan ivmeyi elektriksel sinyallere çevirirler. En yaygın kullanım alanları cep telefonları. Telefonu sağa sola çevirdiğimizde oluşan küçük ivmeleri fark ederek, mikro denetleyicisinde işler	

Çizelge 1.4. (devam)

5	Basınç & Kuvvet & Yük (Load cell) Sensörleri	Belirli bir kuvveti ölçmek amacıyla kullanılırlar, bu sensörlerin kullanım alanlarından biri ve en yaygını dijital terazilerdir	
6	Pozisyon Sensörleri (Optik, Manyetik Encoder Resolver Potansiyometreler)	Pozisyon sensörleri hareketli bir sistemin pozisyon (konum) bilgisini almamızı sağlarlar	 
7	Motor Hız Sensörleri (Takometreler, Takojeneratörler)	Bu sensör tipleri motorun arkasına takılır motorun hızına göre analog bir voltaj çıkartırlar	
8	Pusulalar, GPS Sistemleri	Arazi robotu gibi hareketli projelerde kullanılan sensörlerdir. Elektronik pusulalar robotun yönünü bulmasında kullanılırken, GPS devreleri çok daha hassas şekilde robotun içinde bulunduğu koordinatları da bulmasını sağlar.	
9	Akım Sensörleri	Bu tür sensörlerin amacı üzerlerinden geçen akımı ölçmektir.	
10	Işık Sensörleri	Robot kontrolünde en yaygın kullanılan sensör ailesidir. LDR, fototransistor, foto diyot, infrared detektörler gibi görünen veya görünmeyen ışık bilgilerini kullanan tüm sensörler bu kategoride yer alır.	
11	Renk Sensörleri	Renklerin belirli ışıkları belli oranlarda yansıtmaları temel alınarak yapılmış sensörlerdir	
12	Kızılötesi Sensörler	Bu tür sensörler cisim algılama ya da iletişim için kızılötesi (infrared) sensörleri kullanırlar. Kızılötesi kullanılımasının en önemli sebebi, görünür ışık tayfından kaçınmaktır.	

Çizelge 1.4. (devam)

13	UV Morötesi Sensörler	Morötesi ışınımı algılamak için kullanılırlar. Yangın sensörü olarak da kullanılabilirler (Ateş yüksek oranda morötesi ışık da yayar). Analog voltaj çıkartırlar, karşılaştırıcı entegreleri kullanılarak (LM324, Lm339, Lm358 gibi) mikrodenetleyiciyle kontrol edilebilir.	
14	Ses Sensörleri	Temelinde bir mikrofön (ses algılayıcı) ve mikrofondan çıkan sesleri güçlendiren (ses amfisi) devreleri barındıran bir sensör çeşididir	
15	Ultrasonik Sensörler	Sesle engel tanıma veya uzaklık ölçümü ultrasonik (ses ötesi) ses dalgaları ile yapılabilir. Ultrasonik sensör çevresine ses dalgaları yayıp, engele çarpıp geri gelen yankı dalgalardan menzil ölçümü yapan bir algılayıcı türüdür.	
16	Sıcaklık Sensörleri	Bu tür sensörler sistemin sıcaklığını ölçmek için kullanılırlar.	
17	Sharp Sensörler	Geçmişte robotlarda en çok kullanılan sensör türüdür. Cisim algılama, menzil ölçümü için sıklıkla kullanılırlar. Üretimi durmuştur.	
18	Kapasitif Sensör	Yalıtkan plastik, iplik gibi cisimleri belirli uzaklıktan algılamada kullanılır.	
19	İndüktif Sensör	Metalleri algılamak için kullanılır. Genellikle çok kısa menzillidirler. En uzun menzil 3-4 cm gibidir. Dişli sayıcı sistemlerinde ya da metal pistonun konumu belirlemek gibi amaçlar için kullanılırlar.	
20	Işın Sensörleri	1. Retro Reflektif Sensör (Retro Reflective Sensor) – Özel bir yansıtıcı kedigözü yüzeyden yansıtılarak aradan geçen bir cismi algılaması sağlanır. 2. Yansımali Sensör (Reflective Sensor) – Cisim algılama için kullanılır. 3. Doğru ışın (Through Beam) – Karşılıklı bakan iki sensör sistemi kurularak aradan geçen cisimi algılamak için kullanılır.	

Sensörlerle ilgili bazı terimler vardır (Dede 2011). Bunlar;

1. Menzil; sensörün verimli ölçüm yapabilmesi için azami mesafe olarak adlandırılır.
2. Tepki Süresi; sensör seçiminini etkileyen önemli faktörlerden biridir, sensörün cismi algılaması için gereken minimum süre olarak adlandırılır.
3. Histerezis; sensör ölçümlerinde sağlıklı olabilmesi için iki ölçüm arasında geçmesi gereken minimum süredir.

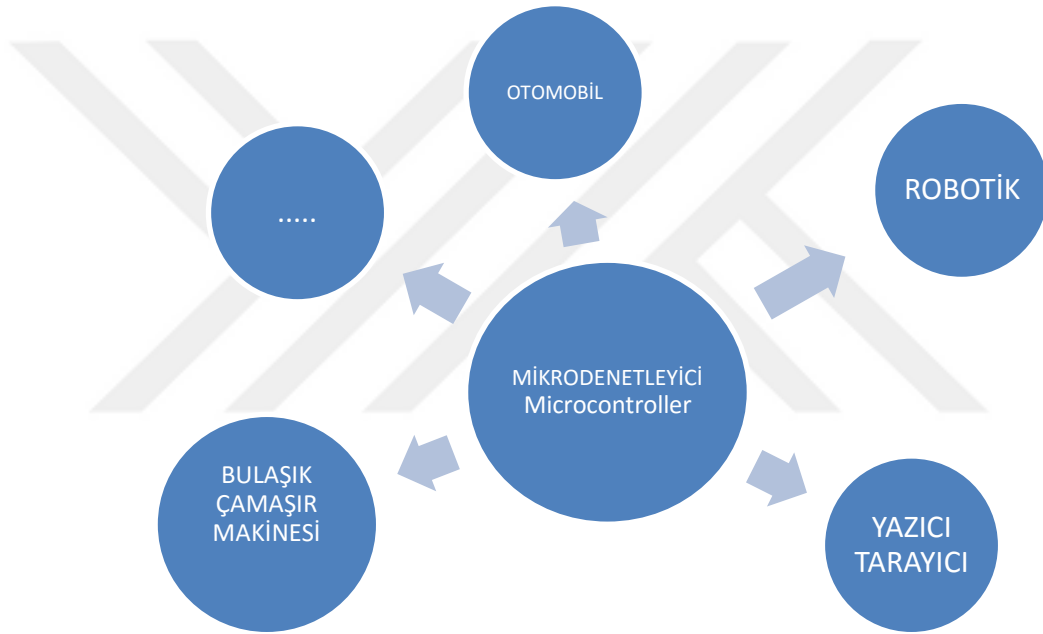
Robotik sistemlerde kullanılan algılayıcıların seçimini yaparken dikkat edilecek bazı hususlar vardır. Bunlar Çizelge 1.5’de verilmiştir (Özdemir 2009).

Çizelge 1.5. Robotik sistemlerde kullanılan algılayıcıların seçiminde dikkat edilecek hususlar

1	Ölçüm Sınırları	Sensörün ölçebileceği minimum ve maksimum sınırları verir.
2	Duyarlılık	Sensörün hassaslığını verir, yani giriş sinyalindeki değişimin durumuna göre çıkış sinyalindeki değişimin oranı olarak adlandırılır.
3	Çıkış Sinyali Türü	Algılayıcının özelliğine göre çıkış sinyalinin dijital veya analog türünde vermesidir.
4	Tekrarlanabilirlik	Sensörün kalitesini önemli ölçüde belirleyen faktördür, yani farklı zamanlarda aynı giriş değerine göre aynı çıkış değerini verme kabiliyeti olarak adlandırılır.
5	Doğrusallık	Girişin her seviyede değişimine göre aynı seviyede çıkış değişimi verebilme kabiliyetidir, özetle giriş değişimleri ile çıkış değişimleri arasındaki ilişkiyi belirtir.

1.1.4. Robotik sistemler için mikrodenetleyiciler

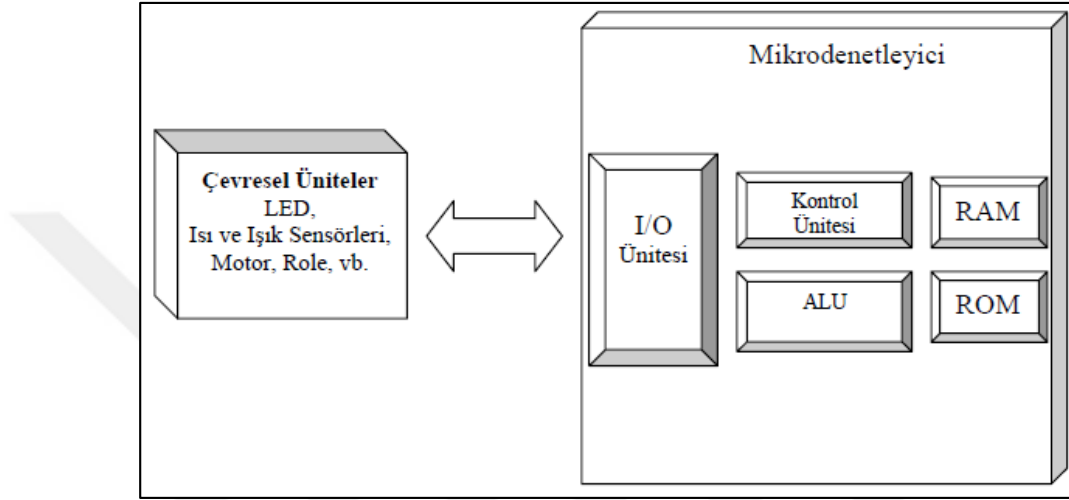
Mikroişlemcili bir sistem, görevini yapabilmesi için verilerin saklanabileceği bellek birimlerine (RAM, ROM), dış dünyadan veri alış-verişi yapabilmesi için giriş-çıkış birimlerine (I/O) ihtiyaç duyar. Bu birimler mikroişlemcili sistemlerde ayrı birimler halinde yer almaktadır, bu sebeple mikroişlemcili sistemlere çok entegreli sistemler denilir.



Şekil 1.13. Mikrodenetleyicinin kullanım alanlarına örnekler

Mikroişlemcili sistemler çok entegreli yapılı olduğundan pahalı sistemlerdir. Aynı anda milyonlarca işi yapabilen mikroişlemcili bir sistemin çamaşır makinesi, otomobil, telefon gibi yapılarda kullanılması hem maliyet hem de hacim bakımından artış sağlamaktadır. Bu sebeplerden dolayı mikroişlemcili sistemi oluşturan entegre yapıların bazı özellikleri kısılarak tek bir entegre yapı halinde oluşturulmasından “Mikrodenetleyiciler” meydana gelmiştir (Şekil 1.14). Mikrodenetleyiciler tek entegreli sistemler olduğundan hem daha küçük hem de daha az maliyetlidirler. Mikrodenetleyiciler (Microcontroller) tek bir programı hassas bir şekilde çalıştırmak amacıyla kullanılır, bu sebeple “gömülü denetleyici-embedded controller” olarak

adlandırılır. Mikrodenetleyiciler ile yapılacak çalışmalarda sistemin tasarımında kullanılacak mikrodenetleyicinin doğru seçimi için, mikrodenetleyicinin özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Mikrodenetleyicilerin kataloğu incelenerek hangi özelliğe sahip olduğu anlaşılabilir (Özdemir 2009).



Şekil 1.14. Mikrodenetleyici sistemin blok diyagramı (Özdemir 2009)

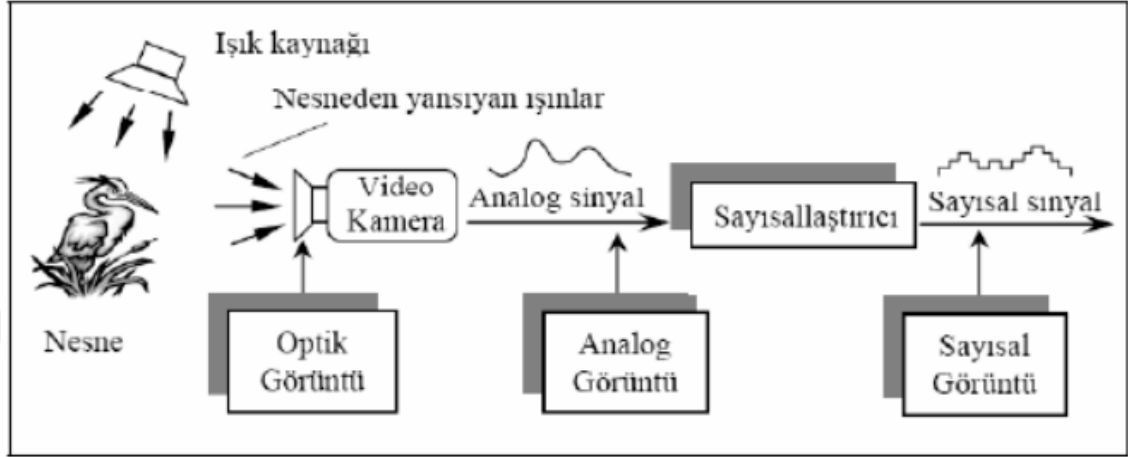
1.1.5. Görüntü işleme

Görüntü, fotoğraf veya resim gibi iki boyutlu görüntüler yanında hologram gibi üç boyutlu görüntüleri temsil eden veri olarak adlandırılır. Yüksekliği ve genişliği olan dikdörtgen şeklindeki bir alan içerisinde resim anlamında kullanılır. $a(x,y)$ gibi bir fonksiyonla ifade edilen bir resimde x - y değişkenleri resmin gerçek koordinatlarını, a ise şiddet birimi (örneğin parlaklık) olarak tanımlanır. Görüntü, kısaca pikseller matrisi olarak da ifade edilebilir. Görüntünün en küçük birimine “Piksel” adı verilir. Piksel değeri aralığı görüntünün niteliğini değiştirmektedir. “0” değeri siyahı temsil ederken, $n-1$ beyazı temsil etmektedir.

$$n = 2^b \text{ dir}$$

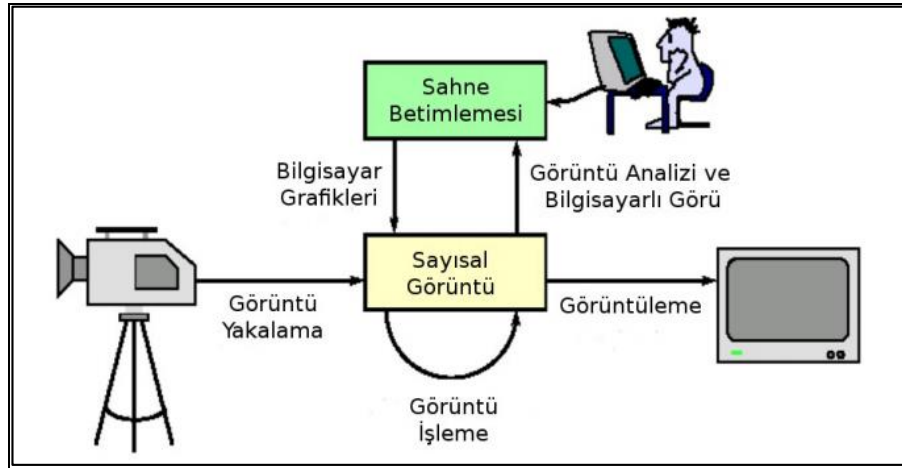
$$b = 8 \text{ için; } n = 256 \text{ olur}$$

Bu değerler için 0 siyahı, 255 beyazı temsil etmektedir. b: Görüntünün 1 pikselini ifade etmek için gereken bit sayısıdır (Yıldırım vd 2003;Uğur 2013; Ateş 2013).



Şekil 1.15. Görüntü yakalama ve sayısallaştırma aşamaları (Yaman vd 2001)

Bir görüntünün sayısal hale dönüştürülmüş haline “Sayısal Görüntü” denilir. Sayısal değerlerden oluşan ve bilgisayar ortamında görüntülenebilen bu görüntülerin oluşturulma aşamaları Şekil 1.15’de verilmiştir. Örneğin, 1024x768 çözünürlükte bir resimde, iki boyuttan oluşmuş sayısal değerler içeren bir matris yapısını belirtmektedir. 768 değeri satır, 1024 değeri sütun sayısını vermektedir ve bu iki boyutlu matrisin her değeri resimde bir pikseli ifade etmektedir. Bu iki boyutlu görüntünün bilgisayar yardımı ile işlenerek yeni görüntü elde edilmesine “Görüntü İşleme - Image Processing” adı verilmektedir (Şekil 1.16). Sonuç olarak elde edilecek görüntüde (çıktı) kalite artırılma, istenilen şekle getirilme vb işlemler yapılabilmektedir. Çizelge 1.6’da gösterildiği gibi sayısal görüntülerin üç türü vardır (Karakoç 2012; Uğur 2013; Ateş 2013).



Şekil 1.16. Görüntü işleme (Ateş 2013)

Çizelge 1.6. Sayısal görüntü çeşitleri

ÇEŞİDİN ADI	AÇIKLAMA	
İkili (Binary) Görüntü	Her pikselin renk bilgisi için sadece siyah ve beyaz piksellerden oluşan sayısal görüntülerdir. Düşük renk değerleri için → 0 (siyah) Yüksek renk değerleri için → 1 (beyaz)	The term watershed refers to a ridge that divides areas drained by different river systems.
Gri Tonlamalı (Grayscale) Görüntü	Genelde piksel başına 8 bit ayrılan, sadece grinin tonlarından oluşur. Her pikselin, renk bilgisi için aynı değeri aldığı sayısal görüntüler $Gri = (R + G + B) / 3$	
Renkli (Colour) Görüntü	Her pikselin, renk bilgisi için farklı değerleri alabildiği 'Kırmızı-Yeşil-Mavi' (RGB) üç renk katmanından oluşan sayısal görüntülerdir	

1.1.5.a. Görüntü işleme kullanım amaçları

Görüntü işleme ile; kamera, fotoğraf makinesi gibi donanım aygıtları ile dış ortamlardan alınan analog görüntülerin dijitale dönüştürülmüş hallerinin bir girdi resmi olarak işlenerek, sonuç görüntüsünde görüntü iyileştirme, görüntü onarma, görüntü sıkıştırma, görüntü analiz etme ve görüntü tanıma gibi işlemler gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Örneğin, karanlıkta alınmış görüntülerin üzerinde histogram eşitleme ile netleştirme yapılarak görüntünün görsel görünümü iyileştirilerek geliştirilmiş olacaktır bu sayede gözlemci kişi için görüntüyü anlaması kolaylaşacaktır. Eğer bu görüntüde insan yüzü algılanmak isteniyor ise analiz yöntemlerinden yüz tanıma tekniği kullanılarak görüntüden anlamlı bir bilgi alınmış olur (Uğur 2013).

1.1.5.b. Görüntü işleme uygulama alanları

Görüntü işleme tıp, uzay, güvenlik, mühendislik, sinema, dijital dokümantasyon ve askeri uygulamalar olmak üzere günümüzde hemen hemen her alanda kullanılmaktadır. Karakoç (2012)'un çalışmasına göre görüntü işleme aşağıdaki konularda uygulama alanı bulabilmektedir.

- Yapay sinir ağları,
- Dalgacık dönüşümü,
- Markov rastgele alan süzgeçleri,
- İteratif hücresel resim işleme algoritması,
- Yönlendirme süzgeçleri,
- Genetik algoritma,
- Görüntü iletimi,
- Bulanık mantık.

Görüntü işlemenin uygulandığı alanları Çizelge 1.7' de örneklerle gösterilmiştir.

Çizelge 1.7. Görüntü işlemenin uygulandığı alanlar (Karakoç 2012; Uğur 2013)

SIRA NO	UYGULANDIĞI ALAN	ÖRNEK
1	TIP	Tümör, damar gibi yapıların daha iyi belirginleştirilerek tespiti, MRI, Ultrason, Gama Işını, Tomografi görüntüleri, görüntü iyileştirme Hastalık/kırık belirleme, nodül tespiti, nesne sayma, vb.
2	Astronomi ve uydu	Gezegenler, uydular, gökyüzü olayları, uydu görüntüleri üzerinde meteorolojik hava gözlem ve tahmin uygulamaları vb.
3	Uzak Yeryüzü Kaynakları Araştırmaları	Uydu görüntüleri üzerinde nüfus yoğunluğu, yerleşim yerleri, çevre kirliliği, çarpık kentleşme, kaçak yapılanma ve benzeri çevresel şartların tespiti, vb.
4	Robotik, trafik, güvenlik merkezlerinde	Yüz/Parmak izi/iris Tanıma, Hareket Tespiti, plaka tanıma ve takip, endüstriyel robotlarda, kriminal laboratuvarlar, vb.
5	Mühendislik ve Üretim	Kalite Kontrol, vb.
6	Sinema, Yayıncılık, Sanat, Spor, Fizik,	Film efektleri, yarışlar, resim düzenlemelerinde, gazete ve fotoğraf endüstrisi uygulamaları, vb.
7	Belgelerin Sayısallaştırılması (Belge işleme)	OCR, Kütüphaneler, vb.
8	Askeri Uygulamalar	Hedef tespiti, insansız hava araçları, gece görüşü, denizaltı sonic dalga taramaları, sualtı görüntüleme, vb.
9	Tarım ve Hayvancılık	Tarımsal ürün analizlerinde, tarımsal alanların incelenmesinde, tarımsal ve hayvancılık sektöründe makine ve ekipmanlarda, sığır eti kalite tayini, vb.

1.1.5.c. Görüntü işlemede zorluklar

Pek çok durumda oluşan gürültünün etkisi ile görüntü sinyalinde bozulmalar olabilir. Bunlar:

- Objektif bozulmalar (Lens distortions),
- Işıklandırma durumları (Lighting conditions),
- Sensör termal gürültü (Sensor thermal noise),
- Hareket bulanıklığı (Motion blur),
- Sıkıştırma problemleri (Compression artifacts) (Karakoç 2012).

1.1.5.d. Görüntü işleme için özgür kütüphaneler ve araçlar

Yazılım geliştirilirken görüntü işleme yapmak için bazı kütüphanelere ve araçlara ihtiyaç duyulmaktadır. Görüntü işleme projelerinde kullanılacak kütüphanenin amacı uygun olarak seçilmesi önemlidir. Bu seçimi yaparken yapılmak istenilene doğru karar verilmelidir, örneğin sadece kameradan (USB, IP vs.) görüntü almak için projede OpenCV kütüphanesi entegre etmeye gerek olmayabilir. Bu bağlamda görüntü işlemede kullanılan yaygın özgür kütüphaneler vardır, bunlar (Ateş 2013; Pişkin 2016a);

-OpenCV: 1999 yılında Intel tarafından geliştirilmeye başlanmış, açık kaynak kodlu görüntü işleme kütüphanesi. Daha sonra Itseez, Willow, Nvidia, AMD, Google gibi şirket ve topluluklar tarafından gelişimine devam etmiştir. Görüntü işlemeye (image processing) ve makine öğrenmesine (machine learning) olanak sağlayan bu kütüphane 2500'den fazla algoritmayı bünyesinde bulundurmaktadır. Bu algoritmalar ile yapılan işlemlere örnek olarak; yüz tanıma, nesneleri ayırt etme, insan hareketlerini tespit edebilme, nesne sınıflandırma, plaka tanıma, üç boyutlu görüntü üzerinde işlem yapabilme, görüntü karşılaştırma ve optik karakter tanımlama gibi işlemler örnek verilebilir. OpenCV kolay bir şekilde görüntü-resim işlenebilir bir kütüphanedir. Ayrıca Java, C++, Visual C, C# ve Python gibi dillerde yaygın olarak kullanılabilmesinin haricinde farklı diller için Wrappers olarak adlandırılan ara kütüphanelere sahiptir. C#

programlama dili için EmguCV veya OpenCVSharp ara kütüphanesi örnek olarak kullanılmaktadır. Açık kaynak kodlu OpenCV, ücretsiz bir kütüphanedir ve computer vision odaklıdır.

-EmguCV: OpenCV Wrapper'ı olan EmguCV, Windows, Linux, Mac OS X, iOS, Android ve Windows Phone sistemleri üzerinde olmak üzere farklı platformlarda çalışabilmektedir ve Net framework çatısı altında bulunan C #, VB, VC++, Xamarin veya IronPython ve Unity ile görüntü işleme uygulamaları geliştirmeyi kolaylaştırmaktadır. Farklı lisanslamalara sahip olan EmguCV, güncelliğini devam ettiren bir kütüphanedir.

-Matlab: Görüntü işlemeye yönelik temel algoritmaları barındırmasına rağmen dördüncü nesil ve çok amaçlı bir programlama dili olan matlab, bir görüntü işleme kütüphanesi olarak bahsetmek doğru değildir. Temel görüntü işlemlerinin yapıldığı akademik araştırmalarda, performansın önemli olmadığı durumlarda için tercih edilebilmektedir. Uygulamalar geliştirmede OpenCV Kütüphanesi ile etkileşimli olarak kullanılması mümkündür.

-Aforce.Net: C# kütüphanesi olan Aforce.Net bilgisayarlı görme ve yapay zekâ (resim işleme, yapay sinir ağları, genetik algoritma gibi) konularıyla ilgilenen geliştiriciler ve araştırmacılar için tasarlanmıştır. Bu kütüphane 5 ana başlıkta toplanabilir;

- 1-AForge. Imaging: Resim işleme rutinleri ve filtreleri,
- 2-AForge. Neuro: Yapay sinir ağları,
- 3-AForge. Genetic: Genetik algoritma ve evrimsel programlama,
- 4-AForge. Vision: Bilgisayarlı görü,
- 5-AForge. MachineLearning: Makine öğrenme.

-SimpleCV: Açık kaynak kodlu bir framework olan SimpleCV, bilgisayarla görme uygulamaları oluşturmada kullanılmaktadır. OpenCV gibi birçok yüksek-güçlü bilgisayar görme kütüphanelerine erişilebilme olanağı veren SimpleCV ile bit derinliği, dosya formatları, renk uzayları, buffer bellek yönetimi, özdeğerler veya matrise karşılık bitmap depolama öğrenmek zorunda kalınmamaktadır.

-PIL(Python Imaging Library): Temel ve kullanışlı görüntü işlemlerinde yer alan bu kütüphane, Python yorumlayıcısı için görüntü işleme kütüphanesidir.

-NumPy: n-boyutlu dizi nesnelerinden oluşan görüntülerde lineer cebir fonksiyonları ve fourier dönüşümleri gibi işlemlerde kullanılan bu kütüphane, Python için bilimsel hesaplama aracıdır.

-SciPy: Eniyileme, istatistik, sinyal işleme ve görüntü işleme işlemlerinde kullanılır. Python için NumPy tabanlı hesaplama kütüphanesidir.

-GNU Octave: Özgür ve ücretsiz bir yazılım olan Octave, öncelikli olarak sayısal hesaplamalar için tasarlanmış yüksek seviyeli ve Matlab ile çoğunlukla uyumlu bir dildir. Doğrusal ve doğrusal olmayan matematiksel problemleri sayısal olarak çözmeye ve başka sayısal deneyler yapmaya elverişli bir komut satırı arayüzü sunabilen Octave, komut ekranı ve göresel ara yüzleri destekleyebilmektedir.

-Halcon: C, C++, VS C++, C#, VB.NET çeşitli programlama dilleri için kütüphanesi bulunduğu endüstriyel projeler için tercih edilen, makine görmesi (machine vision) odaklı ticari bir yazılımdır.

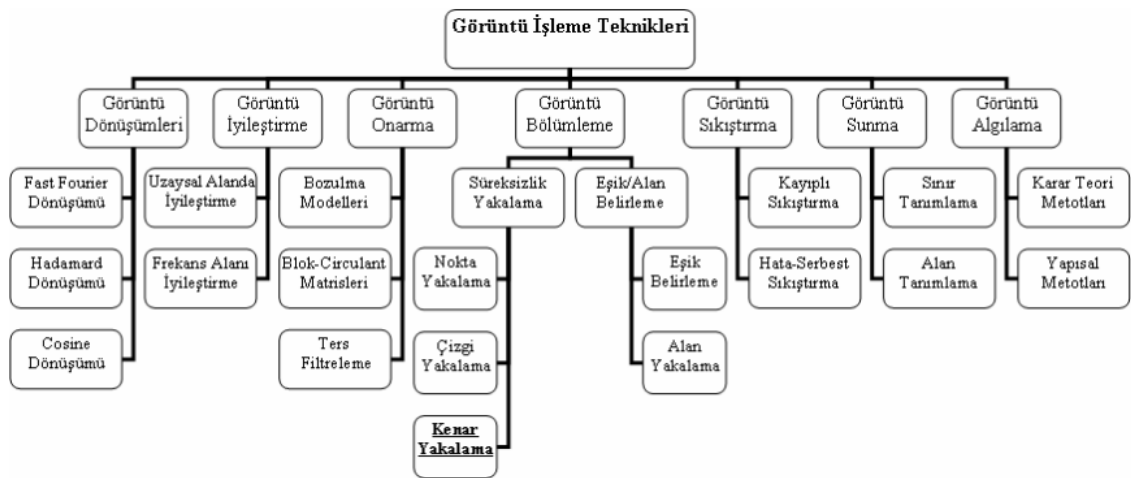
-CIMG: OpenCV kadar performanslı ve geniş bir algoritma altyapısına sahip olmayan CIMG, Windows, Linux ve OS X platformu üzerinde çalışabilen açık kaynak kodlu bir görüntü işleme kütüphanesidir. Sadece C++ dili için desteği bulunan bu kütüphaneye ek olarak yazılmış Wrapperlar ile Java ve Python ile de uygulama geliştirilebilme imkânı kazanılmaktadır.

-FIJI: Özelleştirilmiş algoritmalara sahip olan (genetik, hücre biyolojisi, nöro-bilim gibi) ve GPL lisansına sahip Java platformu için geliştirilmiş açık kaynak kodlu bir görüntü işleme kütüphanesidir. Bilimsel görüntü analizi için geliştirilmiş kütüphane; Windows, Linux ve MAC OSX Intel 32-bit veya 64-bit gibi farklı sistemler üzerinde çalışabilmektedir.

Görüntü işleme de kullanılan diğer kütüphaneler Endrov, ImageJ, Lead tools, Pink, Image Magick, Boost olarak bilinmektedir (Pişkin 2016a).

1.1.5.e. Görüntü işleme teknikleri ve algoritmaları

Görüntü işlemede birer yöntem olarak kullanılabilen yapay sinir ağları, genetik algoritmalar ya da bulanık mantık gibi sistemler, çalışmalarda genel olarak görüntü işleme olarak adlandırılmaktadır. Görüntü işleme çalışmalarının gerçekleştirilebilirliği, verimliliği, esnekliği ve etkililiği üzerinde, görüntü işleme çalışmalarında kullanılacak yöntem ve teknikler, tercih edilecek platform ve araçlar ile üzerinde çalışılacak görüntüler çeşitli etkilere sahiptir. Görüntü işleme yöntem ve teknikleri aşağıdaki şekil diyagramında ele alınmıştır (Şekil 1.17) (Karakoç 2012).

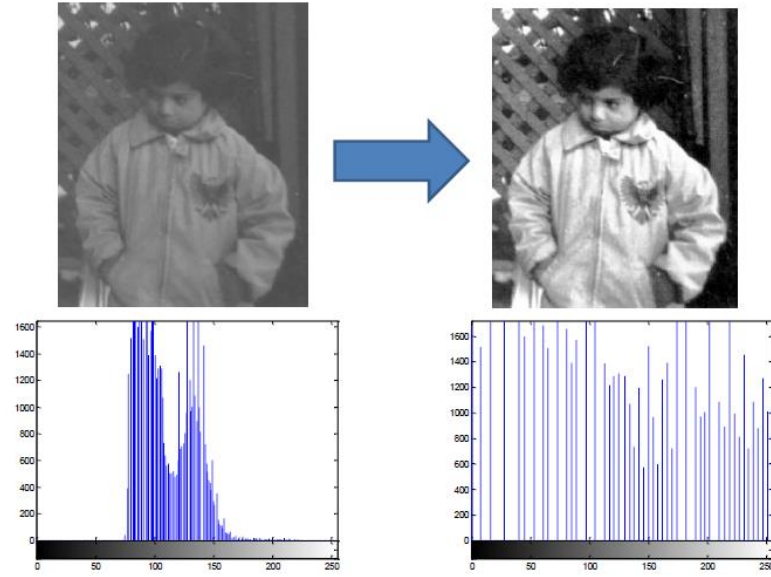


Şekil 1.17. Görüntü işleme yöntem ve teknikleri (Karakoç 2012)

Bu yöntem ve teknikleri genel anlamda ele alındığında Uğur (2013)'ün çalışmasına göre bazı başlıklar oluşmaktadır. Bunlar;

a. Görüntü iyileştirme (Image Enhancement)

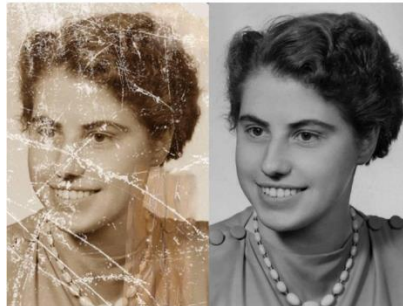
Görüntü üzerinde daha açık hale getirme veya kontrastını artırma gibi işlemler yanında daha ileri filtreler kullanılarak eldeki görüntüden daha iyi kaliteli görüntü oluşturma işlemidir (Şekil 1.18).



Şekil 1.18. Görüntü iyileştirme (Uğur 2013)

b. Görüntü Onarma (Image Restoration)

Elde edilen görüntü kaynaklarında temiz orijinal resmi tahminleme yaparak bozulmuş veya gürültüye maruz kalmış resimleri onarma işlemidir (Şekil 1.19).



Şekil 1.19. Görüntü onarma (Anonymous 2016)

c. Morfolojik İşlemler (Morphological Operations)

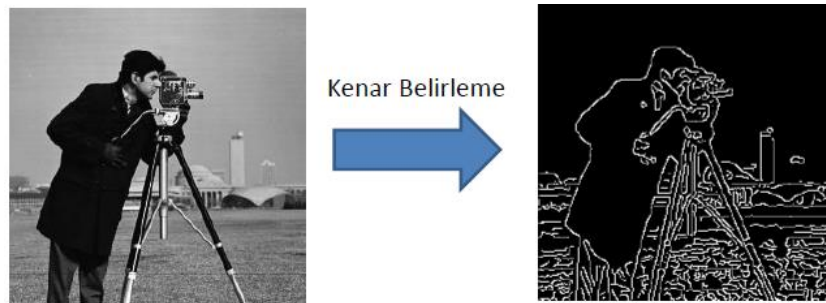
Görüntüler üzerinde temeli küme teorisine dayalı işlemler yapılmaktadır. Bunlar arasında genişletme, aşındırma, sınır belirleme, iskelet ve dışbükey kabuk bulma gösterilebilir (Şekil 1.20).



Şekil 1.20. Görüntüler üzerinde aşınma, genişletme ve sınır işlemleri (Anonymous 2017b)

d. Kenar Belirleme (Edge Detection)

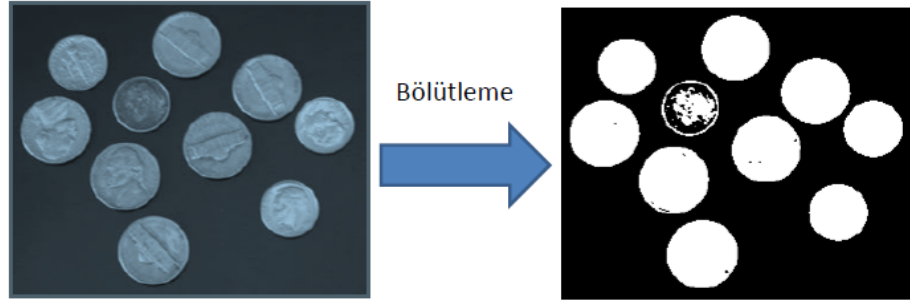
Görüntüdeki süreksizlikler ve keskin (hızlı) tonlama değişiklikleri bulunarak kenar tespiti yapılır (Şekil1.21).



Şekil 1.21. Görüntüde kenar tespiti (Uğur 2013)

e. Bölütleme (Segmentation)

Nesneleri arka plandan ve diğer nesnelerden ayırma işlemi yapılarak, görüntüleri kendini oluşturan parçalara ve nesnelere ayırıştırma işlemidir (Şekil 1.22).



Şekil 1.22. Görüntü üzerinde bölütleme işlemi (Uğur 2013)

f. Tanıma (Recognition)

Sınıflandırma işlemi yaparak bir nesneye tanımlayıcılarına dayalı olarak etiket atama işlemidir. Örnek olarak yüz tanıma işlemlerinde tanınmış yüz ifadesine etiket atama yapılmaktadır (Şekil 1.23).



Şekil 1.23. Görüntü üzerinde yüz tanıma

g. Nesne İzleme ve Takip (Object Tracking)

Gerçek zamanlı veya kayıtlı video görüntülerinde nesne ve nesnelerin konumlarını belirleme ve takip etme işlemidir. Bu tarz işlemlerde takip edilen nesnenin konum bilgisine göre algılayıcılara hareket kabiliyeti verilebilmektedir (Şekil 1.24).



Şekil 1.24. Görüntü üzerinde nesne tanıma ve takip

h. Şablon Eşleme (Template Matching)

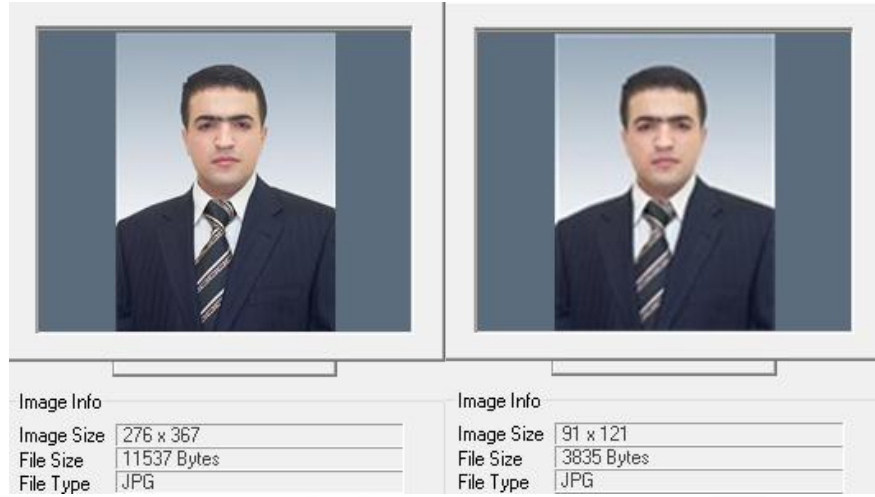
Verilen bir şablon görüntü parçası ile bir resim içerisindeki eşleşen parçaların bulunması işlemidir (Şekil 1.25).



Şekil 1.25. Görüntü üzerinde şablon eşleme (Pişkin 2016b)

i. Görüntü Sıkıştırma (Image Compression)

Hafıza birimlerinde, bir yerden başka bir yere aktarımlarda, web sitesinde yayınlamalarda gibi işlemlerde verim sağlamak için resmin boyutunu kayıplı veya kayıpsız olarak azaltma işlemidir (Şekil 1.26).



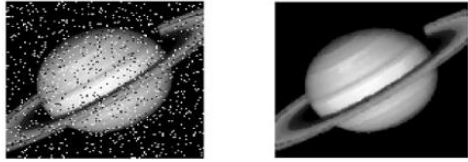
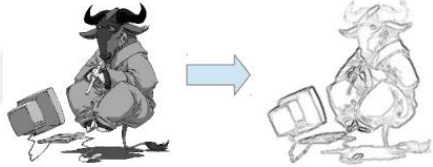
Şekil 1.26. Görüntü sıkıştırma

Görüntü işleme algoritmaları Ateş (2013)'in yapmış olduğu çalışmaya göre Çizelge 1.8'de özetlenmektedir.

Çizelge 1.8. Görüntü işleme algoritmaları

Görüntü Histogramlarına Bağlı Algoritmalar	Yoğunluk Histogramları *Piksel yoğunluk sayılarını tutan histogramlardır.	
	Histogram Eşitleme *Görüntünün belli bir gri seviyesinde yoğunlaşmış histogramını tüm gri seviyesi aralığına yaymak	
Matematik Temelli Algoritmalar	İkili İşlemler: NOT, OR, AND, XOR	a b
	Aritmetik İşlemler: +, -, *, /, LOG, EXP, SQRT	NOT b a OR b a AND b a XOR b a - b

Çizelge 1.8. (devam)

Filtreleme	Doğrusal (Linear) Filtreler: uniform, üçgen, yumuşatma, kenar belirleme Doğrusal Olmayan (Non-linear) Filtreler: median, min, max, percentile	 a)Düşük frekanslı (*Görüntüyü yumuşatır, detayları ve gürültüyü kaldırır)  b)Ortanca/Median (*gürültüleri kaldırır, seçili pikselin komşu piksellerine göre ortalamalarına göre değer alır)  c)Yüksek frekanslı (*Bulanık görüntüleri keskinleştirir, piksellerin göreceli zıtlığını artırır)  d)Kenar belirleme (*Görüntü içerisindeki nesne ya da farklılıkların elde edilmesi, görüntüdeki renk geçişlerini keskinleştirir)  e)Sobel filtresi (*Görüntünün ilk türevidir, kenar belirleme amacıyla kullanılır)
------------	---	---

1.1.6. Tarımsal uygulamalarda görüntü işleme

Tarımsal alanlarda yapılan görüntü işleme uygulamaları üretim öncesi, üretim aşaması ve üretim sonrası olmak üzere üç aşama içerisinde yer almaktadır (Ongun 2017). Bunlar;

-Üretim öncesinde toprak inceleme, sulama gereksinimi kontrolleri, yüzey ölçme ve üretim yönetimi gibi durumlarda kullanılmaktadır. Bu aşamada toprak ve örtüsü üzerine

ayrıntılı bilgi alınabilmektedir. Yapılan işlem sonucunda elde edilen bilginin doğruluğu için girdi olarak alınan görüntü verilerinde yüzey ölçümleri hassasiyetle yapılmaktadır. Ülkemizde bu bağlamda 2016 yılında uzaya fırlatılan Göktürk-1 uydusu dünyadaki benzerlerine göre oldukça yüksek çözünürlükte görüntüler aktararak uzaktan algılama ve tespit görevinde bulunmaktadır.

-Üretim aşamasında yapılan görüntü işleme uygulamalarında seçici uygulamalar ve veri izlemede kullanılmaktadır. Bu aşamada yapılan görüntü işleme uygulamaları sayesinde zararlı ot haritaları oluşturulabilir ve bu duruma karşı tedbirler alınabilir. Ürünlerin yapılan işlemler sonucunda ilerleyişi takip edilerek veri analizleri oluşturulabilmektedir. Buna örnek olarak gübre yararlanımı ve yıkanımı izlenerek gübre girdi maliyetleri önemli miktarda düşürülebilir. Yine bu aşamada sulama için gerekli düzeltici önlemlerin alınması sağlanabilmektedir.

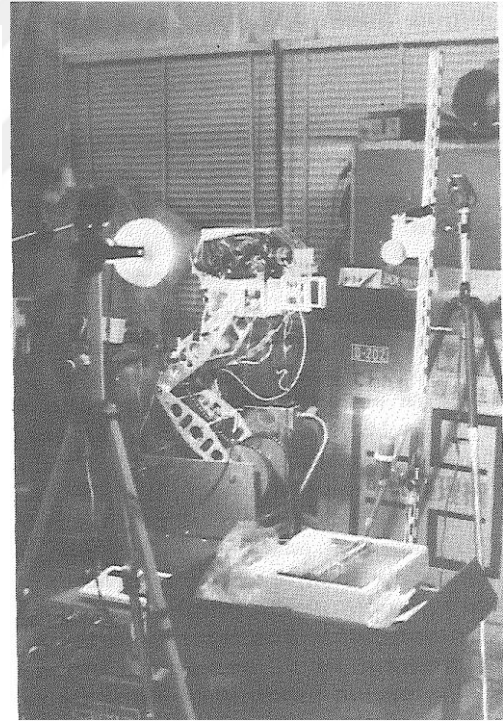
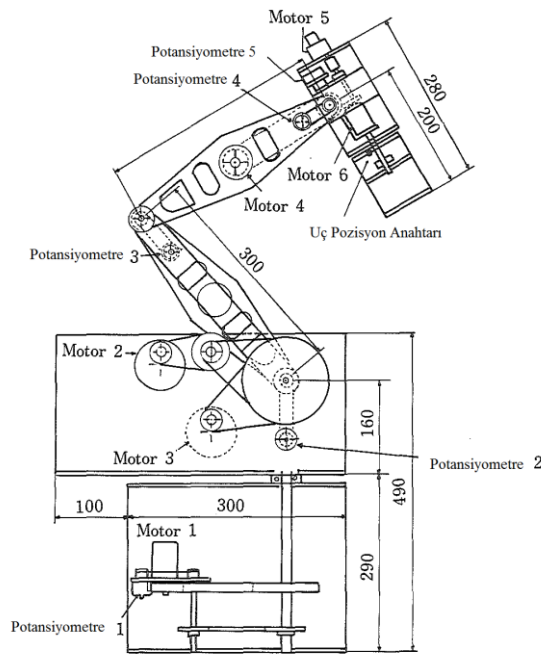
-Üretim sonrasında ürünleri sayma(tartma), paketlenme, sınıflama ve ayıklanma işlemlerinde yine görüntü işleme uygulamaları kullanılmaktadır. Karışık ürün gruplarında istenen özellikteki ürünler ayrıştırılarak sınıflandırma yapılması örnek olarak gösterilebilir.

Tarımsal uygulamalarda görüntü işleme yapılırken robotik sistemler ile bir bütün halinde çalışılmaktadır. Robotik hasat sistemleri ile yapılan çalışmalarda en temel unsur görüntü işlemedir. Hasat sırasında hasadı yapılacak ürünün yerinin belirlenmesi ve ürünün özelliklerinin görüntülenmesi işlemlerinde görüntü işleme teknikleri kullanılmaktadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Tarımsal Alanlarda Hasat işlemlerinde Robotik Sistem Kullanımına Yönelik Çalışmalar

Kondo (1988), çalışmasında meyvenin tespiti üzerine robotik görme yöntemini kullanmıştır. Çalışmasında iki sistem üzerinde durarak, birinci sistemde görsel sensör eklenmiş, ikinci sistem ise bağımsız yapı üzeri de yerleşmiş manipülatör yapısından oluştuğunu tespit etmiştir (Şekil 2.1).



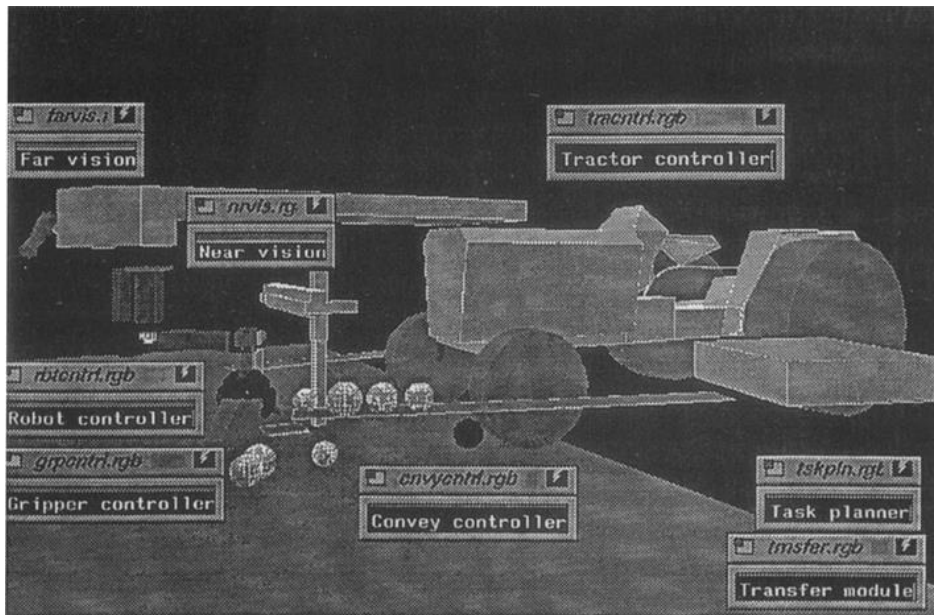
Şekil 2.1. Robotik görme yöntemi ile meyve tespit robotu (Kondo 1988)

Allotta *et al.* (1990), meyve ve sebzenin kuvvet torku uygulanarak robotik hasat yardımıyla kopartılması üzerine bir araştırma yapmışlardır. Hasat işlemleri sırasında, hasadın kıvrırma ve çekme ile yapılması sonrasında bitki ve meyvelerin üzerinde sapların kalacağı bu sebeple hem bitki ye hem de meyvenin ticari değerinin kaybına sebep olacağı ve depolanması sırasında çürümeler meydana geleceğini belirtmişlerdir.

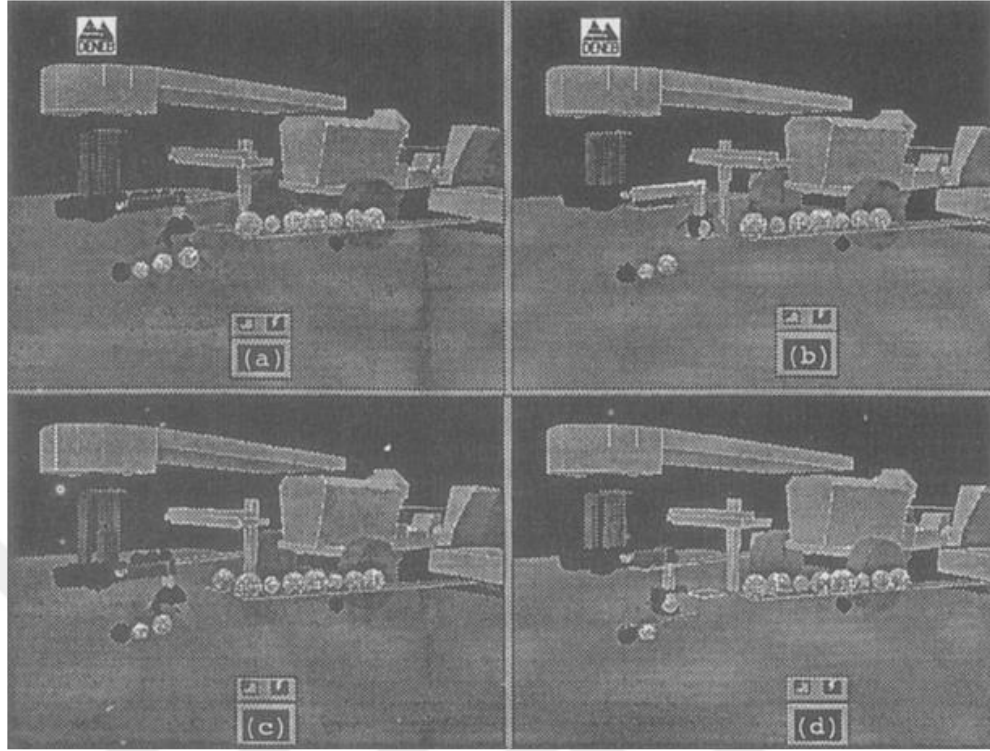
Çalışmalarında kesin bir uzunlukta meyve ve sebze saplarının kesmenin önemini vurgulamışlardır. Küresel meyvelerin ve sebzelerin saplarının bulunup yumuşak başlı üç-parmaklı tutucu düzenekte bulunan kuvvet torku algılayıcıları ile hasat işlemi robotik sistemle sağlamışlardır.

Pla *et al.* (1991), turunçgillerin otomatik toplanması için görsel sistem ile robotik hasadı üzerine bir araştırma yapmışlardır. Fransız-İspanyol ortak çalışmalarından "CITRUS ROBOT" projesini gerçekleştirmişlerdir. Homojen aydınlatma yardımıyla siyah-beyaz renklerin tonları olan monokrom görüntü elde ederek meyvelerin yerlerinin belirlenmesi oranı %90-95 arasında olduğu tespit edilmiştir. Yapay aydınlatma desteği ile bu oranın %86, hata oranının ise %3.7 olduğunu bulmuşlardır.

Edan *et al.* (1993), kavun hasadı için bir robotik biçerdöver simülasyonu yapmışlardır. CAD iş istasyonu plan için kullanılmış, model taklit edilerek gerçek zamanlı 3D animasyon kullanılarak robot ve kısaç hareketleri değerlendirilmiştir (Şekil 2.2 - Şekil 2.3). Çalışmada kontrol algoritmaları ile kavun yerlerinin doğru bulunduğu görülmüştür.



Şekil 2.2. Simülasyon modüllerinin tanımı (Edan *et al.* 1993)



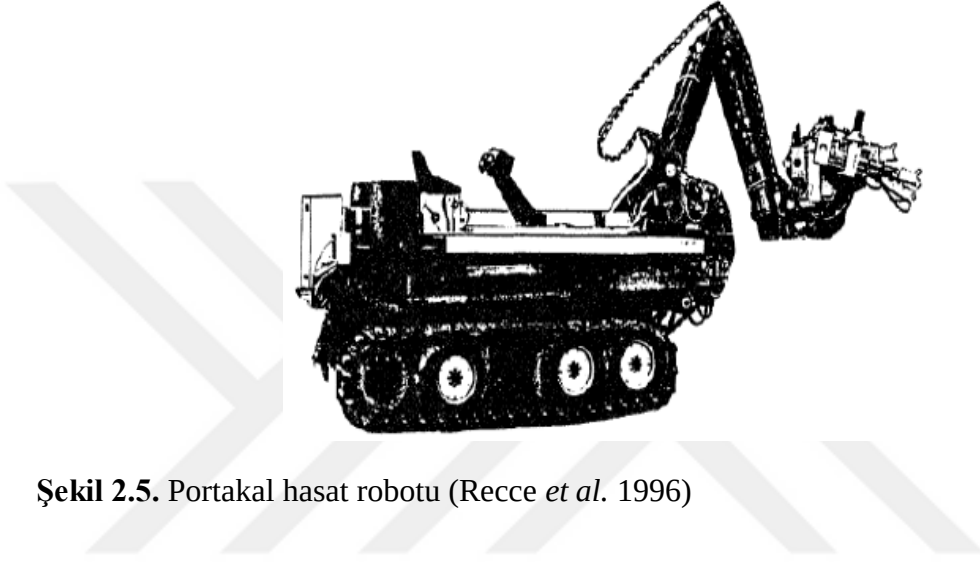
Şekil 2.3. Robot hareket dizini (Edan *et al.* 1993)

Monta *et al.* (1995), üzüm üretim sistemleri için görsel bir algılayıcı ve robotik bir kavrayıcı el kullanarak gezgin bir tarımsal robot çalışması yapmışlardır. Robotik sistem üzüm meyvelerine hasar vermeden hasat işlemini gerçekleştirmiştir (Şekil 2.4).



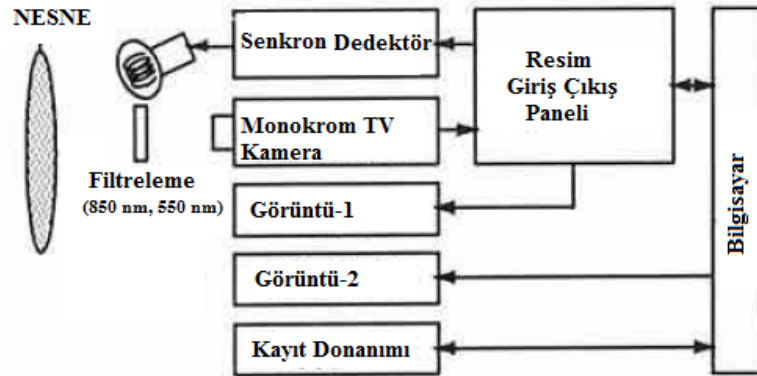
Şekil 2.4. Üzüm hasat robotu (Monta *et al.* 1995)

Recce *et al.* (1996), portakal hasat robotu üzerine çalışma yapmışlardır. Robotik sistem, elektrik gücüyle çalışan ve kameraların yerleştirilmiş olduğu iki kol yapısından oluşmaktadır. Kameralar ile elde edilen görüntü verileri kontrol yazılımı ile işlenerek ağaç üzerinde meyvenin mesafesi ve konumu belirlenmektedir (Şekil 2.5).

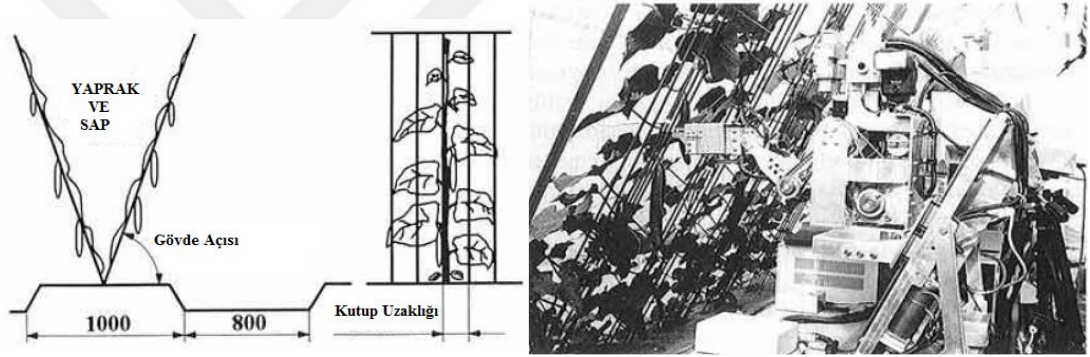


Şekil 2.5. Portakal hasat robotu (Recce *et al.* 1996)

Arima *et al.* (1996), bir robotik sistem geliştirerek salatalık hasadı üzerine araştırma yapmışlardır. Çalışmalarında 550 nm ve 850 nm dalga boyu karışma filtresiyle tek renkli bir TV kamerası algılayıcısı kullanarak yeşil yapraklardan yeşil sebzenin ayırım işlemi yapılmıştır (Şekil 2.6). Sebzeye olan mesafenin ölçüm işleminde fotoğraf-elektrik algılayıcısını kullanarak, belirlenen salatalığın hasadı için salatalığı tutup sapından koparmaya yarayan bir el dizaynı yapmışlardır. Robotik sistem bulunduğu ortamda hareket edebilmesi için tüm sistem 4 tekerlek üzerine oturtulmuştur. Çalışma testlerinde elde edilen sonuçlarda, gerçekleştirilen robotik sistemin uygun olduğunu gözlemlemişlerdir (Şekil 2.7).

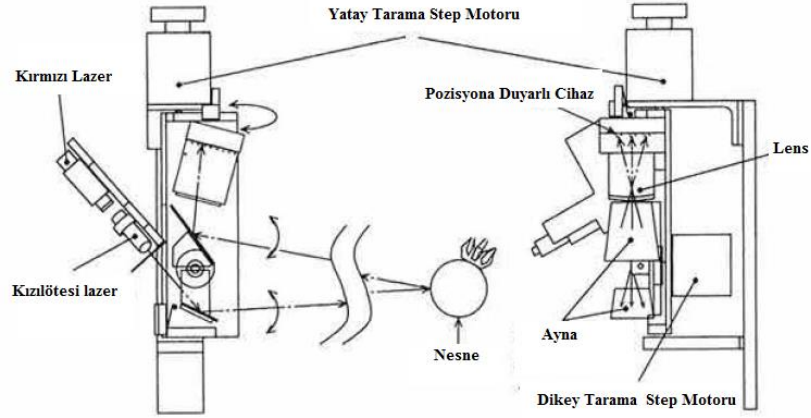


Şekil 2.6. Görsel sensör sisteminin blok diyagramı (Arima *et al.* 1996)



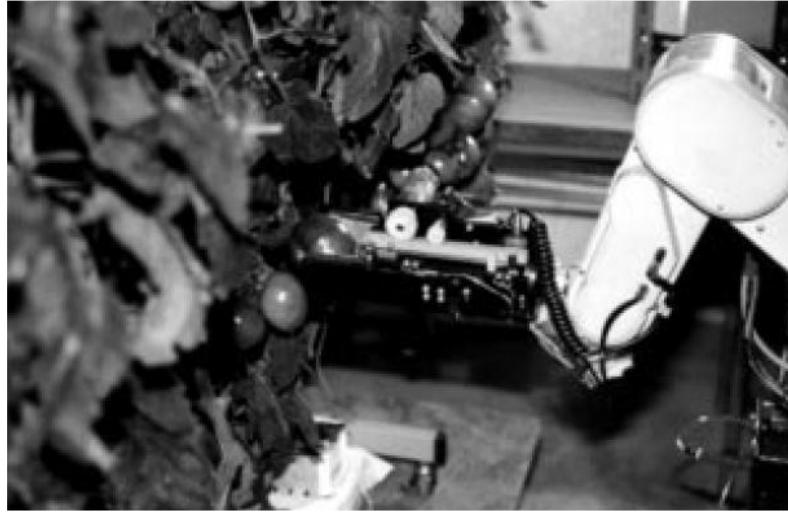
Şekil 2.7. Eğik kafes eğitim sistemi ve salatalık hasat robotu (Arima *et al.* 1996)

Subrata *et al.* (1997), bir domates çeşidi olan “cherry” için üç boyutlu (3D) şekil görüntü algılayıcılı bir hasat robotu araştırması yapmışlardır. Domates mahsulünün şekli lazer ışınları taraması yöntemiyle, olgunlaşmış kırmızı domatesler ise kızılötesi yansıyan sinyallere oranla kırmızıya göre tespit edilmiştir. Görüntü işleme yazılımı kullanılarak sap ve yaprakların konumu tanımlanmıştır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Üç boyutlu (3D) görme sensör (Subrata *et al.* 1997)

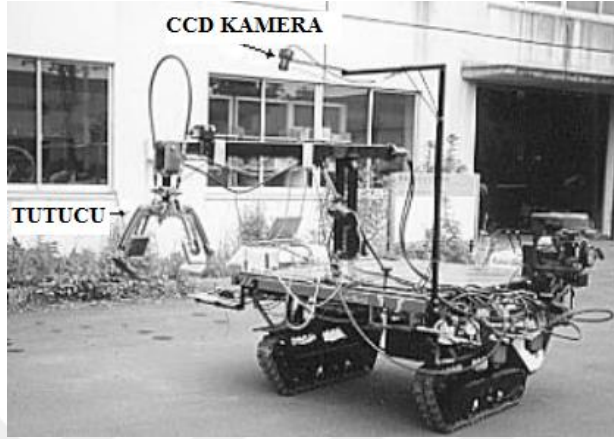
Monta *et al.* (1998), domates hasatı üzerine yapmış oldukları çalışmada iki paralel yassı tutucu parmak ile tutulan domates emme işlemi yapılarak sapından koparılma işlemini gerçekleştirmişlerdir. Şekil. 2.9’ da domates hasat robotu görülmektedir.



Şekil 2.9. Domates hasat robotu (Monta *et al.* 1998)

Murakami *et al.* (1999), lahana hasadı için robotik sistem üzerine bir araştırma yapmışlardır. Başarı oranı %43 olan robotik sistem hidrolik bir sürüş koluna sahip paletli bir yapıya sahiptir. CCD kamerası ve paralel işlemci kontrol sistemi olan robotik

sistemde, lahana hasat etme süresi 55 saniye olarak tespit edilmiştir. Robotik lahana hasat makinesi Şekil 2.10’da görülmektedir.



Şekil 2.10. Robotik lahana hasat makinesi (Murakami *et al.* 1999)

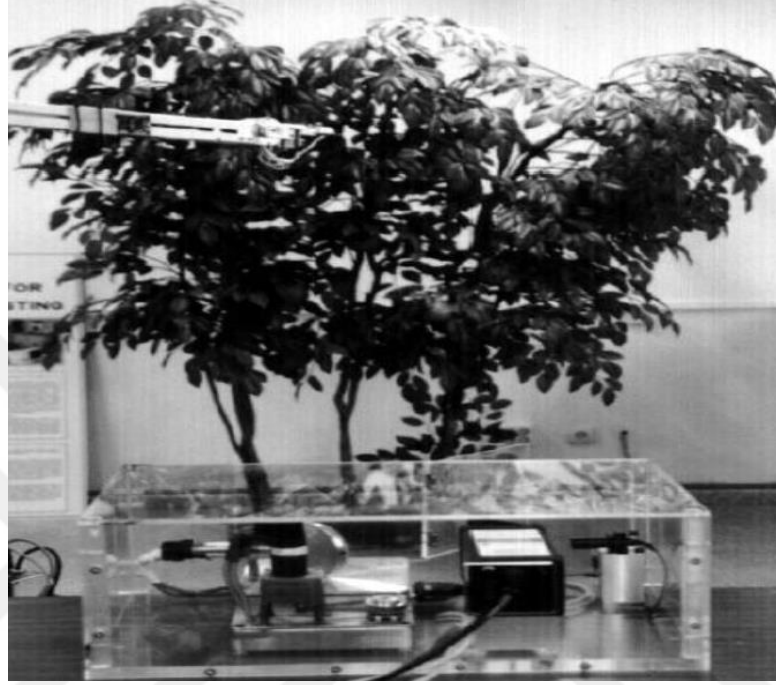
Umeda *et al.* (1999), karpuz hasadı üzerine bir çalışma yapmışlardır. Meyvenin hasadı hava basıncı ile vakumlarla yapıldığından 13 kg’a kadar ürün hasadı yapılmaktadır. Şekil 2.11 de karpuz hasadını gerçekleştiren robot görülmektedir.



Şekil 2.11. Karpuz hasat robotu (Umeda *et al.* 1999)

Jimenez *et al.* (2000), çalışmalarında robotik meyve hasadında lazerle yer bulma tekniğini kullanmışlardır. Küresel nesnelerin bilgisayar görüş sistemi ile otomatik

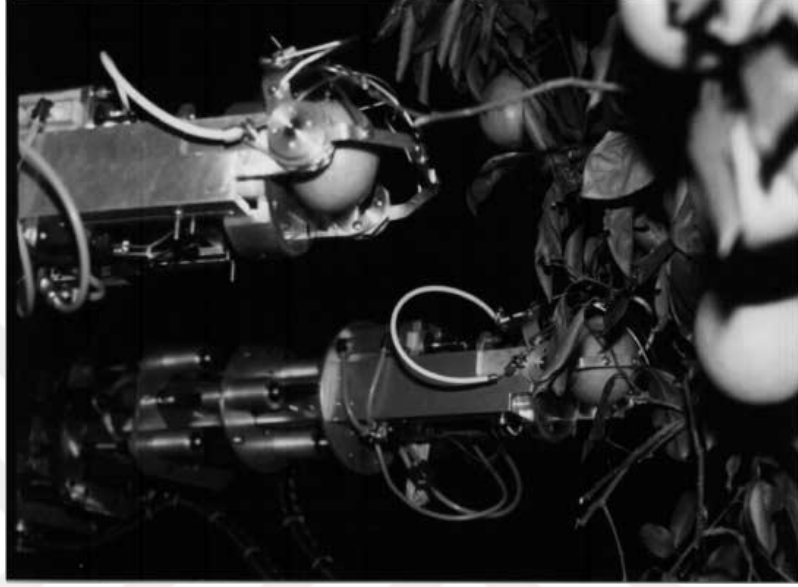
meyve tanınması ve yerlerinin algılanmasını yapmışlardır. Lazer temelli bilgisayarlı bu görüş sistemi sayesinde görüş çıktısı 3D konumunu kapsamaktadır (Şekil 2.12).



Şekil 2.12. Lazer temelli bir bilgisayar görüş sistemiyle otomatik meyve tanınması (Jimenez *et al.* 2000)

Keicher *et al.* (2000), bir domates çeşidi olan “cherry” için robotik hasat çalışması yapmışlardır. Robotik hasat makinesi manipülatör, uç eleman, görsel sensör ve hareket donanımı olmak üzere 4 bileşenden oluşmaktadır. Robotik hasat makinesi manipülatör yapısı 7 derece hareket sistemine sahiptir (2P,5R). Bunlar, iki prizmatik eklemden oluşmakta ve dönüş eklemleri 5 hareket yapabilme derecesine sahiptir. Cherry cinsi domates için tasarlanmış gezgin robotik hasat makinesinin genel görünümü ve uç elemanı Şekil 2.13’de görülmektedir.

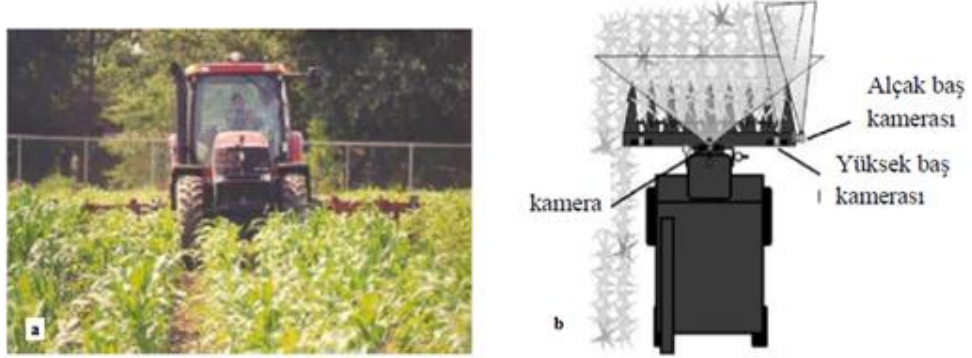
görüntü işleme tekniği kullanmışlardır. Portakalların otomatik hasat edilmesi için geliştirilen robot (OPR -Orange Picking Robot) Şekil 2.15’de görülmektedir.



Şekil 2.15. Otomatik portakal hasat robotu (Plebe *et al.* 2001)

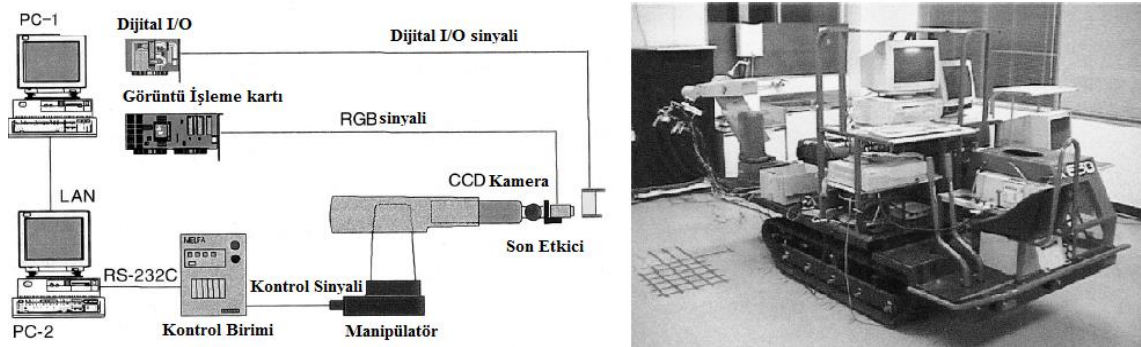
Kataoka *et al.* (2001), otomatik algılama sistemini kullanarak robotik elma hasadında elmaların yerinin tespiti üzerine çalışma yapmışlardır. Elma gelişim sürecinde değişik renkler almaktadır, bu sebeple elmanın hasat zamanının geldiği rengine göre bulunmuştur.

Benson *et al.* (2001), görüntü işleme tekniği ve GPRS kullanarak mısır tarlalarında arkların sürülmesi ve ürün verim tahmini üzerine çalışma yapmışlardır. Şekil 2.16’da yapılan çalışma görülmektedir.



Şekil 2.16. (a)Uygulama alanı, (b) kameranın sistem üzerindeki konumu (Benson *et al.* 2001)

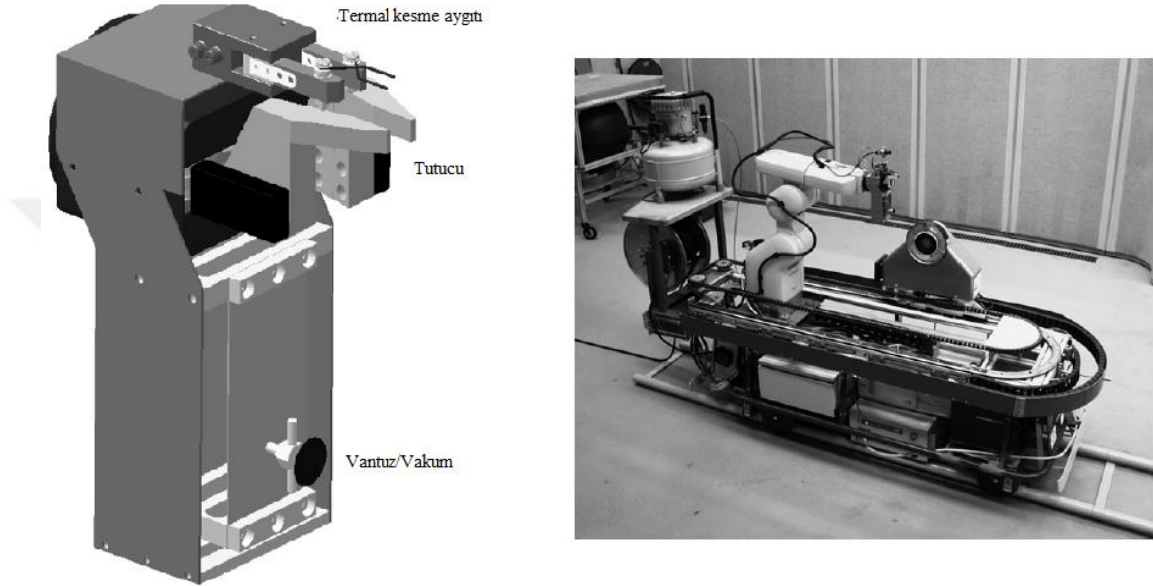
Hayashi *et al.* (2002), patlıcan hasadı için robotik sistem üzerinde bir araştırma yapmışlardır. Araştırmalarında 3 önemli bileşenin gerekliliği üzerine vurgu yapmışlardır. Bunlar; makine görmesi, farklı ortam koşullarında patlıcanın bulunabilmesi ve bulunan patlıcanın hasatı için sapı üründen ayırıcı mekanizmadır. %62.5 başarı elde edilmiş robotik sistemin şematik diyagramı ve genel görünümü Şekil 2.17’de görülmektedir.



Şekil 2.17. Robotik sistemin şematik diyagramı ve genel görünümü (Hayashi *et al.* 2002)

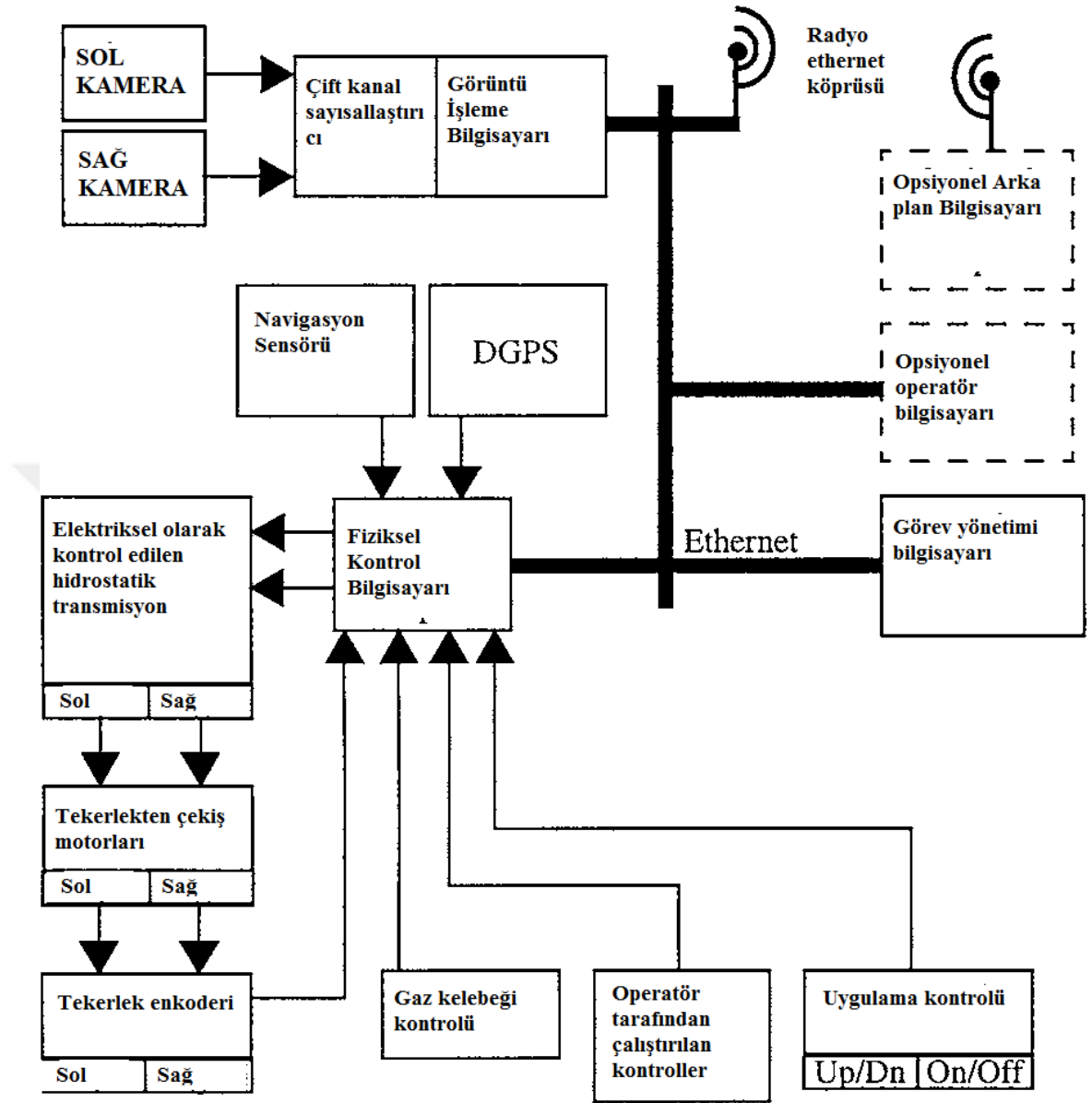
Van Henten *et al.* (2002), tarımsal uygulama alanlarından sera ortamında salatalık hasadı için bir sistem üzerine araştırma yapmışlardır. Sapların, salatalığın ve dış çevrenin bulunmasında üç boyutlu (3D) görüntü oluşturabilmek için özerk bilgisayar görme sistemi tasarlamışlardır. Görme sistemi ile sera içindeki salatalıkların %95'inden

fazlasını tespit edebilmişlerdir. Salatalığın olgunluk derecesi temel alınarak hasat yapabilen robotik sistem 7 serbestlik derecesine sahiptir. Yumuşak meyvelere bile kalite kaybı olmadan işlem yapabilecek şekilde tasarlanmış uç eleman ve termal kesme cihazı sayesinde virüslerin sera yoluyla yayılmasını engellemişlerdir (Şekil 2.18).

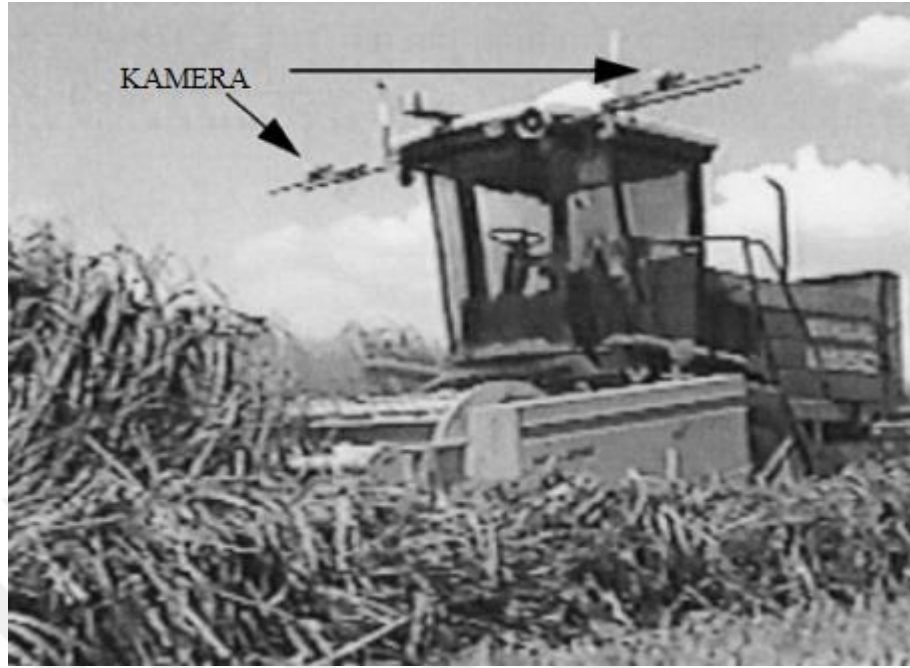


Şekil 2.18. Uç eleman ve robotik sistemin genel görünümü (Van Henten *et al.* 2002)

Pilarski *et al.* (2002), uzaktan kontrollü otomatik hasat üzerine bir araştırma yapmışlardır. Bilgisayar kontrollü biçerdöver ile bir çift video kamera ve navigasyon sisteminden (GPS) oluşan sistem, planlanmış alan içindeki ürünlerin hasadının otomatik olarak yapılmasını sağlamıştır (Şekil 2.19). Demeter sistem olarak adlandırılan bu çalışma, bütün bir alan için hasat işlemleri planlayabilmekte ve daha sonra bitki sıralarını kesip ardından sahada kendisini yeniden konumlandırabilmekte, beklenmedik koşullar olsa dahi görevini tamamlayabilmektedir (Şekil 2.20).

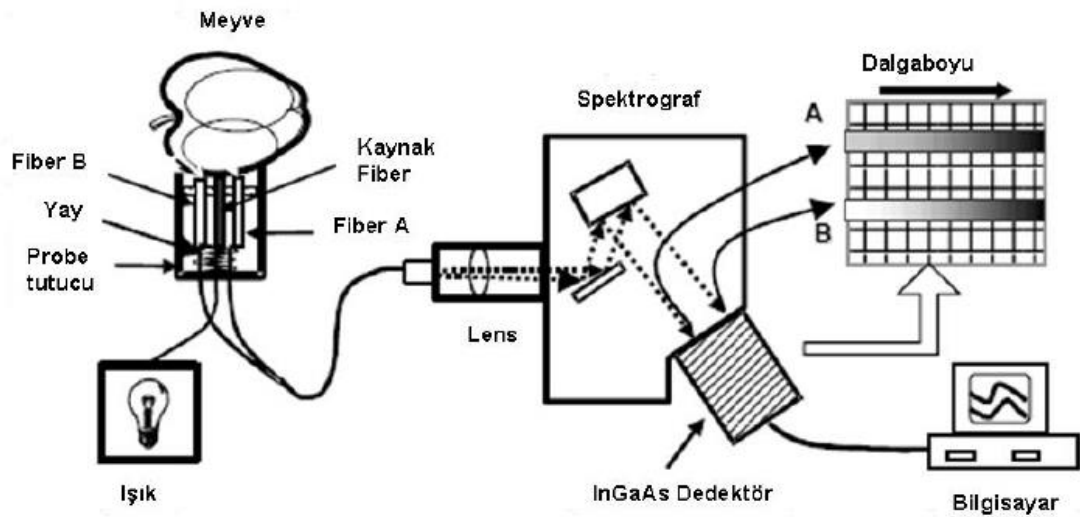


Şekil 2.19. Demeter donanım sisteminin blok diyagramı (Pilariski *et al.* 2002)



Şekil 2.20. Demeter otomatik biçerdöver (Pilarski *et al.* 2002)

Lu *et al.* (2002), kızılötesi sensör yardımıyla elmaların şeker içerikleri ve dayanıklılıklarının belirlenmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Sistemin şematik yapısı Şekil 2.21’de görülmektedir.



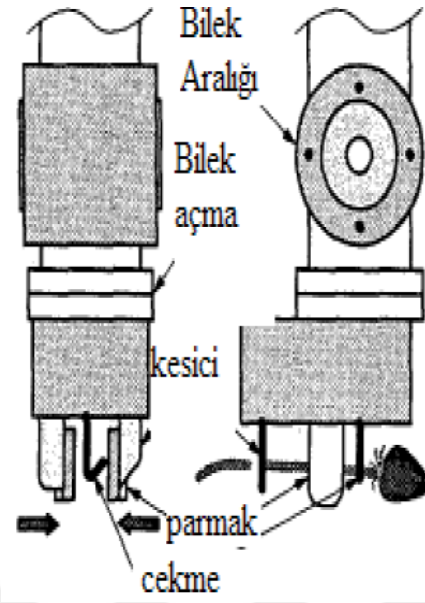
Şekil 2.21. Elmaların şeker içerikleri ve dayanıklılıklarının belirlenmesi amacıyla kullanılan sistemin şematik yapısı (Lu *et al.* 2002)

Nagasaka *et al.* (2002), çalışmalarında pirinç tarlalarında ekim işlemleri için bir robotik sistem geliştirmişlerdir. GPRS ile uzaktan kontrol edilen makine, üzerindeki haznelere sıralanmış fideleri belirli aralıklarla ekebilmektedir. Sistem otomatik kullanıldığında sapma 10 cm den daha az olmaktadır. Otomatik pirinç ekim makinesi Şekil. 2.22’de görülmektedir.



Şekil 2.22. Otomatik pirinç ekim makinesi (Nagasaka *et al.* 2002)

Arima *et al.* (2003), çilek hasadı üzerine çalışma yapmışlardır. Oluşturulan meyve hasadı robotu çengel tip sonlandırıcı, bir görüntü algılayıcı ve hareketli platformdan oluşmaktadır. Robotik çilek hasat makinesi Şekil 2.23’de görülmektedir.



Şekil 2.23. Çilek hasat robotu (Arima *et al.* 2003)

Van Henten *et al.* (2003), yüksek tel sisteminde üretilen salatalık hasadı üzerine dört bağımsız robot testi yaparak toplam başarı oranını %74,4 olarak tespit etmişlerdir. Tek bir salatalık için yapılan hasat denemesinde başarı oranın %65,2 olarak tespit etmişlerdir. Yapmış oldukları çalışmada bu başarısızlığın sebebinin ürün hasat sapının robot uç elemanına yanlış yerleşmesi olduğunu belirlemişler. Robotik salatalık hasat sistemi Şekil 2.24’de görülmektedir.



Şekil 2.24. Robotik salatalık hasat sistemi (Van Henten *et al.* 2003)

Hannan *et al.* (2004), portakal hasadı üzerine bir robotik çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışmalarında kamera sistemleri, görüntü işleme, sensörler ve robotik kol yapılarının gelişiminden vurgu yapılarak robotik ve mekanik sistemlerle yapılan hasat işlemlerinde robotik sistemlerin verimliliğinden bahsetmişlerdir. Robotik ve Mekanik portakal hasadı Şekil 2.25’de görülmektedir.



a) Robotik portakal hasadı



b) Mekanik portakal hasadı

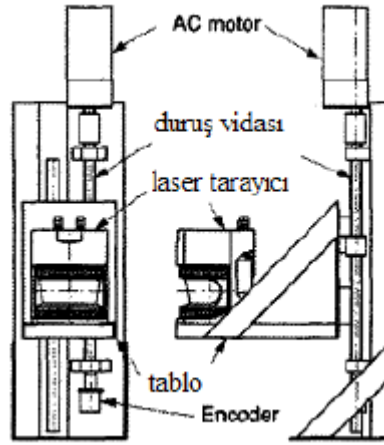
Şekil 2.25. a-b. Portakal hasadı (Hannan *et al.*2004)

Bulanon *et al.* (2004), makine görme sistemi üzerine bir araştırma yaparak gerçek zamanlı görüntü işleme yöntemi kullanarak elma hasat robotu üzerine çalışma yapmışlardır. CCD kamera yardımıyla kırmızı Fuji elma bahçesinden alınan görüntüler bilgisayar ortamında görüntü işleme tekniği kullanılarak meyvelerin farklı ışık koşullarında kırmızı ve yeşil katsayıları kullanılarak tanımlanması ve yerlerinin tespitinin yapılmasını sağlamışlardır.

Ling *et al.* (2004), domates sebzesi için robotik hasat üzerine bir araştırma yapmışlardır. Domatesin kırmızılığı algılayıcılar ile alınan görüntüler yapay görme algoritması kullanılarak tespit edildikten sonra, robot uç eleman ile sapından kopartılmak suretiyle hasat işlemi gerçekleştirilmiştir.

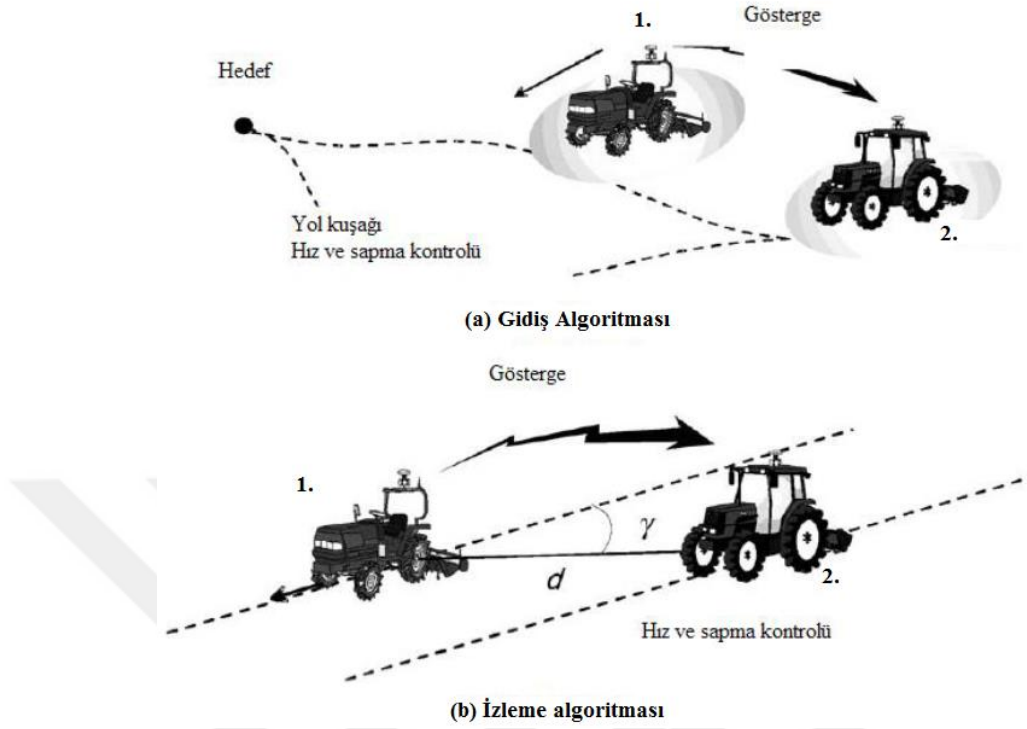
Monta *et al.* (2004), çalışmalarında tarımsal alanlarda kullanılmak üzere lazer tarayıcı ve bir asansörden oluşan üç boyutlu algılama sistemini geliştirmişlerdir. Lazer tarayıcı, robot etrafında üç boyutlu görüntü alabilmek için asansör sistemi ile dikey olarak

hareket ettirilerek aynı gruptaki her bir domates meyvesini başarıyla ayırt etmişlerdir. Lazer tarayıcı ile renkli kamera kullanılarak elde edilen bu başarılı sistem için kızılötesi sensörler eklendiğinde nesnelerin haricinde insan hareketlerini de tespit ettiğini görmüşlerdir. Yapılan çalışma Şekil 2.26’da görülmektedir.



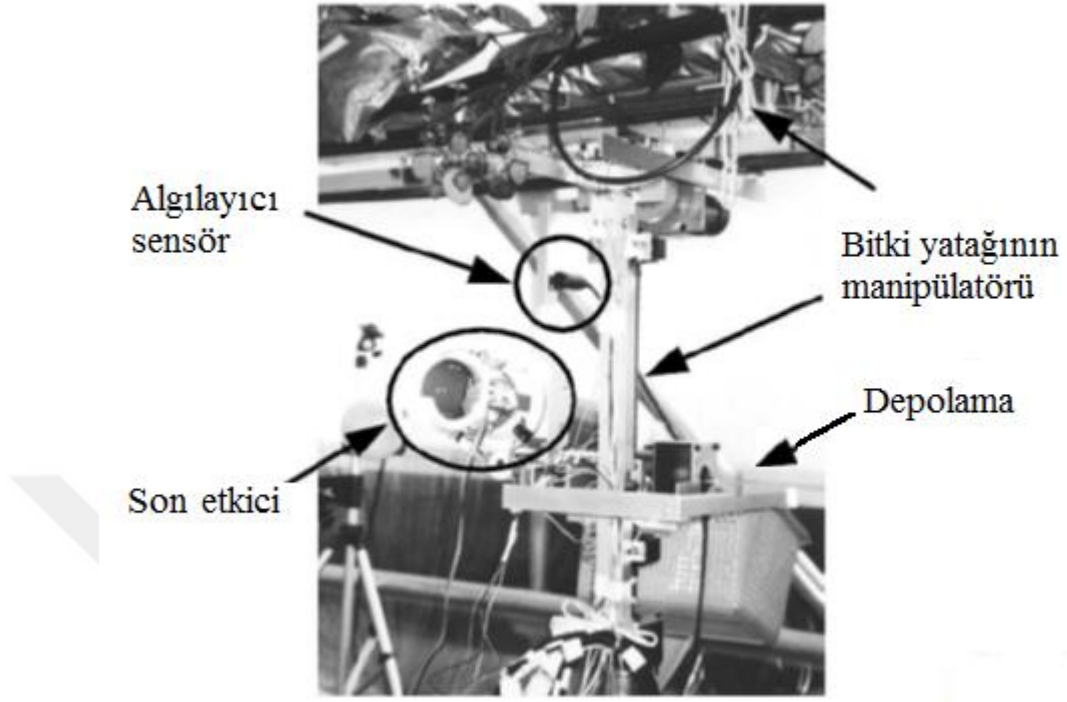
Şekil 2.26. Üç boyutlu algılama sistemi (Monta *et al.* 2004)

Noguchi *et al.* (2004), bağımsız ekim-dikim yapabilen traktörler üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında iki traktörün GPRS ve robot programlama ile bağımsız görev yapmaları amaçlanmıştır. Yapılan çalışma Şekil 2.27’de gösterilmiştir.



Şekil 2.27. (a)(b) Gidiş ve izleme algoritmaları (Noguchi *et al.* 2004).

Arima *et al.* (2004), çilek hasadı için bir robot geliştirmişlerdir. Geliştirilen robot; manipülatör gövde yapısı, son etkici, renkli CCD kamera, sensör ve hareketi sağlayan tekerlek yapısından oluşmaktadır. Sensör sayesinde meyvenin yeri tespit edildikten sonra manipülatör yapısı sayesinde, meyveye son etkicide bulunan vakumlu emici ile meyveye zarar vermeden hasat işlemi gerçekleştirmişlerdir. Yapılan hasat işleminde kullanılan robotik sistem Şekil 2.28’de görülmektedir.



Şekil 2.28. Robotik çilek hasat robotu (Arima *et al.* 2004)

Kondo *et al.* (2005), yüksek kanallar içerisinde dikim yapılan seralarda üretilen çileklerin hasatı üzerine bir robotik sistem tasarlamışlardır. Çilek hasat robotik sisteminde renk algılayıcı sensörler yardımı ile algılanan olgunlaşmış ürünler vakum yardımı ile kesme bıçağı altına sabitlenerek meyvenin saplarından kesilmesi işlemi amaçlanmıştır. Ancak yapılan çalışmada %60 meyve zedelenmesine rastlanmıştır. Yüksek kanallarda yetiştirilen çileklerin ve robotik sistemin genel görünümü Şekil 2.29’da görülmektedir.



Şekil 2.29. Yüksek kanallarda yetiştirilen çileklerin ve robotik sistemin genel görünümü (Kondo *et al.* 2005)

Kitamura *et al.* (2005), tarımsal alanlardan seralarda tatlı yeşil renkteki biberlerin robot yardımıyla hasat edilmesi üzerine araştırma yapmışlardır. Robotik yapının yüksekliği 140 cm, genişliği 100 cm dir. Robotik sistemin son etkicisinde bulunan kesici yapı, iki renkli CCD kameradan gelen görüntülerin işlenmesi sonucunda verilen emir doğrultusunda kesim işlemini yapmıştır. Şekil 2.30’da biber hasat robotu görülmektedir.



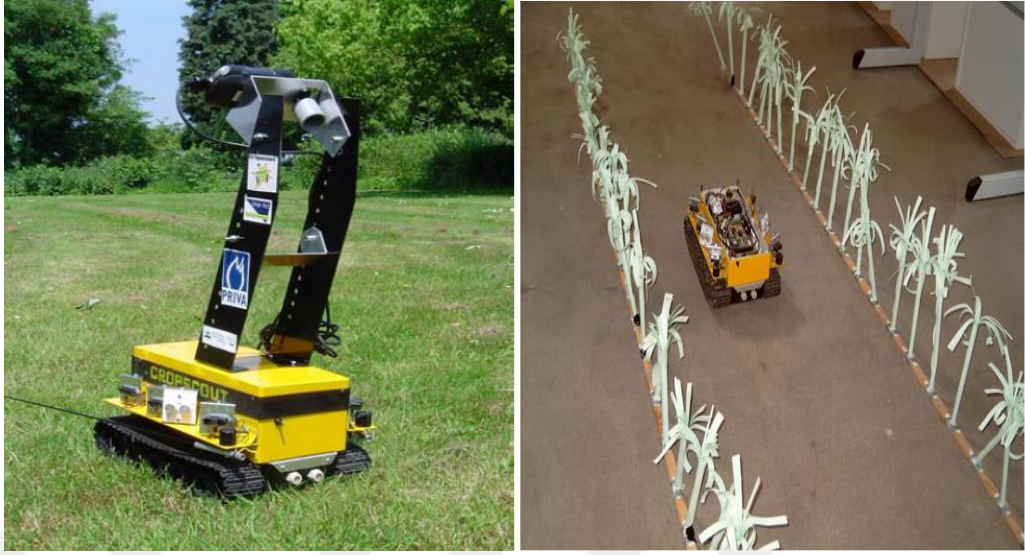
Şekil 2.30. Biber hasat robot uç elemanı ve genel görünümü (Kitamura *et al.*2005)

Mateus *et al.* (2005), tarımsal alanlarda robotik sistem kullanarak ekim alanlarının planının çıkarılması için bir çalışma yapmışlardır. GPRS ve görüntü işleme kullanarak istenen alanların planını çalışma sonucunda görmüşlerdir. Şekil 2.31’de bu çalışma görülmektedir.



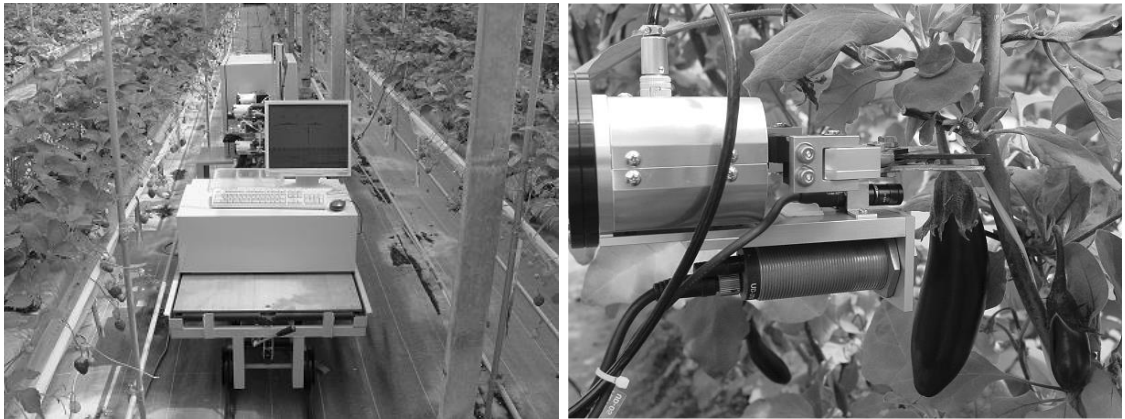
Şekil 2.31. Ekim alanlarını planlayan robotik sistem (Mateus *et al.* 2005)

Van Henten *et al.* (2005), çalışmalarında görüntü işleme için dijital kamera, kızıl ötesi ve ultrasonic sensörler kullanarak tarımsal hassas kaynak kullanımını hesaplamayı amaçlamıştır. Şekil 2.32’de bu çalışma görülmektedir.



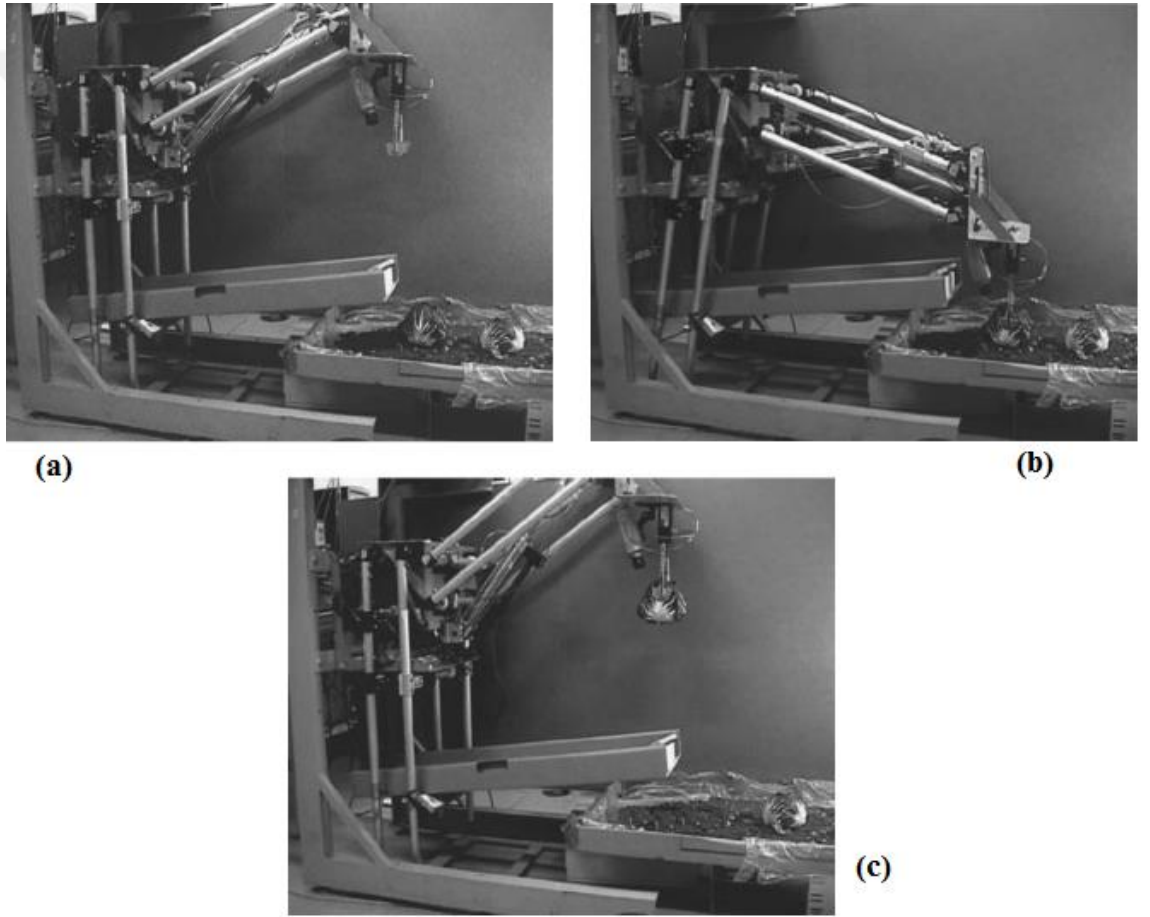
Şekil 2.32. Geliştirilen robotun genel görünümü (Van Henten *et al.*2005)

Hayashi *et al.* (2005), tarımsal alanlardan seralarda meyve ve sebze hasat işlemlerinde robotik sistem kullanımı ile ilgili çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında patlıcan hasat işlemi için CCD kameradan alınan görüntüler işlendikten sonra nesnenin X ve Y koordinatları, ultrasonik mesafe ölçücü ile de nesnenin mesafesi belirlenmiştir. Yeri belirlenmiş ürün, uç elemanda bulunan makas ile sapından hasat işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.33’de robotik sistem görülmektedir.



Şekil 2.33. Ürün hasadında kullanılan robotun yapısı ve hasat şekli (Hayashi *et al.* 2005).

Foglia *et al.* (2006), tarımsal alanlarda lahana hasat işlemlerinde robotik sistem kullanımı üzerine araştırma yapmışlardır. Tasarlamış oldukları robotik sistem dört çubuklu bağlantı yapısına eklenmiş özel bir tutucudan oluşmakta ve bu yaklaşık 10 mm yer altı kesimi için olanak sağlamaktadır. Robotik sistemin manipülatörü ve uç elemanı pnömatik olarak çalıştırılmıştır. Görüntü işleme tekniğinin kullanıldığı sistem, akıllı renk filtrelemesine ve morfolojik işlemlere dayalı olarak sahadaki bitkileri konumlandırmaktadır. Şekil 2.34’de robotik lahana hasat makinesi görülmektedir.

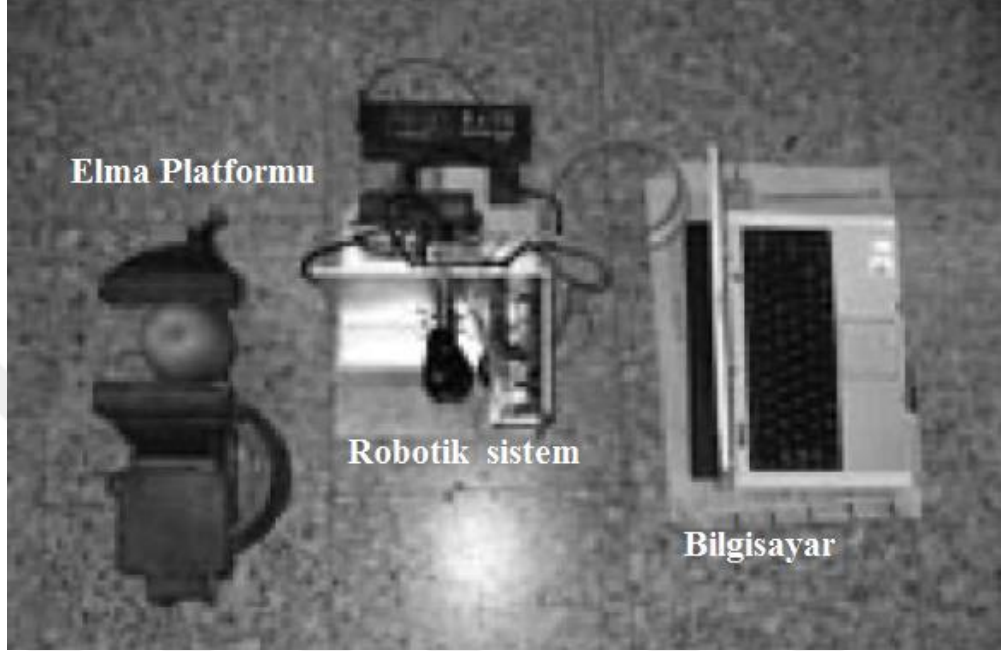


Şekil 2.34. Bir test sırasında robot hasat makinesi (Foglia *et al.* 2006)

*(a)algılama ve hedefleme aşaması, (b)hasat evresi, (c) teslim evresi

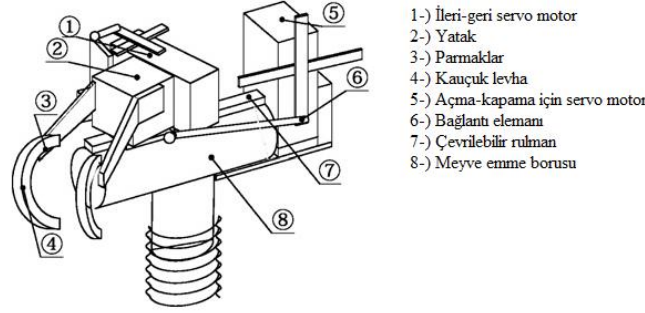
Zhaoxiang *et al.* (2007), multi-spectral görüntü tekniğini ve trigometrik kadastro tekniği kullanarak, elma hasadında robotik sistem ile elmanın özelliklerinin ve pozisyonlarının belirlenmesi üzerine bir araştırma yapmışlardır. Robotik sistemde kırmızı lazer demeti

ve kızılötesi lazer demetinin kullanıldığı 2D görüntü sensörleri ile mikroişlemciler kullanılmıştır. Geliştirilen robotik sistem Şekil 2.35’de gösterilmiştir.

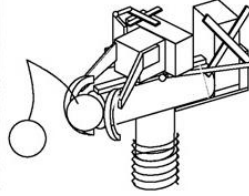


Şekil 2.35. 2D Görüntü sensörleri ile tasarlanmış elma tespit robotu (Zhaoxiang *et al.*2007)

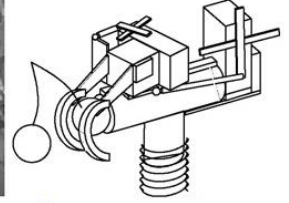
Tanigaki *et al.* (2008), kiraz hasadında robotik sistemlerin kullanımı üzerine bir araştırma yapmışlardır. Dört dereceli manipülatör yapısına sahip robotik sistemde meyvelerin renk ve konum tespiti; 3D görüntü işleme sensörü ile alınan görüntüler görüntü işleme tekniğiyle kırmızı rengi filtreleyerek meyvenin tanınmasını, kızılötesi ışınları ile de mesafe ölçümünü gerçekleştirilmiştir. Robotik sistemin son etkiciye (end effector) takılan aparat ile yeri tespit edilen meyvelerin kopartılmasını sağlamışlardır (Şekil 2.36).



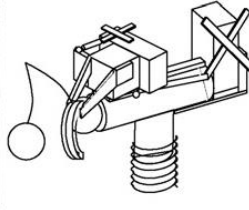
a) Meyvenin Çekilmesi



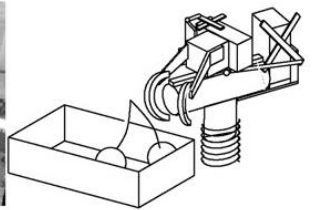
b) Parmaklar ileriye hareket eder ve yarıya yaklaşır



c) Parmakların hareketi ve kapanması



d) Son etkileyici (End Effector) hareketi



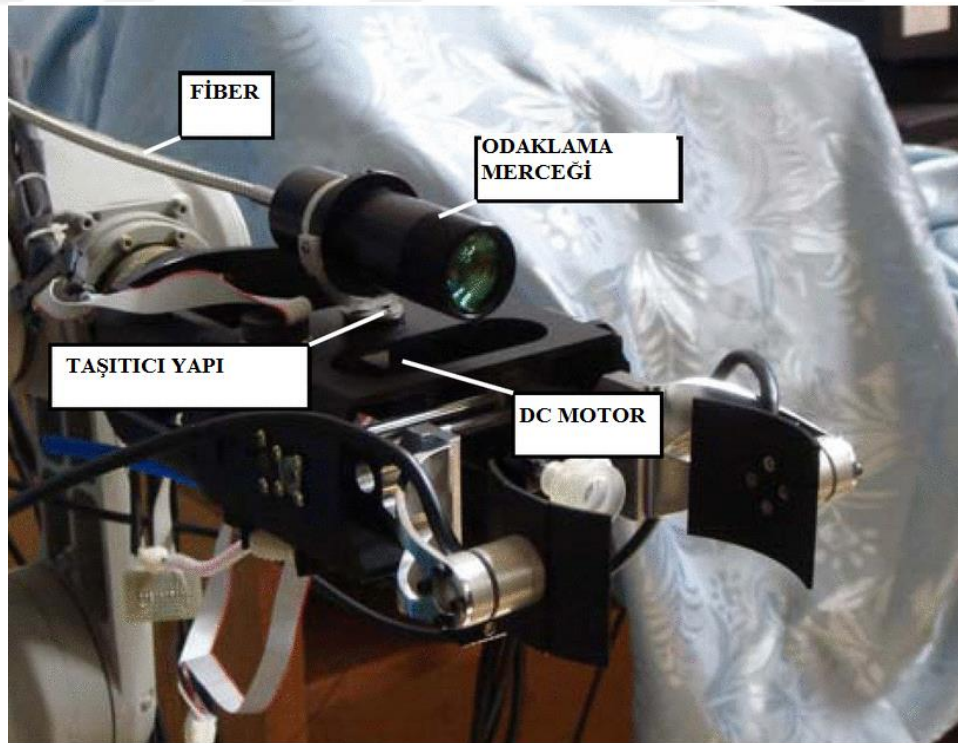
Şekil 2.36. Robotik kiraz hasat robotu (Tanigaki *et al.* 2008)

Li *et al.* (2008), domates hasat işlemlerinde robotik sistem kullanımı üzerine bir çalışma yapmışlardır. Matlab yazılımının Robotics Toolbox'ında robotik hasat için kinematiği test ederek tasarlanan son etkinin robotik hasat işleminde kullanılabileceğini görmüşlerdir. Çalışmada 1,2 kg ağırlığında ve 260 mm uzunluğu olan son-etkinin her görev için gereken çalışma süresi yalnızca 3sn olarak test etmişlerdir. Hasat işlemi için tasarlanan son etkici Şekil 2.37'de görülmektedir.



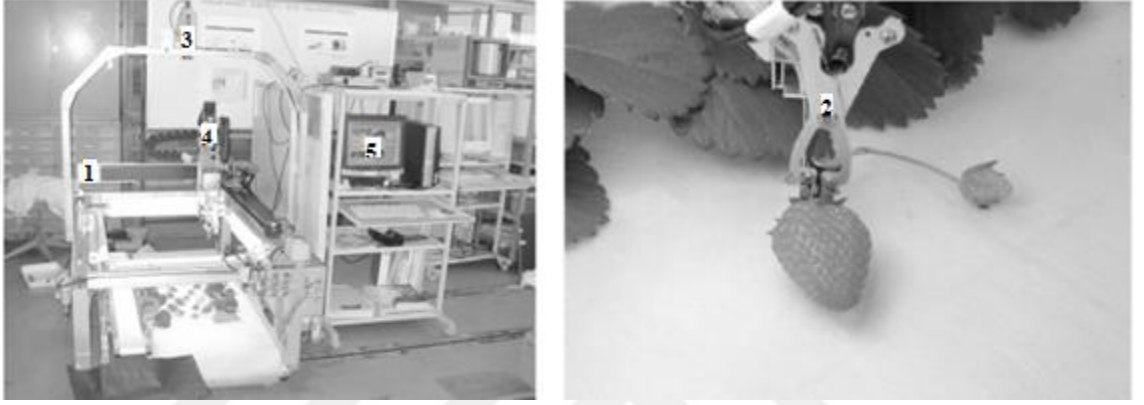
Şekil 2.37. Robot hasat makinası genel görünümü (Li et al. 2008)

Liu et al. (2008), robotik hasat sistemlerinde odaklayıcı lens ile sapların lazer ışınlarıyla kesebilen uç eleman tasarımı ile ilgili çalışma yapmışlardır. Lazer ışınları ile sap kesme işlemini yapabilen uç eleman Şekil 2.38’de görülmektedir.



Şekil 2.38. Lazer ışınları ile sap kesme işlemini yapabilen uç eleman (Liu et al. 2008)

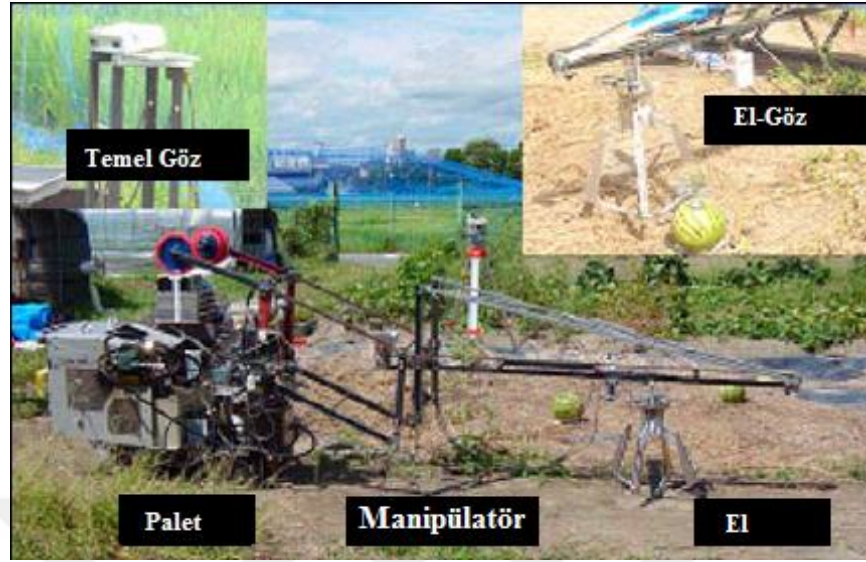
Feng *et al.* (2008), çalışmalarında çilek meyvesinin yerinin belirlenmesi ve saplarının aranması üzerine robotik bir çalışma yapmışlardır. İki kamera kullanılarak tasarlanmış çalışmada, meyvenin yerinin tespitinde hata oranı %7 ve meyvenin zarar görmeden robotik olarak hasat edilmesi doğruluğunu %5 olarak tespit etmişlerdir. Şekil 2.39'da çilek hasat robotu görülmektedir.



Şekil 2.39. Robotik çilek hasat makinesi (Feng *et al.* 2008)

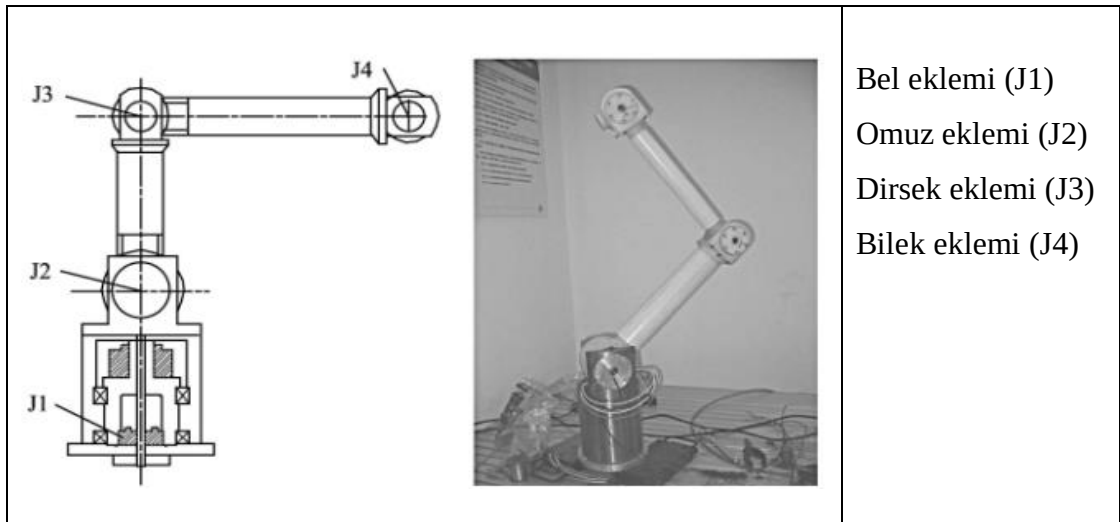
*1).XYZ üç eksenli hareket yapısı (Kartezyen) 2)Pnömatik son etkileyici 3) Genel kamera 4)Yerel kamera 5) Bilgisayar kontrol

Skai *et al.* (2008), tarımsal robotlar için ağır ürünlerin hasatı için tasarım çalışması yapmışlardır. Manipülatör gövde yapısına sahip robotik sistemde bulunan kameralar yardımıyla elde edilen görüntüler işlenerek karpuzun tanımlanması ve yer tespiti yaparak hasat denemesi yapmışlardır (Şekil 2.40).



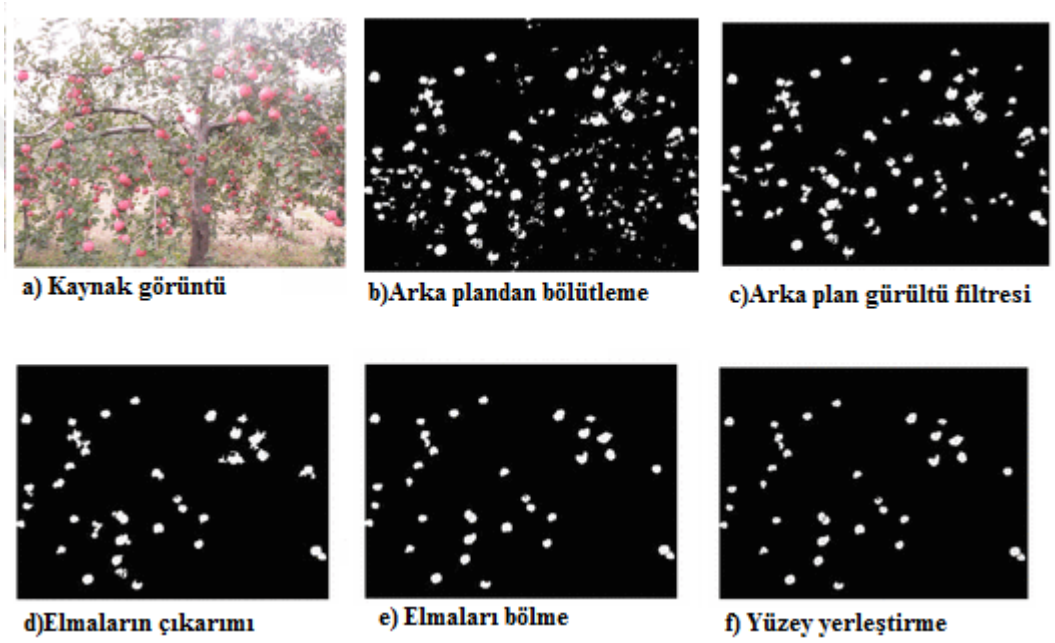
Şekil 2.40. Karpuz gibi ağır kütleye sahip ürünler için hasat robotu (Skai *et al.* 2008)

Libin *et al.* (2009), salatalık hasat işlemlerinde maliyetleri azaltarak ekonomik verimlilik sağlamak için salatalık hasat robotu üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında geliştirmiş oldukları robotik sistem eklemli manipülör, uç eleman, monitör, görmeyi sağlayan algılayıcı sistem ve eklem hareketlerini sağlamak için dört DC servo motor sisteminden oluşmaktadır. Salatalık hasat robotu manipülörünün tasarım şeması ve gerçek görüntüsü Şekil 2.41’de görülmektedir.



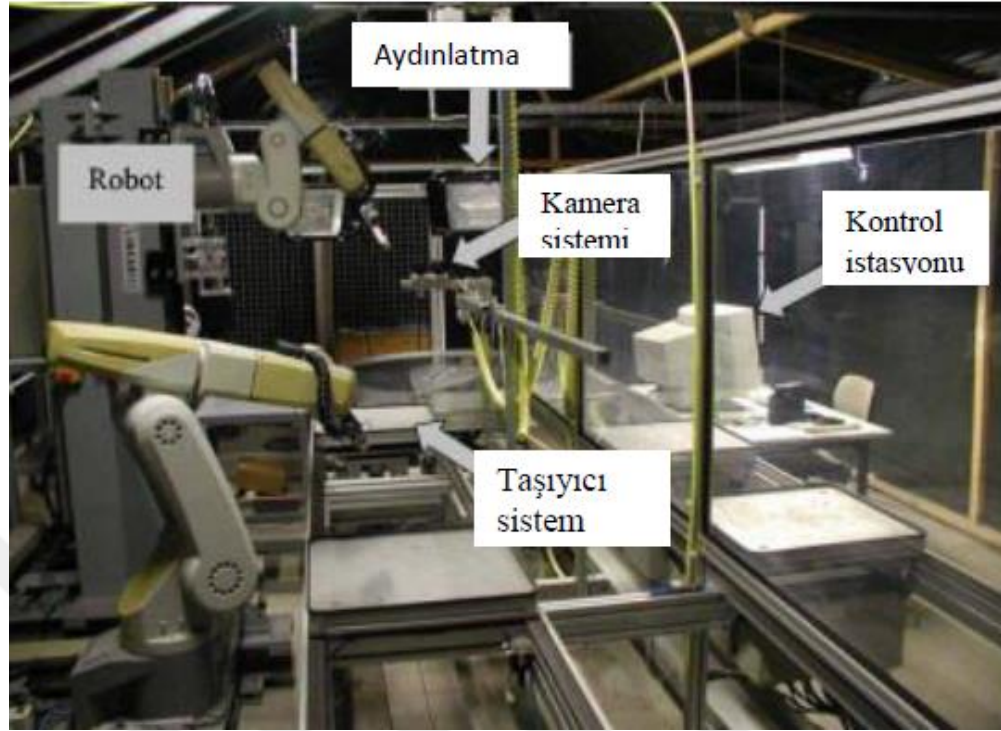
Şekil 2.41. Salatalık hasat robotu manipülörünün tasarım şeması ve gerçek görüntüsü (Libin *et al.* 2009)

Mao *et al.* (2009), elma bahçelerinde elmaların hasatı için robotik sistem üzerine bir araştırma yapmışlardır. İki yüksek çözünürlüklü dijital kamera ile meyvelerin renk ve şekil analizini Microsoft C++ tabanlı RelCtrl kullanarak yerlerinin tespit etmişlerdir. RelCtrl için C++'ın vfw32.lib, JpegLib.lib, PRSDK.lib ve CDSDK.lib kütüphanelerini kullanmışlardır. Ürün tespit oranı %90,6 olarak belirlemişlerdir. Robotik sistemde elde edilen görüntülerin görüntü işleme adımları Şekil 2.42'de görülmektedir.



Şekil 2.42. Elde edilen görüntülerin görüntü işleme adımları (Mao *et al.* 2009)

Rath *et al.* (2009), üç boyutlu modelleme ve robotik sistem kullanarak çiçek hasatı üzerine araştırma yapmışlardır. Kızılötesi filtreler ve iki yüksek çözünürlüklü CCD kamera yardımı ile alınan görüntüleri sisteme aktararak oluşturmuş oldukları algoritma ile dijital görüntüleri işlemişlerdir. Bir çiçek türünde yapılan testlerde %80 başarı sağlayan bu sistem farklı çiçek ve çiçek saplarının belirlenmesinde uygun olmadığını vurgulamışlardır. Robotik sistem Şekil 2.43'de görülmektedir.



Şekil 2.43. Çiçek sapı kesme robotu (Rath et al. 2009)

Scarfe et al. (2009), saatte 14.000 adet kiviği toplayabilen uzaktan kumandalı kivi hasatı robotik sistemi gerçekleştirmişlerdir. Robotik sistem parçası olan hasat kolları üzerine monte edilmiş kamera sisteminden gelen görüntü işlendikten sonra diagnostik olarak meyve tanımlaması yapmışlardır. Tam tur dönme kabiliyetine sahip kollar meyve sertliğine göre meyveyi kendi ekseninde döndürme hareketi yaparak hasadı yapmışlardır. Gerçekleştirilen kivi hasat robot prototipi Şekil 2.44’de görülmektedir.



Şekil 2.44. Kivi hasat robot prototipi (Scarfe et al. 2009)

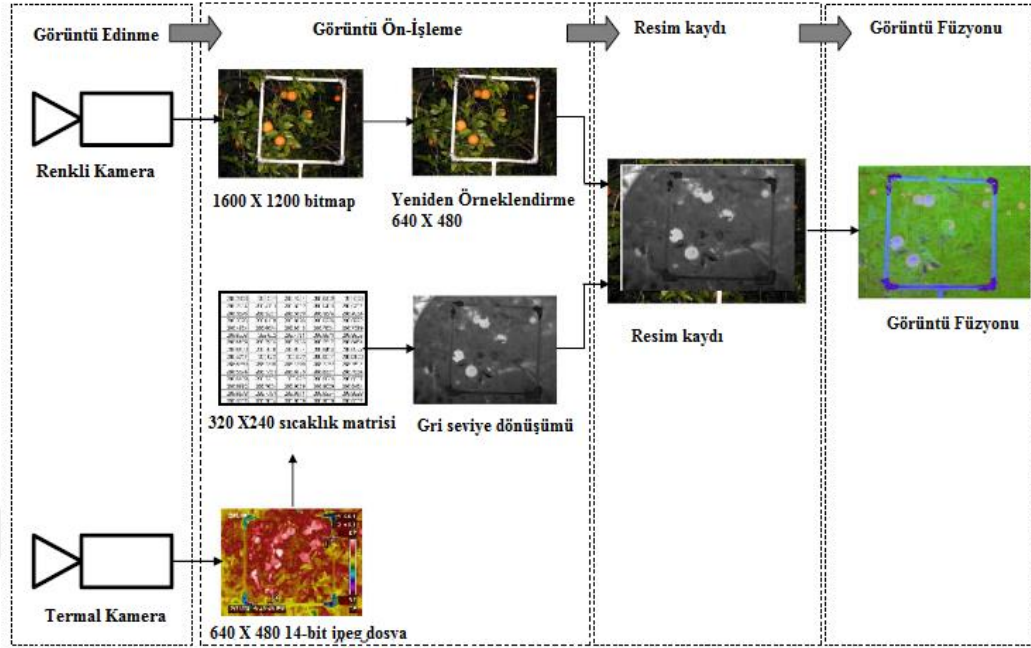
Zhi-Guo *et al.* (2009), domates hasadında kullanılan robotik sistem uç elemanlarının geliştirilmesine yönelik bir çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda oluşan deney sistemi Şekil 2.45’de görülmektedir.



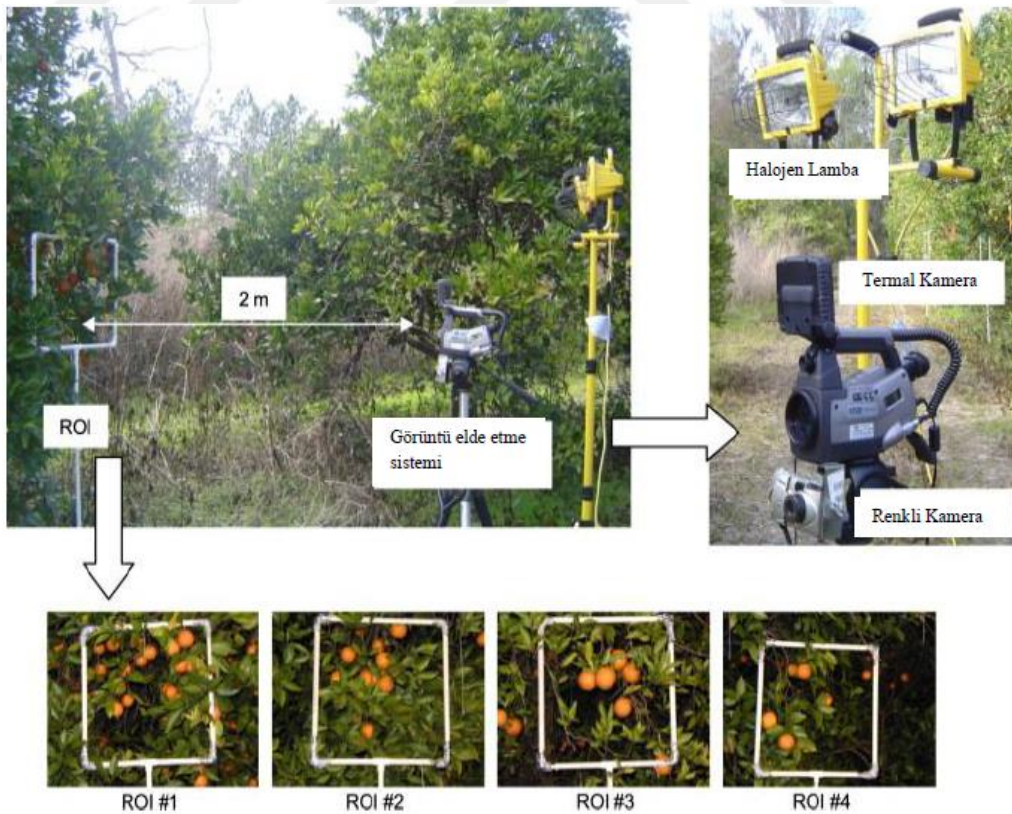
Şekil 2.45. Deney sistemi (Zhi-Guo *et al.* 2009)

*(1)Domates hasat robotu, (2)parmak, (3)motor, (4)kontrol kabini, (5)bilgisayar, (6)basınç sensörü, (7)sinyal düzenleyici, (8)USB5935 veri elde etme aracı, (9)domates, (10)ip, (11)eklem, (12)yükseklik ayarlayıcı, (13)emici, (14)end-effector

Bulanon *et al.* (2009), termal algılama kamerası ile renk kamerasının ortak çalışmasını sağlayarak meyve algılanması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada renk kamerası ile portakalın turuncu renginin algılanması, termal kamera yardımıyla görüntünün spektrum analizinin yapılması sağlanmıştır (Şekil 2.46). Elde edilen iki resim üzerinde bulanık mantık yöntemiyle meyvenin yeri saptanmıştır. Deney sonucunda füzyon değerlendirme endeksine göre bulanık mantık yaklaşımının daha iyi sonuç verdiğini gözlemlemişlerdir. Şekil 2.47’de termal algılama kamerası ile renk kamerasının gerçek zamanlı ortak çalışması görülmektedir.

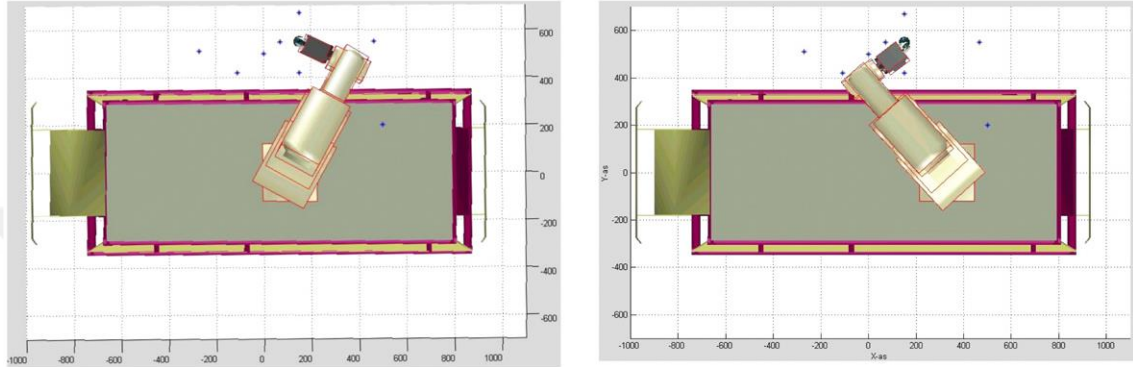


Şekil 2.46. Görüntü füzyonu için görüntü işleme çerçevesi (Bulanon *et al.* 2009)



Şekil 2.47. Termal algılama kamerası ile renk kamerasının gerçek zamanlı ortak çalışması (Bulanon *et al.* 2009)

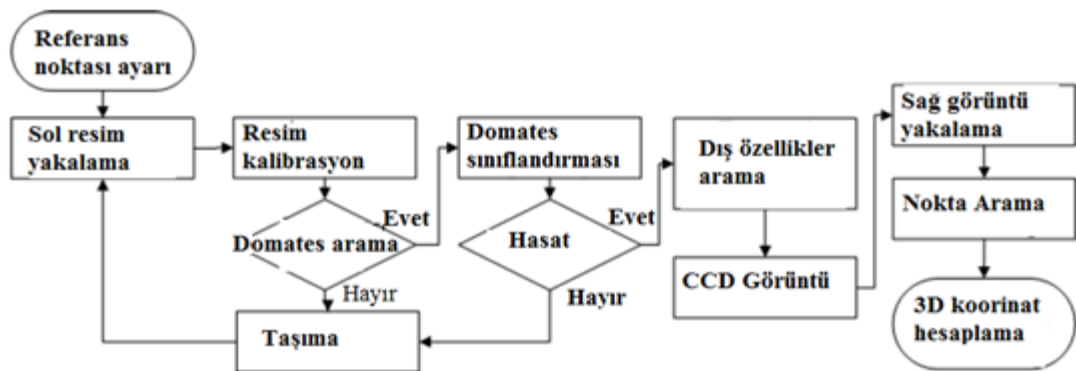
Van Henten *et al.* (2010), manipölatör gövde yapısı içeren bir salatalık hasat robotu modelinde kullanılan ters kinematik algoritma üzerine bir araştırma yapmışlardır. Ters kinematik probleminin çözümünde doğrusal olmayan programlama yaklaşımının iki olası çözümü Şekil 2.48’de görülmektedir.



Şekil 2.48. Ters kinematik probleminin çözümünde doğrusal olmayan programlama yaklaşımının iki olası çözümü (Van Henten *et al.* 2010)

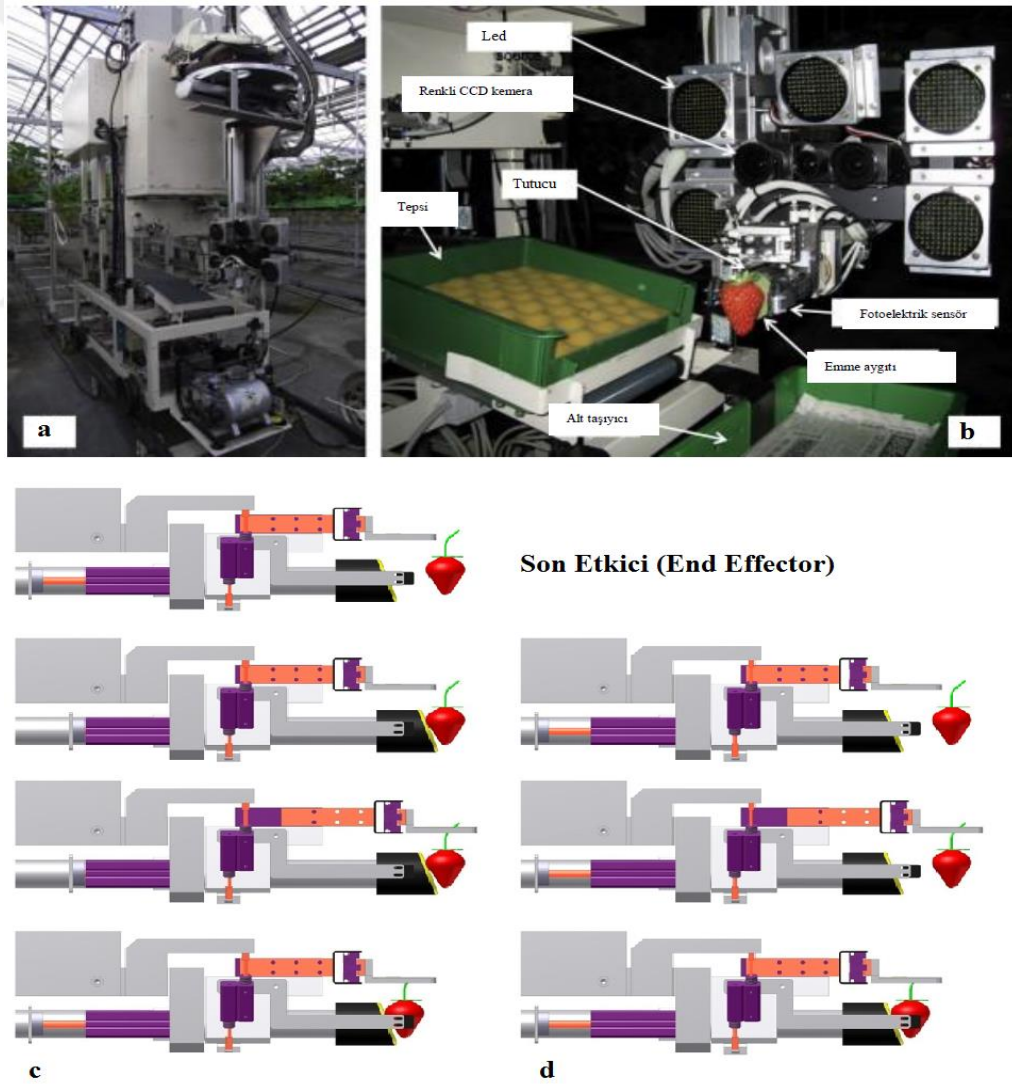
* Mavi yıldızlar engeller gösterir

Li *et al.* (2010), tarımsal alanlardan seralarda domates hasadında robotik makine görme sistemi oluşturmak amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Görüntü işleme programı ve binoküler stereo sistemi olmak üzere iki kısımdan oluşturulan sistem ile yapılan testlerde toplam doğruluk oranı %93,3 olarak tespit etmişlerdir. Makine görme sisteminin akış şeması Şekil 2.49’da görülmektedir.



Şekil 2.49. Makine görme sisteminin akış şeması (Li *et al.* 2010)

Hayashi *et al.* (2010), robot çilek hasadı için alan test değerlendirmesi üzerine yapmış oldukları çalışmada; silindir bir manipülör, uç eleman, yapay görme ünitesi, taşıyıcı sistem ve depolama biriminden oluşan bir robotik sistem geliştirmişlerdir. Düşük iş verimi, düşük başarı oranı, kararsız aydınlatma gibi sorunları aşmak için bir aydınlatma ünitesi kurarak hasatı gece yapmak üzere geliştirmişlerdir. Robotik sistemin meyveyi daha iyi tanımlayabilmesi için meyve olgunluk derecesi tanımlı yapmışlardır. Meyve sapı tespitinde yapay görme ile elde edilen başarı oranı %60, sistemin başarı oranı %34,9 olarak tespit edilmiştir. Geliştirilen robotik çilek hasat makinesi Şekil 2.50’de görülmektedir.



Şekil 2.50. Geliştirilen robotik çilek hasat makinesi (Hayashi *et al.* 2010)

*a)Genel görünüm b)Detaylı görünümü c) Emme ile toplama d)Emme olmadan toplama

Berenstein *et al.* (2010), üzüm bağlarında üzüm meyvesi için robotik sistem kullanarak ilaçlama üzerine araştırma yapmışlardır. Yapmış oldukları çalışmada makine görme sistemi ile üzümlerin ayırt edilmesinide sağlamışlardır. Şekil 2.51’de otomatik robotik ilaçlama sistemi görülmektedir.

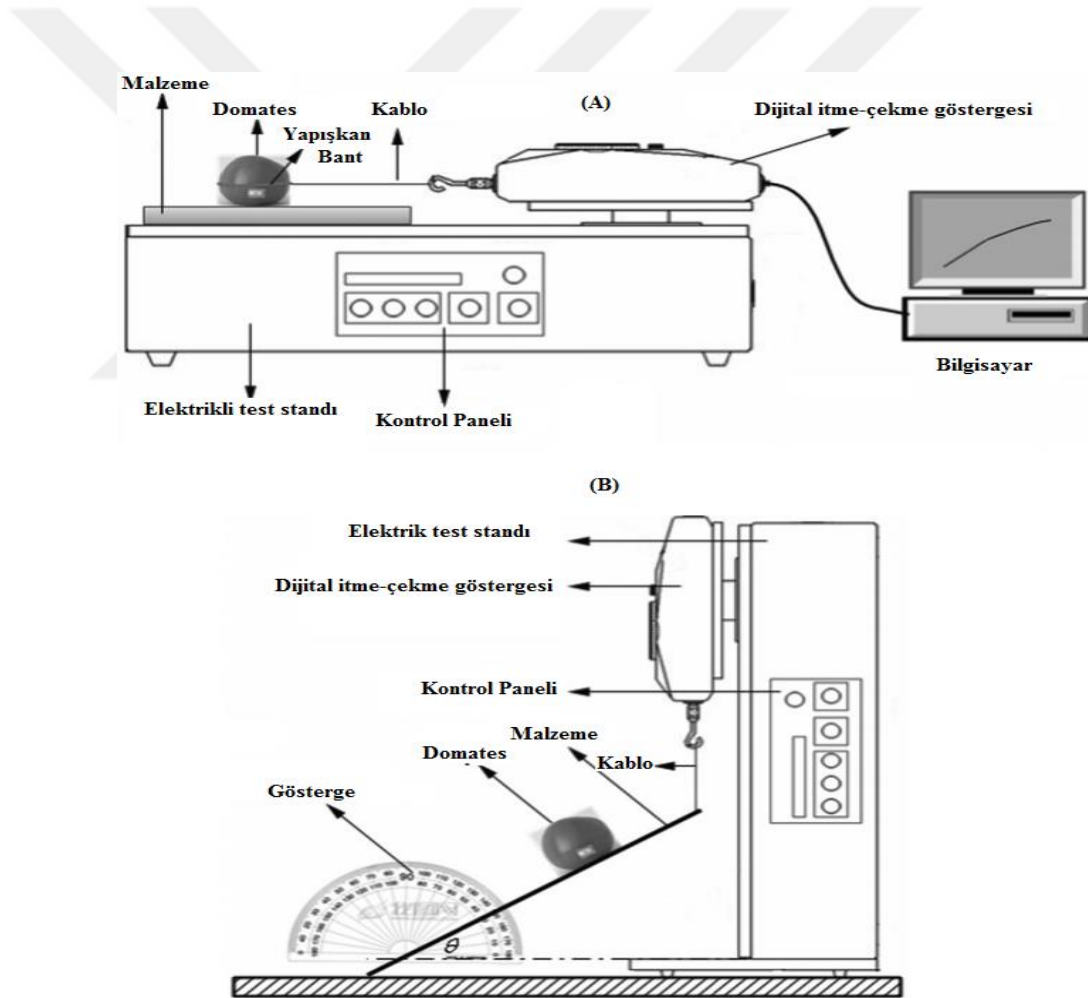


Şekil 2.51. Otomatik ilaçlama robotu (Berenstein *et al.* 2010)

Yang (2011), tarımsal alanlarda robotik domates meyvesi hasat işlemleri üzerine çalışma yapmıştır. Çalışmasında robotik hasat işleminin verimli olması, meyvelerin yetiştirme aşamalarının ve hasat sürelerinin hızlı belirlenmesi için bahçe otomasyonu gerekliliğinden bahsetmiştir. Çalışmasında, domateslerin hasat zamanını hatasız olarak belirlemek için görünür yakın kızılötesi (VIS-NIR, Visible-Near-Infrared) spektroskopisini kullanmayı incelemiştir. Yapılan çalışma sonucunda VIS-NIR spektroskopisinin, domateslerin hasat zamanını tahmin etmek için otonom meyve hasat robotlarının uygulanmasına izin veren uzaktan algılama tekniği olarak başarıyla kullanılabileceği sonucunu elde etmiştir.

Li *et al.* (2011), robotik sistem kullanarak domates meyvesi hasat işlemlerinde meyvenin fiziksel ve mekanik özelliklerinin hasat işlemi üzerine çalışma yapmışlardır.

Meyvenin yükseklik, çap, küresellik, yüzey alanı, hacim, toplam ktle ve madde yoğunluğu gibi seçici fiziksel özelliklerini daha iyi tanımlamak, imal etmek ve kontrol etmek için farklı çeşit domates meyvesi kullanarak iki yöntem yardımıyla elde etmişlerdir. Çekme ve yükleme testleriyle de kopma kuvveti, kırılma enerjisi, sürtünme, yuvarlanma ve sıkıştırılabilirlik gibi mekanik özellikleri belirlemişlerdir. Test sonuçların yükseklik, çap, yüzey alanı, kopma kuvveti, sıkıştırılabilirlik ve sürtünme katsayısı gibi bazı fiziksel ve mekanik parametreler üzerinde lokl sayısının anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Domates meyvelerinin sürtünme ve yuvarlanma direnci katsayılarını belirlemek için kullanılan test cihazı şekil 2.52’de görülmektedir.



şekil 2.52. Domates meyvelerinin sürtünme ve yuvarlanma direnci katsayılarını belirlemek için kullanılan test cihazı (Li *et al.* 2011)

*(A) Statik ve kayma sürtünme katsayıları; (B) yuvarlanma direnci katsayısı

De-An *et al.* (2011), elma hasat robotunun tasarımı ve kontrolü üzerine çalışma yapmışlardır. İki prizmatik üç döner eksenli manipülatör, uç eleman ve görme kontrol sisteminden oluşan bir robotik hasat sistemi geliştirmişlerdir. Elde edilen görüntüler üzerinde tanıma algoritması ile otomatik algılanan ve yeri tespit edilen meyve, AC servo sürücünün yer aldığı manipülatör ve uç eleman ile meyve hasat işlemini başarmıştır. Sistemin hem laboratuvar hem de gerçek ortam test sonucuna göre başarı oranı %77 ve meyve için ortalama hasat süresi 15 sn olarak tespit etmişlerdir. Manipülatör yapısı ve uç eleman Şekil 2.53’de görülmektedir.



Şekil 2.53. (a) Manipülatör yapısı, (b) uç eleman (De-An *et al.*2011)

Li *et al.* (2011), meyve hasat yöntemlerini gözden geçirerek otomatik meyve toplama sistemlerinin potansiyel kullanımı üzerine çalışma yapmışlardır. Yapmış oldukları çalışmalarında; tarımsal alanlarda kullanılan tamamen mekanik sistemlerden oluşan hasat sistemlerinden başlamış, en az müdahale veya hiç insan müdahalesi gerektirmeyen otomatik robotlu hasat sistemlerine kadar incelemişlerdir. Çalışmalarında meyveleri otomatik algılama, inceleme, konumlandırılması ve hasatta kullanılan makine görme sistemi metodolojileri üzerine araştırmalar yaparak özellikle gelişmiş sistemlerin kullanıldığı narenciye hasat sistemleri üzerine yoğunlaşmışlar. Yaptıkları araştırma çalışmasında görüntüdeki meyveleri tanımlamak için kullanılan kamera algılayıcı ve

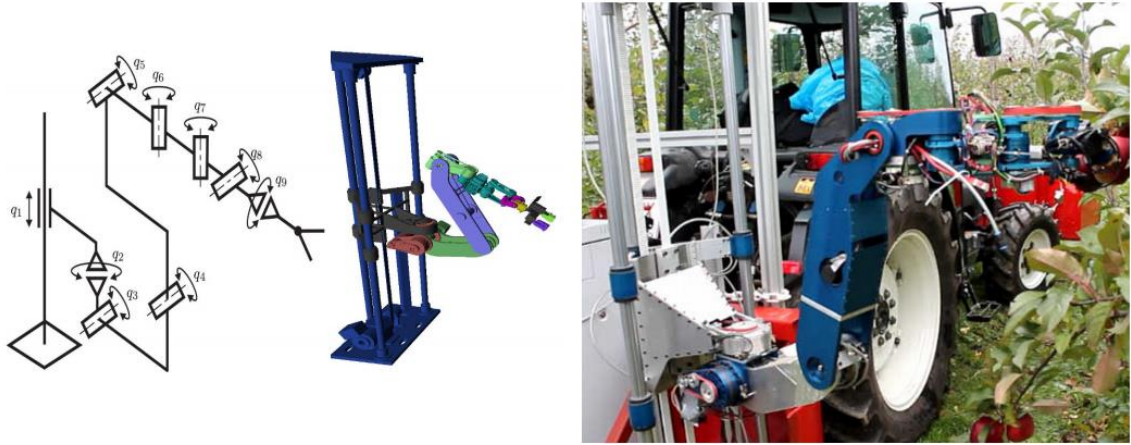
filtre tasarımları ile görüntü işleme yöntemlerinin büyük sorun olduğunu vurgulamışlardır.

Ji *et al.* (2012), elma hasat robotu için elma tanımak ve bulmak için kullanılan makine görme sistemi üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında elma hasat robotu için yönlendirilmiş otomatik meyve tanıma görüntü sistemi geliştirilmesine ilişkin bir yöntem önermişlerdir. Elma görüntülerini yakalamak için güç bağlantısı olan renkli kamera, meyve tanımlanması için görüntü işlemede kullanılacak endüstriyel kapasitede bilgisayar kullanmışlardır. Çalışmalarında yöntem olarak, elde edilen görüntülerde gürültüyü gidermek için vektör medyan filtresi uygulamış, bölge büyümesi ve renk özelliği esas alınarak imge bölütleme yöntemini araştırmışlardır. Bu işlemlerin ardından tanıma ve doğruluk verimliliğini arttırmak için görüntü işleme tekniğinde vektör makinesine dayanan yeni bir sınıflandırma algoritması kullanmışlardır. Eylül hasat döneminde yapılan gerçek testlerde ortalama 352 msn'de tanıma sonuçlarına göre %89 doğruluk elde etmişlerdir. Meyve bahçesinde elma hasat robotu test görüntüsü Şekil 2.54'de görülmektedir.



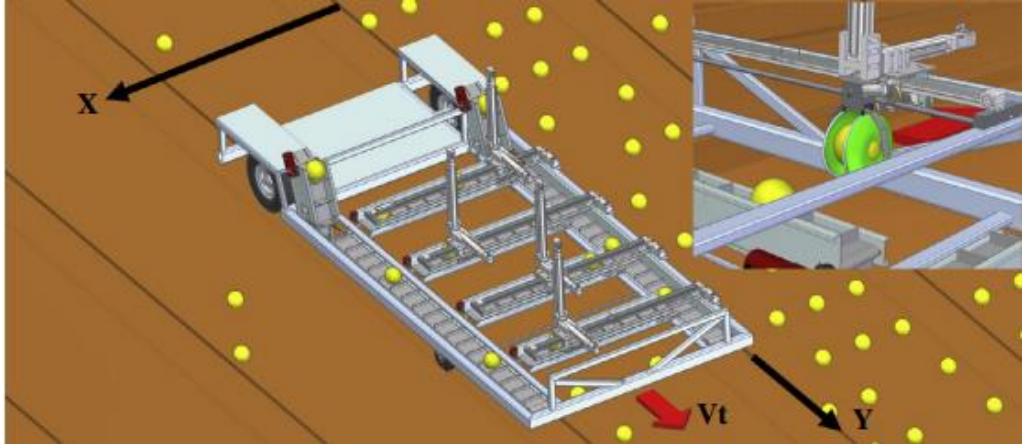
Şekil 2.54. Meyve bahçesinde elma hasat robotu test görüntüsü (Ji *et al.* 2012)

Thanh Nguyen *et al.* (2013), elma hasat robotu için görev ve hareket planlaması üzerine çalışma yapmışlardır. Elma gibi seçici hasat ürünlerinin işçiliği zor olmakla beraber normal bir ticari makine ile yapılamamaktadır. Çalışmaları manipülatörün meyve bahçesinde elma seçmesine izin veren hareket ve hiyerarşik görev planlaması için bir çerçeve oluşturmakta ve hiyerarşik görev planlaması sistemine göre çalışmaktadır. Karmaşık ve belirsiz çevre için algılayıcılar, taşıma ve hareket için mobil platform, engelleri önlemek ve hedeflere ulaşmak için önceden belirlenmiş sınırlı sayıda stratejiden oluşan manipülatör hasat hareketi yüksek kontrol seviyesinden oluşmaktadır. Sistem simülasyon ve gerçek zamanlı testlerde algılama, planlama ve yürütme görevleri arasında güvenli bir iletişim sağlandığını gözlemlemişlerdir. Elma hasat manipülatörünün kinematik diyagramı, 3D modeli ve elma bahçesinde testi Şekil 2.55’de görülmektedir.



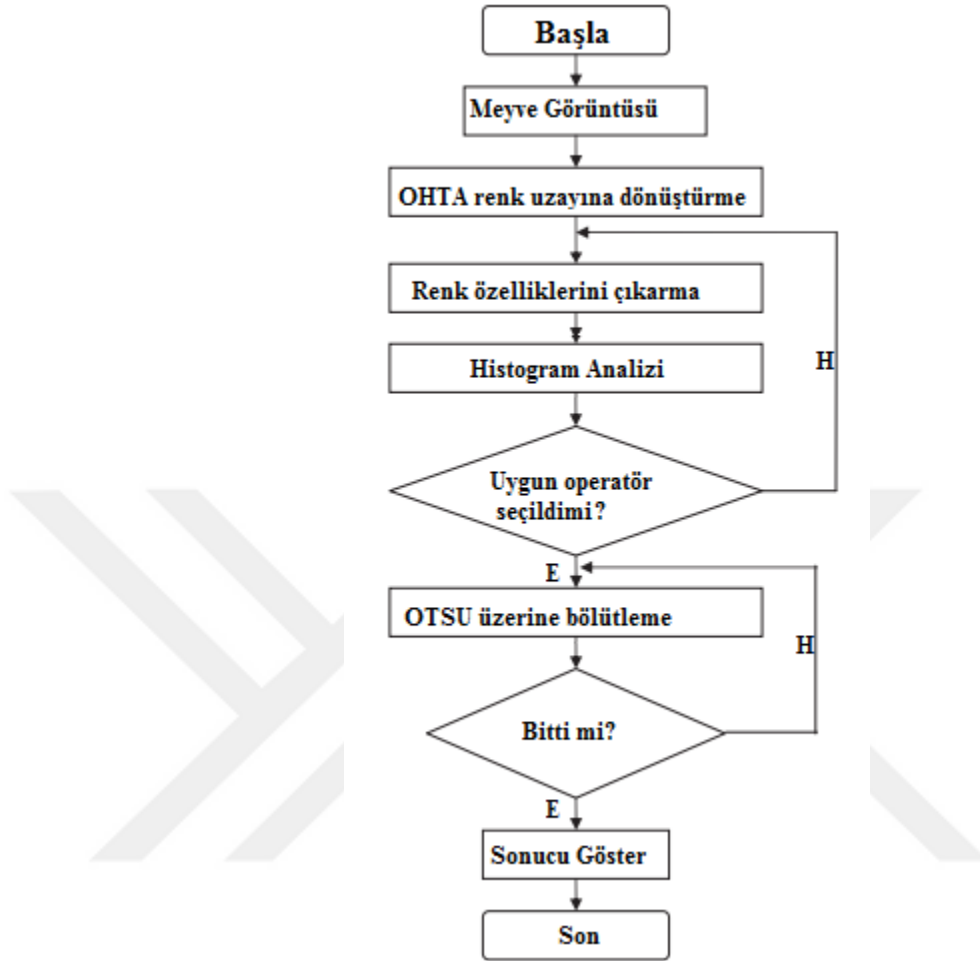
Şekil 2.55. Elma hasat manipülatörünün kinematik diyagramı, 3D modeli ve elma bahçesinde testi (Thanh Nguyen *et al.*2013)

Zion *et al.* (2014), çok kollu robotik biçerdöverler için hasat planlaması üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında dikdörtgen bir çerçeveye paralel olarak monte edilen bir dizi kartezyen manipülatör yapı, ürün yatağı boyunca yatay hareket ederek robot kolları kavunları alıp bitişik yanal taşıyıcılara yerleştirmektedir. Kavun gibi iki boyutlu bitkiler için çok kollu geliştirilen robotik biçerdöver Şekil 2.56’da görülmektedir.



Şekil 2.56. Kavun gibi meyveler için çok kollu robotik biçerdöver (Zion *et al.*2014)

Wei *et al.* (2014), meyve hasat robotunun görme sistemi için karmaşık tarımsal arka planda meyvenin çıkarımının otomatik yöntemi üzerine çalışma yapmışlardır. OHTA renk alanında yeni bir özellik kullanarak gelişen bir Otsu eşik algoritmasına dayanan yöntemlerinde, renk özellikleri OHTA renk uzayında çıkarılır ve daha sonra segmentasyon eşik değerini otomatik olarak hesaplayan Otsu eşik algoritması için bir girdi olarak kullanmışlardır. Doğruluğu %95'ten fazla olduğu tespit edilen yöntem, dört çeşit meyve görüntüsü ile yapılan çok sayıda deneylerde meyve nesneleri otomatik olarak çıkartmış ve çıktılar ikili görüntüler halinde sunmuşlardır. Meyve hasat robotunun görme sistemi için meyve nesne tespitinin otomatik yönteminin akış şeması Şekil 2.57'de görülmektedir.

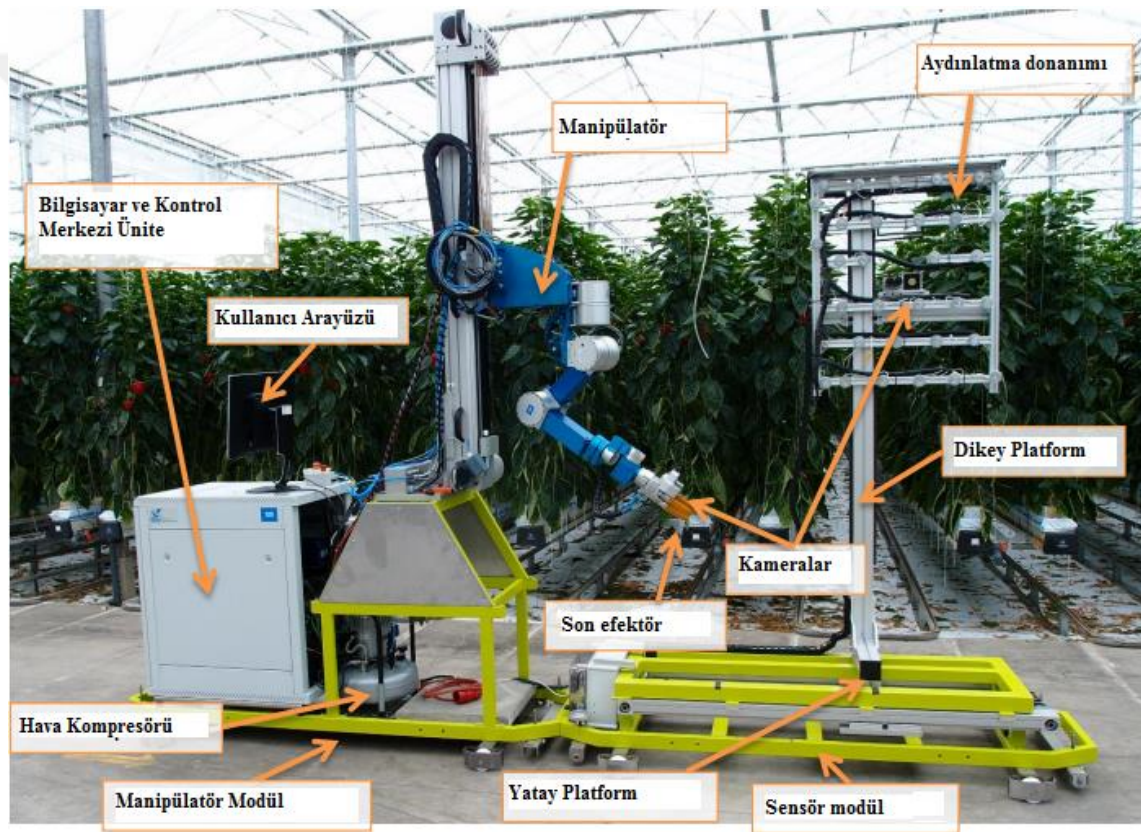


Şekil 2.57. Meyve nesne tespitinin otomatik yönteminin akış şeması (Wei *et al.*2014)

Mehta and Burks (2014), turunçgil hasat işlemlerinde kullanılan robotik sistem manipülatörün görme esaslı kontrolü üzerine çalışma yapmışlardır. Yapay bir narenciye ağacı kullanılarak yapılan 21 deneyde %95 doğruluk elde etmişlerdir. Doğruluğu yaklaşık 15 mm olarak gözlemlenen sistemin, orta ve büyük boyuttaki turunçgil meyveleri hasat etmek için uygun olduğu ancak kan portakalı gibi küçük cins turunçgiller için hasadın sınırlı olabileceği vurgulanmıştır.

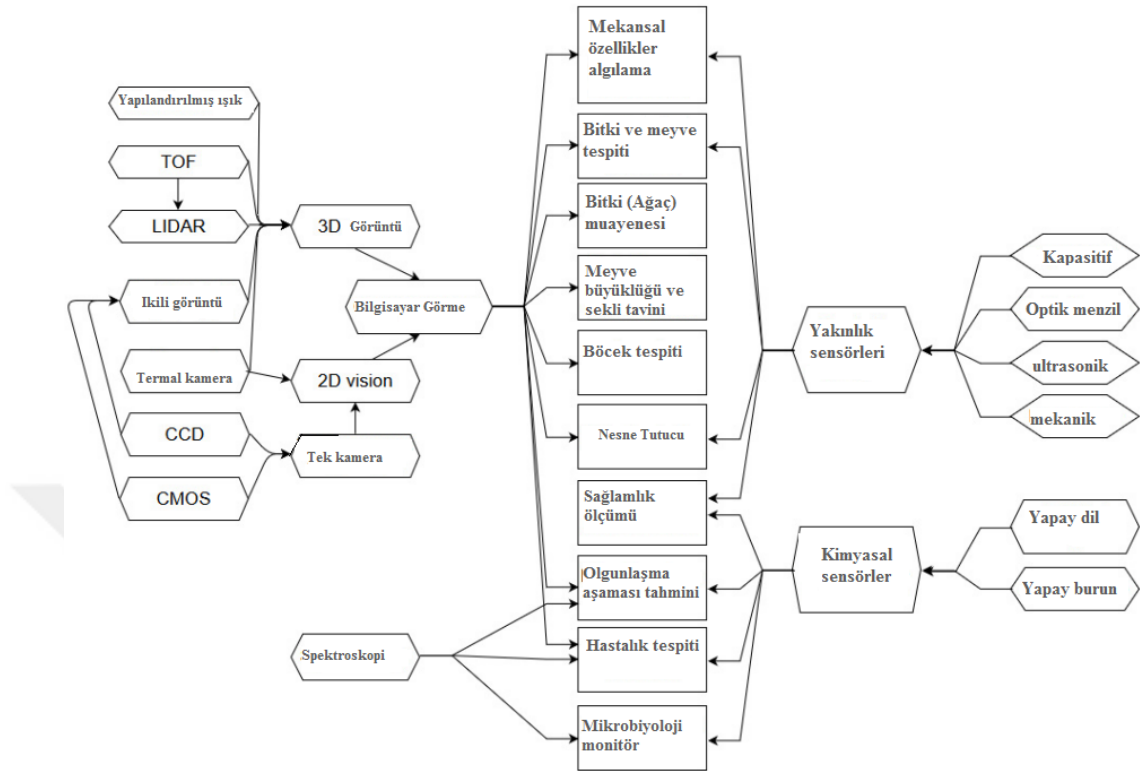
Hemming *et al.* (2014), seralarda robotik sistem kullanarak tatlı biber hasat işlemleri üzerine çalışma yapmışlardır. Robotik sistem temel olarak iki modülden oluşmaktadır bunlardan birincisi; dokuz serbestlik derecesine sahip manipülatör, kontrol elektroniği ve bilgisayarlar yapısından oluşmaktadır. İkincisi ise sensörler ve aydınlatma

sisteminden oluşmaktadır. Birleştirilmiş modüller serada bulunan ray sistemi üzerinde bitki fide sıraları arasında hareket edebilecek yapıdadır. Modüllerin yükseklikleri ürünün yüksekliğine uyacak şekilde ayarlanabilmekte ve farklı ışık durumlarında iyi görüntü alabilmek için aydınlatma sistemi kullanmışlardır. Kullanılan renkli kameralar ile elde edilen görüntüler üç boyutlu veriler haline makine görme yazılımı ile işlenerek hem meyve hem de engeller tespit etmişlerdir. Seralar için geliştirilen robotik tatlı biber hasat robotu Şekil 2.58’de görülmektedir.



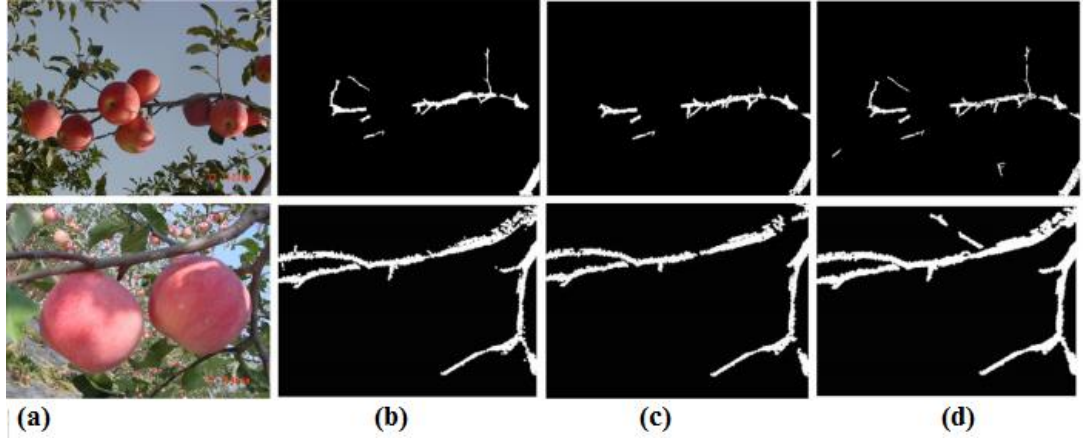
Şekil 2.58. Robotik tatlı biber hasat robotu (Hemming *et al.* 2014)

Boryga *et al.* (2015), domates hasadı örneği üzerindeki engeller ile yörünge planlaması üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmada manipülatör uç elemanın bir yörüngesini planlamak için PR-APT yöntemini (Planning Rectilinear-Arc Polynomial Trajectory) uygulamışlardır. Serada domates hasatında PR-APT yönteminin uygulanması görülmektedir (Şekil 2.59).



Şekil 2.60. Meyve hasatında sensör teknolojileri ve uygulama alanları (Zujevs *et al.* 2015)

Ji *et al.* (2016), elma bahçelerinde kullanılan tarımsal hasat robotlarının meyve dalları segmentasyon üzerine çalışma yapmışlardır. Elde edilen görüntülerde küçük gri seviyeli farkla elma ağacı dalları ayırt etmişlerdir. Yaptıkları çalışmada kontrast sınırlı uyarlamalı histogram eşitlemesine (CLAHE) dayanan elma dal görüntülerinin tekrar eden eşik segmentasyonunu önermişlerdir. Kullandıkları yöntemin doğruluğunu doğrulamak için, önerilen aydınlatmayı OTSU ve histogram algoritması gibi diğer ünlü yaklaşımlarla karşılaştırmak için farklı aydınlatma altında 1280×960 piksel boyutunda 100 görüntü ile elma dalındaki görüntülerin %94'ü doğru olarak tanımlamışlardır. Önerilen yöntemin segmentasyon kalitesi diğer yaklaşımlardan daha iyi olduğunu gözlemlediklerinden ağaç dalının segmentasyonunda bu yöntemin etkili olduğuna vurgu yapmışlardır. Ağaç dalının segmentasyon aşamaları Şekil 2.61'de görülmektedir.

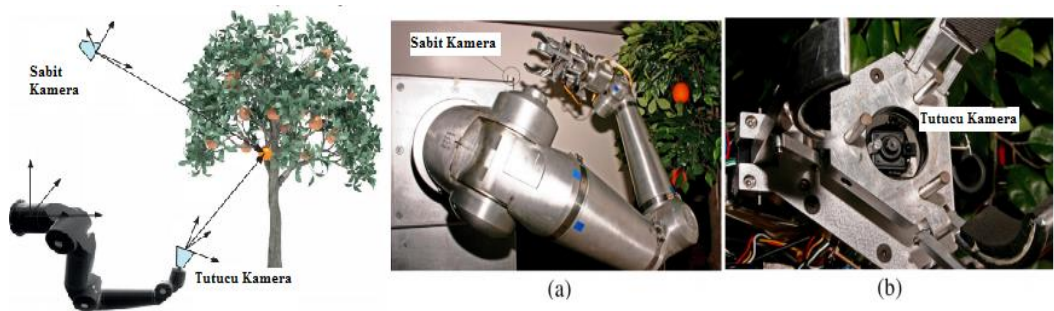


Şekil 2.61. Ağaç dalının segmentasyon aşamaları (Ji *et al.* 2016)

*(a) Orijinal güneşli resim, (b) Histogram metot, (c) OTSU metot, (d) Önerilen yöntem

Mehta *et al.* (2016a), robotik hasat işlemlerinde çoklu kamera kullanarak meyve yerleşimi ile ilgili çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında katmanlı görme sistemlerini inceleyerek meyve algılamada birden fazla kameranın kullanılmasıyla meyve lokalizasyonu problemine çözüm önerilerinde bulunmuşlardır.

Mehta *et al.* (2016b), robotik turuncgil hasatında meyve hareketinin olması durumunda hasat işleminin verimliliği üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında meyvenin sapından ayrılma kuvvetinden kaynaklı hareket ve rüzgâr hareketi gibi hareket durumlarından dolayı hasat verimliliğini etkileyen faktörleri azaltmak için, robot manipülâtörünün hedef meyveye hasat işlemi gerçekleştirebilmesi için güçlü bir görüntü tabanlı görsel servo kontrolör geliştirilmesine katkı sağlamışlardır. Geliştirilen manipülâtör sistem Şekil 2.62’de görülmektedir.



Şekil 2.62. (a) Robot manipülâtör, (b) robot uç elemanın içerisinde bulunan üçlü tutucu (Mehta *et al.* 2016b)

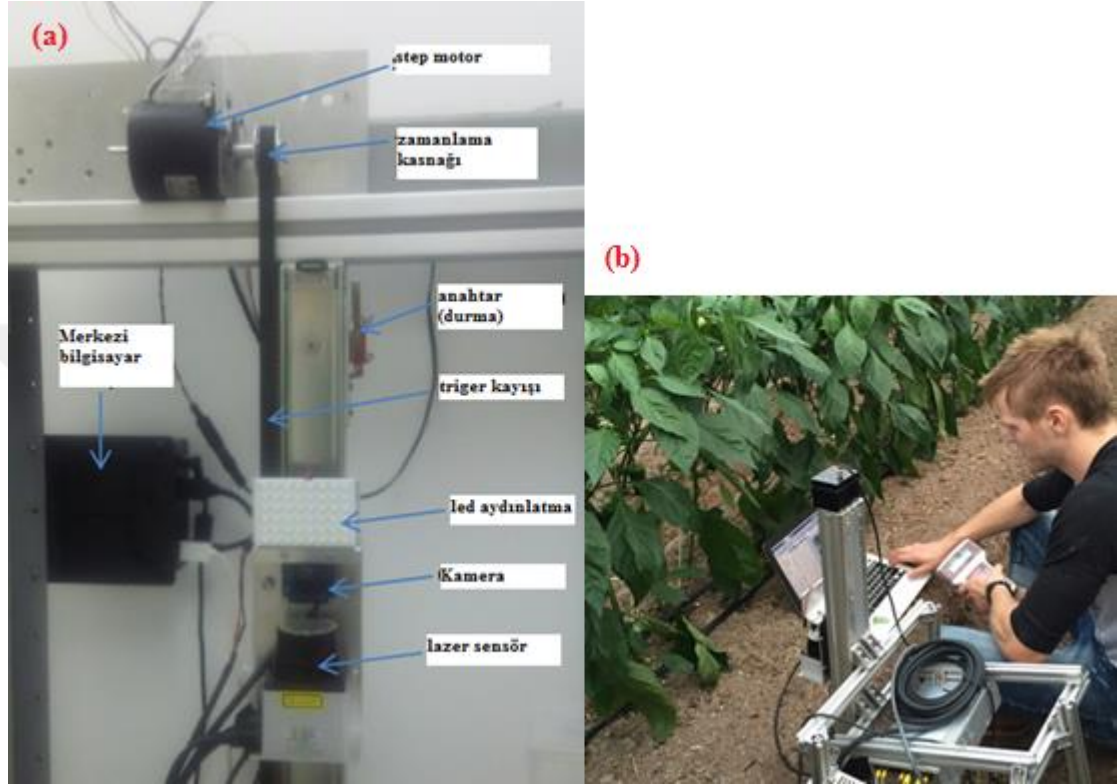
Barnea *et al.* (2016), ürün hasat robotları için renk-agnostik şekle dayalı 3D meyve tespiti üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında nesnelerin, hem görüntü düzleminde hem de 3 boyutlu uzayda şekle ilgili özelliklerini analiz etmek için RGB ve aralık verilerini kullanmayı amaçlamışlardır. Şekil tabanlı meyve tespitini sağlamak için 3 boyutlu yüzey özellikleri, 3 boyutlu düzlem yansıtıcı simetri ve eliptik yüzey noktalarından gelen görüntü düzlemini, renkleri ne olursa olsun 3 boyutlu alanda birleştirmişlerdir. Hem RGB hem de menzil kameralarını içeren algılayıcı teçhizata sahip olan tutucu ve manipülatör Şekil 2.63’de görülmektedir.



Şekil 2.63. Hem RGB hem de menzil kameralarını içeren algılayıcı teçhizata sahip olan tutucu ve manipülatör (Barnea *et al.* 2016)

Eizentals and Oka (2016), yeşil biber meyvesinin otomatik hasat işlemleri için çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında Japon yeşil biberinin otomatik hasat işleminde sap konumu tespiti için yeni bir poz tahmin algoritması geliştirmişlerdir. Görsel ipuçları hasat robotuna yeterli bilgi vermediğinden dolayı, doğru sap konumu tespiti için asılı meyvenin pozu hakkında bilgisinin gerekli olduğunu tespit etmişlerdir. Önerdikleri yöntemde, boşlukta asılı bir meyvenin yönü, bir modelin meyvenin yüzey noktalarına uymasıyla elde edilmekte ve bu yüzey noktaları bir Lidar tipi lazer mesafe bulucu kullanılarak elde edilmektedir. Nokta eşleştirme; katı ve afin iki model dönüşüm metoduyla tutarlı bir nokta sürüklenme algoritması kullanılarak elde edilerek, hem laboratuvar koşulları altında hem de bir serada önerdikleri yöntemi test etmişlerdir. Önerilen yöntem ile elde edilen sonuçlara göre; yeşil biberin otomatik hasatında, kök konumu algılaması için uygun olmasıyla birlikte diğer meyve ve sebzelerle birlikte

kullanılmak üzere ayarlanabileceğine vurgu yapmışlardır. Düzenek Şekil 2.64’de görülmektedir.



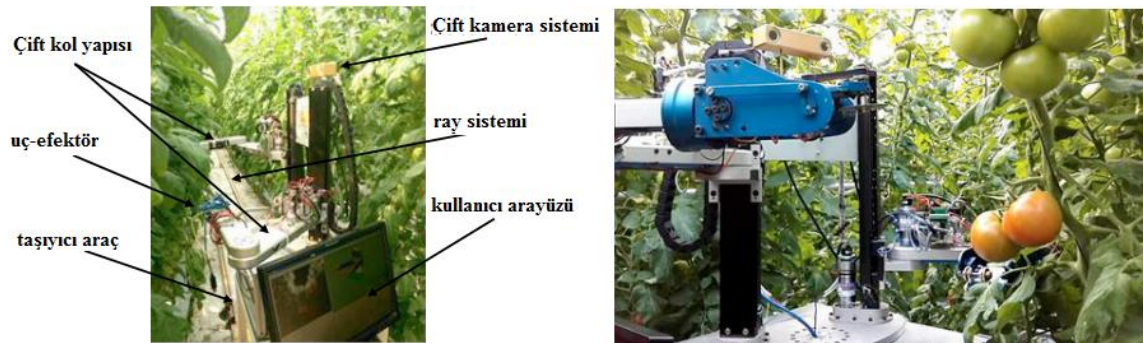
Şekil 2.64. (a)Laboratuvar testi için deney düzeneği, (b)sera ölçümü için test düzeneği (Eizentals and Oka 2016)

Luo *et al.* (2016), tarımsal alanlarda üzüm hasat robotların gelişimi üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında hasat robotları için üzüm salkımlarının mekânsal bilgilerinin görsel tabanlı çıkarımı yapılarak üzüm salkımlarının çarpışmadan kaynaklı veya manipülatör tarafından hasar görmesi gibi durumların önüne geçilmesi ve hasat işlemlerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Önerilen yöntem, hasar görmemiş bir robotik hasat yapmak için, esasen kesme noktalarının uzamsal koordinatlarını uç eleman için üzüm kümelerinin bir sapı üzerine yerleştirmesi ve manipülatörün hareket planlayıcısı için üzüm kümelerinin sınır hacmini belirlenmesi sağlanarak hasat robotlarında kullanılabileceğini göstermiştir. Yapılan testlerde üzüm kümesi ve kesim yapılacak sapın belirlenmesi işlemleri Şekil 2.65’de görülmektedir.



Şekil 2.65. (a)Kesme noktasının ve meyvelerin algılaması, (b)3D üzüm kümesinin yeniden yapılandırılması (Luo *et al.* 2016)

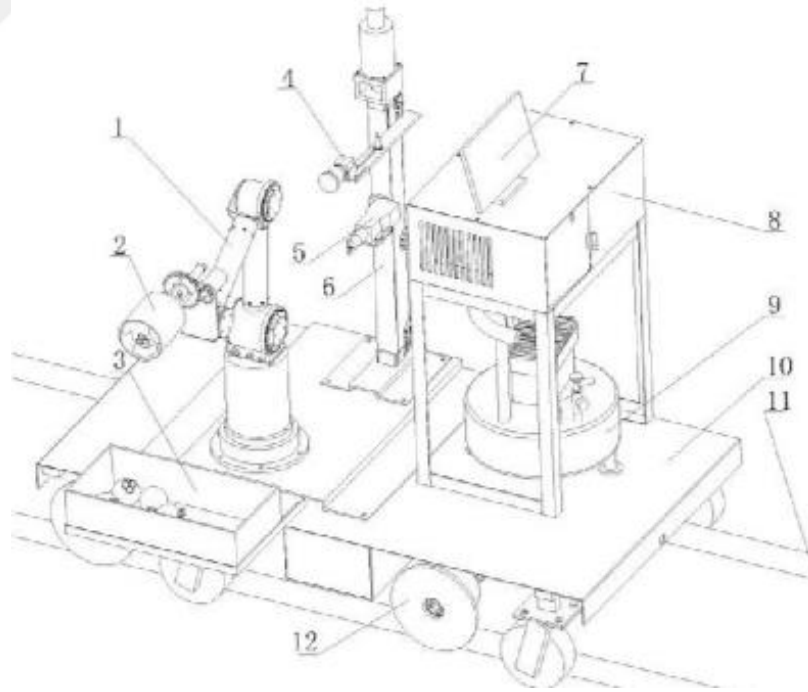
Zhao *et al.* (2016a), seralarda robotik domates hasat işlemi için çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında, hasat işleminde insan-robot etkileşimli modüler çift kollu robot yapısını geliştirmeyi başarmışlardır. Operatör tarafından grafik kullanıcı ara yüzünde domates nesnesinin işaretlenmesi yoluyla yapılan yapay bir tanıma yaklaşımı, domates tanıma ve lokalizasyonu için kullanılan robotik sistem, raylı taşıyıcı araç üzerine monte edilmiş iki adet 3 manipülatör ve iki farklı tip uç eleman ile tasarlanmış çift kollu yapıdan oluşmaktadır (Şekil 2.66).



Şekil 2.66. Seralarda çift kollu domates hasat robotu testi (Zhao *et al.* 2016a)

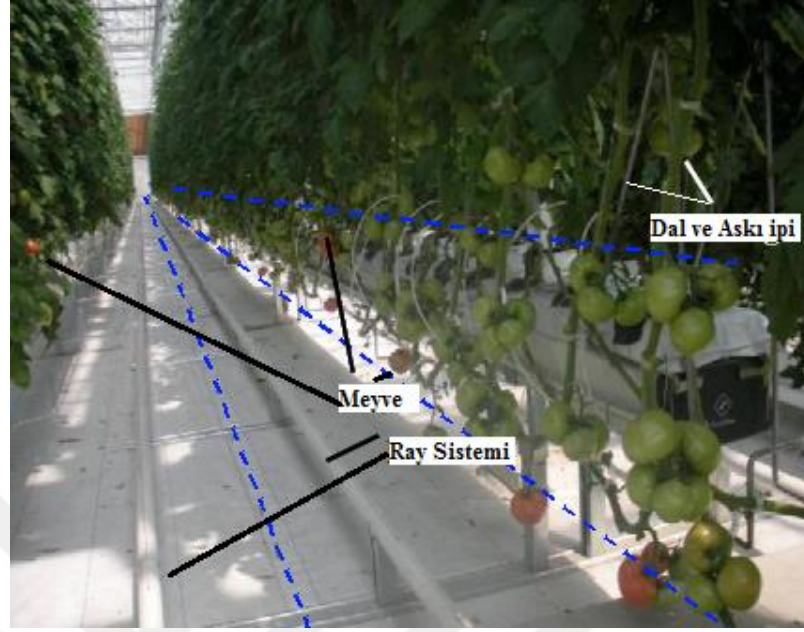
Zhao *et al.* (2016b), hasat robotu için görüntü temelli kontrolün temel tekniklerinin gözden geçirilmesi üzerine araştırma yapmışlardır. Meyve veya sebze toplama robotunda, bitki dallarındaki nesneleri algılama ve görsel bilgileri kullanarak nesneleri toplama konularındaki iki önemli sorunu çözmek için görme denetimi kullanılmaktadır. Bu çalışmada görüntü kontrol teknikleri ve bunların meyve ve sebze hasat robotlarında potansiyel uygulamaları hakkında incelemede bulunmuşlardır.

Wang *et al.* (2016), domates hasatında kullanılan robotik sistemlerin uç elemanın tasarımı üzerine çalışma yapmışlardır. Otomatik olarak domatesin hasat edilmesini arttırmak için, meyve tutma, sap tutma ve meyve ayrımı gibi üç parçadan oluşan yeni bir toplama manipülatör uç elemanı tasarlamışlardır (Şekil 2.67). Yapılan testler sonucunda başarı oranının %86 olduğunu gözlemlemişlerdir. Tasarlanan robotik domates hasat robotunun çalışma ortamı Şekil 2.68’de görülmektedir.



Şekil 2.67. Tasarlanan robotik domates hasat sistemi (Wang *et al.*2016)

(1)manipülatör, (2)uç eleman, (3) meyve konteyneri, (4)kamera, (5)lazer projektör, (6)sürgü ünitesi, (7)kullanıcı ara yüzü, (8)kontrol birimi, (9)hava pompası, (10)araç, (11)ray, (12)çark



Şekil 2.68. Tasarlanan robotik domates hasat sisteminin çalışma ortamı (Wang *et al.* 2016)

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde robotik sistemin donanımsal ve yazılımsal parçaları incelenmiştir. Gezgin robotik sistemin ürün tespit, yüz tanıma, algılayıcı sistemleri ve hareket yöntemleri hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir. Gezgin robotların tarımsal alanlarda görüntü işleme teknikleri kullanarak ürün tespiti ve analizi hakkında ayrıntılı bilgi bu bölümde sunulmuştur.

3.1. Materyal

Oluşturulan robotik sistem; görüntü, sıcaklık ve nem bilgilerinin alındığı algılayıcıların bulunduğu hareket edebilen gezgin robotik sistem ile görüntü işlemenin yapıldığı PC'ye bağlı kablosuz iletişim kartından oluşmaktadır. Gezgin robotik sistemin görüntü işleme denemeleri ofis ortamında farklı kırmızı nesneler üzerinde farklı kameralar ile yapılmıştır. Sistemin hazır olmasının ardından gerçek tarımsal alanlarda domates nesneleri üzerine denemeler yapılmıştır.

3.1.1. Kamera ve özellikleri

Robotik sistemde kullanılacak görüntülerin elde edilmesinde renkli kamera kullanılmıştır. Yapılan çalışmada ortam görüntüsü, meyve tespiti ve yüz tanıma işlemleri yapılırken çeşitli kablolu (web kamera) ve kablosuz (wifi kamera, mobil cihaz) kameralar kullanılmıştır. Kullanılan kameralar ve özellikleri Çizelge 3.1'de görülmektedir.

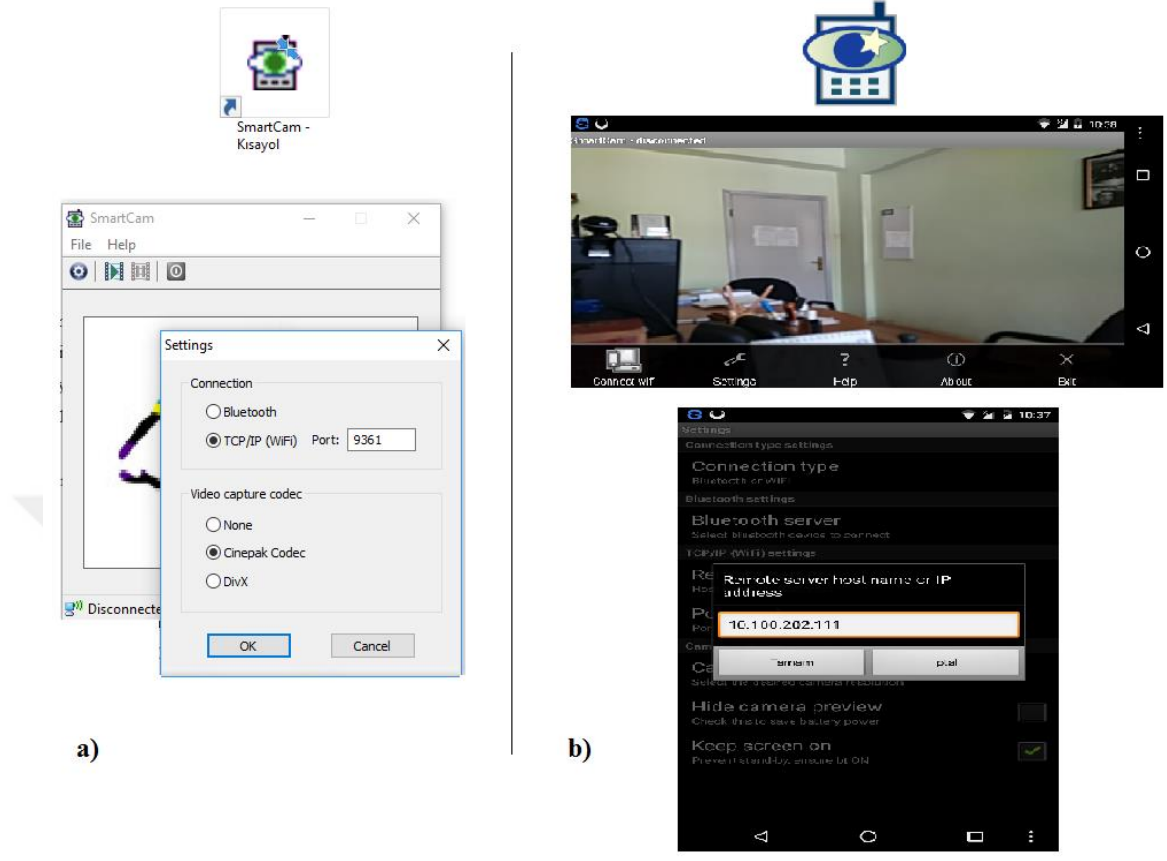
Çizelge 3.1. Robotik sistemde kullanılan kameralar ve özellikleri

KAMERA	TEKNİK ÖZELLİĞİ
	Everest SC-626 Usb Mikrofonlu Siyah/Gümüş Pc Web Kamera F/#2.0 , f:4.8mm
	KAMERA: 1. CMOS Toplam Piksel: 510x492 (NTSC) 2. Çalışma Aralığı: 15 m/50 m (Engelli/Engelsiz) 3. Horizontal Çözünürlük: 380TV Hat 4. Güç: DC + 9 ~ 12 V 5. Çalışma Sıcaklığı: -10°C ~ + 40°C ALICI: 1. Yüksek-kaliteli görüntü verici ve alıcı 2. Transmit uzaklık: 20 ~ 30 m 3. Güç Kaynağı: AC-DC adaptörü (DC + 9 ~ 12 v 500mA) 4. Tüketim Akım: 250mA 5. Güç Tüketimi: Yaklaşık. 3 W 6. Operasyon Sıcaklığı: -10°C ~ + 50°C 7. Storage Sıcaklık: - 40°C ~ + 85°C 8. Operasyon Nem: %85 RH
	1. Wifi / P2P web kamera 2. Iphone / Android / iPad / Laptop / PC noktadan-noktaya izleme için destek vermektedir 3. TF kartı ile 24 saat sürekli kayıt 4. Video formatı: AVI 5. Çözünürlük oranı: 640x480 (TF kart) 6. IP transfer format: 320x 240 VGA 7. Frame Rate: 10 fps ±1 fps 8. 15m ~ 20m Alıcı Aralığı 9. Çalışma süresi: yaklaşık 60 dakika (Lityum Polimer) 10. Şarj: DC 5V / 1A 11. Klipsli veya dirsekli esnek kurulum. 12. Boyut: 55 mm x 28 mm x 20 mm

Çizelge 3.1. (devam)

İKİ ADET MOBİL CİHAZ KAMERASI	1. Kamera Çözünürlüğü:13 MP 2. Flaş: Çift Tonlu Dual-LED 3. Diyafram Açıklığı:F2.0 4. Video Kayıt Çözünürlüğü:1080p (Full HD) 5. Video FPS Değeri:30 fps 6. Video Kayıt Seçenekleri720p @ 30fps 7. Ön Kamera Çözünürlüğü:13 MP 8. Ön Kamera Video Çözünürlüğü:1080p 9. Ön Kamera FPS Değeri:30 fps 10. Ön Kamera Diyafram Açıklığı:F2.2
	1. Kamera: Evet 2. Mega piksel: 5.1 mega piksel 3. Maks. Fotoğraf çözünürlüğü: 2592x1944 piksel 4. Dijital Zoom:Yes 3x 5. Optik Zoom: Hayır 6. Otomatik netleme: Evet 7. Entegre Flaş: Yok

Mobil cihaz kullanılarak tarımsal gezgin robot ortamından alınan görüntülerin bilgisayar arayüzüne aktarımı ücretsiz “SmartCam WebCam” yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışması için bilgisayar ve android mobil versiyonun her iki cihazda kurulu olması gerekmektedir. Bilgisayar ve telefon aynı internet ağına bağlandıktan sonra cihazlar arasındaki bağlantı sağlandığı gibi, bluetooth bağlantısını destekleyen cihazlar olduğunda internet bağlantısı gerekmeden de mobil cihazı WebCam olarak kullanılmasına imkan sağlamaktadır. Bilgisayarın IP ve port numarası android cihazdaki SmartCam yazılımı (Şekil 3.1) ayarlar seçeneğinde ilgili yere girilerek “bağlan” butonuna basılır ve bilgisayara görüntü aktarılır.



Şekil 3.1. SmartCam WebCam bilgisayar ve akıllı telefon yazılım arayüzü

*a)bilgisayar yazılım arayüzü b)android cihaz yazılım arayüzü

3.1.2. Sürmeli kumpas ve metre

Çalışmada domatesin fiziki ölçülerinin alınması sırasında kullanılan kumpas; kısa uzunluk ölçümlerinde, iç-dış çap, derinlik ve kanal ölçümlerinde kullanılır. Kumpaslar paslanmaz çelikten yapılmış olup cetvel ve verniyer (sürgü) gibi iki esas parçadan meydana gelir. Verniyer bölüntülü sürmeli kumpas, derinlik kumpası, modül kumpası, saatli kumpaslar ve dijital kumpas çeşidi olan kumpasların genel olarak 1/10, 1/20, 1/50 hassasiyette üretimi yapılmaktadır. Ölçümler milimetrenin 1/50 hassasiyetine sahip sürgü tipi kumpas ile yapılmıştır. Şekil 3.2’de kullanılan kumpas tipi görülmektedir.



Şekil 3.2. Verniyer (sürgü) tipi kumpas

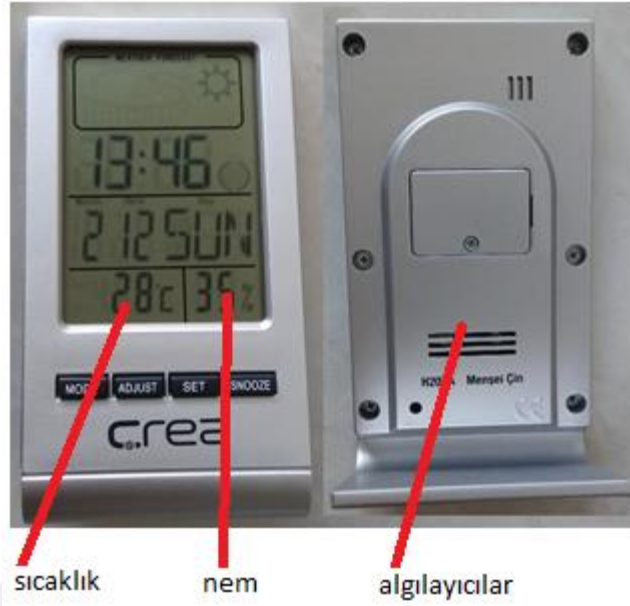
Gezgin robotik sistem kamerası ile tespiti yapılacak nesnelerin arasındaki mesafeyi ve nesnenin yerden yükseklik mesafelerinin tespitinde standart metre aleti kullanılmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Mesafe ölçüm aleti, metre

3.1.3. Isı ve nem ölçer

Deneme yapılan ortam ve tarımsal alanlarda nesnelerin bulunduğu ortamın gezgin robotik sistemle elde edilen sıcaklık ve nem bilgilerinin doğruluklarını kontrol etmek için bir adet pil (LR1130) ile çalışabilen masaüstü dijital termometre ve nemölçer higrometresi kullanılmıştır. Sapma oranı $\pm 1^{\circ}\text{C}$ sıcaklık, $\pm 5\%$ nem oranı olan ısı ve nem ölçer Şekil 3.4’de görülmektedir.



Şekil 3.4. Isı ve nem ölçer

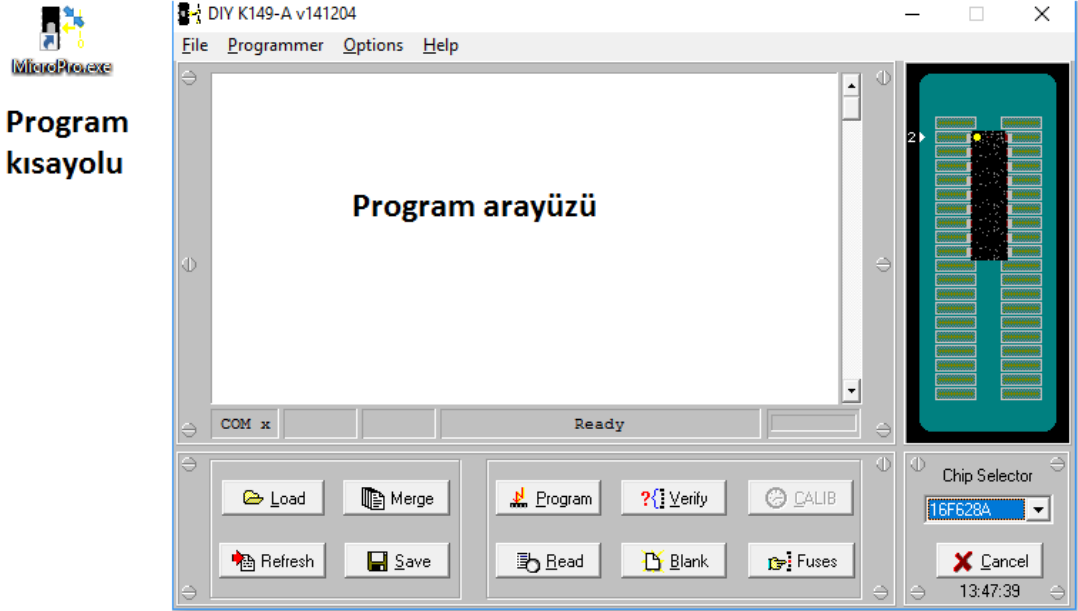
3.1.4. PIC programlayıcı kart ve yazılımı

Gezgin robotik sistemin donanımsal yapısında kullanılan mikrodnetleyicilerin programlanmasında PIC Programlayıcı kartı kullanılmıştır. Kullanılan PIC programlayıcı piyasada rahatça bulunabilen K150 modeli olup; harici güç kaynağına ihtiyaç duymadan PIC mikrodnetleyicilerini programlayabileceğimiz bir programlama kartıdır. 40-pin ZIF soketinin yanı sıra ICSP bağlantısı sayesinde mikrodnetleyiciler devrelerden sökmeden bu aktarma kablosu üzerinden de programlanabilir. K150 programlama kartı 10F, 12C, 12F, 16C, 16F, 18F aile serili mikrodnetleyicileri desteklemektedir. Kullanılan PIC programlayıcı kartı Şekil 3.5’de görülmektedir.



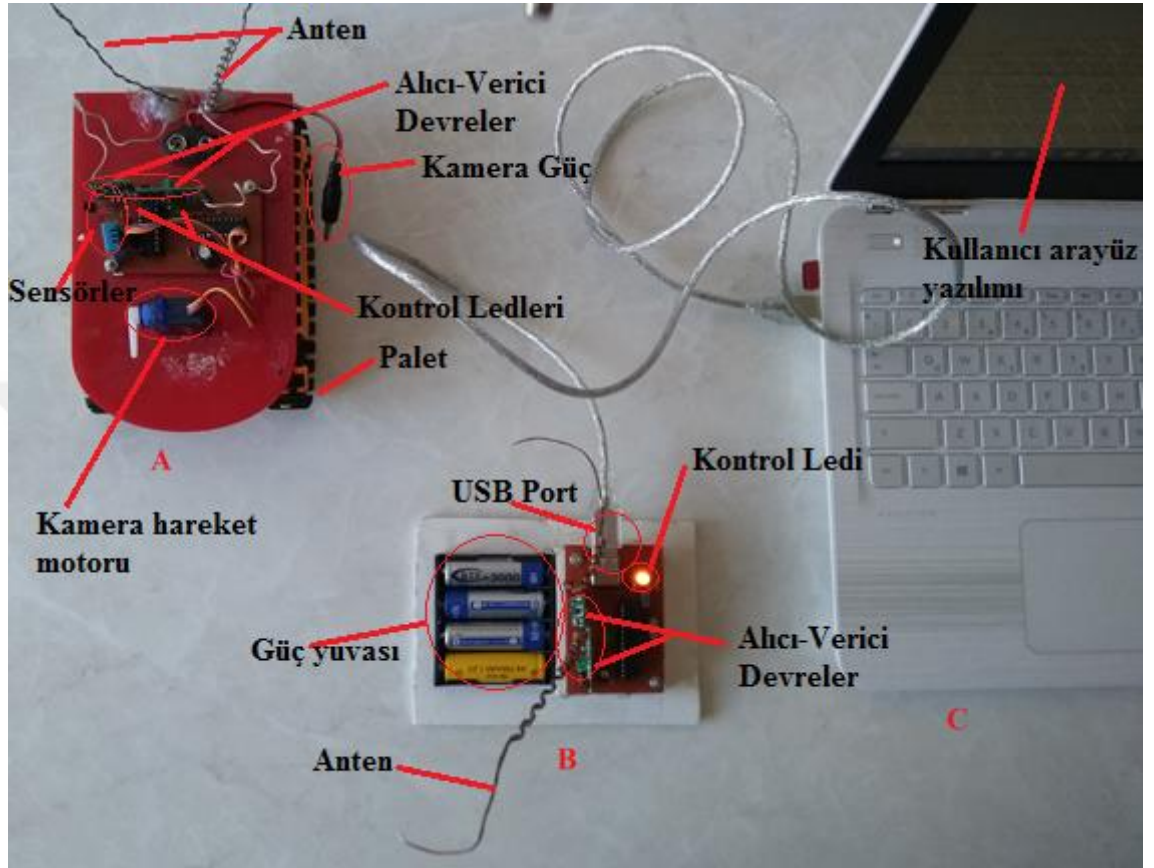
Şekil 3.5. PIC programlayıcı kart

Kablosuz iletişim kartı ve ana modül kontrol kartında bulunan mikrodenetleyicilere “hex” kodunun yüklenmesi için birçok program vardır. Bu çalışmada “MicroPro” ücretsiz yazılımı kullanılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. MikroPro Mikrodenetleyici hex yükleme yazılımı

3.1.5. Robotik sistemin yapısı

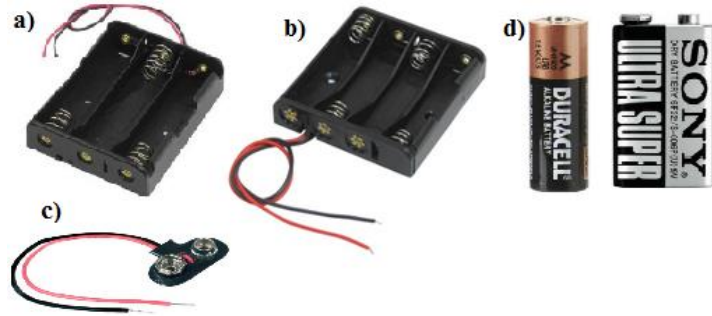


Şekil 3.7. Gerçekleştirilen robotik sistemin genel görünümü

*(A) Gezgini robot ana modül, (B) kablosuz iletişim modülü, (C) kullanıcı bilgisayarı

3.1.5.a. Güç kaynağı

Gezgini robotik sistemde üç adet güç birimine ihtiyaç duyulmuştur. Bunlar; robotun hareketini sağlayan motorlara, görüntü almada kullanılan kablosuz kameraya ve kablosuz iletişim kartına bağlanmıştır. Güç birimleri için sırası ile 3X1.5V AA pil, 1X9V pil, 4X1.5V AA pil kullanılmıştır. Kullanılan güç elemanları ve aparatları Şekil 3.8’de görülmektedir.



Şekil 3.8. Robotik sistemin güç elemanları ve aparatları

*(a,b)Üçlü, dördü pil yuvası, (c)9v pil yuvası, (d)1.5V ve 9V pil tipleri

3.1.5.b. Hareket motorları ve kamera motoru

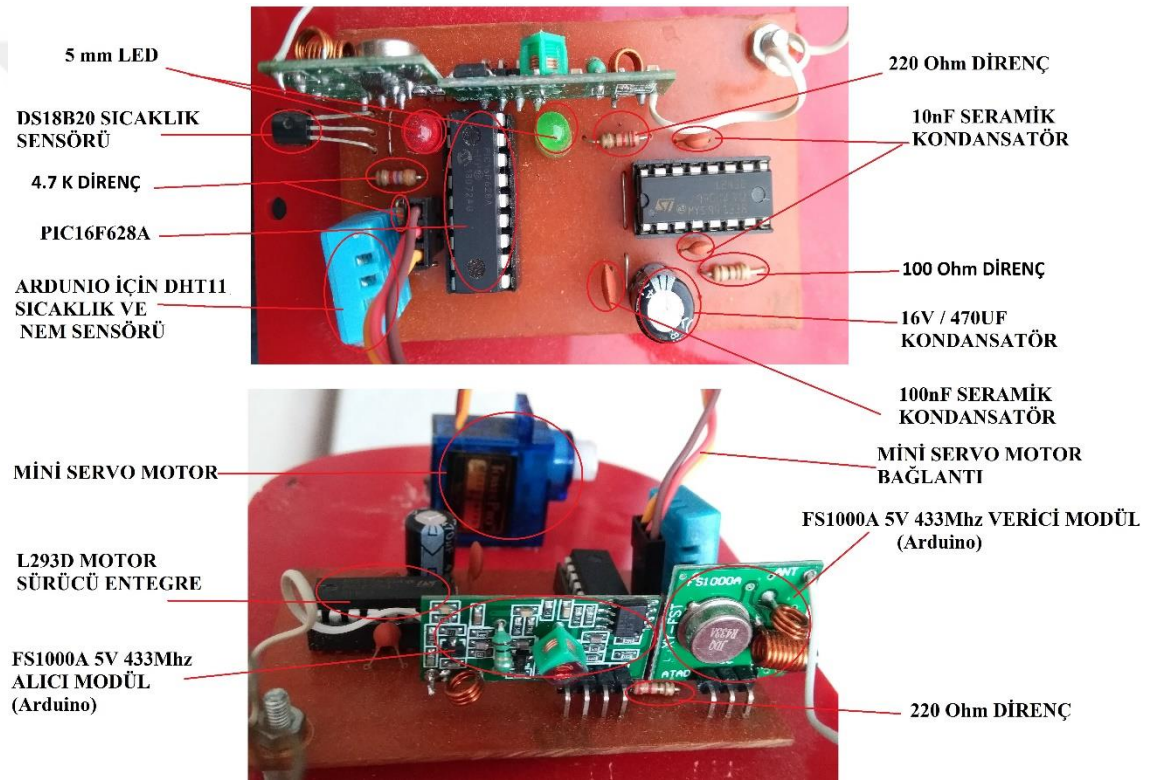
Robotik sistemin palet yapısına döndürme gücü vererek hareket etmesini sağlamak için 2 adet DC motor, kameranın geniş alan görüntüsü alabilmek için yukarı aşağı hareket etmesini sağlayan bir adet mini servo motor kullanılmıştır. Kullanılan motor çeşitleri ve teknik özellikleri Çizelge 3.2’de görülmektedir.

Çizelge 3.2. Robotik sistemde kullanılan motor çeşitleri ve teknik özellikleri

Motor Çeşidi	Motor Teknik Özelliği
	Redüktörsüz motor Çalışma aralığı 3-12 V Plastik dişli sistemi
	Dişli kutusu plastiktir Büyükölç: 23.1 x 12.2 x 29 mm Ağırlık: 9 g Hız 4.8V: 0.12 sn/60° Zorlanma Torku 6V: 1.3 kg Kablo Uzunluğu: 15 cm

3.1.5.c. Robotik sistem ana modül kontrol kartı

Ana modül kontrol kartı; ortamdan elde edilen görüntü, sıcaklık ve nem verilerinin alınarak kablosuz iletişim kartına aktarılması ve iletişim kartından gelen kullanıcı tarafından iletilen kamera ve palet hareket komutlarının yerine getirilmesi amacıyla oluşturulmuştur. Robotik sistem ana modül kontrol kartını oluşturan devre elemanları Şekilde 3.9’da görülmektedir.



Şekil 3.9. Robotik sistem ana modül kontrol kartı

Kontrol kartında kullanılan bazı devre elemanlarının özellikleri şöyledir;

- PIC 16F628A mikrodenetleyicisi: 13 tanesi I/O (giriş/çıkış) portundan oluşan 18 pinli bir mikrodenetleyicidir. Clock girişlerine uygulanan sinyal kesilse de sahip olduğu flaş bellek sayesinde registerleri içindeki veri saklandığından clock sinyali yeniden verildiği

zaman program kaldığı yerden çalışmaya devam edebilmektedir. 4MHz dâhili osilatör ve 128 bayt EEPROM veri belleğine sahiptir.

-L293D motor sürücü entegresi: İki motoru birbirinden bağımsız olarak çift yönlü kontrol edilebilmeye olanak sağladığından genellikle DC motor kontrolünde kullanılan entegre 4.5 V ile 36 V aralığında maksimum 600 mA akım sınırına kadar kullanılabilir.

- FS1000A Arduino alıcı-verici modül: 433 MHz de, birbirleri ile kablosuz olarak haberleşip bilgi gönderilmesini sağlamaktadır. Düşük maliyeti ve kolay kullanımı sayesinde birçok kablosuz haberleşme projelerinde tercih edilmektedir. Teknik özellikleri;

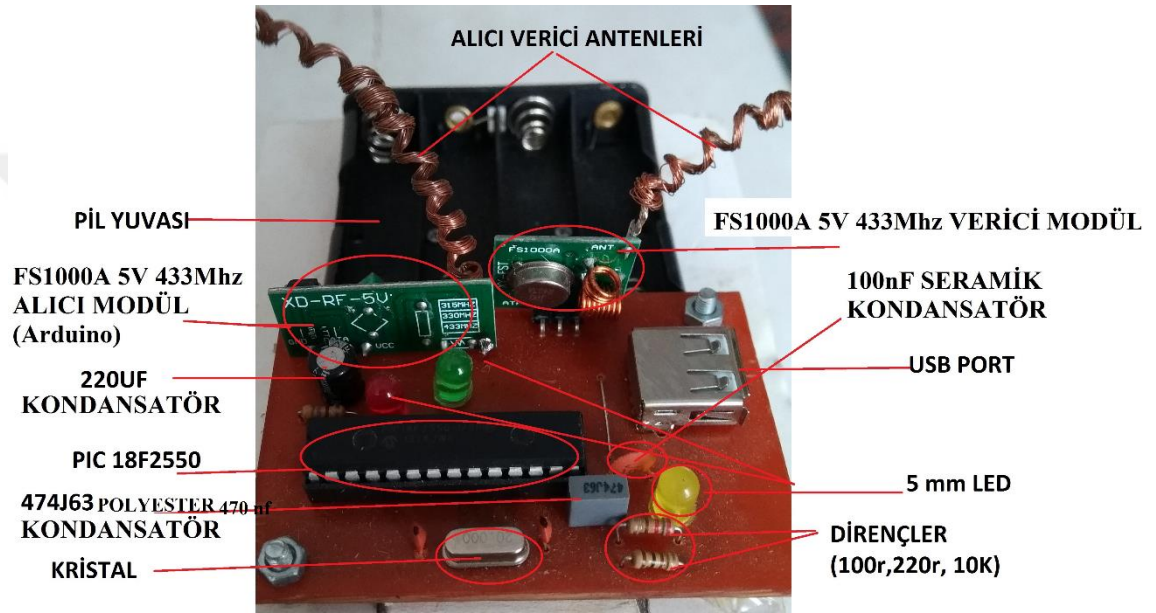
- Çalışma gerilimi: DC5V
- Çalışma akımı: 4mA
- RF Hassaslık: -103dBm
- Modülasyon metodu: Genlik modülasyonu (ASK or OOK)
- Çalışma sıcaklığı: -20°C ~ +70°C
- Boyutlar: 30×12×7mm
- Açık havada 150 metreye kadar bir menzile sahiptir

- DHT11 sıcaklık ve nem sensör: Sıcaklık ve nem algılayıcı kalibre edilmiş yüksek güvenilirlikte ve uzun dönem çalışmalarda dengeli yapıya sahiptir. Hata payı; sıcaklık 0-50°C arasında 2°C, nem %20-90 RH arasında %5 RH hata payına sahiptir.

-DS18B20 sıcaklık sensörü: Yüksek hassasiyetli, 1-Wire haberleşme protokolü kullanan dijital termometre sensörüdür. Özellikle Raspberry Pi ve ADC (analog-to-digital converter) içermeyen mikrodenetleyiciler de sıklıkla tercih edilmektedir.

3.1.5.d. Robotik sistem kablosuz iletişim kartı

Robotik sistemden gelen verileri kullanıcı ara yüz yazılımına, kullanıcıdan gelen verileri de robotik sisteme aktarmak amacıyla oluşturulmuştur. Robotik sistem kablosuz iletişim kartını oluşturan devre elemanları Şekil 3.10’da görülmektedir.



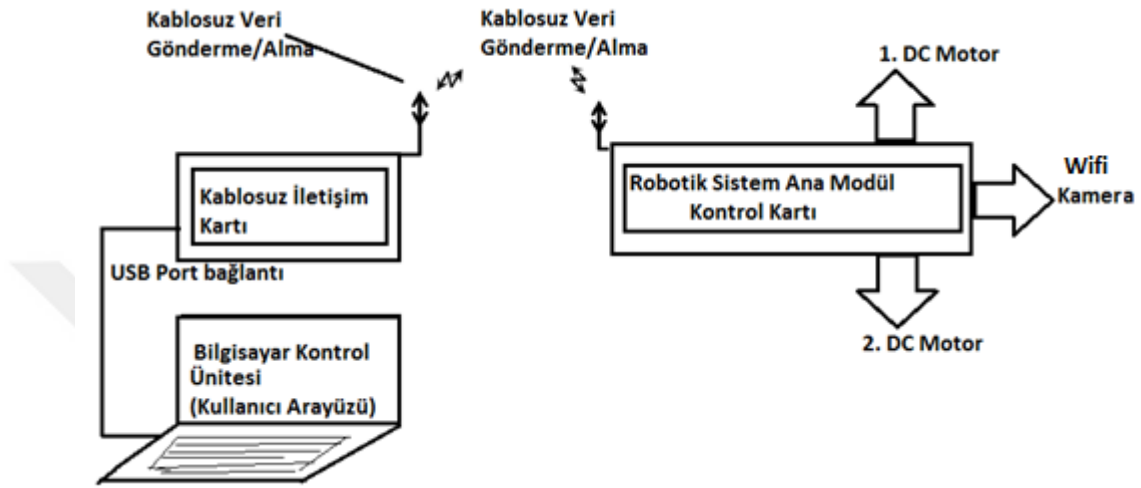
Şekil 3.10. Robotik sistem kablosuz iletişim kartı

3.2. Yöntem

3.2.1. Gezgin robotik sistemin çalışma yapısı ve akış diyagramı

Robotik sistemin çalışmasında, kullanıcı tarafından bilgisayarda bulunan ara yüz yazılımı ile gönderilen veriler, USB portu ile PC ye bağlı kablosuz iletişim kartına RF sinyali ile gönderilerek gezgin robotta yerine getirilmesi için aktarılır. Ters yönde gezgin robottan gönderilen veriler kablosuz iletişim kartına RF sinyalleri olarak aktarılır ve kullanıcı ara yüzünde gösterilerek bilgi elde edilmiş olunur. Robotik sistemin bilgisayar kontrollü yazılımı “Microsoft Visual Studio 2013 Windows Forms Application” ortamında “C#” programlama dili kullanılmıştır. Robotik sistemin

elektronik devre tasarım ve baskı devre çizimleri “Proteus 8 Professional” ortamında ISIS (Şekil 3.14 ve Şekil 3.15) ve ARES arayüzlerinde gerçekleştirilmiştir. Robotik sistemin genel çalışma blok yapısı Şekil 3.11’de gösterilmiştir.

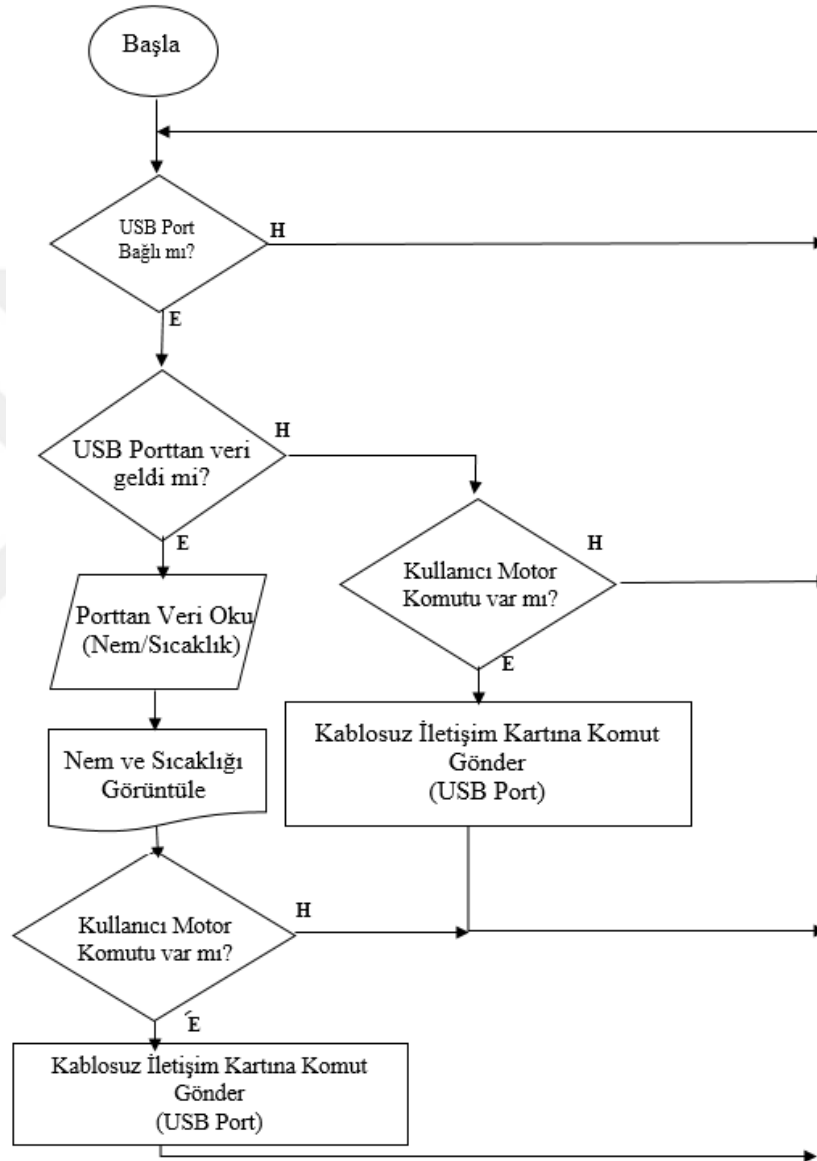


Şekil 3.11. Robotik sistemin genel çalışma blok yapısı

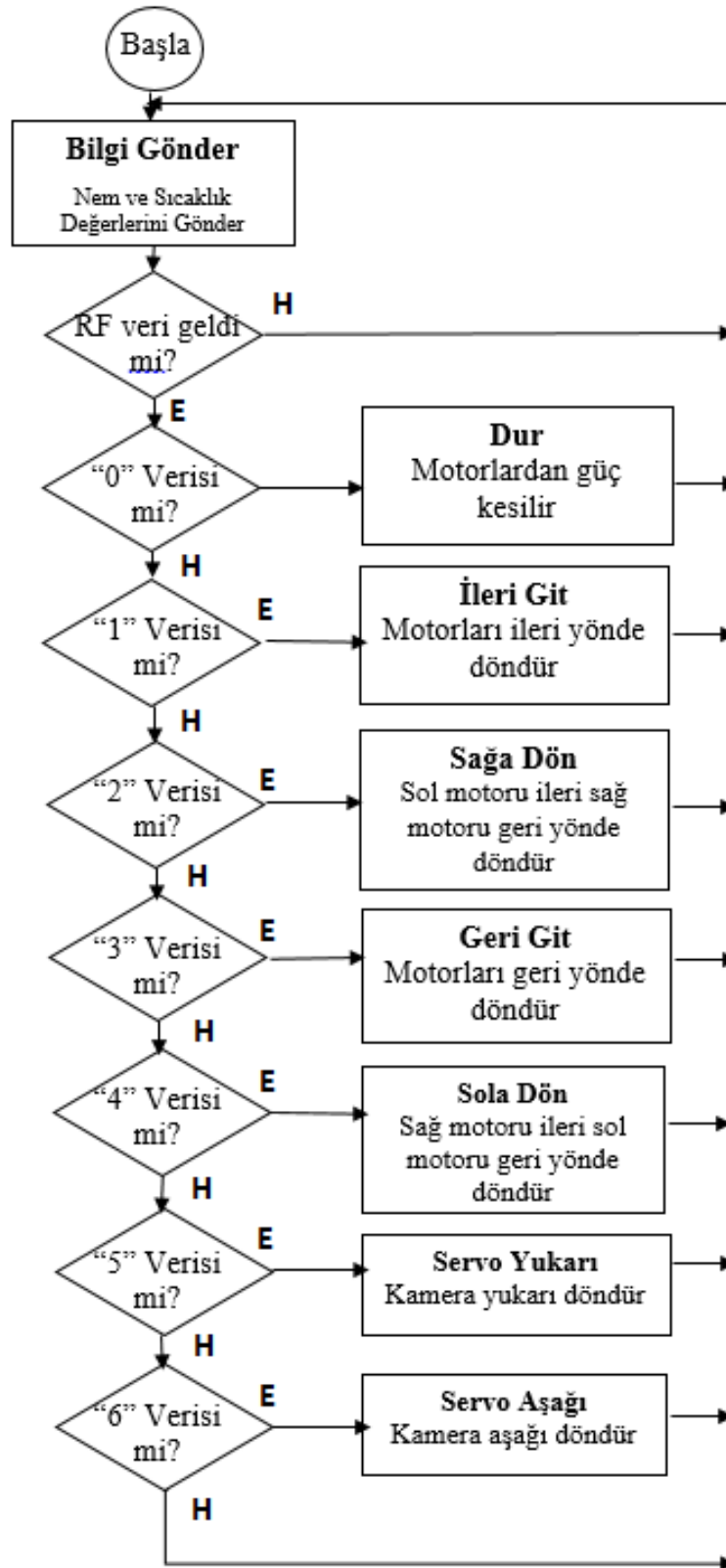
Robotun yazılımsal olarak algoritma tasarım çalışma mantığı, sonsuz döngü ile başlamaktadır. Bu sonsuz döngü ile devamlı RF veri gönderme-dinleme (alma) işlemi yapılır ve gelen sinyallere göre motorlar kontrol edilir.

Ana kontrol kartına gelen veri eğer “1” ise motorlar ileri yönde döndürülerek robotun ileri gitmesi sağlanır. Aynı şekilde gelen veri eğer “2” ise sağ yönde, “3” ise geri, “4” ise de robot sola doğru hareketlendirilir. Robotik sistemin durması isteniyorsa motorlara “0” değeri gönderilerek motorlara güç verilmemektedir. Gelen veri “5” ise servo motor uygun kare dalga sinyalleri ile sürülerek üst limite gelmediği sürece yaklaşık 15 derece yukarı döndürülür, “6” verisi geldiğinde ise yine alt limit kontrol edilerek yaklaşık 15 derece aşağıya döndürülür. Sıcaklık ve nem bilgisi, sensörler ile okunarak bilgisayara bağlı olan alıcı devreye gönderilir. RF veri geldiğinde bilgisayar kontrol ünitesindeki kullanıcı ara yüz yazılımı porttan gelen verileri alarak ekranda gösterilir. Ortamdan gelen Wi-Fi kamera görüntü verileri bilgisayar kontrol ünitesinde işlenerek ürün hakkında bilgi elde edilmesi sağlanır.

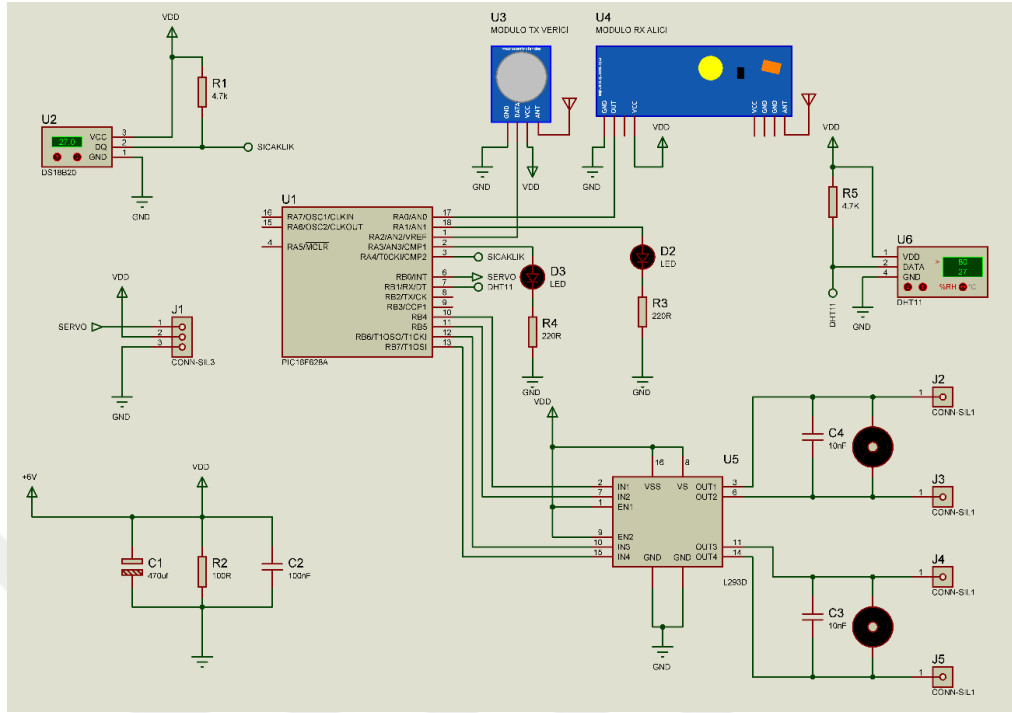
Robotik sistemde motor hareketlerini sağlayan kullanıcı ara yüz yazılımı ile kablosuz iletişim kartı arasındaki veri gönderme-alma ve gezgin robot ana modül kontrol kartının çalışma akış diyagramı Şekil 3.12’de ve Şekil 3.13’de görülmektedir.



Şekil 3.12. Kullanıcı ara yüz yazılımı ile kablosuz iletişim kartı arasındaki veri gönderme-alma akış diyagramı

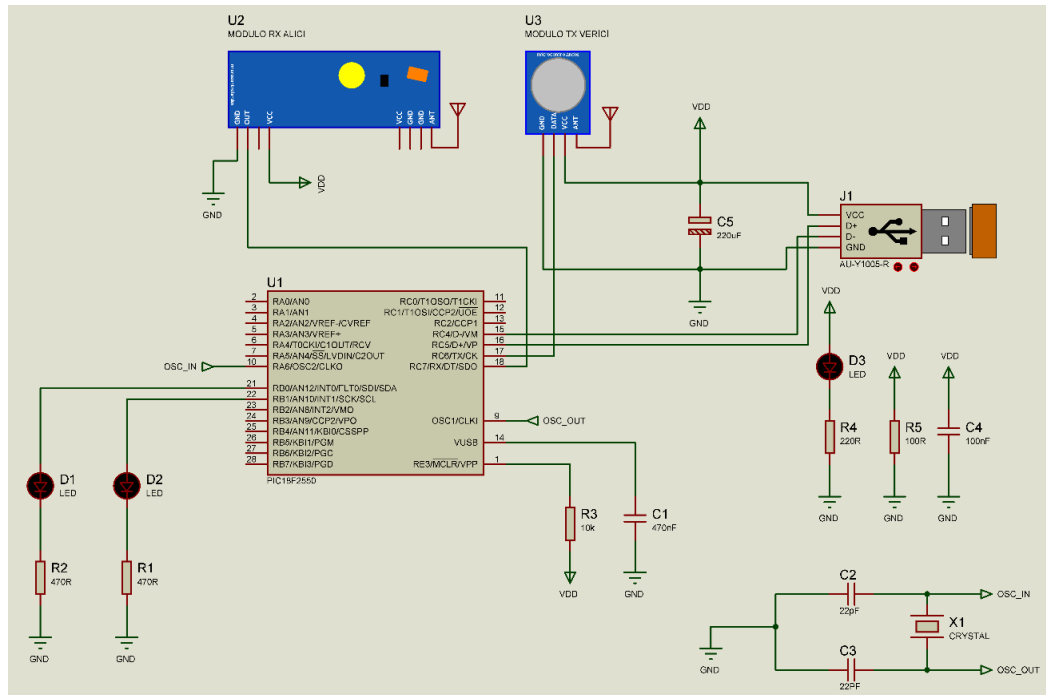


Şekil 3.13. Gezgin robot ana modül kontrol kartının çalışma akış diyagramı



Şekil 3.14. Gezein robot tarafı ana modülü oluşturulan devre kartının ISIS devre tasarımı örneği

*sıcaklık ve nem algılayıcı, motor hareketleri, veri alma gönderme

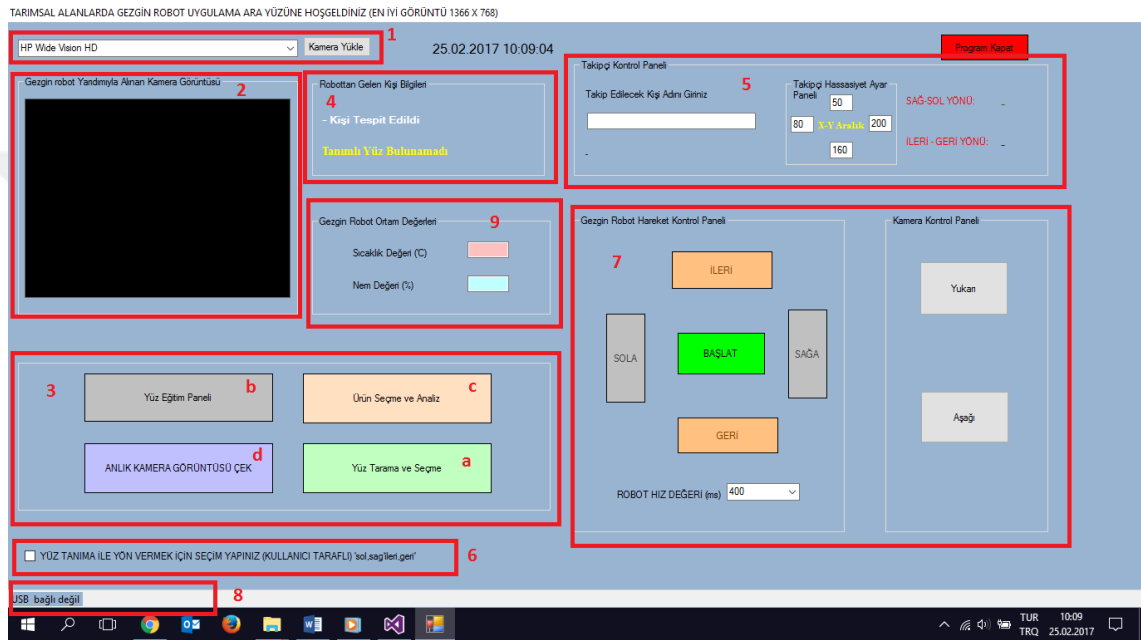


Şekil 3.15. Kullanıcı tarafı iletişimi sağlayan devre kartının ISIS devre tasarımı örneği

*USB-Bilgisayar bağlantısı ve RF veri alma-gönderme

3.2.2. Kullanıcı yazılım arayüz tasarımı

Gezgin robotik sistemin kullanıcı tarafından kontrolleri, ortam ve ürün bilgilerinin gösterildiği arayüz tasarımı Şekil 3.16’da gösterilmiştir. Arayüz yazılımı en iyi 1366 x768 çözünürlükte gözükmetedir.



Şekil 3.16. Gezgin robotik sistemin kullanıcı tarafından kontrolleri, ortam ve ürün bilgilerinin gösterildiği arayüz tasarımı

Şekil 3.16’da 1 numaralı alan, bilgisayara bağlı olan kameralar listelenir ve kamera kontrolü yapılarak istenilen cihaz tercih edilir. 2 numaralı alan, aktif kamera görüntüsü alınır. 3 numaralı alan, “a- Yüz Tanıma ve Seçme” aktif kameradan gelen görüntü üzerinde yüz tespit edilir ve eğer eğitim yapılmış yüz varsa ismi yazılır. “b- Yüz Eğitim Paneli” ile kameradan gelen görüntüden tespit edilen yüzler eğitime katılır yüz ile isim eşleştirilmesi yapılır. “c- Ürün Seçme ve Analiz” ile ürün renkleri, sınırları belirlenerek dış ortamdan ayrılır ardından belirlenmiş ürün fiziki ölçüler, ortam sıcaklık ve nem bilgileri ile veri girişi yapılarak grafik oluşturulur. “d- Anlık Kamera Görüntüsü Çek” kameradan gelen görüntülerden anlık görüntü alınarak kullanıcı tarafından belirlenen dosya isim ve uzantısında (resim türü) kayıt işlemi yapılarak arşivlenir. 4 numaralı alan,

aktif kamerada tespit edilen yüz bilgileri yer almaktadır. 5-6 numaralı alan, kullanıcı taraflı yüz tanıma işlemi ile robot hareketi ve sahada bulunan kişinin hareket bilgisine göre gezgin robotun hareketi ve ayarların yapılabildiği paneldir. 7 numaralı alanda robot hareket ve kamera pozisyon emirlerinin verildiği ve ayarlarının yapılabildiği paneldir. 8 numaralı alan, kablosuz iletişim kartı ile PC arasındaki USB bağlantının olup olmadığının kontrolünün yapıldığı durum çubuğudur. 9 numaralı alan, gezgin robot ortamından gelene sıcaklık ve nem verilerinin gösterildiği bilgi panelidir.

3.2.3. Görüntü işleme

Bu çalışma görüntü işleme bakımından iki teknik kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bunlar; ilki nesne tespit işlemi için renk tespit ve izleme (color tacking), ikincisi yüz tespit ve tanıma (face detection-recognition) işlemleridir. Renk tespit ve izleme görüntü işleme yöntemiyle meyvelerin yerlerinin tespiti ve kenar ölçüleri ile meyvelerin büyüklükleri kayıt altına alınması amaçlanmıştır. Yüz tespit ve tanıma işlemi ile de kullanıcı yüz hareketleri ile robotu hareket ettirilmesi ve istenildiğinde robot üzerinde bulunan kameradan alınan görüntü üzerindeki yüz ifadeleri işlenerek tanınmış kişi tarafından robotun hareket komutları otomatik olarak kişinin konumu doğrultusunda hareket ettirilmesi amaçlanmıştır. Kullanılan görüntü işleme yöntemleri iki başlıkta açıklanmıştır.

3.2.3.a. Meyve tespit işlemi

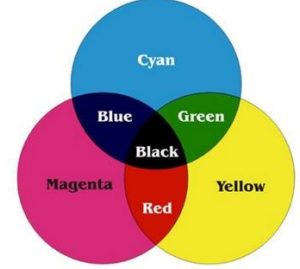
Işığın değişik dalga boylarının göz retinasına ulaşmasıyla oluşan algıya “renk” adı verilmektedir. Işığın maddeler üzerine çarparak kısmen soğrulup kısmen yansımaları nedeniyle göz retinasında oluşan algılamada çeşitlilik olmaktadır. Bu çeşitlilik renk tonu veya renk olarak adlandırılmaktadır. Doğadaki tüm renklerin kodları RGB renk uzayı olarak adlandırılan Red-Green-Blue üç temel rengin farklı oranlarda birleşmesiyle meydana gelmektedir. Monitör ve televizyonlarda yaygın kullanılan RGB renk uzayında ana üç rengin %100'lük oranda karışımlarından beyaz renk, %0'lık oranda karışımlarından ise siyah renk elde edilir. RGB renk uzayı haricinde basılı medyada

kullanılan CMYK renk uzayı bulunmaktadır. CMYK renk uzayı; cyan (açık mavi), magenta (fuşya pembesi), yellow (sarı), key (siyah) renk tonlarını ana renk olarak kullanmaktadır (Şekil 3.17.) (Kadakal 2017).

RGB: Red (Kırmızı), Green (Yeşil), Blue (Mavi)



CMYK: Cyan (Açık Mavi), Magenta (Fuşya Pembesi), Yellow (Sarı), Key (Siyah)



Şekil 3.17. RGB ve CMYK renk uzayları (Kadakal 2017)

Çalışmada, meyve tespit işleminde renk ayırt edici faktör kullanılarak renk tespiti ve takibi yönteminden faydalanılmıştır (Yalçın 2011;Şos 2016). C# programlama dili kullanılarak geliştirilen yazılımın form tasarımı arayüzü Şekil 3.18’de gösterilmiştir.

Şekil 3.18. Ürün analizi için tasarlanmış form arayüzü

Geliştirilen yazılımda renk tespit işlemi için “AForge kütüphanesi” kullanılmıştır. Kullanılan kütüphaneler Çizelge 3.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan AForge kütüphaneleri

<pre>using AForge; using AForge.Imaging.Filters; using AForge.Imaging; using AForge.Video; using AForge.Video.DirectShow; using AForge.Vision; using AForge.Vision.Motion;</pre>	■ ■ References ■ ■ AForge ■ ■ AForge.Controls ■ ■ AForge.Fuzzy ■ ■ AForge.Genetic ■ ■ AForge.Imaging ■ ■ AForge.Imaging.Formats ■ ■ AForge.Imaging.IPPrototyper ■ ■ AForge.MachineLearning ■ ■ AForge.Math ■ ■ AForge.Neuro ■ ■ AForge.Robotics.Lego ■ ■ AForge.Robotics.Surveyor ■ ■ AForge.Video ■ ■ AForge.Video.DirectShow ■ ■ AForge.Video.FFMPEG ■ ■ AForge.Video.Kinect ■ ■ AForge.Video.VFW ■ ■ AForge.Video.Ximea ■ ■ AForge.Vision
--	---

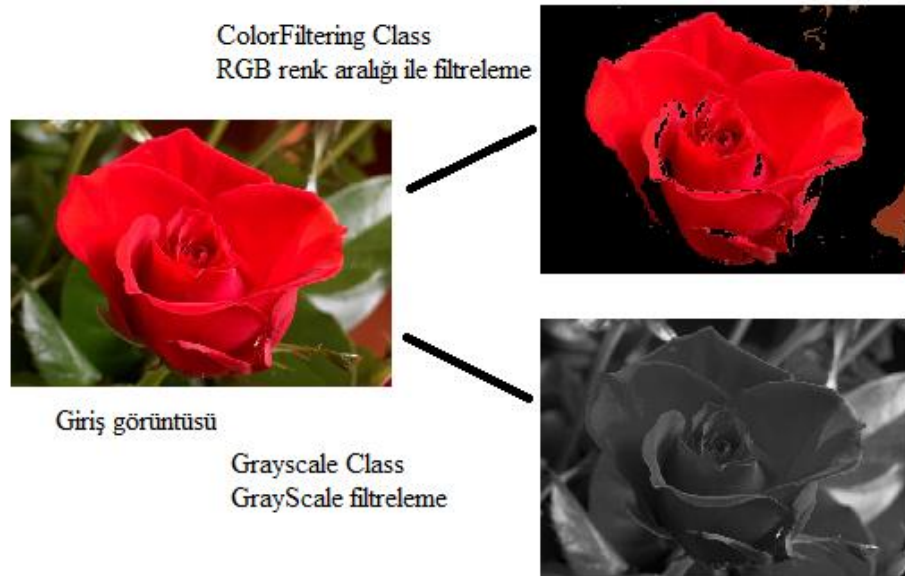
Geliştirilen yazılımda genel anlamda renk tespit işlemi şöyle çalışmaktadır: Bilgisayara tanıtılmış bağlı olan aktif kameralar listelenerek kamera seçimi yapılır. Seçim yapılan kameradan alınan görüntü “frame” leri “AForge.Imaging.Filters” kütüphanesinde renk filtrelemesi uygulanarak “PictureBox” nesnesi üzerinde çerçevesi çizilerek gösterimi gerçekleştirilmiştir. Kullanılan “ColorFiltering Class” sınıfı filtre işleme için 24 ve 32 bpp renkli görüntüleri kabul etmektedir. Nesne renk tespiti kod örnekleri ve açıklamaları Çizelge 3.4’de verilmiştir (Anonymous 2017c).

Çizelge 3.4. Nesne renk tespiti kod örnekleri ve açıklamaları (Anonymous 2017c)

Nesne Tespit İşlemi Kod Örnekleri	Açıklama
<pre>private VideoCaptureDevice FinalVideoSource; private FilterInfoCollection VideoCaptuerDevices; public static int urunSecim = 0; public static double urunWidth = 0, urunHeight = 0;</pre>	Tanımlamalar
<pre>FinalVideoSource = new VideoCaptureDevice(VideoCaptuerDevices[comboBox1.SelectedIndex].MonikerString); FinalVideoSource.NewFrame += new NewFrameEventHandler(FinalVideoSource_NewFrame); FinalVideoSource.DesiredFrameRate = 60; // Görüntü kalitesi FinalVideoSource.DesiredFrameSize = new Size(320, 240); // Görüntü büyüklüğü FinalVideoSource.Start();</pre>	Kamera aygıtı aktif edilir 60 FrameRate olarak ayarlanır. FrameSize 320*240 çözünürlükte ayarlanarak görüntü arayüze aktarılır.
<pre>Bitmap image = (Bitmap)eventArgs.Frame.Clone(); // PictureBox İçin Bitmap image1 = (Bitmap)eventArgs.Frame.Clone(); // Renk Tespiti için pictureBox1.Image = image;</pre>	Görüntü frame ler alınır ve pictureBox1 nesnesine atanır
<pre>case 1: //KIRMIZI RENK SEÇİMİ { //ColorFilter'in yapıldığı yer (KIRMIZI RENK) ColorFiltering filter = new ColorFiltering(); filter.Red = new IntRange(100, 255); filter.Green = new IntRange(0, 75); filter.Blue = new IntRange(0, 75); filter.ApplyInPlace(image1); //Görüntü üzerinde algılanan renk çerçeve için "cevresiniciz"e //gönderiliyor cevresiniciz(image1); break; }</pre>	Filtreleme işlemi: Filtre, belirtilen RGB renk aralığının içindeki / dışındaki pikselleri süzer - belirtilen aralığın içindeki / dışındaki renklerle piksel tutar ve kalanını belirtilen renk ile doldurur (Şekil 3.19.). Bu işlemin ardından çerçeve çizimi için gri tonlama yapılır.
<pre>Grayscale grayFilter = new Grayscale(0.2125, 0.7154, 0.0721); Bitmap grayImage = grayFilter.Apply(image);</pre>	"Grayscale Class" sınıfı görüntünün gri tonlaması: Temel sınıftır ve filtreleme için 24, 32, 48 ve 64 bpp renkli görüntüleri kabul eder, çıktı olarakta 8 veya 16 bpp gri tonlamalı görüntü üretir. Gri filtrenin ardından çerçeve çizilir (Şekil 3.19.).
<pre>blobCounter.ProcessImage(grayImage); Rectangle[] rects = blobCounter.GetObjectsRectangles(); foreach (Rectangle recs in rects) { if (rects.Length > 0) { Rectangle objectRect = rects[0]; //Graphics g = Graphics.FromImage(image); Graphics g = pictureBox1.CreateGraphics(); using (Pen pen = new Pen(Color.FromArgb(255, 3, 26), 2)) { g.DrawRectangle(pen, objectRect); } }</pre>	Gri filtresi yapılmış görüntü, blobCounter.ProcessImage(grayImage) ile çağrılır ve "blobCounter.GetObjectsRectangles()" metodu ile nesnelerin dikdörtgen dizini geri döndürülür. Bu işlemin ardından "DrawRectangle" ile pictureBox üzerinde dikdörtgen istenilen Pen özelliğine göre çizimi yapılır

Çizelge 3.4. (devam)

<pre> //Cizdirilen Dikdörtgenin Koordinatları alınıyor. urunWidth = Math.Round((objectRect.Width) * (0.0264583)*4, 2); urunHeight = Math.Round((objectRect.Height) * (0.0264583)*4,2); int objectX = objectRect.X; int objectY = objectRect.Y; int orjinX = objectRect.X + objectRect.Width / 2; int orjinY = objectRect.Y + objectRect.Height / 2; g.DrawString(objectX.ToString() + "X" + objectY.ToString(), new Font("Arial", 8), Brushes.White, new System.Drawing.Point(10, 10)); g.DrawString("ÜRÜN GENİŞLİĞİ : " + urunWidth.ToString() + "cm", new Font("Arial", 8), Brushes.White, new System.Drawing.Point(10, 30)); g.DrawString("ÜRÜN YÜKSEKLİĞİ : " + urunHeight.ToString() + "cm", new Font("Arial", 8), Brushes.White, new System.Drawing.Point(10, 50)); g.DrawString("TAHMİNİ KESİT ALANI : " + urunHeight * urunWidth + "cm2", new Font("Arial", 8), Brushes.White, new System.Drawing.Point(10,70)); Bitmap b = new Bitmap(pictureBox1.Image); Color color = b.GetPixel(orjinX,orjinY); int k = color.R; // kırmızı bileşeni int yl = color.G; // yeşil bileşeni int m = color.B; // mavi bileşeni g.DrawString("RGB:" + k + "," + yl + "," + m, new Font("Arial", 8), Brushes.White, new System.Drawing.Point(orjinX, orjinY)); g.Dispose(); </pre>	“objectRect” nesnesinden koordinat bilgileri alınıyor, yaklaşık hesap ile piksel-cm dönüşümü yapılıyor. Bu işlemin ardından kullanıcı için gerekli olan bilgiler (konum, en, boy ve RGB tonu) ekrana aktarılır.
---	--



Şekil 3.19. ColorFiltering ve Grayscale Filtreleri

3.2.3.b. Yüz tanıma işlemi

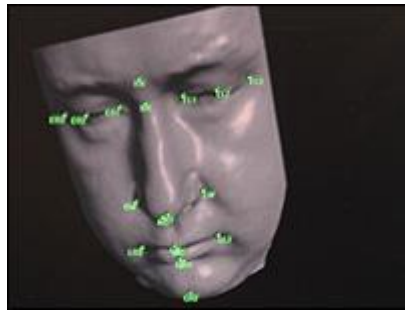
Yüz tanıma, birçok alanda bilim insanları tarafından çalışmaların yapıldığı görüntü işleme çeşitlerinden bir tanesidir. Mekatronik, robotik, bilgisayar bilimleri vb. alanlarda yüz tanıma çalışmalarıyla sıkça karşılaşılmaktadır. Dijital formatta elde edilen görüntülerden güvenilir sonuçlar elde etmek için hızlı şekilde farklı yöntemler kullanılarak piksel piksel işlenerek sonuçlar elde edilir. Kullanılan algoritmaların, fonksiyonların ve işlem adımlarının yoğun hesaplama gücünden dolayı modern donanımlara ayrıca ihtiyaç duyduğu tespit edilmiştir.

Bazı yüz tanıma algoritmaları, yüz görüntüsü üzerinde yer işaretleri veya özellikler çıkararak yüzleri tanımlama işlemi gerçekleştirirler. Örneğin, kullanılan algoritma mimarisine göre gözler, burun, elmacık kemiği ve çenenin göreceli konumu, boyutu ve/veya şeklini gibi biyometrik analiz ederek yüz tespiti yapılır ve istenirse daha sonra eşleşen özelliklere sahip diğer resimleri tarama için kullanılır. Diğer yüz tanıma algoritmaları, bir yüz resim galerisini normalleştirir ve yüz verilerini sıkıştırır, yalnızca verileri yüz algılama için yararlı olan görüntüyü kaydeder ve görüntü daha sonra yüz verileri ile karşılaştırır. En başarılı algoritmalarından biri şablon eşleme tekniklerine dayanmaktadır. Burada amaç bir dizi sıkıştırılmış yüz ifadesi (Şekil 3.20) sağlayarak belirgin yüz özelliklerine uygulanmasıdır. Geometrik veya fotometrik ayırt edici özelliğe göre iki ana yaklaşım olarak yüz tanıma algoritmaları incelenebilir; bunlar, istatistiksel bir yaklaşım olan varyasyonları ortadan kaldırmak için şablonlarla karşılaştıran ve görüntüyü değerlere damıttıran yaklaşımlardır. Özgün yüz ile temel bileşen analizi, doğrusal ayırt etme analizi, elastik yığın grafiği eşleştirme balık yüzü, gizli markov modeli ve nöronal motive dinamik bağlantı eşleştirme algoritmaları popüler yüz tanıma algoritmalarıdır (Anonymous 2017a).



Şekil 3.20. Bir dizi sıkıştırılmış yüz ifadesi (Emami 2010)

Üç boyutlu yüz tanıma yöntemi, daha önce görülmemiş doğruluklara ulaşıldığı iddia edilen yeni ortaya çıkan bir eğilimdir. Üç boyutlu sensörler kullanılarak bir yüzün şekli hakkında veri toplanır ve bu verilerden daha sonra yüzün yüzeyindeki ayırt edici özellikleri tanımlamak için kullanılan göz yuvaları, burun ve çene konturu gibi bilgiler elde edilir (Şekil 3.21). Aydınlatma değişikliklerinden etkilenmediğinden 3D yüz tanıma rahatlıkla çeşitli açılardan bir yüzü tanımlayabilmektedir (Bailey 2006).



Şekil 3.21. Üç boyutlu (3D) yüz tanıma (Bailey 2006)

Diğer tanıma yöntemlerinden biride cilt dokusu analizi tekniğidir. Bu teknikte standart dijital veya taranmış görüntülerde çekilen cildin görsel ayrıntılarını kullanarak bir kişinin derisinde bulunan benzersiz çizgileri, desenleri ve lekeleri matematiksel bir uzaya çevirir. Yapılan çalışma testlerinde yüz tanıma işlemlerinde cilt dokusu analizi

eklenmesiyle performansın yüzde 20 ila 25 artırabileceğini göstermiştir. Bu sebeple genellikle güvenlik sistemlerinde tercih edilir(Anonymous 2017a).

Çalışmada gerçek zamanlı çoklu yüz tespit ve tanıma işleminde C#.Net ortamında “EmguCV” kütüphanelerinden faydalanarak “haar cascade” yöntemi kullanılmıştır (Rojas 2015). Eğitimlerde kullanılması için “haarcascade_frontalface_default.xml” eğitim dosyası kullanılarak görüntü işleme gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, kamera aygıtından gerçek zamanlı görüntü üzerinde yüzler tespit edilir, eğer yüz sisteme kayıt edilecekse çalışma dizininde oluşturulmuş “Eğitim” klasörü içerisine bitmap (.bmp) olarak kayıt edilir, yüze sıra değeri verilerek ve “EğitimListem” metin dosyasına sıra değeri ve resmin adı kayıt edilir. Kayıt edilen yüzleri karşılaştırma için OpenCV algoritmalarından (Eigenfaces, Fisherfaces, Local Binary Patterns Histograms-LBPH) Eigenfaces algoritması eğitim yöntemi olarak kullanılmıştır. Eğitim için en az iki adet görüntüye ihtiyaç vardır ve eğitim için kullanılacak her resmin genişliği ve yüksekliği aynı boyutta olmalıdır. Algoritmalar gri renk uzayında çalışmaktadırlar ve gri renk uzayına sahip görüntüler RGB görüntülere göre daha hızlı işlendiğinden dolayı “VideoCapture” ile alınan frame gri renk uzayına çevrilmektedir (*gray=currentFrame.Convert<Gray , Byte>()*). Eğitim sonrası tespit edilerek elde edilen yüzler, eğitilmiş algoritma aracılığıyla karşılaştırılır ve eşleşen kayıt var ise tanıma işlemi yapılarak görüntü üzerine isim etiketi basılmaktadır (Pişkin 2016c). Çalışmada genel anlamda yüz tanıma işlemi ile ilgili işlemler şöyle gerçekleşmektedir: Kameradan alınan gerçek zamanlı görüntüler üzerinde yüz tespit işlemi yapılır. Ardından yüz etrafında kesit belirlenir ve kullanıcıya ekranda kaç adet yüz tespit edildiği bildirilerek çerçeveleme işlemi yapılır. Eğer daha önce yüz eğitim işlemi yapılarak oluşturulmuş yüz örnekleri var ise gerçek zamanlı yüz tespit işleminde daha önce oluşturulmuş yüz örnekleri teker teker eşleştirilerek kişi ismi ekranda gösterilir böylece yüz tanıma işlemi sonuçlandırılmış olunur. Çizelge 3.5’de işlem aşamaları açıklamaları ile birlikte gösterilmiştir.

Robotik sistemde yüz tanıma işlemi için gerekli olan değişkenler aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (Çizelge 3.6).

Çizelge 3.6. Tüm değişkenlerin, vektörlerin ve Haar Cascade lerin tanımı

```
//Tüm değişkenler, vektörler ve haarcascade lerin tanımı
public static Image<Bgr, Byte> currentFrame;
public static Capture grabber;
public static HaarCascade face;
public static MCvFont font = new MCvFont(FONT.CV_FONT_HERSHEY_TRIPLEX, 0.5d, 0.5d);
public static Image<Gray, byte> result, TrainedFace = null;
public static Image<Gray, byte> gray = null;
public static List<Image<Gray, byte>> trainingImages = new List<Image<Gray, byte>>();
public static List<string> labels = new List<string>();
public static List<string> NamePersons = new List<string>();
public static int ContTrain, NumLabels, t;
public static string name, names = null;
public static int kontrol=0,durBasla=0;
private static string name_rotate;
public static string urunSicaklik=" C", urunNem=" %";
private bool captureInProgressSt = false; // capture çalışıyor mu ?
```

Bu işlemin ardından “frmAna.cs” içerisinde yüz tespit işlemi için “haar cascade” leri yüklenir. Daha sonra önceden eğitilmiş yüzlerin ve etiketlerin daha önce depolanmış (kümeleştirilmiş) her resim için yüklenmesi sağlanır (Çizelge 3.7). Eğer daha önceden eğitilmiş yüz kümesi yok ise kullanıcıya uyarı mesajı verilir.

Çizelge 3.7. Haar cascade ler ve eğitilmiş yüz kümesi yüklenir

```
//yüz tanımlayıcı Haar Cascade ler yükleniyor
face = new HaarCascade("haarcascade_frontalface_default.xml");
try
{
//Her bir görüntü resmi için önceden eğitilmiş yüz ve etiketler yükleniyor
string Labelsinfo = File.ReadAllText(Application.StartupPath + "/Egitim/EgitimListem.txt");
string[] Labels = Labelsinfo.Split('%');
NumLabels = Convert.ToInt16(Labels[0]); ContTrain = NumLabels;
string LoadFaces;
for (int tf = 1; tf < NumLabels+1; tf++)
{
LoadFaces = "yuz" + tf + ".bmp";
trainingImages.Add(new Image<Gray, byte>(Application.StartupPath + "/Egitim/" + LoadFaces));
labels.Add(Labels[tf]);
}
}
catch(Exception e)
{
MessageBox.Show("Eğitilmiş Yüz Bulunamadı,Kişi ekleme butonundan eğitim yapabilirsiniz.",
"Eğitilmiş Yüz Yükleme", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Exclamation);
}
}
```

İlk değer atamaları ve eğitilmiş yüz kontrolü yapıldıktan sonra kamera aygıtını aktif etmek ve görüntü almak için buton nesnesine basılarak kamera açılır ve görüntü alımına başlanır (Çizelge 3.8).

Çizelge 3.8. Kameranin aktif edilmesi ve görüntü alınması

```
//kamera açılıyor
int kamera = Convert.ToInt32(comboBox1.SelectedIndex);
grabber = new Capture(kamera);
grabber.QueryFrame();
//FrameGrabber olayı aktif ediliyor
Application.Idle += new EventHandler(FrameGrabber);
if (captureInProgressSt)
{
    //kamera frame alıyorsa durdur ve butonu
    // devam etmek için "Basla" yap
    Application.Restart();
    button1.Text = "Yüz Tarama ve Seçme Başlat!";
}
else
{
    //kamera frame almıyorsa işlemi başlat ve butonu
    // durdurmak için "Dur" yap
    button1.Text = "Yüz Tarama ve Seçme Durdur!";
}

captureInProgressSt = !captureInProgressSt;
```

Tespit ve tanımlama için “FrameGrabber” metodunda “DetectHaarCascade” ve “EigenObjectRecognizer” olmak üzere iki yöntem kullanılmaktadır (Çizelge 3.9).

Çizelge 3.9. DetectHaarCascade ve EigenObjectRecognizer

```
//Yüz tespit işlemi
MCvAvgComp[][] facesDetected = gray.DetectHaarCascade(face, 1.2, 10,
Emgu.CV.CvEnum.HAAR_DETECTION_TYPE.DO_CANNY_PRUNING, new Size(20, 20));

//Yüz tanıma işlemi
EigenObjectRecognizer recognizer = new EigenObjectRecognizer(
    trainingImages.ToArray(),
    labels.ToArray(),
    3000,
    ref termCrit);

name = recognizer.Recognize(result);
name_rotate = name;
```

Robotik sistemin hareket sistemi yüz tanıma işlemi kullanılarak iki şekilde hareket gerçekleştirilmektedir. Bunlar:

- Kullanıcı taraflı yüz tanıma ile hareket işleminde, kullanıcı tarafında bilgisayar kamerasında yüz hareketlerine göre eğitim yapılarak yön isimleri verilir. Bu işlemin ardından yön isimlerine (“sol”, “sağ”, “ileri”, “geri”) eşleştirilmiş yüz ifadesi tanındığında robot motorlarına o yönde komut gönderilerek hareket sağlanmıştır (Şekil 3.22).

☐ YÜZ TANIMA İLE YÖN VERMEK İÇİN SEÇİM YAPINIZ (KULLANICI TARAFLI) 'sol,sag'ileri,geri'

Şekil 3.22. Kullanıcı taraflı yüz tanıma ile yön hareketi

- Robot kamerasından alınan yüz tanımlamasına göre hareket ise, gerçek zamanlı alınan görüntüden daha önce tanımlanmış kişilerin tanımlanması yapılır ve takip edilecek kişinin ismi yazılır, ardından ekran üzerinde X-Y aralıkları (görüntü çözünürlüğü) belirlenerek yüzün bulunduğu konuma göre alan sınırlaması yapılır (Şekil 3.23). Bu işlemin ardından takip edilecek kişinin X-Y sınır limitlerinde (görüntü çözünürlüğü) yapmış olduğu ihlal neticesinde robotik sistem “sağ-sol ve ileri-geri” hareket emirlerini yerine getirmeye çalışır.

Takipçi Kontrol Paneli

Takip Edilecek Kişi Adını Giriniz

Takipçi Hassasiyet Ayar Paneli

50

80 X-Y Aralık 200

160

SAĞ-SOL YÖNÜ: -

İLERİ - GERİ YÖNÜ: -

Şekil 3.23. Robot kamerasından alınan yüz tanımlamasına göre hareket

3.2.4. Kablosuz ısı ve nem ölçümü

Genel anlamda gezgin robotik sistem ana modül kontrol kartı üzerinde bulunan iki hassas sensör ile alınan ortam sıcaklık ve nem verileri ana kontrol kartı ile kablosuz iletişim kartına RF sinyalleri olarak aktarılmaktadır. Ana modül kontrol kartı üzerinde DS18B20 ısı sıcaklık sensörü ve DHT11 nem sensörü ile alınan veriler PIC16F628A mikrodenetleyicisine gönderilir ve bu veriler FS1000A 5V 433 Mhz vericisi tarafından kablosuz iletişim kartı alıcısına RF sinyalleri olarak gönderilir. Kablosuz iletişim kartına gelen RF veriler PIC18F2550 mikrodenetleyicisi tarafından USB porta gönderilir. USB portta bağlı PC, kullanıcı arayüz yazılımı portunu dinleyerek porttan gelen verileri ekrana basmaktadır.

Kablosuz iletişim kartına gelen sıcaklık ve nem bilgileri mikrodenetleyici tarafından USB porta gönderilir. “UsbLibrary” kütüphanesi ekli olan yazılım USB port kontrolü (Pto_USB) ile porttan gelen veriyi alarak tek boyutlu byte tipinde 9 elemanlı diziye (byte[] In_Data = new byte[9]) atama işlemi yapar. Dizinin birinci indisinde tutulan (In_Data[1]) veri sıcaklık değerini, ikinci indisinde tutulan (In_Data[2]) veri nem değerini oluşturmaktadır. Kullanıcı arayüz yazılımı tarafından USB porttan alınan verilerin ekranda gösterilme kod parçası örnekleri Çizelge 3.10’da gösterilmiştir

Çizelge 3.10. Sıcaklık ve nem değerlerinin ekranda gösterilmesi

```
private void usb_OnDataRecieved(object sender, DataRecievedEventArgs args)
```

**USB portun veri alma olayı, “args” parametresi ile sıcaklık ve nem verisi gelmektedir*

```
byte[] In_Data = new byte[9];
In_Data = args.data;
t_sic.Text = Convert.ToString(In_Data[1]);
t_nem.Text = Convert.ToString(In_Data[2]);
urunSicaklik = t_sic.Text+"C";
urunNem = t_nem.Text+"%";
```

**Dizi tanımlanıyor ve ardından gelen parametre diziye atanıyor. 1. ve 2. indisine veri olan dizinin 1. İndisi sıcaklık, 2. İndisli elemanı nem verilerini oluşturmaktadır.*

Kullanıcı yazılımında USB port ile iletişimin durumunu kontrol etmek amacıyla “StatusStrip” eklenerek USB nin bağlantı durumu “ToolStripStatusLabel” üzerinde kullanıcıya bilgi verilmektedir. Bu bilgiler şöyledir;

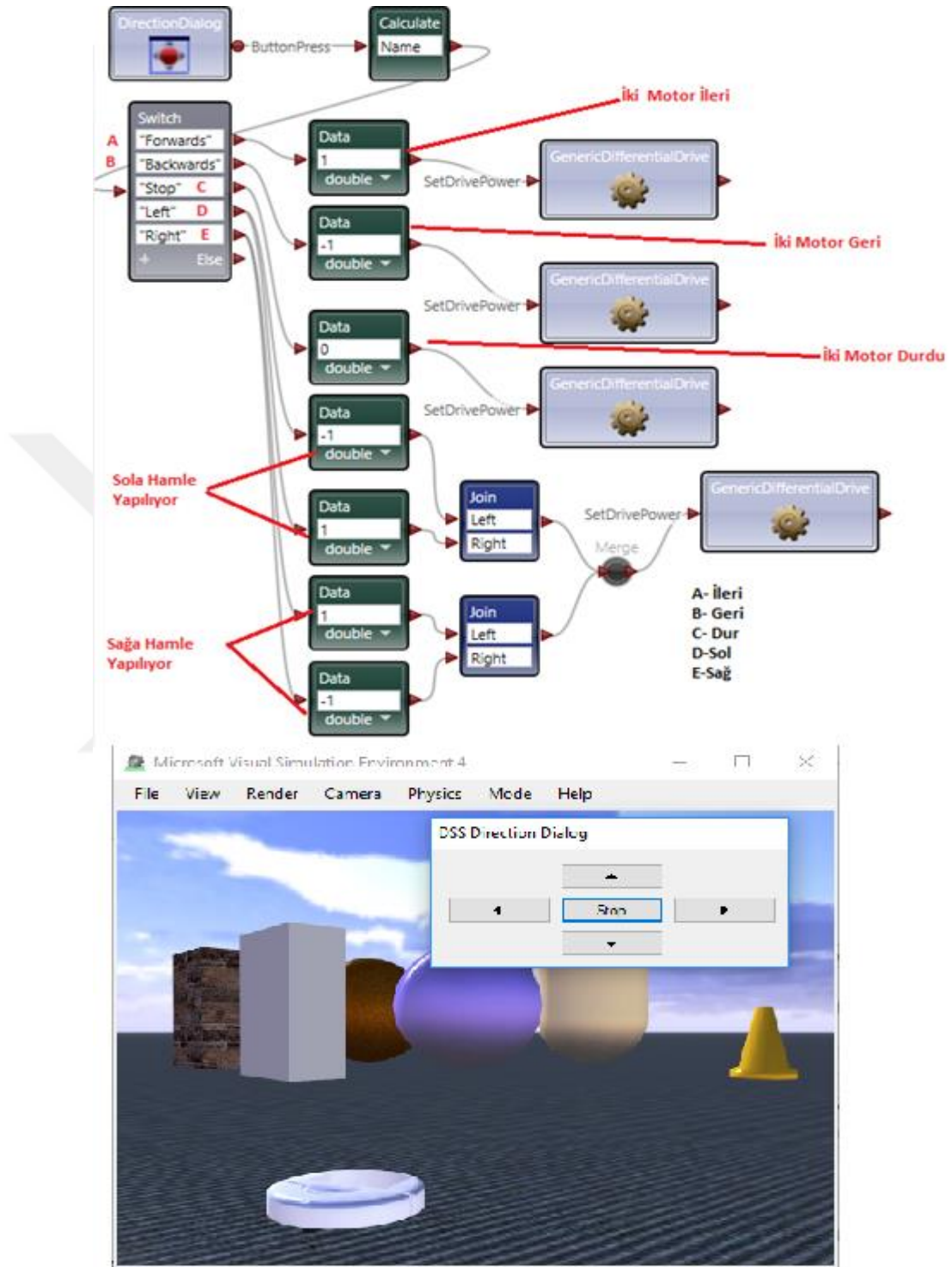
- USB Bağlı Değil ...!
- USB Bağlantısı Bulundu
- Bağlantı Sağlandı
- USB Bağlantısı Çıkarıldı
- Bilgi Gönderildi
- Bilgi Alındı

3.2.5. Gezgin robotik sistemin ve kameranın hareketi

Robotik sistem hareket mekanizması değişik ortam şartlarında hareket edebilme kabiliyeti olması bakımından paletli tasarım yapılmıştır (Şekil 3.24). Robotik sistemde 2 adet DC motor kullanılarak “sağ” ve “sol” manevralarında teker (palet) yönleri zıt yönde dönerek dar alanlarda rahat hareket özelliği kazandırılmıştır. Robotik sistem hareket sisteminin “Microsoft Robotics Developer Studio 4” ortamında hazırlanmış simülasyon tasarımı Şekil 3.25’de görülmektedir.



Şekil 3.24. Robotik sistem hareket palet sistemi



Şekil 3.25. Robotik sistem hareket sisteminin “Microsoft Robotics Developer Studio 4” ortamında hazırlanmış simülasyonu

Kullanıcı tarafından gezgin robotik sisteme gönderilen RF motor komut sinyalleri (Çizelge 3.11) doğrultusunda, hem palet hem de kamera hareket etmektedir.

Çizelge 3.11. Gezgin robota gönderilen motor komutları ve yapılan görevler

KOMUT	YAPILAN GÖREV
0 •	Robot Durdurulur
1 ↑	Robot İleri Yönder Gider (+sol,+sağ motor)
2 →	Robot Sağa Döner (+sol,-sağ motor)
3 ↓	Robot Geri Yönde Gider (-sol,-sağ motor)
4 ←	Robot Sola Döner (-sol,+sağ motor)
5 ↑↑	Kamera Açısı Bir Kademe Yukarı
6 ↓↓	Kamera Açısı Bir Kademe Aşağı

Kullanıcı tarafından hareket kontrol butonlarına basıldığında “Switch” deyimiyle hangi hareketin yapılacağı “kontrol” değişkeninde tutulan değerden elde edilerek, ilgili hareketin yapılabilmesi için USB porta hareket emirleri gönderilir. Çizelge 3.12’ de kullanıcı hareket buton kontrolü ve USB porta veri iletim kod parçası örneği gösterilmiştir.

Çizelge 3.12. Kullanıcı hareket buton kontrolü ve USB porta veri iletim kod parçası

Kullanıcı hareket buton kontrolü	<pre>switch (kontrol) { case 0: dur(); break; // KONTROL KAPAT-DUR BUTONUNA BASILDI case 1: ileri(); break; //İLERİ BUTONUNA BASILDI case 2: geri(); break; //GERİ BUTONUNA BASILDI case 3: saga(); break; //SAĞ BUTONUNA BASILDI case 4: sola(); break; //SOL BUTONUNA BASILDI }</pre>
USB porta veri iletimi (“ileri”)	<pre>private void ileri() { try { byte[] Out_data = new byte[9]; Out_data[1] = 0x01; //1 VERİSİ Out_data[2] = 0x00; Out_data[3] = 0x00; Out_data[4] = 0x00; Out_data[5] = 0x00; Out_data[6] = 0x00; Out_data[7] = 0x00; Out_data[8] = 0x00; if (this.Pto_USB.SpecifiedDevice != null) this.Pto_USB.SpecifiedDevice.SendData(Out_data); } catch (Exception ex) { MessageBox.Show(ex.ToString()); } }</pre>

Dış ortamdan gelebilecek gürültü sinyallerinin etkilenmemesi için robotun aldığı ve yerine getirdiği her komut adımından sonra bekletilmesi sağlanmıştır. Servo motorun çıkardığı sesi algılayıp yön değiştirmemesi durumu örnek olarak gösterilebilir.

3.2.6. Ürün analiz raporu oluşturma

Gezgin robotik sistemde bulunan wi-fi kameradan kullanıcı yazılımına gelen görüntüler işlenerek elde edilen ürün (meyve) fiziksel bilgilerinden grafiksel raporlar oluşturularak, kullanıcıların zaman aralıklarında aynı veya farklı cins aynı tür meyvelerin gelişim verisi raporları oluşturulur. Şekil 3.26’da grafik oluşturma arayüzü görülmektedir.

GRAFİK OLUŞTURMA ARAYÜZÜ

GRAFİK ARA YÜZ
 GRAFİK SİTİL: Column
 3D Görüntü: ☒
 GRAFİK ARKAPLAN RENGİ: ActiveCaption

2

FİDE SAYISI: 5

	FIDE:1	FIDE:2	FIDE:3	FIDE:4	FIDE:5
*					

3

GRAFİK OLUŞTUR GRAFİK KAYDET IPTAL

☐ Tarih Ekle ☐ Sıcaklık/Nem Ekle 4

Şekil 3.26. Grafik oluşturma arayüzü

Şekil 3.26’da grafik oluşturma arayüz tasarımında 1 numaralı alanı grafik stil, renk ve 3D görüntü özelliklerinin ayar panelidir, “ComboBox” kontrolleri ile değişiklik yapıldığında gerçek zamanlı “2-grafik izleme” alanında değişiklikler izlenebilmektedir.

2 numaralı alan; 1,3 ve 4 alanlarında yapılan ayarlamalar sonucunda “grafik izleme” alanıdır. 3 numaralı alanda fide sayısı belirtme ve ürün bilgisi giriş ekranıdır. 4 numaralı alan ise grafik üzerine yazılacak grafik ile ilgili açıklamaların (tarih, sıcaklık, nem, detay) eklendiği alandır.

Grafik oluşturma arayüzü yazılımında temel olarak “DataGrid kontrolü, DataTable kontrolü ve WindowsCharting Class Sınıfı” kullanılmış, kullanıcı tarafından 3 numaralı alanda veri girişi yapılabilmesi için fide seçim sayısı kadar sütun (Columns) eklenebilmesi için öncelikle “DataTable” oluşturulup ardından DataGrid’e aktarılmıştır. Kullanıcının yapılan seçim işlemini görebilmesi için DataGrid de bulunan DataSource kontrol verisi Windows Panel kontrolüne aktarılmıştır. Kullanıcının grafik stil, renk, DataTable ve açıklama (grafik detayı, sıcaklık, nem, tarih) bilgileri “WindowsCharting Class” sınıfında “GenerateChart()” metoduna gönderilerek istenilen grafik oluşturulmuş olunur. Son durumda oluşturulan grafik “SaveFileDialog” kontrolü ile istenildiği yere resim formatında kayıt edilebilir. Çizelge 3.13’de Grafik oluşturma arayüzü kod parçaları ve açıklamalarına örnekler verilmiştir.

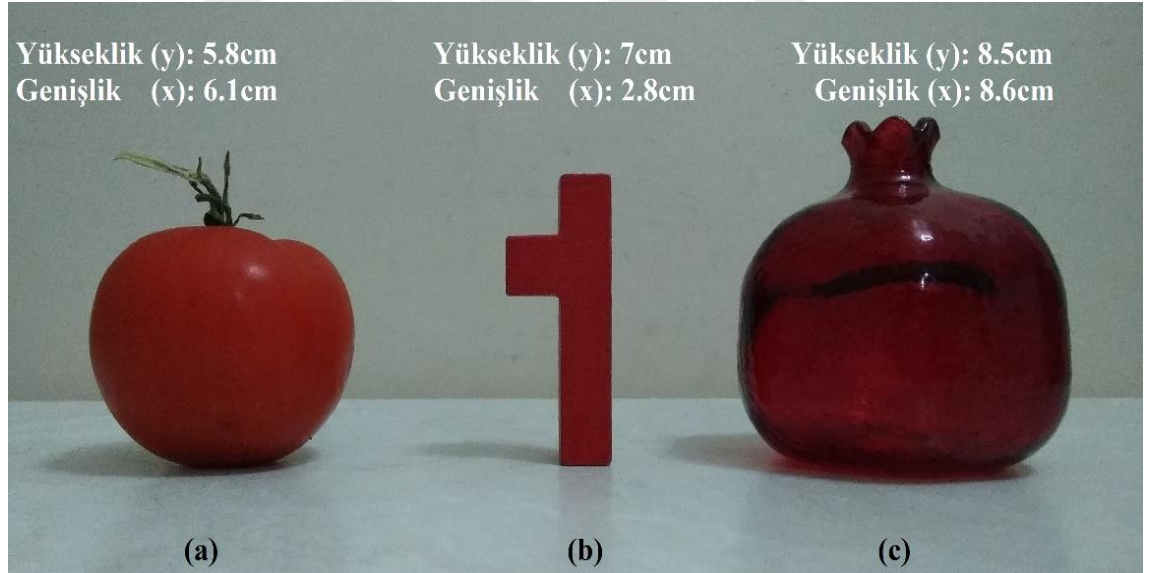
Çizelge 3.13. Grafik oluşturma arayüzü kod parçaları ve açıklamaları

<pre>using System; using System.Collections.Generic; using System.ComponentModel; using System.Data; using System.Drawing; using System.Linq; using System.Text; using System.Windows.Forms; using System.Windows.Forms.DataVisualization.Charting;</pre>	“namespaces” tanımlamaları
<pre>DataGrid dataPointGrid = null; DataTable dtDataPoints = null; public DataGrid grid = null; bool enable3D = true; public string SıcaklıkNemTarih="";</pre>	İlk yapı değerleri tanımlama
<pre>sealed class WindowsCharting { //grafik oluşturma metodu protected internal Chart GenerateChart(DataTable dtChartDataSource, int width,int height,string bgColor,int intType,string Explanation) {</pre>	Grafik oluşturma için kullanılan Sınıf ve Metot

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Meyve (Ürün) Tespit İşlem ve Analiz Sonuçları

Robotik sistemler kullanılarak görüntü işleme tekniği ile ürün tespit işlemleri için literatürdeki çalışmalar öncelikle incelenmiş, ilk olarak iç mekân ortamında farklı ışık ve açılarda nesneler üzerinde denemeler yapılmıştır. Gerçek mekânlarda domates meyvesi için analiz işlemi hedef alındığından, deneme işlemlerinde kırmızı tonlarında nesneler ve domates kullanılmış elde edilen sonuçlar incelenmiştir (Şekil 4.1 ve Çizelge 4.1). İç mekan deneme ortamı hazırlandıktan sonra farklı kameralar ile alınan deneme sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir (floresan ışığı altında yapılmıştır).



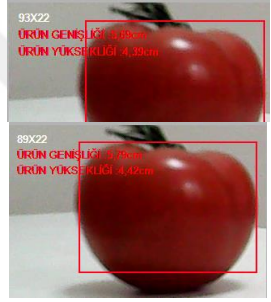
Şekil 4.1. İç mekan denemelerinde kullanılan nesne ve domates özellikleri

*a)domates b)ahşap lego c)cam parlak eşya

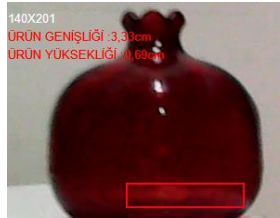
Çizelge 4.1. Renk paleti kırmızı RGB örneği

Renk ismi	Renk Paleti	Red Green Blue	HEX Kodu
Red		255 0 0	#FF0000
Red1		238 0 0	#EE0000
Red2		205 0 0	#CD0000
Red3		239 0 0	#8B0000

Çizelge 4.2. İç mekanda farklı kamera ve nesneler ile yapılan ürün tespit ve analiz denemeleri

No	Kamera Tipi Ve Özelliği	Ortam Bilgisi	Kullanılan Nesne	Sonuç (cm) DI: Düşük Işık, YI: Yüksek Işık
1	Web kamera, kablolu	Kamera-Nesne Uzaklığı=40 cm	Şekil 4.1 (a)	DI: x=5.69,y=4.39 YI: x=5.79,y=4.42 
			Şekil 4.1 (b)	DI: x=1.53,y=3.68 YI: x=1.59,y=5.48 

Çizelge 4.2. (devam)

			Şekil 4.1 (c)	DI ve YI de yüksek oranda hata	 140X201 ÜRÜN GENİŞLİĞİ : 3,33cm ÜRÜN YÜKSEKLİĞİ : 0,69cm
2	Kablosuz kamera (Mobil Cihaz)	Kamera-Nesne Uzaklığı=25 cm	Şekil 4.1 (a)	DI: x=5.82,y=4.34 YI:x=6.14, y=4.55	 138X143 ÜRÜN GENİŞLİĞİ : 5,82cm ÜRÜN YÜKSEKLİĞİ : 4,34cm  154X173 ÜRÜN GENİŞLİĞİ : 6,14cm ÜRÜN YÜKSEKLİĞİ : 4,55cm
			Şekil 4.1 (b)	DI: x=2.12,y=6.24 YI:x=2.12, y=6.56	 155X94 ÜRÜN GENİŞLİĞİ : 2,12cm ÜRÜN YÜKSEKLİĞİ : 6,24cm  177X97 ÜRÜN GENİŞLİĞİ : 2,12cm ÜRÜN YÜKSEKLİĞİ : 0,56cm
			Şekil 4.1 (c)	DI ve YI de yüksek oranda hata	 161X140 ÜRÜN GENİŞLİĞİ : 3,7cm ÜRÜN YÜKSEKLİĞİ : 0,53cm

İç mekanda ürün tespit işlemlerinde Çizelge 4.2’ de elde edilen sonuç verilerine göre; ortam aydınlatması, kamera özellikleri ve örnek nesnedeki kırmızı renk tonları doygunluğunun görüntü işleme verimliliğini etkilediği gözlemlenmiştir. Çalışmada, renk filtrelemesi için kullanılan RGB aralığı Çizelge 4.3’de görülmektedir. Yazılımda filtreleme RGB aralığı değiştirilerek kırmızı renk ton aralığı daraltılabilmektedir.

Çizelge 4.3. Çalışmada kullanılan kırmızı ton aralığı örneği

Renk Paleti	Red (100-255) Green(0-75) Blue (0-75) *Sınır ve orta renk tonu örnekleri
	100 75 75
	100 0 0
	125 38 38
	255 0 0
	255 75 75

İç mekân denemeleri ardından gerçek tarımsal alanlarda domates meyvesi için gezgin robotik sistem kullanılarak denemeler yapılmış elde edilen sonuçlar Çizelge 4.4’de görülmektedir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Tarımsal ürün bilgilerinin bir gezgin robot yardımıyla temin edilen görüntülerin işlenmesi *a) genel görünüm (b) ürün tespit ve analiz

Çizelge 4.4. Gerçek tarımsal alanlarda farklı domates meyvesi için yapılan denemeler

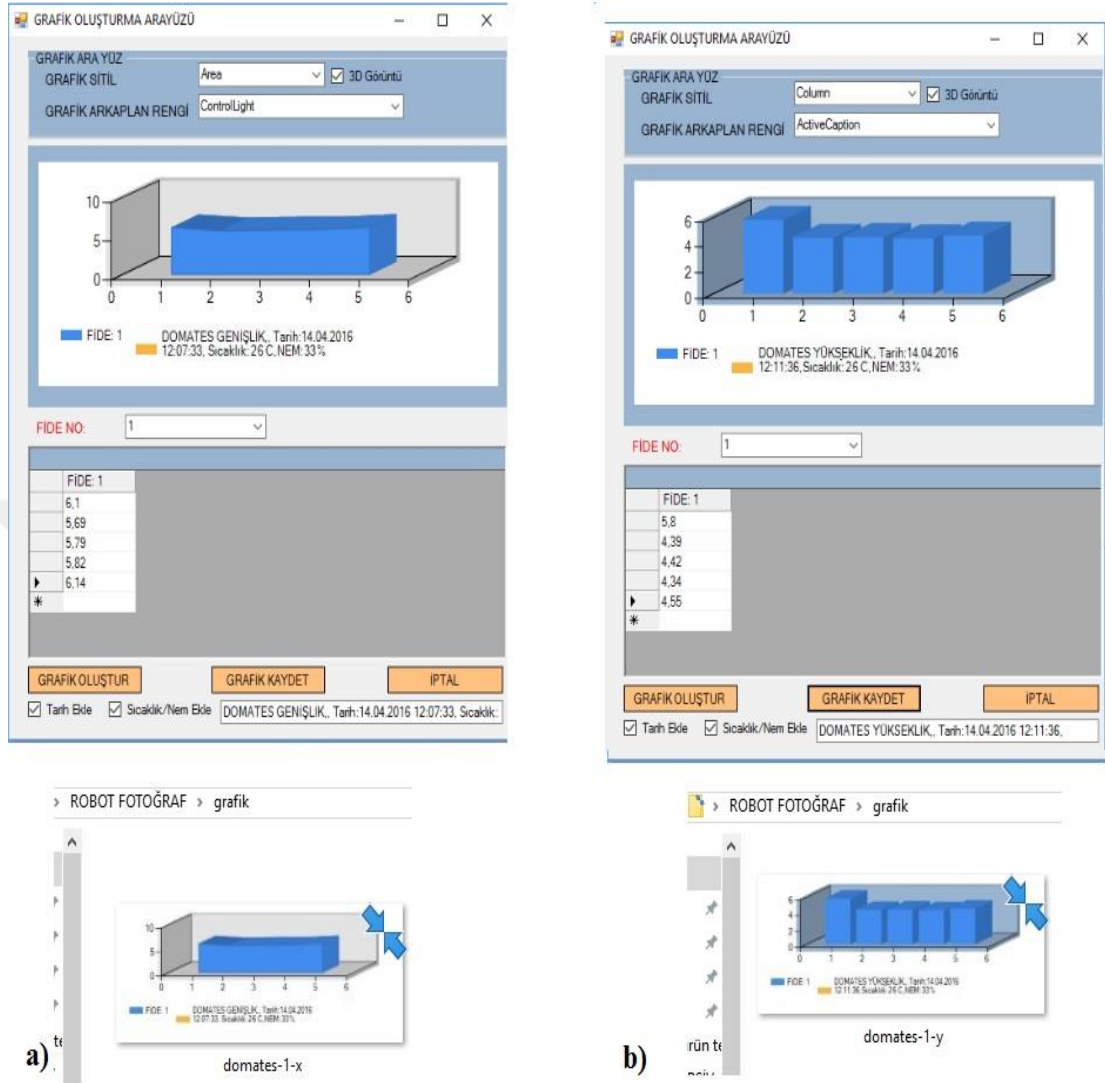
No	Sonuç görüntüsü	Açıklama
1		Işık (güneş) etkisi olmuştur. Genişlik ölçüsünde yüksek oranda başarı alınmıştır.
2		Işık (güneş) ve farklı cisim(yaprak) etkisi olmuştur. Yükseklik ve genişlik bilgisi hatalı alınmıştır.
3		Işık (güneş) etkisi olmuştur. Genişlikte yüksek oranda başarı alınmıştır.
4		Işık (güneş) ve farklı cisim(yaprak, meyve) etkisi olmuştur. Yükseklik ve genişlik bilgisi hatalı alınmıştır.

Çizelge 4.4. (devam)

5		Işık (güneş) etkisi olmuştur. Yükseklik ve genişlik bilgisi ışık doğrultusunda hatalı alınmıştır.
6		Işık (Güneş) etkisi az olmuştur. Genişlik ve yükseklik bilgisi az hata ile alınmıştır.

Gerçek tarımsal alanlarda gezgin robot ile ürün tespit ve analiz işlemlerinde; domates meyvelerinin üzerindeki yaprak gölgelenmeleri, ışık yetersizliği veya aşırı ışık miktarı, domates meyvelerinin birbiri üzerindeki görüntü çarpışmaları ve meyvenin kameraya göre uzaklık-yükseklik (x-y) konumundan kaynaklı görüntü işleme verimlilik kaybı olduğu gözlemlenmiştir. Bu olumsuz durumların azaldığı denemelerde daha sağlıklı tespit ve analiz işleminin olduğu gözlemlenmiştir. Meyve, yerçekiminden dolayı bitki gövdesinden aşağı düşey konumda durduğundan uygun açı ve mesafe elde edildiğinde doğru sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Analiz sonuçları kullanıcıya ürün yükseklik ve genişlik bilgisi verirken, grafik oluşturma ekranında kullanıcı isterse tespit edilen ürün bilgilerine ek olarak tarih, sıcaklık, nem ve açıklama ekleyerek tercih ettiği grafik çeşidine göre kayıt işlemi (JPEG dosyası) yaparak arşiv oluşturabilir. Gezgin robotik sistem kamerasından elde edilen görüntülerin işlenmesi ile tespit edilen meyvelerin analiz listesi ve grafik oluşturma (kayıt) işlem örneği Şekil 4.3’de görülmektedir.



Şekil 4.3. Ürün tespit işlemi sonucu analiz ve grafik oluşturma (kayıt)

*a) bir fidedeki beş adet domates genişliği b) bir fidedeki beş adet domatesin yüksekliği

Grafik oluşturma denemelerinde kullanılan grafik stili, girilen bazı satır ve sütun değer sayılarında grafik oluşmadığından hata ile karşılaşıldığı gözlemlenmiştir. Bu sebeple grafik oluşturulacak stilin kullanılan parametre adetleri ile ilişkili olduğu tespit edilmiştir.

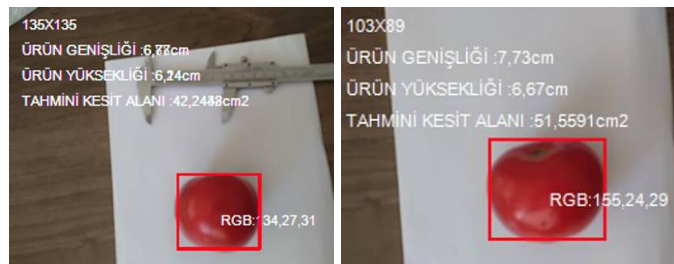
Çalışmada, gerçek domates nesneleri ile yapılan denemelerde farklı domates renk tonlarının (Şekil 4.4) kullanıcı tarafından bilinmesi ve yükseklik-genişlik oranlarına

göre daha önceden elde edilen veri listesi kullanılarak ağırlık tahmini için kullanıcıya bilgi ekranı sunulmuştur.



Şekil 4.4. Farklı renk tonlarına sahip domatesler

Domates renk tonu, domatesin merkezi noktasından alınan piksel RGB bilgisinden elde edilirken (Şekil 4.5), ağırlık tahmini ise domates üzerindeki çerçevenin alan bilgisi referans alınarak daha önceden oluşturulmuş excel tablosundaki veri listesi kullanıcı tarafından kıyaslanarak elde edilmektedir. Domateslerin veri listesi oluşturulurken rastgele sıra ile ölçümler yapılmıştır. Kumpas ile en ve boy kesit ölçüleri kullanılarak alan bilgisi, terazi kullanılarak ağırlık bilgisi elde edilmiştir. Bu liste oluşturulduktan sonra veriler, excelden kullanıcı arayüzüne yazılım ile aktarılmıştır.



Şekil 4.5. Tespit edilen domatesin RGB renk bilgisi

Tespit edilen domateslerin görüntülediği pictureBox nesnesine tek “Click” olayı yapılarak Şekil 4.6’da görüldüğü gibi gerçek ölçümlerden elde edilen bir sandık domates veri listesi kullanıcının bilgisine sunulmaktadır.

ÜRÜN YÜKSEKLİK-GENİŞLİK-AĞIRLIK NUMUNE LİSTESİ

SIRA	EN	BOY	ALAN	AĞIRLIK	BİRİM ALANA DÜŞEN AĞIRLIK
49	5,8	4,8	27,84	98	3,520114942528...
60	5,8	5,1	29,58	110	3,718728870858...
61	6,8	4,6	31,279999999999...	104	3,324808184143...
24	6,3	5	31,5	120	3,809523809523...
39	6,2	5,1	31,619999999999...	124	3,921568627450...
48	6	5,3	31,799999999999...	122	3,836477987421...
52	6,2	5,5	34,1	124	3,636363636363...
59	6,2	5,5	34,1	120	3,519061583577...
47	6,4	5,6	35,839999999999...	142	3,962053571428...
34	6,9	5,5	37,95	144	3,794466403162...
46	6,9	5,7	39,330000000000...	140	3,559623696923...
20	7,2	5,5	39,6	182	4,595959595959...

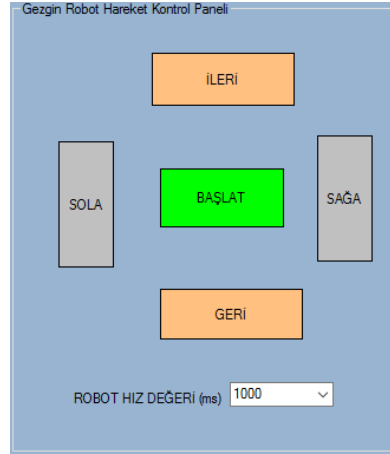
GETİR/YENİLE EKLE GÜNCELLE

SIRA NO EN (cm) BOY (cm) AĞIRLIK (gr)

Şekil 4.6. Daha önce oluşturulmuş gerçek domateslerin veri listesi

4.2. Tarımsal Gezgin Robotik Sistemin Hareket İşlem Sonuçları

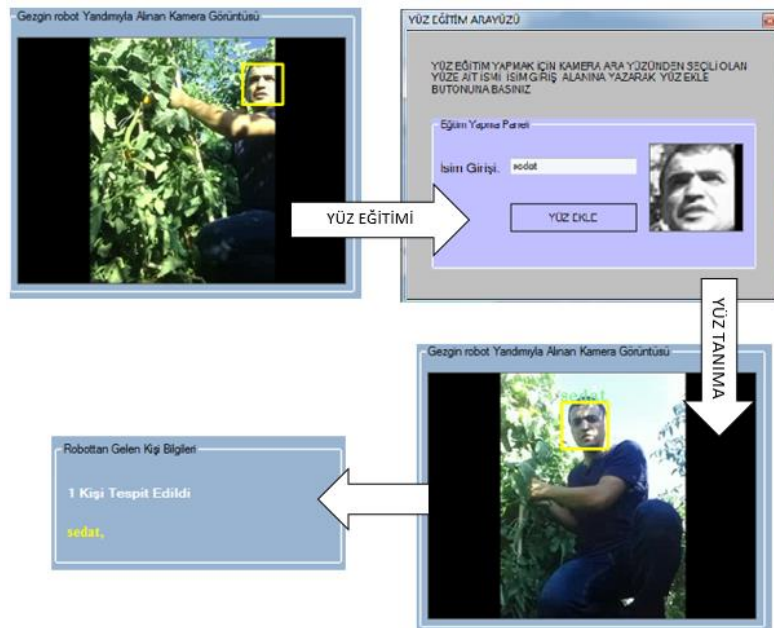
Gezgin robotik sistem hareketi kullanıcı kontrolleri (Şekil 4.7) ile hareket edilmesinin haricinde yüz tanıma ile hareket özelliği katılmıştır. Bu işlemin geçerli olabilmesi için arayüz yazılımdan kameralar yüklenerek tercih edilen kamera aygıtından görüntüler alınarak yüz tespit ve tanıma işlemi yapılabildiği görülmüştür. Kullanıcı kontrolleri ile yapılan denemeler sonucunda hız limitinin 800ms değerinin altında olması durumunda robotik sistemin tıkanıdığı ve harekette sorun olduğu gözlemlenmiştir, bu sebeple iyi sonuç alabilmek için hız limit değeri 1000ms ve üzeri seçenekler kullanıcıya verilmiştir.



Şekil 4.7. Robotik sistem kullanıcı kontrollü hareket paneli

Yapılan denemelerde gezgin robotik sistemin düz zeminlerde hareket olarak çok zorlanmadığı ancak pürüzlü ve engebeli yüzeylerde dönüş hareketlerini yapamadığı gözlemlenmiştir.

Yüz tanıma ile hareket sistemi için öncelikle sağlıklı en az 10 adet yüz tanıma eğitimleri yapılarak takip edilecek kişinin eğitilmesi sağlanmıştır (Örnek Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Yüz tanıma ile gezgin robotik sistem hareketi için yüz eğitim örneği

Yüz tanıma ile tarımsal gezgin robotik sistemin hareket işlemi ile ilgili yapılan işlem adımları ve deneme örnekleri Çizelge 4.5’de görülmektedir.

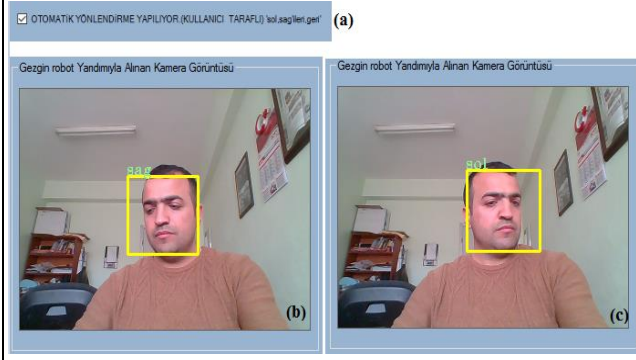
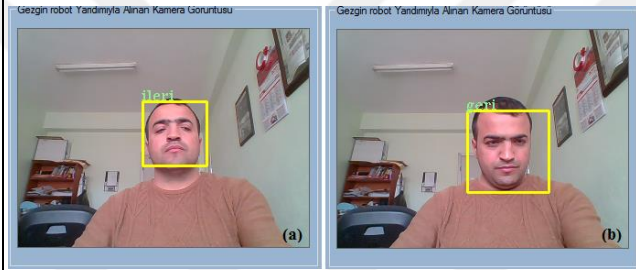
Çizelge 4.5. Yüz tanıma ile tarımsal gezgin robotik sistemin hareket işlem adımı ve deneme örnekleri

No	Sonuç görüntüsü	Açıklama
1		Yüz tespit işlemi yapılır, eğitim örnekleri ile kıyaslanır ve kişi tanımlaması yapılarak çerçeve ve etiket verilir.
2		Kişi kamera açısına göre sağ yönde ve ileriye (kameraya doğru) gelmiştir. Takip paneline isim yazılarak, yüz tanımlaması yapılan kişinin panelde (320x240) konum bilgisine göre robota hareket emri verilmiştir.

Çizelge 4.5. (devam)

3		Tarımsal robotik sistem sağ yön hareket işlemini yaptıktan sonra 1. görevi tamamlamış, ardından 2. görev olan geri işlemini yerine getirmiştir. (Takip edilecek kişinin aktif koordinat bilgisi ekranda verilmektedir)
4		Kamera açısı farklı konumdayken takip edilecek kişinin konum bilgisi ve robotik sisteme verilen hareket emirleri.
5		Takip edilecek kişi X-Y referans aralığında olduğundan robotik sisteme herhangi bir hareket emri gönderilmemiştir

Çizelge 4.5. (devam)

6		(a) Kullanıcı taraflı yüz tanıma ile robot hareket onay paneli Yüz eğitimleri, sol yönüne dönük yüz ifadeleri için “sol” olarak(b), sağ yönüne dönük yüz ifadeleri için de “sağ” olarak eğitilir(c)
7		Yüz eğitimleri, yukarı yönüne dönük yüz ifadeleri için “ileri” olarak(b), aşağı yönüne dönük yüz ifadeleri için de “geri” olarak eğitilir(c)

Çizelge 4.5’ de yapılan deneme örneklerinden 2,3,4,5 denemeleri tarımsal gezgin robot kamerasından alınan görüntü verilerinin işlenmesi ile yapılırken, 6 ve 7 denemeleri kullanıcı taraflı kameradan alınan görüntülerin işlenmesi ile elde edilmiştir. Yapılan denemeler sonucunda yüz tanıma için yapılan yüz eğitimlerin sayısı, kamera kalitesi, kameraya olan uzaklık ve yüze gelen ışık miktarının görüntü işlemenin verimliliğini etkilediği gözlemlenmiştir. Gerçek zamanlı olarak yüz tanıma yapılarak kişinin konum ve yüz ifadelerine göre motor hareket emirleri verilmesi, tarımsal alanlarda istenirse hasat işlemlerinde çiftçileri takip ederek hasat edilen ürünlerin taşınmasını otomatik hale getirmek ve istenirse engel durumu uyan kişilerin tarımsal sektörde yüz eğitim yardımı ile bu tarz işlerde yer almaları amaçlanmıştır.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bilgisayar, elektronik ve robotik sistemlerin hızlı geliştiği günümüzde tarımsal alanlarda yapılan çalışmaların insan gücü ve kontrolü yerine teknolojik gelişmelere adım adım geçtiği görülmektedir. Tarımsal alanlarda kullanılan başlıca hasat makinelerinin geliştirilerek bilgisayar görmesine dayalı robotik sistemlere doğru gittiği açıkça ortadadır. Bu sebeple tarımsal alanlarda teknolojinin gelişmesi için bu çalışmada; tarımsal ürün bilgilerinin bir gezgin robot yardımıyla temin edilen görüntülerinin işlenmesi yoluyla analiz edilebilirliği araştırılmıştır. Ayrıca kablosuz veri aktarımı ile tarımsal ortamın sıcaklık ve nem değerlerinin alınabilmesi sağlanmıştır. Yapılan denemeler sonucunda kısa mesafede sıcaklık, nem ve hareket bilgileri alınıp verildiğinden daha iyi alıcı-verici devreler tasarlanarak veya internet tabanlı haberleşme yapılarak mobil mesafe arttırılabilmektedir. Yapılan denemeler öncelikle iç mekânda yapıldıktan sonra gerçek tarımsal alanlarda gerçek meyveler üzerinde yapılarak, tarımsal alanlarda gezgin robot ile görüntü işleme kullanarak ürün tespit, tanıma ve analiz işlemlerini etkileyen faktörler incelenmiştir.

Yapılan ürün tespit ve analiz işlemlerinde meyvenin renk doygunluğu, aydınlatma ve gölgelenme, meyvenin konumu, nesne görüntü çarpışmaları ve kamera kalitesinin görüntü işlemenin verimi bakımından etkili olduğu gözlemlenmiştir. Görüntüde gölgelenme ve ışıklanma dengesizliğini giderebilmek için literatürde daha önce yapılan bazı çalışmalarda olduğu gibi led aydınlatma aparatı ve çift kamera takılmasının sorunu gidereceği düşünülmektedir. Sistemi etkileyen faktörler iyileştirilerek, tarımsal alanlarda ürün tespiti yapılarak hasat için olgunlaşmış meyve ölçüm istatistikî raporları oluşturulup hasat miktarı (kasa) veya yaklaşık ağırlık miktarı hesaplanabilir. Sistem geliştirilerek tarımsal alanlarda meyve sınıflandırması yapılabilir, çiftçiye ürünler hakkında buna benzer bilgi raporları oluşturulabilir.

Robotik sisteme, görüntü işleme yöntemlerinden biri olan yüz tanıma eklenerek tarımsal alanlarda çiftçiler için hasat taşıma işleminde otomatik taşıma ve takip işlemi eklenerek kişi konumuna göre sistemin hareketi sağlanmıştır. Aynı yüz tanıma sistemi kullanıcı

tarafındaki kamera kullanılarak, yapılacak yüz eğitimleri ile engelli insanların tarımsal alanlarda ofis ortamında istihdam edilebilirliği düşünülerek denemeler yapılmıştır. Ayrıca sistem geliştirilerek daha büyük gezgin robot tasarımı yapılırsa engelli kişinin oturmasının sağlanması ve hareket sisteminin yüz tanıma ile yapılabilmesine olanak sağlanarak, engelli insanların tarımsal alanlarda istihdamı sağlanabilir.

Robotik sistemin güç ünitesinin arazi şartlarında zayıf kaldığı denemelerde açıkça görülmüştür. Bu sebeple daha iyi motor ve daha iyi güç ünitesi ile daha dinamik palet sistemi tasarlanmasının gerekli olduğu düşünülmektedir.



KAYNAKLAR

- Allotta, B., Buttazzo, G., Dario, P., Quaglia, F., 1990. A Force/Torque Sensor-Based Technique For Robot Harvesting Of Fruits And Vegetables. IEEE International Workshop on Intelligent Robots and Systems IROS '90, Italy.
- Anonim, 2009. Robot Sitesi. Boğaziçi Üniversitesi, http://robot.cmpe.boun.edu.tr/593/history/1_Giri_c_s.html (14.04.2017).
- Anonim, 2015. Robot Kolu Nedir? Nasıl Çalışır?. <http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/robot-kolu-nedir-nasil-calisir/15043#ad-image-0> (14.04.2017).
- Anonymous, 2008. A Brief History of Robotics. <http://robotics.megagiant.com/history.html> (14.04.2017).
- Anonymous, 2016. <https://github.com/WenchenLi/PhotoRestoration> (18.04.2017).
- Anonymous, 2017a. Facial recognition system. https://en.wikipedia.org/wiki/Facial_recognition_system (23.04.2017).
- Anonymous, 2017b. <http://what-when-how.com/introduction-to-video-and-image-processing/morphology-introduction-to-video-and-image-processing-part-2/> (18.04.2017).
- Anonymous, 2017c. <http://www.aforgenet.com> (14.09.2017).
- Arıkan, M.A.S., 1991. Endüstriyel Robotlar Ve Üretimde Uygulama Alanları. TMMOB Makina Mühendisleri Odası, <http://arsiv.mmo.org.tr/pdf/10948.pdf> (18.04.2017).
- Arima, S., Kondo, N., Nakamura, H., 1996., Development Of Robotic System For Cucumber Harvesting. JARQ, 30 (4), 233-238.
- Arima, S., Shibusawa, S., Kondo, N., Yamashita, J., 2003. Traceability Based On Multi-Operation Robot;Information From Spraying, Harvesting And Grading Operation Robot. International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM 2003), 2,1204-1209.
- Arima, S., Shichi, Y., Jun, Y., Tekefumi, K., 2004. Multi-Operation Robot for Strawberry Cultivation; Development of Spraying and Harvesting Operation Robot. Japan Science and Technology Agency, 2P2-L2-14.
- Ateş, E., 2013. Özgür Yazılımlarla Görüntü İşleme. Akademik Bilişim 2013 Konferansı-LKD Semineri, Antalya.
- Baily, D., 2006. Firms point to biometric future. <http://news.bbc.co.uk/2/hi/technology/6070576.stm> (23.04.2017).
- Barnea, E., Mairon, R., Ben Shadar, O., 2016. Colour-agnostic shape-based 3D fruit detection for crop harvesting robots. Biosystems Engineering, 146 (1), 57-70.
- Bayrak, A., 2007. Beş Eksenli Bir Robot Kolumun Simülasyonu ve Kontrolü. Y. Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Benson, E.R., Reid, J.F., Zhang, Q., 2001.Machine Vision Based Streeing System For Agricultural Combines. 2001 ASAE Annual International Meeting, California, USA.
- Berenstein, R., Ben Shahr, O., Shapiro, A., Edan, Y., 2010. Grape Clusters And Foliage Detection Algorithms For Autonomous Selective Vineyard Sprayer. Intelligent Service Robotics, 3(4),233-243.

- Blackmore, B.S., Stout, B., Wang, M., Runov, B., 2010. Robotic Agriculture –The Future of Agricultural Mechanisation?. 5 th. European Conference on Precision Agriculture, Netherlands.
- Boryga, M., Grabos, A., Kolodziej, P., Golacki, K., Stropek, Z., 2015. Trajectory planning with obstacles on the example of tomato harvest. Farm Machinery and Processes Management in Sustainable Agriculture, 7th International Scientific Symposium, Belgium.
- Börklü, H.R., 2007. Robotik Ders Notları. Teknoloji Fakültesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği, Gazi Üniversitesi, <http://www.websitem.gazi.edu.tr/site/rborklu/files/download/id/40831> (14.04.17)
- Bulanon, D.M., Burks, T.F., Alchanatis, V., 2009. Image Fusion Of Visible And Thermal Images For Fruit Detection. Biosystems Engineering, 103(1), 12-22.
- Bulanon, D.M., Kataoka, T., Okamoto, H., Hata, S., 2004. Development of a Real-time Machine Vision System for the Apple Harvesting Robot. SICE Annual Conference in Sapporo, Hokkaido Institute of Tecnology, Japan.
- Bulanon, D.M., Kataoka, T., Ota, Y., Hiroma, T., 2001. A Machine Vision System for the Apple Harvesting Robot. Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development, 3 (6), 1-11.
- Çelik, O., Yiğiter, E., Sedef, H., 2009. Kablosuz Ağ Tabanlı Gezgin Keşif Robotu: Kaşif. Elektrik-Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği 13. Ulusal Kongresi ve Fuarı, İstanbul.
- Çiçek, S., 2006. Renge Göre (Kırmızı, Yeşil, Mavi) Malzeme Taşıyan Robot Kolu Tasarımı ve Uygulaması. Y. Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- De-An, Z., Jidong, L., Wei, J., Ying, Z., Yu, C., 2011. Design and control of an apple harvesting robot. Biosystems Engineering, 110(2), 112-122.
- Dede, F., 2011. Sensörler – Mobil Robot Sensörleri – Endüstriyel Sensörler. <http://robots101.com/robot-sensorleri/> (18.04.2017).
- Edan, Y., Engel, B. A. , Miles, G.E., 1993. Intelligent Control System Simulation Of An Agricultural Robot. Journal of Intelligent & Robotic Systems, Kluwer Academic Publishers, 8 (2), 267-284.
- Eizentals, P., and Oka, K., 2016. 3D pose estimation of green pepper fruit for automated harvesting. Computers and Electronics in Agriculture, 128 (1), 127-140.
- Emami, S., 2010. Introduction to Face Detection and Face Recognition. <http://www.shervinemami.info/faceRecognition.html> (23.04.2017).
- Erpolat, E., 2008. Robotik sistemlerde görüntü işleme. Y. Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ersöz, H., 2007. Endüstriyel Robotlar ve Uygulama Alanları. Y. Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Feng, G., Qixin, C., Yongjie, C., Masateru, N., 2008. Fruit Location And Stem Detection Method For Strawberry Harvesting Robot. International Journal of Advanced Robotic Systems, 24 (10), 89-94.
- Foglia, M. M., Reina, G., 2006. Agricultural Robot For Radicchio Harvesting. Journal of Field Robotics, Volume 23(6/7), 363–377.
- Gongal, A., Amatya, S., Karkee, M., Zhang, Q., Lewis, K., 2015. Sensors and systems for fruit detection and localization: A review. Computers and Electronics in Agriculture, 116 (1), 8-19.

- Gümüşel, L., 2014. Robot ve Kinematiği. Makina Mühendisliği, Karadeniz Üniversitesi, http://gumusel.ktu.edu.tr/files/SEC423_1.rar (18.04.2017).
- Hannan, M.W., Burks, T.F., 2004. Current Developments in Automated Citrus Harvesting. ASAE/CSAE Annual International Meeting, Canada.
- Hayashi, S., Ganno, K., Ishii, Y., Tanaka, I., 2002. Robotic Harvesting System For Eggplants. Japan Agricultural Research Quarterly JJARQ, 36(3), 163-168.
- Hayashi, S., Ota, T., Kubota, K., Ganno, K., Kondo, N., 2005. Robotic Harvesting Technology for Fruit Vegetables in Protected Horticultural Production. The 7th Fruit, Nut and Vegetable Production Engineering Symposium, France.
- Hayashi, S., Shigematsu, K., Yamamoto, S., Kobayashi, K., Kohno, Y., Kamata, J., Kurita, M., 2010. Evaluation of a Strawberry-Harvesting Robot in a Field Test. Biosystems Engineering, 105(2), 160-171.
- Hemming, J., Bac, C.W., Tuijl, B.A.J., Barth, R., Bontsema, J., Pekkeriet, E., Van Henten, E.J., 2014. A robot for harvesting sweet-pepper in greenhouses. International Conference of Agricultural Engineering, Zurich.
- Ji, W., Qian, Z., Xu, B., Tao, Y., Zhao, D., Ding, S., 2016. Apple tree branch segmentation from images with small gray-level difference for agricultural harvesting robot. Optik - International Journal for Light and Electron Optics, 127 (23), 11173–11182.
- Ji, W., Zhao, D., Cheng, F., Xu, B., Zhang, Y., Wang, J., 2012. Automatic Recognition Vision System Guided For Apple Harvesting Robot. Computers and Electrical Engineering, 38 (5), 1186-1195.
- Jiménez, A.R., Ceres, R., Pons, J.L., 2000. A Vision System Based On A Laser Range-Finder Applied To Robotic Fruit Harvesting. Machine Vision and Applications, 11(6), 321-329.
- Kadalkal, T., 2017. Renk Nedir? RGB ve CMYK Renk Uzayları. <http://tolgakadalkal.com/Blog/1069/6/Renk-Nedir--RGB-ve-CMYK-Renk-Uzaylari/tr> (14.09.2017)
- Kahya, E., 2012. Elma ve Kivi Çeşitlerinin Hasada Yönelik Özelliklerinin Saptanması ve Robotla Hasat Olanakları. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Karakoç, M., 2012. Görüntü İşleme, Teknolojileri ve Uygulamaları. Akademik Bilişim 2012 Konferansı, Uşak.
- Kataoka, T., Okamoto, H., Hata, S., 2001. Automatic Detecting System Of Apple Harvest Season For Robotic Apple Harvesting. 2001 ASAE Annual International Meeting, California, USA.
- Keicher, R., Seufert, H., 2000. Tomato And Cherry Tomato Harvesting Robot . Automatic Guidance For Agricultural Vehicles In Europe, Computers and Electronics in Agriculture, 25 (12), 169–194.
- Kitamura, S., Oka, K., Takeda, F., 2005. Development of Picking Robot in Greenhouse Horticulture . SICE Annual Conference, Japan.
- Kondo, N., 1988. Detecting Fruit By Visual Feedback On Hand-Eye System. Scientific Reports Of The Faculty Of Agriculture. Published By The Faculty Of Agriculture, Okayama University, 72 (1), 69-76.
- Kondo, N., Ninomiya, K., Hayashi, S., Ota, T., Kubota, K., 2005. A New Challenge Of Robot For Harvesting Strawberry Grown On Table Top Culture. 2005 Asae Annual International Meeting, Florida.

- Li, J.C., Chen, S., Chen, Y.L., Chiu, Y.C., Tu, W.T., Pan P.J., 2010. Study On Machine Vision System For Tomato Picking Robot. Proceedings of the 5th International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agriculture and Biosystems Engineering (ISMAB), Japan.
- Li, P., Lee, S.H., Hsu, H.Y., 2011. Review On Fruit Harvesting Method For Potential Use Of Automatic Fruit Harvesting Systems. *Procedia Engineering*, 23(1), 351-366.
- Li, Z., Li, P., Liu, J., 2011. Physical and mechanical properties of tomato fruits as related to robot's harvesting. *Journal of Food Engineering*, 103(2), 170-178.
- Li, Z., Liu, J., Li, P., Li, W., 2008. Analysis of Workspace and Kinematics for a Tomato Harvesting Robot. International Conference on Intelligent Technology and Automation, Japan.
- Libin, Z., Yan, W., Qinghua, Y., Guanjin, B., Feng, G., Yi, X., 2009. Kinematics And Trajectory Planning Of A Cucumber Harvesting Robot Manipulator. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 2 (1), 1-7.
- Ling, P.P., Ehsani, R., Ting, K.C., Chi, Y.T., Ramalingam, N., Kligman, M.H., Draper, C., 2004. Sensing and End-Effector for a Robotic Tomato Harvest, Current Developments in Automated Citrus Harvesting. ASAE Annual Meeting, Canada.
- Liu, J., Li, Z., Li, P., Mao H., 2008. Design of a Laser Stem-cutting Device for Harvesting Robot. Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics, China.
- Lu, R., Ariana, D., 2002. A Near-Infrared Sensing Technique For Measuring Internal Quality Of Apple Fruit. *Applied Engineering In Agriculture*, 18 (5), 585-590.
- Luo, L., Tang, Y., Zou, X., Ye, M., Feng, W., Li, G., 2016. Vision-based extraction of spatial information in grape clusters for harvesting robots. *Biosystems Engineering*, 151(1), 90-104.
- Mao, W., Baoping, J., Zhan, J., Zhang, X., Hu, X., 2009. Apple Location Method For the Apple Harvesting Robot. 2nd International Congress on Image and Signal Processing, China.
- Mateus, D., Avina, G., Devy, M. 2005. Robot Visual Navigation in Semi-Structured Outdoor Environments. International Conference On Robotics And Automation, Spain.
- Mehta, S.S. and Burks, T.F., 2014. Vision-based control of robotic manipulator for citrus harvesting. *Computers and Electronics in Agriculture*, 102(1), 146-158.
- Mehta, S.S., Burks, T.F., 2016a. Multi-camera Fruit Localization in Robotic Harvesting. *International Federation of Automatic Control*, 49 (16), 90-95.
- Mehta, S.S., MacMunis, W., Burks, T.F., 2016b. Robust visual servo control in the presence of fruit motion for robotic citrus harvesting. *Computers and Electronics in Agriculture*, 123 (1), 362-375.
- Monta, M., Kondo, N., Shibano, Y., 1995. Agricultural Robot in Grape Production System. IEEE International Conference on Robotics and Automation, Nagoya, Japan.
- Monta, M., Kondo, N., Ting, K.C., 1998. End-Effectors for Tomato Harvesting Robot. *Journal Artificial Intelligence Review*, Kluwer Academic Publishers, 12 (1), 11-25.
- Monta, M., Namba, K., Kondo, N., 2004. Three Dimansional Sensing Using Laser Scanner. ASAE Annual Meeting, Canada.

- Murakami, N., Otsuka, K., Inoue, K., Sugimoto, M., 1999. Development Of Robotic Cabbage Harvester. *Journal Of The Japanese Society Of Agricultural Machinery*, 61(5), 85-92.
- Nagasaka, Y., Taniwaki K., Otani R., Shigeta, K., 2002. An Automated Rice Transplanter with RTKGPS and FOG. *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development*, 4 (3), 1-7.
- Noguchi, N., Will, J., Reid, J., Zhang, Q., 2004. Development Of Master-Slave Robot System For Farm Operations. *Computers and Electronics in Agriculture*, 44 (1), 1-19.
- Ongun, İ., 2017. Tarımda Sayısal Görüntü İşleme Uygulamaları. http://yzgrafik.ege.edu.tr/~ugur/11_12_Fall/DIP/Sunumlar2006/DIP@Agri-ilker.ongun.ppt (05.09.2017).
- Özdemir, D., 2009. Gezin Robotların Çiftliklerde Ürün Yeri Belirleme ve Taşıma İşlemlerinde Kullanımı. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Pilarski, T., Happold, M., Pangels, H., Ollis, M., Fitzpatrick, K., Stentz, A., 2002. The Demeter System for Automated Harvesting. *Autonomous Robots Kluwer Academic Publishers*, 13(1), 9-20.
- Pişkin, M., 2016a. OpenCV Nedir?. <http://mesutpiskin.com/blog/opencv-nedir.html> (18.04.2017).
- Pişkin, M., 2016b. OpenCV Template Matching ile Nesne Tespiti. <http://mesutpiskin.com/blog/opencv-template-matching-ile-nesne-tespiti.html> (18.04.2017).
- Pişkin, M., 2016c. EmguCV ile Yüz Tanıma Uygulaması. <http://mesutpiskin.com/blog/emgucv-ile-yuz-tanima-uygulamasi.html> (23.04.2017).
- Plá, F., Justa, F., Moltó, E., 1991. An Approach to Citrus Vision Systems in Robotic Harvesting. 1st International Seminar on Use of On-Machine Vision Systems for the Agriculture and Bio-Industries, France.
- Plebe, A., Grasso, G., 2001. Localization Of Spherical Fruits For Robotic Harvesting. *Machine Vision And Applications*, 13 (2), 70-79.
- Rath, T., Kawollek, M., 2009. Robotic Harvesting Of Gerbera Jamesonii Based On Detection And Three-Dimensional Modeling Of Cut Flower Pedicels. *Computers and Electronics in Agriculture Archive*, 66(1), 85-92.
- Recce, M., Taylor, J., Plebe, A., Tropiano, G., 1996. Vision and Neural Control For an Orange Harvesting Robot. *Proceedings of the 1996 International Workshop on Neural Networks for Identification (NICROSP '96)*, Washington, USA.
- Rojas, S.A.G., 2015. Multiple face detection and recognition in real time. <https://www.codeproject.com/Articles/239849/Multiple-face-detection-and-recognition-in-real> (23.04.2017).
- Sakai, S., Iida, M., Osuka, K., Umeda, M., 2008. Design And Control Of A Heavy Material Handling Manipulator For Agricultural Robots. *Autonomous Robots, Kluwer Academic Publishers Hingham*, 25(3), 189-204.
- Saygılı, Ç., 2006. Scara Tipi Bir Robotun Tasarımı ve Animasyonu. Y. Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Scarfe, A.J., Flemmer, R.C., Bakker, H.H., Flemmer, C.L., 2009. Development of An Autonomous Kiwifruit Picking Robot. *Proceedings of the 4th International Conference on Autonomous Robots and Agents*, New Zealand.

- Subrata, I.D.M., Fujiura, T., Nakao, S., Yamada, H., Hida, M., Yukawa, T., 1997. 3-D Vision Sensor For Cherry Tomato Harvesting Robot. JARQ, 31(4), 257-264.
- Şerbetçi, A.T., 2012. Robotların Kısa Tarihi. <https://www.slideshare.net/alitanserbetci/robotlarn-ksa-tarihi> (11.09.2017).
- Şos, S., 2016. Mavi Renkli Nesneleri Takip edebilen C# Projesi. <http://www.koddunyam.com/2016/08/mavi-renkli-nesnelerin-takibi-projesi-c.html> (25.04.2017).
- Tanigaki, K., Fujiura, T., Akase, A., Imagawa, J., 2008. Cherry-Harvesting Robot. Computers and Electronics in Agriculture, 63 (1), 65-72.
- Tekin, A.B., Değirmencioğlu, A., 2010. Tarımsal Bilişim: İleri Tarım Teknolojileri. XII. Akademik Bilişim Konferansı, Muğla.
- Thanh Nguyen, T., Kayacan, E., De Baedemaeker, J., Saeys, W., 2013. Task And Motion Planning For Apple Harvesting Robot. 4th IFAC Conference on Modelling and Control in Agriculture, Finland.
- Uğur, A., 2013. Görüntü İşlemeye Giriş. Ege Üniversitesi, http://yzgrafik.ege.edu.tr/~ugur/12_13_Spring/CI/ImageProcessing.pdf (18.04.2017).
- Umeda, M., Kubota, S., Lida, M., 1999. Development of “STORK”, A Watermelon-Harvesting Robot. Artificial Life and Robotics, 3 (3), 143-147.
- Van Henten, E.J., Hemming, J., Van Tuijl, B.A.J., Kornet, J.G., Bontsema, J., Van Os, E.A., 2003. Field Test of an Autonomous Cucumber Picking Robot. Biosystems Engineering, 86 (3), 305-313.
- Van Henten, E.J., Hemming, J., Van, Tuijl, B.A.J., Kornet, J.G., Meuleman, J., Bontsema, J., Vanos, E.A., 2002. An Autonomous Robot for Harvesting Cucumbers in Greenhouses. Autonomous Robots Kluwer Academic Publishers, 13 (3), 241-258.
- Van Henten, E.J., Schenk, E.J., Van Willigenburg, L.G., Meuleman, J., Barreiro, P., 2010. Collision-Free Inverse Kinematics Of The Redundant Seven-Link Manipulator Used in a Cucumber Picking Robot. Biosystems Engineering, 106 (2), 112-124.
- Van Henten, E.J., Van Tuijl, B.A.J., Hemming, J., Achten, V.T.J., Balendock, J., Wattimena, M.R., 2005. Cropst-A Mini Field Robot For Research On Precision Agriculture. Agrotechnology & Food Innovations Ltd., <http://edepot.wur.nl/28105> (21.04.2017).
- Wang, G., Yu, Y., Feng, Q., 2016. Design of End-effector for Tomato Robotic Harvesting. International Federation of Automatic Control, 49 (16), 190-193.
- Wei, X., Jia, K., Lan, J., Li, Y., Zeng, Y., Wang, C., 2014. Automatic Method Of Fruit Object Extraction Under Complex Agricultural Background For Vision System Of Fruit Picking Robot. Optik - International Journal for Light and Electron Optics, 125(19), 5684–5689.
- Yalçın, U., 2011. C# ile Renkli Nesne Takibi – Color Tracking. <http://uguryalcin.org/wordpress/?p=372> (26.04.2017).
- Yaman, K., Sarucan, A., Atak, M., Nizami, A., 2001. Dinamik Çizelgeleme İçin Görüntü İşleme Ve Arıma Modelleri Yardımıyla Veri Hazırlama. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 16 (1), 19-40.

- Yamanol, İ., 2016. Robotların Kısa Tarihi. <http://www.bilimkurgukulubu.com/genel/bilim-teknoloji/robotlarin-kisa-tarihi/> (11.09.2017)
- Yang, H., 2011. Remote Sensing Technique for Predicting Harvest Time of Tomatoes. *Procedia Environmental Sciences*, 10(A), 666-671.
- Yıldırım, K. S., 2003. Görüntü İşleme. <https://tekrei.github.io/presentations/2003-Goruntu-Isleme-Sunum.pdf> (18.04.2017).
- Yıldız, N. ve Uzun, T., 2004. Araba Benzeri Bir Gezgin Robotun Donanımı ile Yazılımının Tasarlanması ve Gerçekleştirilmesi. *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 11. Ulusal Kongresi*, İstanbul.
- Yılmaz, N., Sağiroğlu, Ş., Bayrak, M., 2006. Genel Amaçlı Web Tabanlı Mobil Robot: Sunar. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21 (4), 745-752.
- Zhao, Y., Gong, L., Huang, Y., Liu, C., 2016b. A review of key techniques of vision-based control for harvesting robot. *Computers and Electronics in Agriculture*, 127 (1), 311-323.
- Zhao, Y., Gong, L., Liu, C., Huang, Y., 2016a. Dual-arm Robot Design and Testing for Harvesting Tomato in Greenhouse. *International Federation of Automatic Control*, 46(16), 161-165.
- Zhaoxiang, L., Gang, L., 2007. Apple Maturity Discrimination And Positioning System In An Apple Harvesting Robot. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 50 (5), 103-1113.
- Zhi-Guo, L., Ji-Zhan, L., Ping-Ping, L., Jian-Jun, Y., 2009. Study On The Collision Mechanical Properties Of Tomatoes Gripped By Harvesting Robot Fingers. *African Journal of Biotechnology*, 8 (24), 7000-7007.
- Zion, B., Mann, M., Levin, D., Shilo, A., Rubinstein, D., Shmulevich, I., 2014. Harvest-Order Planning For A Multiarm Robotic Harvester. *Computers and Electronics in Agriculture*, 103, 75-81.
- Zurjevs, A., Osadcuks, V., Ahrendt, P., 2015. Trends in Robotic Sensor Technologies for Fruit Harvesting: 2010-2015. *Procedia Computer Science*, 77 (1), 227-233.

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Erzincan’da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Erzincan’da tamamladı. 2007 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği bölümünden mezun olduktan sonra 2010 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Bilgisayar Mühendisliği ABD’ de yüksek lisans yapmaya başladı. Halen Erzincan Üniversitesi’nde öğretim görevlisi olarak görev yapmaktadır.

