

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

**GPS YÖNLENDİRMELİ TARIMSAL BİR ROBOTUN GELİŞTİRİLMESİ VE
ANIZ YOĞUNLUĞUNUN BELİRLENMESİ ÖRNEĞİNDE KULLANIMI
ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

İlker ÜNAL

**DOKTORA TEZİ
TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI**

2012

**GPS YÖNLENDİRMELİ TARIMSAL BİR ROBOTUN GELİŞTİRİLMESİ VE
ANIZ YOĞUNLUĞUNUN BELİRLENMESİ ÖRNEĞİNDE KULLANIMI
ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

İlker ÜNAL

**DOKTORA TEZİ
TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI**

Bu çalışma, Akdeniz Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından, 2011.03.0121.011 Proje Numarası ile desteklenmiştir.

2012

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GPS YÖNLENDİRMELİ TARIMSAL BİR ROBOTUN GELİŞTİRİLMESİ VE
ANIZ YOĞUNLUĞUNUN BELİRLENMESİ ÖRNEĞİNDE KULLANIMI
ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

İlker ÜNAL

DOKTORA TEZİ

TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI

Bu tez /..... / 2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç.Dr. Mehmet TOPAKCI (Danışman)
Prof. Dr. İbrahim AKINCI
Doç.Dr. Ahmet YARDIMCI
Doç. Dr Murad ÇANAKCI
Yrd. Doç. Dr. Ufuk TÜRKER

ÖZET

GPS YÖNLENDİRMELİ TARIMSAL BİR ROBOTUN GELİŞTİRİLMESİ VE ANIZ YOĞUNLUĞUNUN BELİRLENMESİ ÖRNEĞİNDE KULLANIMI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

İlker ÜNAL

Doktora Tezi, Tarım Makinaları Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. Mehmet TOPAKCI

Ekim 2012, 208 Sayfa

Bu çalışmada, tarla ortamında hareket edebilen, diferansiyel sürüş sistemine sahip bir mobil robot tasarlanmıştır. Mobil robot, hareketini iki adet DC motordan alan lastik tekerlekli bir araçtır. Tasarlanan mobil robotun otonom olarak ilerletilmesi ve yönlendirilmesi için GPS sistemi kullanılmıştır. GPS sisteminden gelen verilerin değerlendirilebilmesi için navigasyon yazılımı geliştirilmiştir. Mobil robotun ilerleme ve dönüşleri, motorların ileri veya geri aynı ya da farklı hızlarda çalıştırılması ile sağlanmıştır. Kontrol sinyalleri robot üzerine yerleştirilen panel bilgisayardan gönderilmiştir. Robotun istenilen noktaya yönlendirilmesi için azimuth (kertz) ve heading (istikamet) açıları kullanılmıştır. Robotun istenilen noktaya ilerletilmesi için, bulunan nokta ile hedef nokta arasındaki mesafe hesaplanmıştır. Geliştirilen navigasyon yazılımı ile anlık olarak heading açısı, azimuth açısı ve iki nokta arasındaki mesafe hesaplanmıştır. Heading ve azimuth açısı arasındaki fark 0'a ve mesafe 0'a yaklaştığında mobil robot hedef noktaya ulaşmaktadır.

Çalışmada, mobil robota işlevsellik kazandırmak amacıyla anız yoğunluğu tespiti için görüntü işleme yazılımı geliştirilmiştir. Mobil robotun üzerine yerleştirilen bir dijital fotoğraf makinası kullanılarak tarla üzerindeki anız görüntüleri elde edilmiştir.

Elde edilen görüntüler grayscale formata çevrilmiştir. Bu sayede, anızı tanımlayan renk değeri belirlenmiştir. Anıza ait renk değerinin toplam görüntü içerisindeki yoğunluğu belirlenerek o görüntüye ait anız yoğunluğu değeri hesaplanmıştır.

Tarla denemeleri, 2012 yılı temmuz ve ağustos aylarında iki farklı tarlada yürütülmüştür. Her bir deneme için 30 farklı GPS noktası kullanılmıştır. Her bir deneme, 10 nokta için 3 tekerrürlü şekilde gerçekleştirilmiştir. Denemelerde, mobil robotun durduğu nokta ile hedef nokta arasındaki mesafe ölçülmüştür. Böylece, mobil robotun hedef nokta hassasiyeti belirlenmiştir. Ayrıca her bir nokta için görüntü işleme yöntemi ile anız yoğunluğu oranları belirlenmiştir. Belirlenen anız yoğunluğu oranları, kesişen hat yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, istatistiksel olarak aritmetik ortalama ve bağımsız örnek t testine tabi tutulmuştur.

Yapılan denemeler sonucunda, geliştirilen mobil robotun, doğrusal hedef nokta hassasiyeti ortalama 10 - 12 cm, dağınık hedef nokta hassasiyeti ise ortalama 15 - 17 cm olarak ölçülmüştür. Anız yoğunluğu belirleme işleminde, birinci ve ikinci deneme için, her iki yönteme ait sonuçların birbirinden farklılık göstermediği tespit edilmiştir ($P = 0.193$, $P = 0.578$).

ANAHTAR KELİMELER: Mobil Robot, GPS, Navigasyon, Görüntü İşleme, Anız Yoğunluğu

JÜRİ Doç. Dr. Mehmet TOPAKCI (Danışman)
 Prof. Dr. İbrahim AKINCI
 Doç. Dr. Ahmet YARDIMCI
 Doç. Dr. Murad ÇANAKCI
 Yrd. Doç. Dr. Ufuk TÜRKER

ABSTRACT

A RESEARCH ON THE DEVELOPMENT OF GPS GUIDED AN AGRICULTURAL ROBOT AND USE THE SAMPLE OF STUBBLE DENSITY DETERMINATION

İlker ÜNAL

Ph. D. Thesis in Agricultural Machinery

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Mehmet TOPAKCI

October 2012, 208 Pages

In this study, mobile robot that can move on the field was designed and conducted. The mobile robot is a four-wheel vehicle which steered with two DC motors. GPS system was used for steering and driving autonomously for mobile robot. The navigation software was developed for processing data, which came from the GPS system. The mobile robot's drives and turns were achieved by the same or different DC motors' speed. The control signals for the dc motors were sent by the panel computer which was placed on the vehicle. Azimuth and heading angles are used to guide the vehicle to the desired point. For the driving of the vehicle to the target point, distance between the current point of the mobile vehicle and the target point is calculated. By the help of developed navigation software, heading angle, azimuth angle and the distance between the current and target point were continuously calculated. When the difference between the heading and the azimuth angle, and the distance becomes closer to zero, mobile vehicle is reached to target point.

In this study, for the determination of the stubble density, image processing software has been developed with the aim of adding functionality to the mobile vehicle.

The stubble images in the field have been obtained by the using digital camera which was mounted mobile vehicle. The colored stubble images have been converted to grayscale images by the using developed software. In this way, the stubble color value was determined. Thus, the intensity of stubble color value in the grayscale image was counted and so, the ratio of the stubble was determined by the software.

Field experiments were conducted in two different fields in July and August 2012. 30 different GPS point were used for each trial. Each experiment was carried out 3 replicates for 10 points. The distance between mobil robot's stop point and target point was measured. So, target point precision of the mobil robot was determined. In addition, the stubble density ratios were determined for each point by the method of image processing. The stubble density ratios which were determined in tests by the image processing were compared with the line transects method. To evaluate the test results, independent sample t test and arithmetic mean was conducted.

In the results of the experiments, it was founded that the linear target point precision ranged from 10 to 12 cm and the distributed target point precision ranged from 15 to 17 cm. In the process of determining the stubble density, differences between the results of both methods were not found in the first experiment ($P = 0.193$). In the second experiment, similarly, differences between the results of both methods were not found ($P = 0.578$).

KEY WORDS: Mobile Robot, GPS, Navigation, Image Processing, Stubble Density

COMMITTEE Assoc. Prof. Dr. Mehmet TOPAKCI (Adviser)
Prof. Dr. İbrahim AKINCI
Assoc. Prof.Dr. Ahmet YARDIMCI
Assoc. Prof.Dr. Murad ÇANAKCI
Assist. Prof.Dr. Ufuk TÜRKER

ÖNSÖZ

Son yüzyıldaki mekanik, elektronik ve bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişmeler, tarımda devrim niteliğinde değişimlere neden olmuştur. Mekanik teknolojisindeki gelişmeler ile hayvan gücünden makine gücüne geçiş sağlanmıştır. Elektronik ve bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler ile tarımsal üretimdeki çok sayıdaki uygulamaların otomasyonu ve optimizasyonu sağlanmıştır. Bu teknolojinin tarım alanına sunduğu en önemli gelişmelerden birisi de GPS sistemidir. Bu sistemin tarım makinalarına kazandırdığı özelliklerden biri de navigasyondur. Tarım makinalarının, GPS verilerine göre sürücüsüz olarak çalıştırılması ve navigasyonunun sağlanması konusunda son zamanlarda yoğun bir şekilde çalışmalar yapılmaktadır. Bu bağlamda yapılan bu çalışmada, GPS verilerine göre otonom olarak hareket edebilen bir robotun geliştirilmesi, geliştirilen robotun internet bağlantısı üzerinden izlenebilmesi ve kontrol edilebilmesi, robot üzerine yerleştirilecek olan ölçüm sistemleri ile anız yoğunluğunun belirlenerek haritalanması, kayıt altına alınması ve tasarlanan sistemin hassasiyet sınırlarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Doktora eğitimimin her sürecinde bilgisini, yardımını ve emeğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç.Dr. Mehmet TOPAKCI'ya, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım kıymetli hocam Sayın Prof.Dr. İbrahim AKINCI'ya, tez izleme komitesi üyelerine, doktora eğitime başladığım günden bu zamana her türlü konuda bilgilerini, yardımlarını ve tecrübelerini esirgemeyen Sayın hocalarım Doç.Dr. Davut KARAYEL ve Doç.Dr. Murad ÇANAKCI'ya, çalışmanın mekanik kısmının imalatında emeği geçen Sayın Muhammet KAHRAMAN Bey'e (Bucak Kahramanlar Makine İmalat Şirketi), araştırmaya maddi destek sağlayan Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine ve Tarım Makinaları bölümü öğretim üyesi hocalarım ve araştırma görevlisi arkadaşlarıma teşekkür ederim. Beni her türlü şartlarda maddi ve manevi anlamda destekleyen eşim ve oğluma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL BİLGİLER ve KAYNAK TARAMALARI	5
2.1 GPS (Global Positioning System)	5
2.1.1. GPS sisteminin bölümleri	8
2.1.1.1. Uzay bölümü	8
2.1.1.2. Kontrol bölümü	11
2.1.1.3. Kullanıcı bölümü.....	13
2.1.2. GPS navigasyon mesajı	15
2.1.3. GPS ile bir noktaya ait konumun hesaplanması	16
2.1.4. GPS hataları	22
2.1.5. GPS ile konum belirleme yöntemleri	23
2.1.5.1 Statik ölçme yöntemi.....	25
2.1.5.2. Hızlı statik ölçme yöntemi	25
2.1.5.3. Dur ve git ölçme yöntemi.....	26
2.1.5.4. Kinematik ölçme yöntemi	26
2.1.5.5. Pseudo kinematik ölçme yöntemi	26
2.1.5.6. Diferansiyel GPS (DGPS).....	27
2.1.5.7. Gerçek zamanlı kinematik GPS (RTK GPS)	29
2.1.5.8. Referans istasyon ağı ile gerçek zamanlı kinematik GPS.....	31
2.1.6. GPS alıcısı ve veri iletişim formatları	33
2.1.6.1. NMEA veri iletişim formatı	34
2.1.6.2. RTCM SC – 104 veri iletişim formatı.....	35
2.1.7. Coğrafi konum sistemleri	35

2.1.7.1. Universal transverse marcator (UTM)	37
2.1.8. Navigasyon metodolojisi	38
2.2. Anız Yoğunluğu	40
2.2.1. Anız yoğunluğunun belirlenmesinde kullanılan yöntemler.....	45
2.2.2. Görüntü işleme sistemi	52
2.3. Otomatik Yönlendirme Sistemleri.....	55
2.4. Görüntü İşleme Yöntemi	63
3. MATERYAL ve METOT	69
3.1. Materyal.....	69
3.1.1. Mobil robot çatısı.....	72
3.1.2. Mobil robot hareket sistemi	73
3.1.3. DC motor ve redüktör	76
3.1.4. Motor kontrol ünitesi	80
3.1.5. Besleme ünitesi	84
3.1.6. Endüstriyel bilgisayar	87
3.1.7. GPS alıcısı	89
3.1.8. Dijital fotoğraf makinesi.....	92
3.1.9. Gözlem kamerası	95
3.1.10. 3G WINN modem.....	96
3.1.11. El kumandası	97
3.1.12. Yazılım geliştirme ortamı	98
3.2. Metot	99
3.2.1. Yazılımsal çözümler	100
3.2.1.1. Motorların yerleşimi ve kontrol algoritması	102
3.2.1.2. GPS verilerinin işlenmesi ve navigasyon algoritması.....	104
3.2.1.3. Gözlem kamerası görüntülerinin aktarım algoritması.....	110
3.2.1.4. Görüntü işleme ile anız yoğunluğu belirleme algoritması	112
3.2.1.5. Mobil robotun el kumandası ile kontrol algoritması.....	116
3.2.2. Mobil robot test işlemleri.....	119
3.2.2.1. Navigasyon iş dosyasının oluşturulması	119
3.2.2.2. Doğrusal hedef nokta hata oranlarının belirlenmesi	121
3.2.2.3. Dağınık hedef nokta hata oranlarının belirlenmesi	124

3.2.3. Anız yoğunluğu ölçümünün test işlemleri	125
3.2.3.1. Anız yoğunluğu belirleme işleminde kullanılan deneme alanı	125
3.2.3.2. Anız yoğunluğunun belirlenmesi	125
3.2.3.3. Anız yoğunluğunun haritalanması	127
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	129
4.1. Mobil Robot Test İşlemleri	129
4.1.1. Mobil robot teknik özellikleri	130
4.1.2. Doğrusal hedef nokta hata oranları	130
4.1.3. Dağınık hedef nokta hata oranları	131
4.2. Anız Yoğunluğu Ölçme İşlemi	140
4.2.1. Görüntü işleme ve kesişen hat yöntemi kullanılarak elde edilen anız yoğunluğu verileri	140
4.2.2. Anız yoğunluğu haritalarının oluşturulması	143
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	146
6. KAYNAKLAR	150
7. EKLER	158
EK – 1 Geliştirilen server yazılıma ait kodlar	158
EK – 2 Geliştirilen client yazılıma ait kodlar	177
EK – 3 Deneme alanları için kullanılan koordinatlar	181
EK – 4 Denemelerde elde edilen anız görüntüleri	183

ÖZGEÇMİŞ

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

A_{kk}	Anız Kalibrasyon Katsayısı
JS	Joystick Sinyali
KS	Kontrol Sinyali
n	Resim için kontrol edilen piksel sayısı
P_{aniz}	Anız piksel sayısı
RGB_{aniz}	Anız RGB değeri

Kısaltmalar

ATV	All-Terrain Vehicle
BATEM	Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü
BPSK	Bi Phase Shift Keying
CAN	Controller Area Network
CDMA	Code Division Multiple Access
CORS	Continuously Operating Reference Station
DGPS	Differential Global Positioning System
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum Modulation
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NMEA	National Marine Electronics Association
PPS	Precision Positioning Service
PRN	Pseudo Random Noise Code
PWM	Pulse Width Modulation
RTCM	Radio Technical Commission for Maritime Services
RTK	Real Time Kinematic
SPS	Standart Positioning Service
UTC	Universal Coordinated Time
UTM	Universal Transverse Marcator
WAAS	Wide Area Augmentation System

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Dünya üzerinde 6 yörüngede dönen 24 uydu	5
Şekil 2.2. GPS'in temel fonksiyonu	6
Şekil 2.3. 2D konum belirleme	6
Şekil 2.4. Dikey hassasiyet arttırılmış 2D konum belirleme.....	7
Şekil 2.5. 3D konum belirleme	7
Şekil 2.6. GPS bölümleri.....	8
Şekil 2.7. Sinyal aktarım süresinin belirlenmesi (Zogg, 2002).....	9
Şekil 2.8. Pseudo random noise	10
Şekil 2.9. GPS uydusunun detaylı blok şeması.....	11
Şekil 2.10. GPS kontrol bölümü	12
Şekil 2.11. Sinyal aktarım süresinin ölçülmesi	13
Şekil 2.12. 30 bit üzerinden korelasyon işlemi	14
Şekil 2.13. Navigasyon mesajının bütünleşik yapısı.....	15
Şekil 2.14. Konum belirleme için 4 farklı uydu.....	16
Şekil 2.15. Üç boyutlu kartezyen koordinat sistemi	17
Şekil 2.16. Taylor serilerinin dönüşümü	19
Şekil 2.17. Coğrafi bir konumun tahmini.....	20
Şekil 2.18. GPS ile konum belirleme yöntemleri.....	24
Şekil 2.19. DGPS yöntemi ile konum belirleme	28
Şekil 2.20. Gerçek zamanlı kinematik GPS	29
Şekil 2.21. CORS sisteminin yapısı	32
Şekil 2.22. GPS alıcısının blok şema gösterimi (Zogg, 2002).....	34
Şekil 2.23. Koordinat sistemleri için referans noktalar.....	36
Şekil 2.24. Dünya üzerindeki bir noktanın koordinatlarının belirlenmesi.....	37
Şekil 2.25. UTM koordinat sistemi	38
Şekil 2.26. Tarla yüzeyindeki soya anızı	41
Şekil 2.27. Tarla yüzeyindeki mısır anızı.....	41
Şekil 2.28. Anız yoğunluğu çevrim grafiği (Kline 2000)	48
Şekil 2.29. Düşümlü ip ile anız yoğunluğu ölçümü (Kline 2000).....	49

Şekil 2.30. Farklı oranlardaki buğday anız yoğunlukları (Hickman ve Schoenberger 1989).....	50
Şekil 2.31. Görüntü işleme sistemi bileşenleri (Wang ve Sun 2002).....	52
Şekil 2.32. Görüntü işleme mekanizmasının aşamaları (Sun 2003)	54
Şekil 2.33. Yönlendirme ve dümenleme Kontrolcülere (Stombaugh vd 1999).....	57
Şekil 2.34. Geliştirilen araç ve yönlendirme sistemi (Nistala 2006).....	62
Şekil 2.35. Bitki artığı oranının görüntü işleme yöntemi ile belirlenmesi (Karabacak 2007)	64
Şekil 2.36. a) Şablon resimler b) Binary resimler (Ribeiro vd 2011)	65
Şekil 2.37. Anız yoğunluğu ölçüm sistemi (Pforte ve Hansel 2010).....	66
Şekil 2.38. Gri skalaya çevrilmiş anız görüntüleri (Pforte ve Hansel 2010).....	66
Şekil 2.39. Yabancı ot ölçüm sistemi (Wiles 2011).....	67
Şekil 2.40. Otonom olarak çalışan yabancı ot tespit robotu (Jeon vd 2011).....	68
Şekil 3.1. Mobil robot sistemi için kullanılan materyaller.....	69
Şekil 3.2. GPS yönlendirmeli tarımsal robot	70
Şekil 3.3. a) Mobil robot katı modeli	71
Şekil 3.3. b) Mobil robot görünüşleri.....	71
Şekil 3.4. Ana çatı görünümü.....	72
Şekil 3.5. Redüktörlerin bağlantısı.....	72
Şekil 3.6. Tekerleklerle yerleştirilmiş dişli	74
Şekil 3.7. Dişli ve zincir sistemi.....	74
Şekil 3.8. Dişli görünümü	75
Şekil 3.9. Tek sıra makaralı zincire ait görünüşler.....	76
Şekil 3.10. DC Motor	77
Şekil 3.11. F 090 Tip Redüktör	79
Şekil 3.12. Motor – redüktör grubunun robot üzerindeki yerleşimi	80
Şekil 3.13. AX3500 Motor kontrol ünitesi	81
Şekil 3.14. AX3500 Motor kontrol ünitesi blok şeması a) Bilgisayar Bağlantısı b) Motor ve Güç Bağlantıları.....	82
Şekil 3.15. Güç kaynağı	84
Şekil 3.16. Akü şarj cihazı	85
Şekil 3.17. 1000 W inverter/converter	85

Şekil 3.18. Inverter ve akünün robot üzerindeki yerleşimi	86
Şekil 3.19. HUGIN WIZE POS HD panel bilgisayar	87
Şekil 3.20. Endüstriyel bilgisayarın robot üzeri yerleşimi	88
Şekil 3.21. Promark 500 GPS alıcısı ve SIM kart yerleşimi	89
Şekil 3.22. GPS alıcısının mobil robot üzerindeki yerleşimi	90
Şekil 3.23. Canon PowerShot SX100 IS ön ve arka görüntüleri	92
Şekil 3.24. Fotoğraf makinasının yerleştirildiği kapalı ortam.....	94
Şekil 3.25. Fotoğraf makinasının robot üzerindeki yerleşimi	94
Şekil 3.26. HP Pro USB Webcam	95
Şekil 3.27. Gözlem kamerasının robot üzerindeki yerleşimi	96
Şekil 3.28. Turkcell 3G Internet Modem	96
Şekil 3.29. Uzaktan yönlendirme için kullanılan USB El kumandası	98
Şekil 3.30. Mobil robotun blok yapısı.....	99
Şekil 3.31. Client yazılımı.....	100
Şekil 3.32. Server yazılımı	101
Şekil 3.33. Sisteme ait web sayfası	101
Şekil 3.34. Mobil robot tekerlek, motor ve redüktör düzeneği	102
Şekil 3.35. Motor kontrol işlemine ait blok şema	103
Şekil 3.36. GPS verilerinin depolanması	104
Şekil 3.37. GPS verilerinin işlenmesi ve depolanması için kullanılan akış şeması	106
Şekil 3.38. Heading ve Azimuth açıları	107
Şekil 3.39. Mobil robotun yönlenme ve ilerlemesi için kullanılan akış şeması.....	109
Şekil 3.40. Görüntü aktarımı için kullanılan akış şeması.....	111
Şekil 3.41. Üzerinde görüntü işleme yapılmamış anız görüntüsü.....	112
Şekil 3.42. Grayscale anız resmi	113
Şekil 3.43. Görüntü işleme yöntemine ait akış şeması	115
Şekil 3.44. El kumandası kullanımına ait akış şeması	118
Şekil 3.45. Navigasyon tablosu.....	120
Şekil 3.46. Mobil robotun gideceği noktalara ait navigasyon bilgileri	121
Şekil 3.47. Doğrusal hedef nokta hassasiyet oranının belirlenmesi.....	122
Şekil 3.48. Doğrusal hedef nokta hata ölçüm işlemi.....	123
Şekil 3.49. Dağınık hedef nokta hassasiyet oranının belirlenmesi.....	124

Şekil 3.50. Kesişen hat yöntemi ile anız yoğunluğu belirleme işlemi	127
Şekil 3.51. Anız yoğunluğu haritalamada kullanılan veritabanı tablosu	128
Şekil 4.1. Deneme 1 Tekerrür 1 koordinat haritası	132
Şekil 4.2. Deneme 1 Tekerrür 2 koordinat haritası	133
Şekil 4.3. Deneme 1 Tekerrür 3 koordinat haritası	134
Şekil 4.4. Deneme 2 Tekerrür 1 koordinat haritası	135
Şekil 4.5. Deneme 2 Tekerrür 2 koordinat haritası	136
Şekil 4.6. Deneme 2 Tekerrür 3 koordinat haritası	137
Şekil 4.7. Birinci deneme için kullanılan tarlaya ait anız yoğunluğu haritası.....	144
Şekil 4.8. İkinci deneme için kullanılan tarlaya ait anız yoğunluğu haritası	145

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Standart sivil kullanım hassasiyeti.....	16
Çizelge 2.2. GPS hata kaynakları.....	23
Çizelge 2.3. Yüzey artığı kaplama oranı ve yüzey artığı miktarı arasındaki ilişki (McCarthy 1993).....	42
Çizelge 2.4. Farklı toprak işleme yöntemlerinin uygulanması için gerekli olan bitki artığı oranları.....	44
Çizelge 2.5. Farklı tarım makinası, işlem ve zamana bağlı olarak toprak yüzeyinde kalan tahmini bitki artığı oranları.....	47
Çizelge 3.1. Dişli teknik özellikleri.....	75
Çizelge 3.2. Tek sıra makaralı zincire ait teknik özellikler	76
Çizelge 3.3. DC Motora ait katalog verileri.....	77
Çizelge 3.4. Redüktöre ait teknik özellikler.....	79
Çizelge 3.5. Motor kontrol ünitesi teknik özellikleri.....	83
Çizelge 3.6. Mobil robot bileşenlerine ait saatlik akım tüketim değerleri.....	86
Çizelge 3.7. HUGIN WIZE POS HD panel bilgisayar teknik özellikleri.....	88
Çizelge 3.8. Promark 500 GPS alıcısı teknik özellikleri.....	91
Çizelge 3.9. Canon PowerShot SX100 IS Teknik verileri.....	93
Çizelge 3.10. Turkcell 3G Wınn E177 USB modem özellikleri.....	97
Çizelge 3.11. Motor kontrol algoritması verileri	103
Çizelge 3.12. Siyah renk kalibrasyon katsayısı.....	114
Çizelge 3.13. El kumanda kolunun ürettiği veriler	116
Çizelge 3.14. Motor kontrol ünitesi ve el kumandası oranlama	117
Çizelge 4.1. Doğrusal hedef nokta hata mesafeleri.....	131
Çizelge 4.2. Dağınık hedef nokta hata mesafeleri.....	138
Çizelge 4.3. Denemelere ait anız yoğunluğu değerleri	141
Çizelge 4.4. Denemelere ait istatistikî veriler	142
Çizelge 4.5. T testi sonuçları.....	142

1. GİRİŞ

İnsanoğlu, hayatın başlangıcından itibaren farklı sosyo-ekonomik süreçlerden geçmiştir. İnsanlık tarihinde iz bırakan süreçlerden birincisi, insanları ilkel yaşamdan toprağa ve yerleşik düzene bağlayan tarım toplumuna geçiş, ikincisi tarım toplumundan kitlesel üretim, tüketimin ve eğitimin önemli olduğu sanayi toplumuna geçiş, üçüncüsü ise kitlesel refahın, bilginin ve nitelikli insan sermayesinin önem kazandığı bilgi toplumuna geçiş aşamasıdır (Aktan ve Tunç 1998). Her bir süreç, tarımsal faaliyetlerin yapısını doğrudan değiştirmiştir. Tarım toplumuna geçiş ile insan ve hayvan gücüne dayalı tarım, sanayi toplumuna geçiş ile makine gücüne dayalı tarım ve son olarak bilgi toplumuna geçiş ile bilgi teknolojisine dayalı tarım yapısı oluşmuştur.

Dünya nüfusunun gün geçtikçe artmasına karşılık tarımsal üretim alanlarının sabit kalması ve azalması daha etkin ve sürdürülebilir tarım politikasını zorunlu hale getirmiştir. Özellikle dünya nüfusunun gıda ihtiyaını karşılayabilmek için daha geniş anlamda uluslararası işbirliği, sürdürülebilir tarımsal kalkınma, çevreci yaklaşımlar, tarımsal üretimde ileri teknoloji kullanımı gibi konular üzerinde yoğun şekilde durulması gerekmektedir (Cox 2002). Bu bağlamda, optimum kazanç, sürdürülebilirlik ve çevrenin korunması açısından, arazide zamansal ve konumsal olarak değişkenlik gösteren faktörlerin belirlenmesi, analiz edilmesi ve yönetilmesi amacıyla yürütülen bilgi ve teknolojiye dayalı tarımsal üretim sistemi olan hassas uygulamalı tarım teknolojisi (Precision Agriculture, PA) zellikle son 10 yılda tarım sektöründe uygulama alanı bulan bir konu olmuştur (Robert vd 1995).

Hassas uygulamalı tarım teknolojisi, tarımsal üretimde kullanılan girdilerin çevreye duyarlı bir şekilde düzenlenmesine olanak sağlayan bir yaklaşımdır. Hassas tarım, ekonomi ve evre koruma ilkelerini göz önünde tutarak; bilişim çağının gelişen teknolojilerinin tarımsal üretimle bütünleştirilerek kullanılmasını ifade etmektedir (Vatandaş vd 2001). Özellikle küresel konum belirleme sisteminin (GPS) gelişmesine paralel olarak çiftçiler, tarımsal üretimde konumsal farklılıkları dikkate alarak uygulama yapmanın avantajlarını fark etmeye başlamışlardır. Yerel bilgilerin kullanılması ile üretime etki eden faktörlerin mevcut durumuna bağlı olarak değişken düzeylerde

gübreleme, ilaçlama, sulama, ekim normu vb. uygulama olanağı ortaya çıkmaktadır. PA yaklaşımının uygulanması ile tarımsal faaliyetler, dijital ve bilgi çağına uygun hale gelmektedir (Güler ve Kara 2005). Tarımsal işletme ve uygulamalar, hassas tarım tekniklerinin kullanılması ve yerinde test edilmesi ile bir teknolojik dönüşüme ve yenilenmeye ihtiyaç duymaktadır (Türker ve Güçdemir 2004). Bununla birlikte, hassas tarımın gelecekteki uygulamaları arasında; teknolojik gelişmelerin kullanım kolaylığını sağlayacak olan kullanıcı ara yüzlerinin iyileştirilmesi, kritik çalışma koşullarının, makinelerin ve toprağın durumu hakkında elde edilen verilerin uzak noktalara iletilmesini sağlayacak telemetri sistemlerinin tasarlanması, uzaktan kontrol edilebilen ve konum kontrollü otonom araçların geliştirilmesi olarak gösterilmektedir (Blackmore ve Griepentrog 2002, Zhalka 2010).

Tarımsal mekanizasyonda bugün, traktör, biçerdöver, ilaçlama makineleri gibi farklı güçlerde, boyutlarda ve amaçlarda alet ve makineler kullanılmaktadır. Bu alet ve makinelerin tamamı, tarımsal işlerin hızlı ve etkin yapılmasını sağlayarak, verimliliği ve üretimi maksimize etmek için kullanılmaktadır. Tarım makinaları üreticisi firmalar, çiftçiler ve operatörlerin üretkenliğini arttırabilmek için boyut ve ağırlık açısından büyük traktörler ve makineler yapabilmek için çaba harcamışlardır (Powell 2006). Fakat artan makine büyüklükleri, aynı zamanda yararlı kullanım sınırları için olumsuz etkileri de beraberinde getirmektedir. Büyük makineler, ekonomik anlamda pahalı, kullanım anlamında ise karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu nedenle, operatörlerin kullanım ve yönlendirme sıkıntıları oluşmaktadır. Ayrıca, ağır makinelerin toprak sıkışıklığını arttırması nedeniyle ürün veriminde azalmalara neden olduğu da bilinmektedir. Bu problemlerin çözümü noktasında araştırmacılar, tarımsal işlemlerdeki etkinliğin geliştirilebilmesi için yeni yöntemler aramaktadır. Bu yöntemlerden bir tanesi de robotik uygulamalarıdır. Robotik uygulamalar yardımıyla doğru zamanda, doğru yerde, doğru tarımsal işlemleri gerçekleştiren enerji tüketimi az, boyutları küçük ve akıllı sistemlerin tasarlanması mümkündür (Blackmore vd 2005). Bununla beraber, son zamanlarda operatörlerin hatalarını ortadan kaldırabilmek için sürücüsüz traktör konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Traktörlerin, operatör olmadan ilerletilmesi, GPS teknolojisinin sunduğu imkânlarla mümkün olmaktadır.

Robotik uygulamalar çoğu endüstri sektöründe olduğu gibi tarım sektöründe de yaygın olarak kullanılmaktadır. Tarımda robotik uygulamaları ülkemizde oldukça yeni olmasına rağmen, dünyada traktörlerin otomatik dümenlenmesinden otomatik meyve toplayan robotlara kadar geniş ve farklı uygulamalara rastlanmaktadır. Aynı zamanda, toprak özelliklerinin örneklenmesi ve algılanması, alana özgü verilerin hızlı bir şekilde toplanmasını sağlayan robotik uygulamalar da oldukça ilgi görmektedir (Nistala 2006). Bu anlamda, tez çalışmasının birincil amacı; toprak ve bitki özelliklerinin analiz işlemlerine uygun, internet üzerinden kontrol edilebilen, bir tarımsal robotun tasarlanmasıdır. Bu amaç doğrultusunda, optimum araç tasarımı yapılmıştır. Mobil robotun otomatik yönlendirilmesi için GPS teknolojisi kullanılmıştır. Tarımsal robotun, yazılımsal ve donanımsal mimarisi gerçekleştirilmiş, sistem için uygun bilgisayar sistemi tasarlanmış, mekanik sistemin yazılım sistemine verdiği tepki süreleri araştırılmış ve sistemin hassasiyet sınırları belirlenmiştir.

Hassas tarım teknolojisi konusunda araştırmacıların üzerinde çalışmaya başladığı konulardan birisi, makinelerin ve toprağın durumu hakkında elde edilen verilerin uzak noktalara iletilmesini sağlayacak telemetri sistemlerinin tasarlanmasıdır. Bu bağlamda, tez çalışmasının ikincil amacı; hazırlanan tarımsal robot üzerinden toprak yüzeyindeki anız yoğunluğunun anlık olarak görüntü işleme yöntemiyle belirlenmesi ve uzak noktadaki bilgisayara aktarılması olmuştur.

Koruyucu toprak işleme (conservation tillage) sisteminde toprağı devirerek işleyen pulluk gibi toprak işleme aletleri kullanılmamaktadır. Toprak sıkışıklığının sorun olduğu yerlerde toprağı belli bir derinlikte yırtarak işleyen çizel vb. aletler kullanılmaktadır. Bu sistemde, ön bitki veya ürün artıkları tarla yüzeyinde bırakılmaktadır. Erozyon kontrolünde, koruyucu toprak işleme ve doğrudan ekimin olumlu etkileri ortaya konulmuştur (Aykas vd 2005). Genel olarak koruyucu toprak işleme sisteminde tarla yüzeyinin en az %30 oranında bitki örtüsü ile kaplı halde bulunması amaçlanmaktadır (Koller 2003). Tarla yüzeyindeki anız miktarının belirlenmesinde birkaç farklı yöntem kullanılmasına rağmen, yaygın olarak kullanılan yöntem ağırlık esaslıdır. Bu yöntemde, birim alan yüzeyindeki anız toplanarak ağırlığı

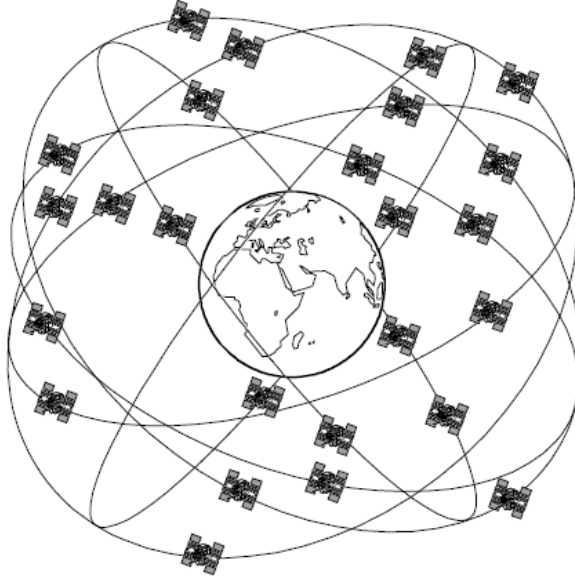
ölçülür ve birim alana oranlanarak anız yoğunluğu belirlenmektedir. Bu çalışmada ise anız yoğunluğu görüntü işleme yöntemi kullanılarak belirlenmiştir.

Araştırma sonucunda, günümüzde yurt dışında yoğun olarak çalışılmakta olan otomatik dümenleme ve otonom olarak GPS verilerine göre hareket edebilen tarımsal amaçlı bir robot ülkemizde ilk defa tasarlanmıştır. Geliştirilen robot ilerleme ve yönlendirme metodolojisi farklı makineler için kullanılabilir bir veri tabanı kaynağı oluşturmasının yanında sürücüsüz otonom traktörler için temel altyapı oluşturacaktır. Aynı zamanda, toprak için gerekli organik maddelerin önemli bir kaynağını oluşturan ve koruyucu toprak işlemede önemli bir ölçüt olan anız yoğunluğu, tasarlanan robot üzerinden, görüntü işleme yöntemi ile saptanmıştır.

2. KURAMSAL BİLGİLER ve KAYNAK TARAMALARI

2.1 GPS (Global Positioning System)

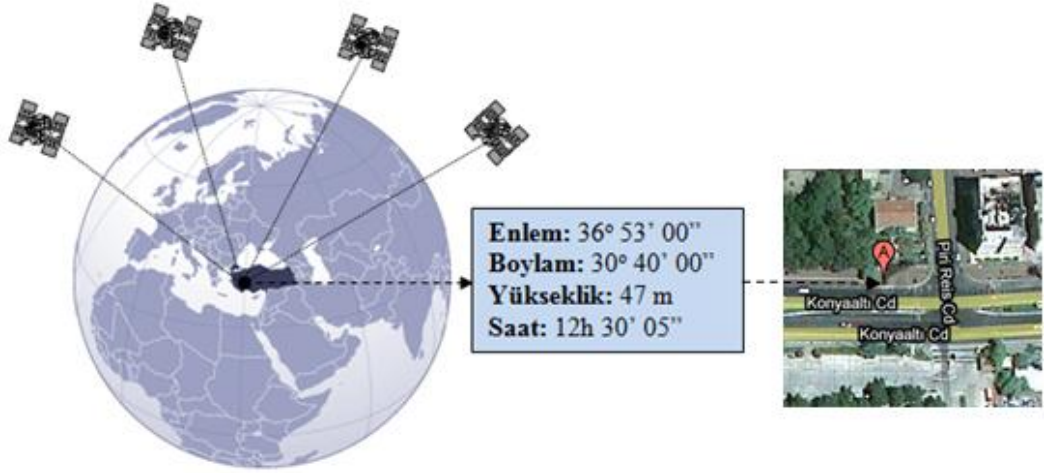
GPS, dünyanın herhangi bir noktasındaki coğrafi konumu belirlemeye yarayan uydu tabanlı navigasyon sistemidir. Sistem, dünya yüzeyinden 20,180 km yüksekte ve sürekli olarak konum ve zaman bilgilerini kodlanmış olarak dünya üzerine yayan 24 adet uydudan oluşmaktadır. Bu uydular, 6 farklı yörüngede ve her bir yörüngede 4 uydu olacak şekilde dünya üzerinde dönerler (Şekil 2.1). Her bir uydu, yörüngesini 12 saatte tamamlar. Bu sayede bir uydu 24 saatlik süre içerisinde aynı noktadan 2 kez geçer.



Şekil 2.1. Dünya üzerinde 6 yörüngede dönen 24 uydu

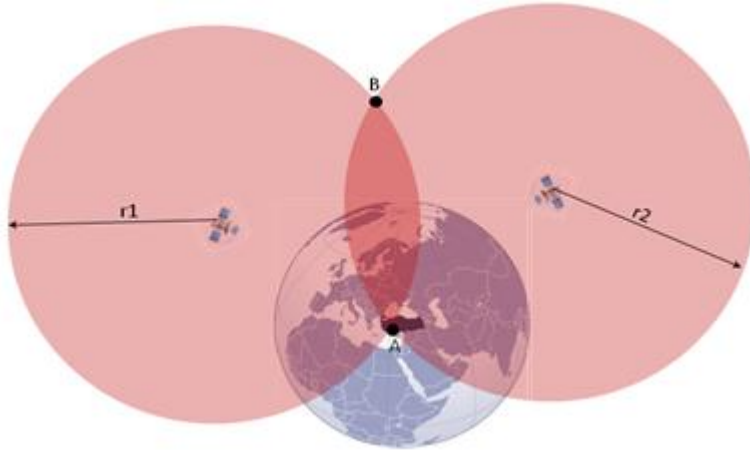
GPS kullanılarak, dünya üzerindeki herhangi bir noktanın 2 önemli coğrafi bilgileri belirlenebilmektedir (Şekil 2.2). Bu değerler;

- Noktanın dünya üzerindeki tam yeri (enlem, boylam ve rakım), yaklaşık 20 m – 1 mm hassasiyetle.
- Hassas zaman (Universal Time Coordinated, UTC), yaklaşık 60 ns – 5 ns hassasiyetle.



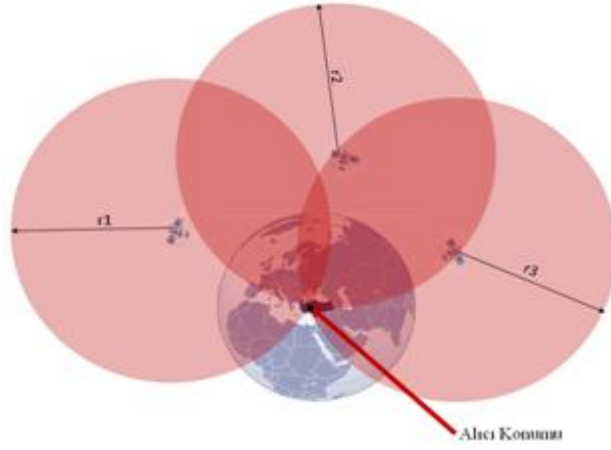
Şekil 2.2. GPS'in temel fonksiyonu

Dünya üzerindeki bir noktanın konumu, triangülasyon (üçgenleme) yöntemi kullanılarak belirlenmektedir. Her bir uydu, r yarıçaplı bir çember oluşturacak şekilde mikrodalga radyo sinyalleri ile konum ve saat bilgilerini yayınlar. Coğrafi noktanın, 2 boyutlu sistemde (enlem ve boylam) konumunun belirlenebilmesi için iki uydu yeterlidir. Uyduların oluşturduğu çemberler iki noktada birbirlerini kesmektedirler (Şekil 2.3).



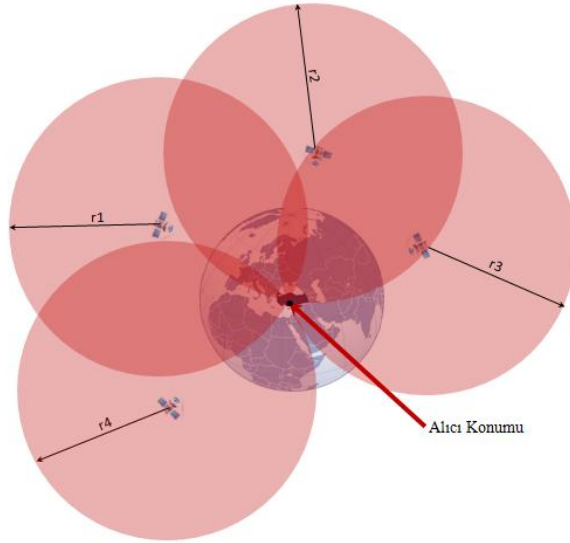
Şekil 2.3. 2D konum belirleme

Fakat bu iki nokta birbirlerinden çok uzak mesafelerde olacağı için dikey konumda ölçüm hassasiyeti oldukça düşüktür. Bu sebeple, dikey hassasiyeti artırmak için üçüncü bir uyduya ihtiyaç bulunmaktadır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Dikey hassasiyet arttırılmış 2D konum belirleme

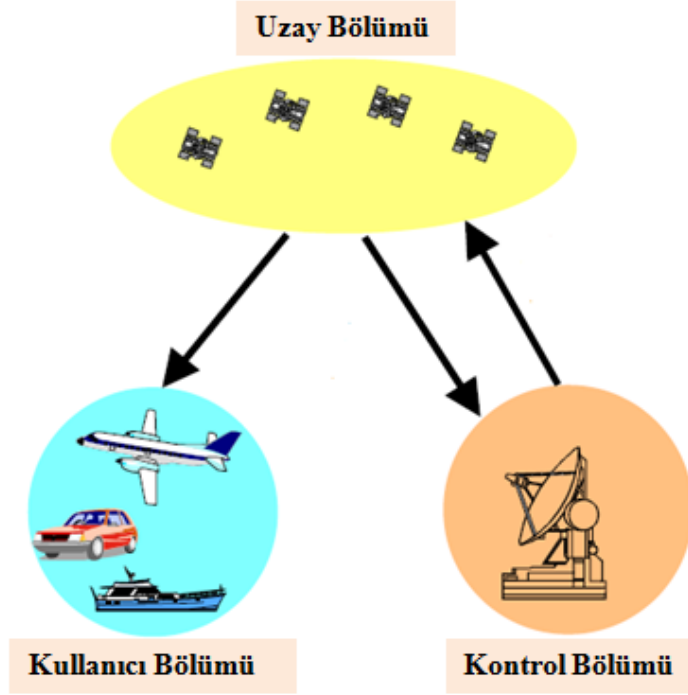
3 boyutlu sistemde (enlem, boylam ve yükseklik) konum belirlemek için dördüncü bir uyduya daha ihtiyaç vardır (Şekil 2.5). Bu sebeple GPS alıcılarının koordinat belirleyebilmesi için en az dört uydudan sinyal alması gerekmektedir. Uydu sayısı arttıkça ölçüm hassasiyeti de artmaktadır (Zogg, 2002).



Şekil 2.5. 3D konum belirleme

2.1.1. GPS sisteminin bölümleri

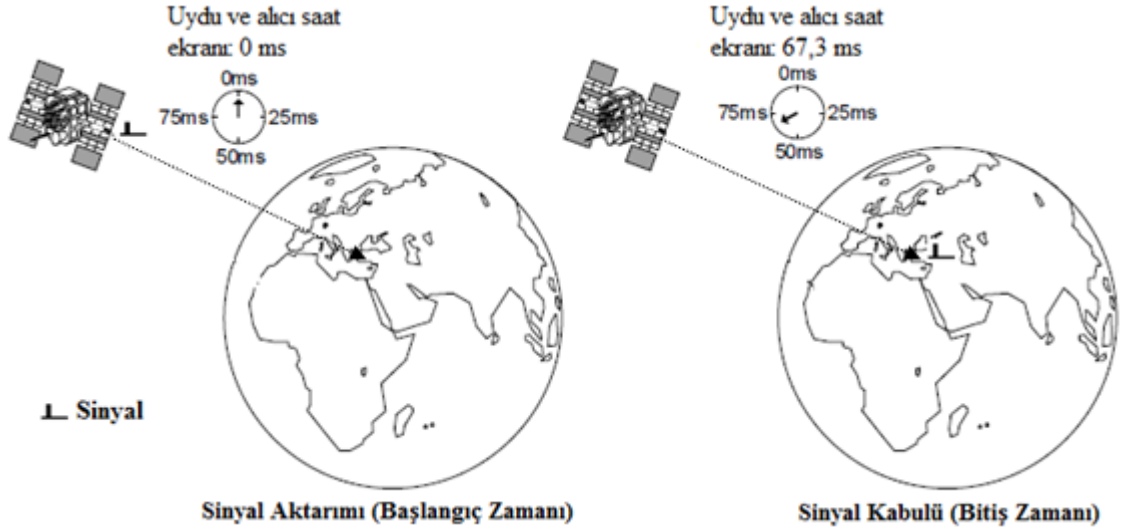
GPS sistemi 3 bölümden oluşmaktadır. Bunlar, uzay bölümü, kontrol bölümü ve kullanıcı bölümüdür (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. GPS bölümleri

2.1.1.1. Uzay bölümü

Dünya yüzeyinden yaklaşık 20,180 km yükseklikte bulunan 24 uydu uzay bölümünü oluşturmaktadır. Bu yükseklik, uyduların dünya üzerindeki geniş bir alana yayın yapabilmelerini sağlamaktadır. Her bir uydu içerisinde 4 adet atomik saat bulunmaktadır. Atomik saatler, 3 milyon yılda 1 saniye hata yapma ihtimali sadece %22.52 olan hassas saatlerdir. Bu saatlerin hassasiyetinin artırılması için, dünya üzerindeki kontrol noktalarından düzenli olarak ayar ve senkronizasyonları yapılmaktadır. Her uydu, yörüngedeki kesin koordinat ve atomik saat sinyalini 1575.42 MHz (L1) ya da 1227.60 MHz (L2) frekansında dünya üzerine yayınlamaktadır. Bu sinyaller 300,000 km/h hız (ışık hızı) ile 67.3 ms sürede dünya yüzeyine ulaşmaktadır (Şekil 2.7) (Zogg, 2002).

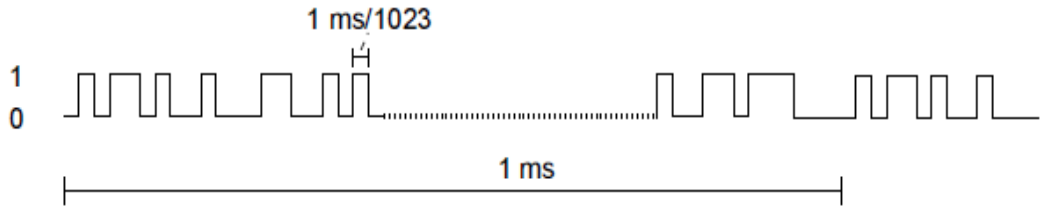


Şekil 2.7. Sinyal aktarım süresinin belirlenmesi (Zogg, 2002)

Sinyal aktarım süresi, uydu sinyalinin gönderilmesi ve bu sinyalin alıcı tarafından alınması arasında geçen süredir. Uydular, düzenli olarak kodlanmış bilgileri yayınlamaktadırlar. Yayımlanan bu kodlar içerisinde 2 önemli bilgi bulunmaktadır. Birincisi, uydu navigasyon bilgisidir. Bu mesaj, saniyede 50 bps hızında kodlanır. Bu mesaj içerisinde aşağıdaki bilgiler bulunmaktadır:

- Uydu zamanı ve senkronizasyon sinyalleri
- Hassas yörünge verisi (efemeris)
- Tam uydu zamanını belirlemek için saat düzeltme bilgisi
- Tüm uydular için yaklaşık yörünge bilgileri (almanak)
- Sinyal aktarım süresinin hesaplanması için düzeltme sinyalleri
- İyonosfer verisi
- Uydu durumu hakkında bilgi

Yukarıda belirtilen tüm bilgilerin uydular tarafından gönderilebilmesi için 12.5 dakikalık süre gerekmektedir. Alıcılar, her bir uydu sinyalinin aktarım süresini ve uyduların aktarım esnasındaki gerçek konumlarını navigasyon mesajını kullanarak belirleyebilmektedir. Kodlanmış sinyal içerisindeki ikinci bilgi, kendilerini tanımlayan imza sinyalidir. İmza sinyalinin içerisinde, 1023 adet 0 ve 1 bitlerinden oluşan Pseudo Random Noise Code (PRN) bilgisi bulunmaktadır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Pseudo random noise

Uyduyu tanımlayan PRN bilgisi 1 ms aralıklarla sürekli tekrar etmektedir. Bu sinyal yardımı ile alıcılar, hangi uydu ile haberleştiğini belirlemektedir. Aynı zamanda bu sinyal, sinyal aktarım süresinin ölçülmesinde kullanılmaktadır.

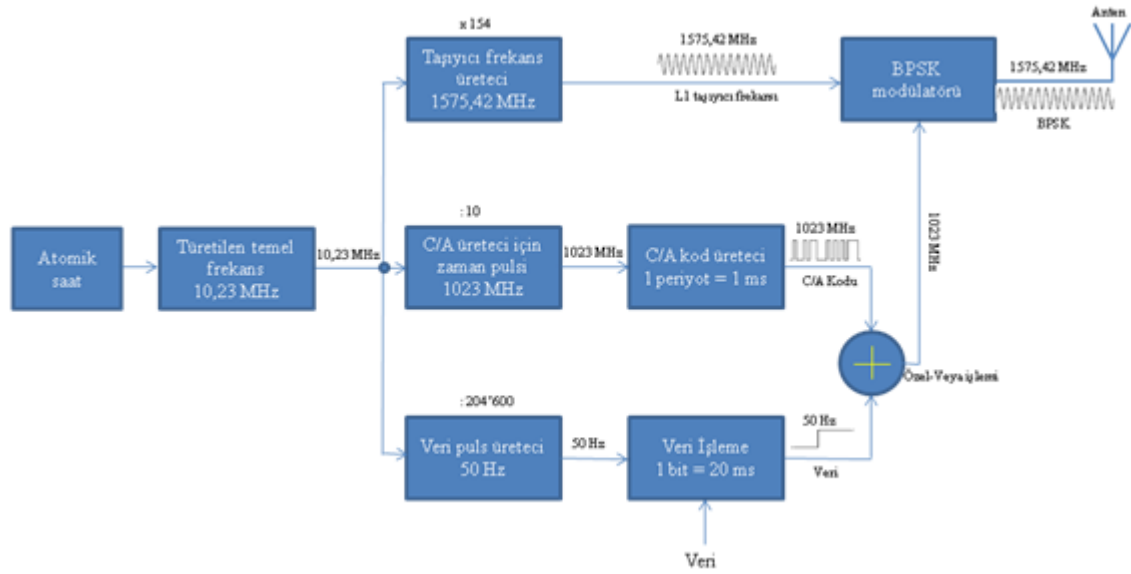
Uydu gövdesinde 4 adet atomik saat bulunmaktadır. Atomik saatlerden bir tanesinin rezonans frekansı ile günlük çalışma için gerekli olan frekans ve zaman pulsleri türetilmektedir. Uydu navigasyon sinyalleri, iki farklı taşıyıcı frekansta yayınlanır. Bunlar, L bandında 1575.42 MHz L1 ve 1227.60 MHz L2 frekanslarıdır. Bu iki farklı frekans iki farklı amaç için kullanılmaktadır:

- Standart yer belirleme hizmeti, SPS (Standart Positioning Service).
- Hassas yer belirleme hizmeti, PPS (Precision Positioning Service).

L1 sinyali içerisine, C/A (Coarse Acquisition Code) kodu ve P (Precise) kodu modüle edilmiştir. Bu kod ticari amaçlı GPS alıcıları tarafından çözülmekte ve standart yer belirleme hizmetlerinde kullanılmaktadır. L2 sinyaline ise P (Precise) kodu modüle edilmiştir. L1 sinyali içerisindeki P kodu karıştırılarak sivil izinsiz kullanımlar engellenmektedir. L2 sinyali, askeri amaçlı hassas yer belirleme hizmetlerinde kullanılmaktadır. Bu sinyal C/A kodu yanında P kodunu da çözebilen GPS alıcıları tarafından çözülebilmektedir. L1 sinyali standart yer belirleme hizmetlerinde kullanılmaktadır.

Uydu üzerinde bulunan atomik saatin kararlılığı, $2 \cdot 10^{-13}$ seviyesinden daha fazladır. Sistem için gerekli olan temel frekans atomik saatin rezonans frekansından türetilir ve 10.23 MHz'dir. Taşıyıcı frekans, veri frekansı, PRN ve C/A kodları bu temel

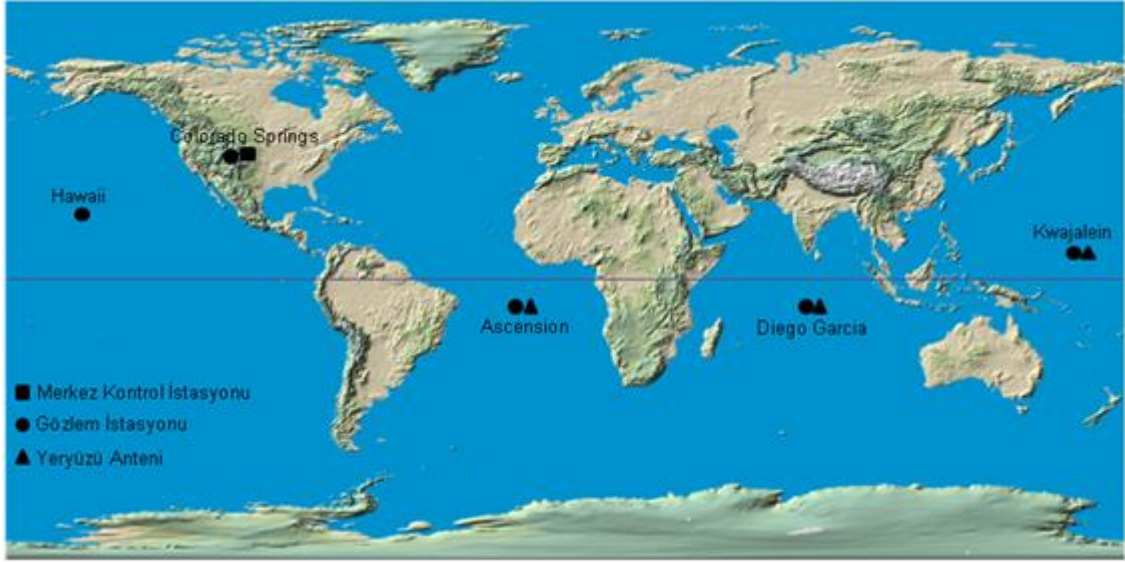
frekanstan türetilmektedir (Şekil 2.9). Tüm uydular sinyallerini göndermek için CDMA Multiplex (Code Division Multiple Access) olarak bilinen işlemi kullanmaktadırlar. Uydü navigasyon bilgisi (Veri - Data), DSSS modülasyonu (Direct Sequence Spread Spectrum Modulation) yöntemi ile iletilmektedir. C/A kod üreticisi 1023 MHz hıza sahiptir. Bu kod her bir uydu için farklıdır. C/A kodu tarafından modüle edilen veri, BPSK (Bi Phase Shift Keying) anahtarlama yöntemi ile taşıyıcı sinyale modüle edilmektedir (Zogg, 2002).



Şekil 2.9. GPS uydusunun detaylı blok şeması

2.1.1.2. Kontrol bölümü

Kontrol bölümü, Amerika'nın Colorado eyaletinde bulunan bir merkez kontrol istasyonu, ekvatora yakın noktalara konumlandırılmış ve atomik saatlerle donatılmış 5 gözlem istasyonu ve uydulara veri gönderen 3 yeryüzü anteninden oluşmaktadır (Şekil 2.10).



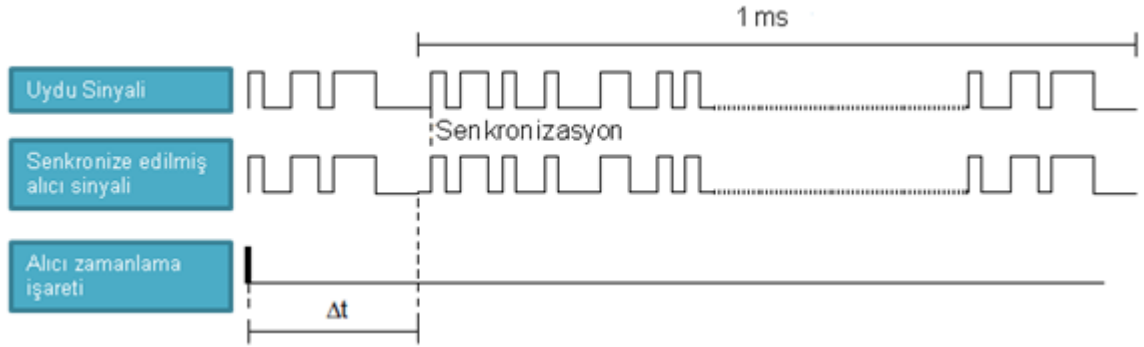
Şekil 2.10. GPS kontrol bölümü

Uydular tarafından gönderilen mikrodalga sinyaller gözlem istasyonları tarafından izlenmektedir. Sinyaller, gözlem istasyonlarda incelenerek uydulara ait kesin yörünge ve saat bilgileri hesaplanmaktadır. Gözlem istasyonlarında bulunan özel sezyum saatler ile uyduların atomik saatlerinin doğruluğu test edilmektedir. Elde edilen test sonuçları modem aracılığı ile merkez kontrol istasyonuna gönderilmektedir. Merkez kontrol istasyonu, gelen bilgilere göre yörünge ve saat hatalarını belirlemektedir. Merkez istasyonunda elde edilen veriler bir navigasyon mesajına çevrilerek yeryüzü antenlerine gönderilmektedir. Yeryüzü antenleri ise gelen güncelleştirilmiş navigasyon mesajlarını güçlendirerek uydulara göndermektedir. Bu bölümün en önemli görevleri:

- Uydu hareketlerinin izlenmesi ve yörünge verilerinin hesaplanması (efemeris)
- Uydu saatlerinin izlenmesi ve davranışlarının tahminlendirilmesi
- Uydu zamanının senkronizasyonu
- Tüm uyduların yaklaşık yörünge verilerinin aktarılması (almanak)
- Uydu durumu ve saat hataları gibi daha kapsamlı verilerin aktarılması
- Haberleşme halindeki uydulardan alınan hassas yörünge verilerinin aktarılması

2.1.1.3. Kullanıcı bölümü

Kullanıcı bölümü, GPS alıcılarını kullanan kullanıcılar tarafından oluşturulmaktadır. GPS sistemini kullanan eş zamanlı kullanıcı sayısı sınırsızdır. Uydu sinyalleri yaklaşık 67.3 ms sürede GPS alıcılarına ulaşmaktadır. Işık hızında gelen uydu sinyallerinin aktarım süreleri, uydular ile kullanıcı arasındaki uzaklığa bağlıdır. GPS alıcısı 4 farklı uydudan gelen sinyaller için 4 farklı sinyal üretmektedir. Gelen sinyal ile üretilen sinyal senkronize edilerek, gelen sinyallerin zaman kaymaları (Δt) zamanlama işareti olarak ölçülmektedir (Şekil 2.11). Dört uydu sinyali için ölçülen zaman kaymaları (Δt), sinyal geçiş süresinin hesaplanmasında kullanılmaktadır (Zogg, 2002).

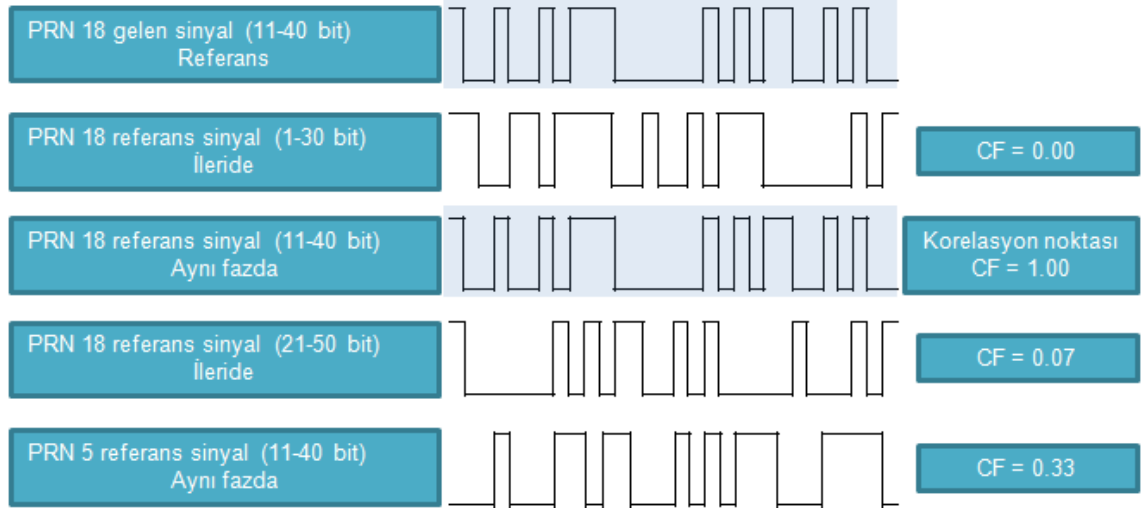


Şekil 2.11. Sinyal aktarım süresinin ölçülmesi

Bir noktanın dünya üzerinde 3D (enlem, boylam, yükseklik) boyutundaki konum ve hızının belirlenebilmesi için GPS alıcısının en az 4 farklı uydu ile haberleşmesi gerekmektedir. Noktanın uydulara olan mesafesi, sinyal aktarım süresi yardımıyla hesaplanmaktadır. Genel kural olarak, sinyal geçiş süresi (τ) ile ışık hızı (c) çarpılarak uydu ile alıcı arasındaki mesafe (d) bulunmaktadır.

Yörüngede bulunan uyduların tamamı farklı C/A kodu ile aynı frekansta sinyal (L1) yayınlamaktadırlar. Bu işleme, CDMA Multiplex (Code Division Multiple Access) denir. Sinyal kurtarma ve uyduların belirlenmesi korelasyon ile gerçekleşmektedir. Tüm GPS alıcıları içerisinde kullanımda olan tüm uyduların C/A kodları yüklüdür. Alıcıya uydu sinyali geldiğinde, gelen sinyale uygun referans sinyal üretilmektedir. Üretilen sinyal, gelen sinyale birebir eşleşinceye kadar kaydırma (shifting) işlemine tabi

tutulmaktadır. İşlem sonucunda, gelen sinyal ve referans sinyal birebir eşlenir. Eşleşme sonucunda, Korelasyon Faktörü (CF) = 1 olur ve korelasyon noktası oluşmaktadır (Şekil 2.12). Korelasyon noktası, gerçek sinyal aktarım süresinin ölçülmesi ve sinyali gönderen uydunun tanımlanması için kullanılmaktadır (Zogg, 2002).



Şekil 2.12. 30 bit üzerinden korelasyon işlemi

Korelasyon kalitesi, korelasyon faktörü (CF) olarak tanımlanır (Eşitlik 1). CF'nin alabileceği değerler -1 ile +1 sayı aralığındadır. Uydu sinyali ile alıcının ürettiği referans sinyal tamamen eşlendiğinde bu değer +1 olmaktadır.

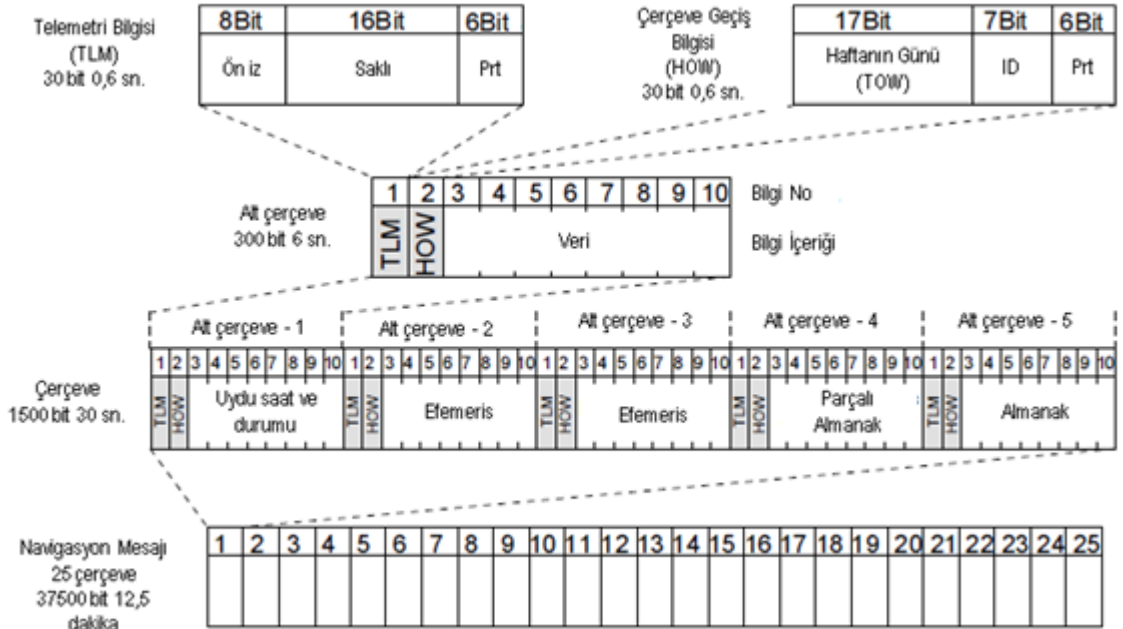
$$CF = \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N [(mb) - (ub)] \quad (1)$$

Burada:

- mb: eşleşen tüm bitlerin sayısı
- ub: eşleşmeyen tüm bitlerin sayısı
- N: incelenen bit sayısı

2.1.2. GPS navigasyon mesajı

GPS navigasyon mesajı, uyduların anlık konumlarının belirlenmesi ve sinyal aktarım sürelerinin hesaplanması için gereklidir. Uydulardan veri akışı, HF (High Frequency) taşıyıcı dalga üzerine modüle edilerek gerçekleştirilmektedir. Veriler, çerçeve (frame) veya sayfa (page) olarak bilinen mantıksal olarak gruplandırılmış yapılar içerisinde aktarılmaktadır. Her bir çerçevenin uzunluğu 1500 bit ve aktarım süresi 30 saniyedir. Çerçeveler 5 alt çerçeveye (subframe) ayrılırlar. Her bir alt çerçevenin uzunluğu 300 bit ve aktarım süresi 6 saniyedir. Tüm almanak bilgisinin aktarılması için, 25 farklı çerçeveye ihtiyaç vardır. Bu nedenle, almanak bilgisinin tamamının aktarılabilmesi için 12.5 dakikaya ihtiyaç vardır (Şekil 2.13). Bir GPS alıcısının tam anlamıyla fonksiyonlarını yerine getirebilmesi için, en az bir kez tüm almanak bilgisini toplaması gerekmektedir. Bu işlem GPS alıcısının ilk kullanıma başladığı anda gerçekleşir. Bu sebeple, GPS alıcılarının ilk kullanılmaya başladığında uyduları görmesi ve çalışmaya başlaması uzun sürmektedir. Sonraki çalışmalarda, açılış daha hızlı gerçekleşmektedir (Zogg, 2002).



Şekil 2.13. Navigasyon mesajının bütünleşik yapısı

2.1.3. GPS ile bir noktaya ait konumun hesaplanması

GPS sistemi başlangıçta tamamen askeri amaçlı kullanılmasına rağmen, bugün, topografya, navigasyon (kara, hava, deniz), konumlandırma, sabit ve hareketli nesnelerin izlenmesi ve hızlarının ölçülmesi gibi sivil uygulamalarda da kullanılmaktadır. Sistemi işleten servis, Çizelge 2.1’de gösterilen sivil kullanım hassasiyet değerlerini %95 doğruluk oranında garanti etmektedir.

Çizelge 2.1. Standart sivil kullanım hassasiyeti

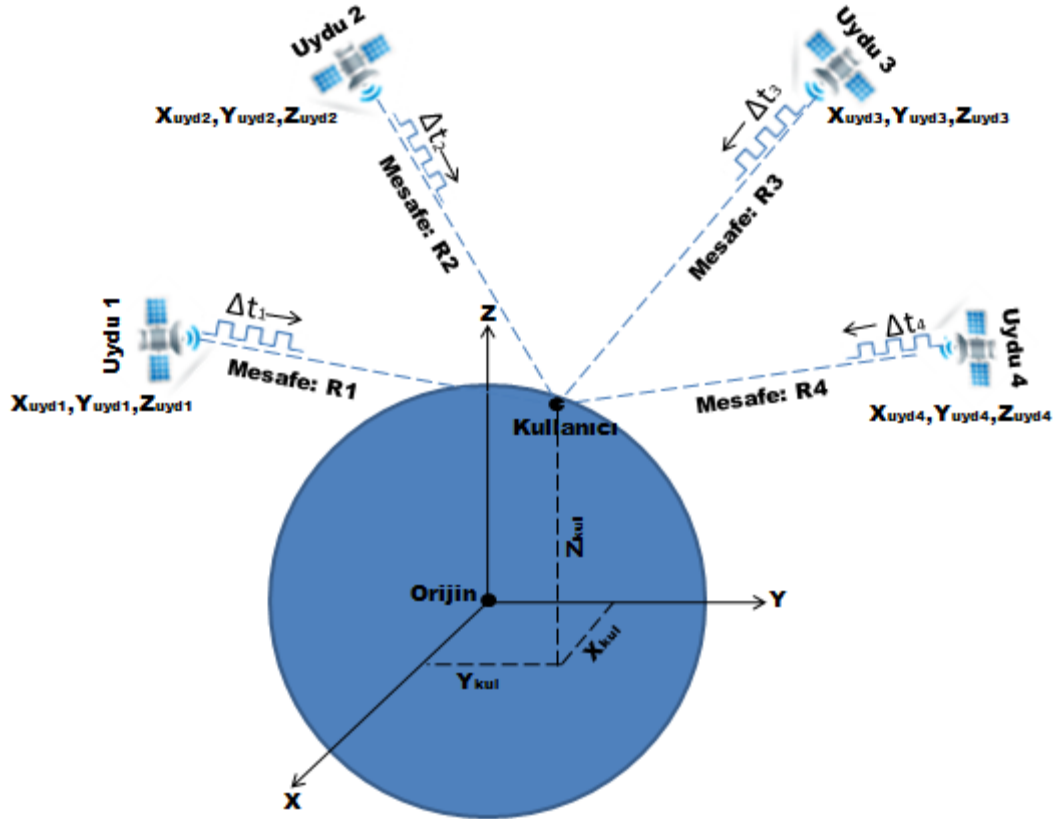
Yatay Hassasiyet	Dikey Hassasiyet	Zaman Hassasiyet
≤ 13 m	≤ 22 m	~ 40 ns

Yukarıda belirtilen hassasiyet değerleri, özel ölçme teknikleri (faz ölçümü) ve ek donanımlarla (DGPS – Diferansiyel GPS) santimetre altı seviyelere indirilebilmektedir. GPS alıcısının bir noktaya ait konumu hesaplayabilmesi için, sinyal aktarım sürelerinin belirlenmesi amacıyla en az 4 farklı uydudan (Uydu₁... Uydu₄) zaman sinyali (Δt_1 ... Δt_4) alması gerekmektedir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14. Konum belirleme için 4 farklı uydu

Konum belirlemek için yapılan hesaplamalar kartezyenden etkilenmektedir (Şekil 2.15). Kartezyen, yerküre merkezli üç boyutlu koordinat sistemidir. GPS alıcısı (kullanıcı) ile 4 uydu arasındaki mesafe (R_1, R_2, R_3 ve R_4), sinyal aktarım sürelerinin ($\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3$ ve Δt_4) yardımıyla belirlenebilmektedir. Buna bağlı olarak, koordinatları bilinen 4 uydu ile de kullanıcının koordinatları hesaplanabilmektedir.



Şekil 2.15. Üç boyutlu kartezyen koordinat sistemi

Uydular üzerinde bulunan atomik saatler yardımı ile sinyal aktarım süresi hassas şekilde belirlenebilir. Tüm uyduların saatleri, birbirleri ve evrensel zaman koordinatı ayarlanır ve senkronize edilir. Buna karşılık, GPS alıcıları, UTC (Universal Time Coordinated) ile senkronize değildir. Bu nedenle, uydu saati ile alıcı saati arasında zamansal bir fark vardır (Δt_0). Bu fark, alıcı Δt_0 'dan yavaş ise negatif, hızlı ise pozitif yönlüdür. Δt_0 'ın bileşke zaman hatası, sinyal aktarım süresi ölçümünde ve alıcı ile uydu arasındaki mesafe hesabında hatalara neden olmaktadır. Sonuç olarak, bundan kaynaklanan hatalı mesafe ölçümü sahte mesafe (PSR - Pseudo Range) olarak

bilinmektedir. Sahte mesafe değerini hesaplamak için aşağıdaki eşitlikler kullanılmaktadır (Zogg, 2002).

$$\Delta t_{ölçülen} = \Delta t + \Delta t_0 \quad (2)$$

$$PSR = \Delta t_{ölçülen} \times c = (\Delta t + \Delta t_0) \quad (3)$$

$$PSR = R + \Delta t_0 \times c \quad (4)$$

Burada;

- R: kullanıcı ile uydu arasındaki gerçek mesafe
- c: ışık hızı
- Δt : uydu ile kullanıcı arasındaki sinyal aktarım süresi
- Δt_0 : uydu saati ile kullanıcı saati arasındaki süre farkı
- PSR: sahte mesafe

Uydu ile kullanıcı arasındaki mesafe kartezyen sistemde aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilmektedir:

$$R = \sqrt{(X_{uydu} - X_{kul})^2 + (Y_{uydu} - Y_{kul})^2 + (Z_{uydu} - Z_{kul})^2} \quad (5)$$

PSR değerini bulmak için:

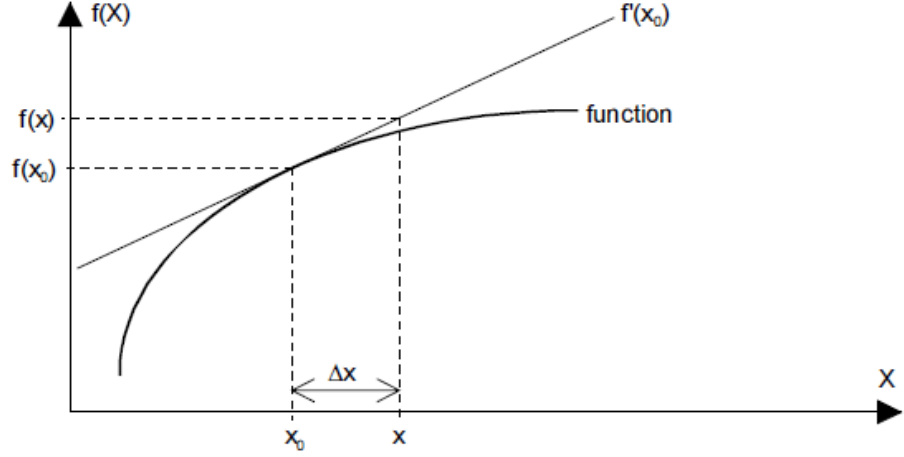
$$PSR = \sqrt{(X_{uydu} - X_{kul})^2 + (Y_{uydu} - Y_{kul})^2 + (Z_{uydu} - Z_{kul})^2} + c \times \Delta t_0 \quad (6)$$

Yukarıda verilen eşitlikler koordinatı bilinen 4 uydu ($i=1... 4$) için yeniden yazılırsa:

$$PSR_i = \sqrt{(X_{uydu_i} - X_{kul})^2 + (Y_{uydu_i} - Y_{kul})^2 + (Z_{uydu_i} - Z_{kul})^2} + c \times \Delta t_0 \quad (7)$$

Dört farklı uydu için yazılan dört eşitlik, doğrusal olmayan bir eşitlik kümesi oluşturmaktadır. Doğrusal olmayan bu eşitlik kümesini çözmek amacıyla, ilk olarak kök

fonksiyonu Taylor modelinin ilk parçası kullanılarak doğrusallaştırılmaktadır (Şekil 2.16).



Şekil 2.16. Taylor serilerinin dönüşümü

Taylor modelinde;

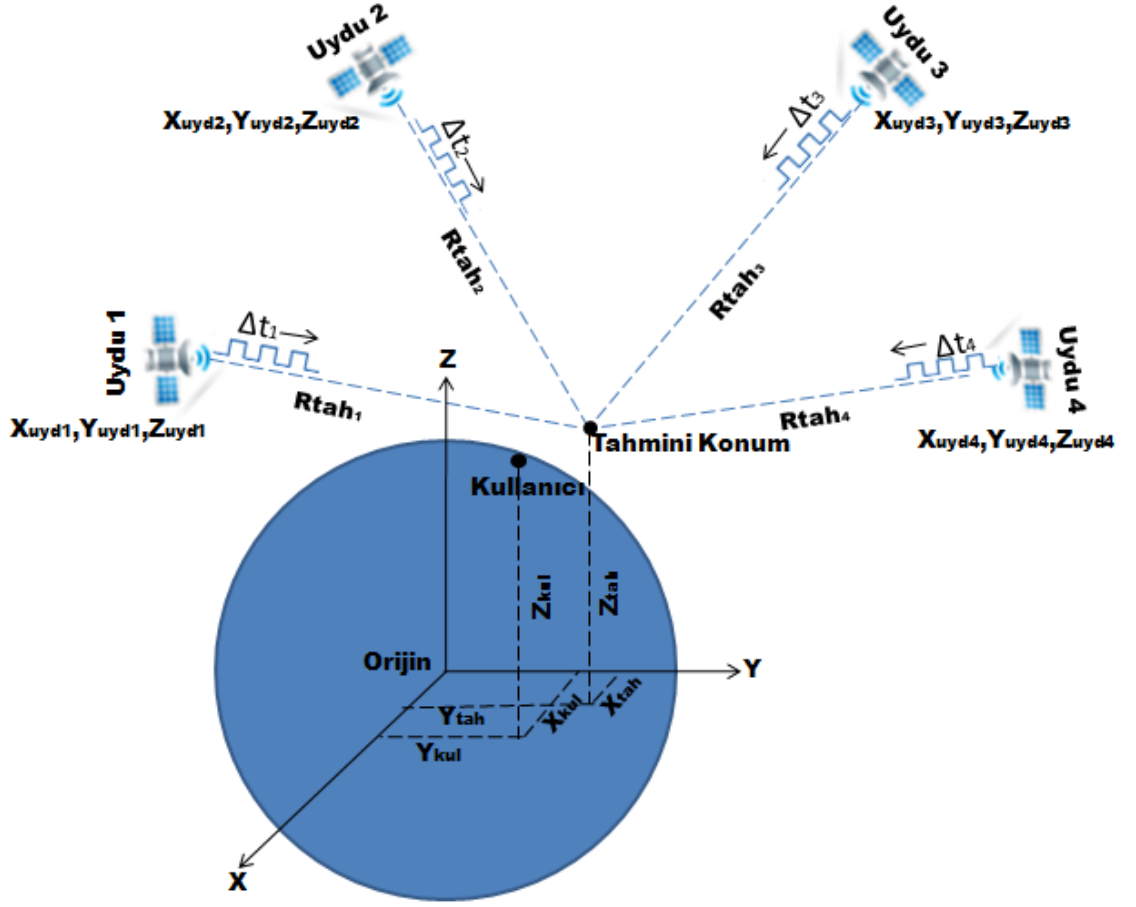
$$\Delta x = x - x_0 \quad (8)$$

$$f(x) = f(x_0) + \frac{f'(x_0)}{1!} \times \Delta x + \frac{f''(x_0)}{2!} (x_0)^2 \times \Delta x + \frac{f'''(x_0)}{3!} (x_0)^3 \times \Delta x + \dots \quad (9)$$

Sadece birinci parçaya göre sadeleştirilmiş hali:

$$f(x) = f(x_0) + f'(x_0) \times \Delta x \quad (10)$$

Dört eşitliğin doğrusallaştırılması amacıyla, rastgele tahminlendirilen x_0 değeri, x değerine yakın bir değer olacak şekilde işleme dâhil edilmelidir. GPS sistemi için bu işlemin anlamı, doğrudan gerçek koordinatlar hesaplanması yerine, başlangıçta tahmini koordinatların kullanılmasıdır (Şekil 2.17).



Şekil 2.17. Coğrafi bir konumun tahmini

Hesaplamalarda tahmin edilen konum, değeri bilinmeyen değişkenler (Δx , Δy ve Δz) tarafından üretilen bir hata içerir.

$$X_{kul} = X_{tah} + \Delta x \quad (11)$$

$$Y_{kul} = Y_{tah} + \Delta y \quad (12)$$

$$Z_{kul} = Z_{tah} + \Delta z \quad (13)$$

Dört uydunun tahmini konumlarından yararlanılarak uydular ile kullanıcı arasındaki mesafe (R_{tah}) Eşitlik 2'ye benzer biçimde hesaplanabilmektedir.

$$R_{tah} = \sqrt{(X_{uydu_i} - X_{tah})^2 + (Y_{uydu_i} - Y_{tah})^2 + (Z_{uydu_i} - Z_{tah})^2} \quad (14)$$

Eşitlik 14, Eşitlik 7 ve 9 ile birleştirilerek sahte uzaklık bulunur.

$$PSR_i = R_{tah_i} + \frac{\partial(R_{tah_i})}{\partial x} \times \Delta x + \frac{\partial(R_{tah_i})}{\partial y} \times \Delta y + \frac{\partial(R_{tah_i})}{\partial z} \times \Delta z + c \times \Delta t_0 \quad (15)$$

Eşitlik 15 üzerine kısmi türev uygulanırsa:

$$PSR_i = R_{tah_i} + \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} \times \Delta x + \frac{Y_{tah} - Y_{uydu_i}}{R_{tah_i}} \times \Delta y + \frac{Z_{tah} - Z_{uydu_i}}{R_{tah_i}} \times \Delta z + c \times \Delta t_0 \quad (16)$$

Eşitlik 16 üzerine transpoze uygulandıktan sonra, eşitlikler, lineer cebir kurallarına göre çözülebilmektedir:

$$\begin{bmatrix} PSR_1 - R_{tah1} \\ PSR_2 - R_{tah2} \\ PSR_3 - R_{tah3} \\ PSR_4 - R_{tah4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & c \\ \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & c \\ \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & c \\ \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & c \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \\ \Delta t_0 \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \\ \Delta t_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & c \\ \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & c \\ \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & c \\ \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & \frac{X_{tah} - X_{uydu_i}}{R_{tah_i}} & c \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} PSR_1 - R_{tah1} \\ PSR_2 - R_{tah2} \\ PSR_3 - R_{tah3} \\ PSR_4 - R_{tah4} \end{bmatrix} \quad (18)$$

Eşitlikte 18’de hesaplanan Δx , Δy ve Δz , tahmin edilen X_{tah} , Y_{tah} ve Z_{tah} değerlerinin yeniden hesaplanmasında kullanılmaktadır. Yeniden hesaplanan X_{tah} , Y_{tah} ve Z_{tah} değerleri, normal iterasyon yöntemi kullanılarak Eşitlik 18 içerisine yeniden eklenir. Bu işlem, Δx , Δy ve Δz değerleri istenen hata miktarı (örneğin 0.1 m) düşene kadar devam eder. İlk tahminlendirmeye bağlı olarak, Δx , Δy ve Δz değerlerinin 1 cm’nin altına düşebilmesi için, iterasyon işleminin en az üç kez tekrar edilmesi gerekir.

2.1.4. GPS hataları

GPS çok avantajlı ve ayrıntı yüklü bir sistem olmasına rağmen, atmosferik etkiler, zemin geometrisi, uydu ve alıcının dâhili saatlerinden dolayı birtakım hatalar vermesi olasıdır (Vega 2001). GPS sisteminde oluşan hatalar aşağıda listelenmiştir

- Uydu saatleri: Her uydu üzerinde dört adet atomik saat olmasına rağmen, 10 ns'lik bir saat hatası 3 metrelik bir ölçüm hatası oluşturmaktadır.
- Uydu yörüngeleri: Uydular güneş, dünya ve ayın çekim kuvveti etkisi altında hareket ederler. Bu sebepten dolayı, uydu yörüngelerinde sapmalar meydana gelmektedir. Bu sapmalar, yeryüzündeki kontrol istasyonlarından gönderilen yörünge sinyalleri ile düzeltilmeye çalışılmaktadır. Buna rağmen, uydu yörüngelerinde 1 ile 5 metre arasında sapmalar meydana gelmektedir. Bu sapmalar konum ölçümünde 2 metre civarında hataya neden olmaktadır.
- Işık hızı: Uydu sinyalleri kullanıcılara ulaşana kadar farklı atmosferik ortamlardan (İyonosfer ve Troposfer) geçmektedir. İyonosferdeki elektron hareketleri ve troposferdeki su buharı miktarı sinyalde gecikmeye neden olmaktadır (Corrigan vd 1999).
- Sinyal aktarım süresinin ölçümü: Gelen uydu sinyalinin GPS alıcısı tarafından işleme alınıp, konumunu belirleyebilmesi 10 - 20 ns arasında bir sürede gerçekleşmektedir. Bu süre, 3 ile 6 metre arasında ölçüm hatasına neden olmaktadır. Karasal yansımalar da, sinyal aktarım süresini etkilemektedir. Bu durum, ölçüm hatalarını daha da arttırmaktadır.
- Uydu geometrisi: GPS alıcıları tarafından görülen GPS uydularının, yörüngedeki geometrik konumlarıdır. Uyduların geometrik duruşu ölçüm hassasiyeti üzerinde önemli bir rol oynamaktadır (Wells vd 1987).

Çizelge 2.2'de çeşitli etkenlerin neden olduğu GPS hata kaynakları verilmiştir.

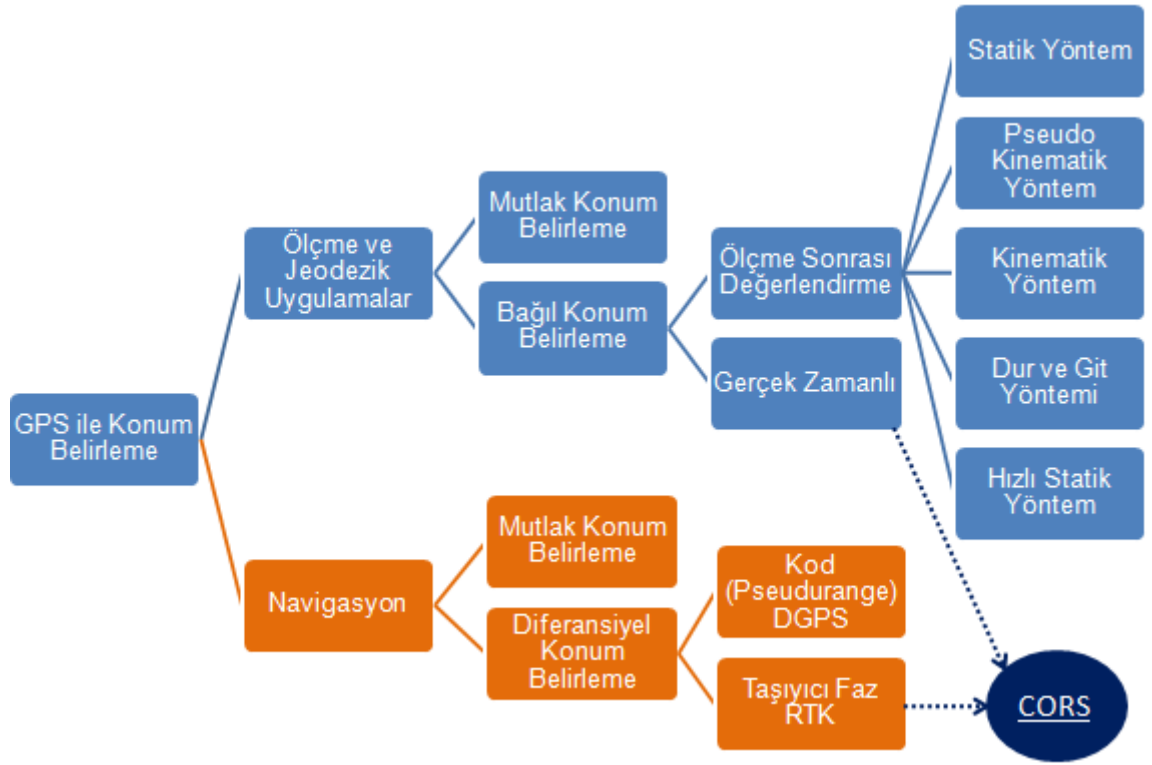
Çizelge 2.2. GPS hata kaynakları

Hata Kaynağı	Hata Miktarı
İyonosfer etkisi	4 m
Uydu saatleri	2.1 m
Alıcı ölçümleri	0.5 m
Efemeris verisi	2.1 m
Troposfer etkisi	0.7 m
Değişken rota hatası	1.4 m

Amerikan Federal Havacılık İdaresi tarafından yapılan ölçümlere göre, 24 saatlik periyot içerisinde ve her ölçümün %95 güven seviyesinde olması durumunda yatayda 7.4 m ve dikeyde 9 m altında ölçüm hatası olduğu bildirilmiştir (Parkinson ve Spilker 1995). Uygun yöntemler (DGPS) kullanılarak, hata kaynaklarının sayısı azaltılabilmekte veya ortadan kaldırılabilir. Bu sayede ölçüm hataları santimetre altı seviyeye indirilebilmektedir.

2.1.5. GPS ile konum belirleme yöntemleri

GPS ile konum belirlemek için iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlar; mutlak ve bağıl konum belirleme yöntemleridir (Şekil 2.18). Ölçüm esnasında tek bir GPS alıcısının kullanılması ile mutlak konum belirlenmektedir. Bu durumda bir nokta için elde edilen doğruluk 10 metre düzeyinde olup, bulunan konumun küresel anlamdaki doğruluğu ± 100 m'lik bir alanın içindedir (Shaw vd 2000). Bağıl konum belirleme yönteminde, minimum iki alıcı kullanılmak koşuluyla, bu iki alıcının birbirine göre olan konumlarından hareketle konum belirlenmektedir. Böylece metre düzeyinden milimetreye kadar konum belirlemek mümkün olmaktadır. Hatta mutlak konumu bilinen noktalardan hareket ederek, bağıl konum belirleme yöntemlerinden herhangi birinin uygulanmasıyla da mutlak konum belirlemek mümkündür (Hoffmann vd 2001).



Şekil 2.18. GPS ile konum belirleme yöntemleri

GPS sisteminde konum belirlemek için iki farklı ölçüm tekniği geliştirilmiştir. Bunlar, Pseudorange (uzunluk) ve faz ölçüm teknikleridir. Pseudorange ölçmede, GPS sinyallerinin uydudan çıkış zamanı ile sinyalin alıcıya varış zamanı arasındaki geçen zaman farkının, ışık hızı ile çarpılması sonucu uydu – alıcı arasındaki mesafe belirlenir. Bu yöntem ile tek bir alıcı kullanılarak navigasyon amacı için yeterli hassasiyet sağlanabilir. Yüksek hassasiyet gerektiren uygulamalarda ise iki veya daha fazla alıcı kullanılarak taşıyıcı dalga faz farkı ölçülmektedir. Alıcı ile uydu arasında ilk irtibat kurulmasından itibaren taşıyıcı dalgaların (L1, L2) alıcıya giren tepe noktaları sayısı ölçülmektedir. Taşıyıcı faz ölçümleri ile santimetre doğruluğunda gerçek zamanlı ölçme yapmak mümkün olmaktadır (Langley 1998). Faz ölçmeleri sonucunda kurulan matematik modeller ile tamsayı belirsizlikleri önemli düzeyde azaltılırken, uydu - alıcı saat hataları tamamen çözülmektedir. İyonosferik ve Troposferik hataların neden olduğu atmosferik gecikme hataları kısmen giderilip, faz sıçramaları ve sinyal yansımaları gibi hatalar göz ardı edilerek, öngörülen duyarlılığa ulaşılmaktadır (Remondi 1984).

Pseudorange ölçme ile anında konum belirleme amacı için yeterli doğruluk sağlanmakta ve pratik olarak büyük önem taşımaktadır. Ancak, mühendislik hizmetleri için çok daha duyarlı sonuçlara gereksinim bulunmaktadır. Bu amaç için faz ölçümleri kullanılmaktadır. Faz ölçümleri kullanılarak yapılan bağıl konum belirlemede genel olarak beş farklı yöntem mevcuttur.

2.1.5.1 Statik ölçme yöntemi

Statik GPS ölçme yöntemi, yüksek duyarlılık gerektiren çalışmalarda, ölçülecek baz vektörlerinin uzun olması durumunda, sistematik etkilerin (troposfer, iyonosfer) dikkate alınması gerektiğinde ve mevcut uydu geometrisinin başka bir ölçme yöntemine olanak sunmadığı koşullarda uydulardan alınan verilerin bağıl yaklaşımla değerlendirilmesi suretiyle gerçekleştirilir. Bağıl değerlendirme ile uydu ve alıcı saat hatalarını giderebilmek ve atmosferik hataları minimuma indirmek mümkün olmaktadır. Bu ölçme yönteminde, baz vektörü uzunluğuna bağlı olarak, 30 – 60 min ölçü süresi ile milimetre düzeyinde duyarlılık elde etmek mümkündür. Genel olarak yöntemin doğruluğu $5 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$ civarındadır (Kahveci ve Yıldız 2001).

Statik yöntem, bir bağıl konumlama tekniğidir ve taşıyıcı fazı ölçümlerine bağlıdır (Hoffmann vd 2001). En az iki alıcıyla gözlem yapılır. Gözlem süresi uzundur. Gözlem süresi beklenen doğruluğa ve iki alıcı arası uzaklığa bağlı olarak değişmektedir. Genelde bu süreler yarım saat ve üstü olarak belirlenir. Bu yöntemle nirengi ağlarını oluşturan noktaların konumları, deformasyon ölçmeleri ve yüksek doğruluk gerektiren benzer çalışmalar yapılabilir (El-Rabbany 2002).

2.1.5.2. Hızlı statik ölçme yöntemi

Statik GPS ölçme yöntemine alternatif olarak, daha kısa sürede yeterli duyarlılığı sağlayabilecek bir yöntemdir. Hızlı statik GPS ölçme yönteminde, alıcılardan birisi koordinatları bilinen sabit bir referans noktası üzerinde sürekli veri toplamaktadır. Diğer alıcı veya alıcılar ile ölçü yapılacak diğer noktalar üzerinde 5-30 dakikalık veriler toplanarak, her noktadaki veri referans noktasında toplanan veri ile bağıl yaklaşıma göre

değerlendirilerek çözüm yapılmaktadır. Hızlı statik GPS ölçme yöntemi, uydu sayısına ve geometrisine ve ölçü süresine bağlı olarak 20 km'nin altındaki baz vektörleri için, 5-0 mm + 1 ppm civarında doğruluk sağlamaktadır (Kahveci ve Yıldız 2001).

2.1.5.3. Dur ve git ölçme yöntemi

Bu yöntemde de bir alıcı sabit bir referans istasyonunda bulunmakta ve diğer alıcı veya alıcılar ise ölçülecek noktaları gezmektedir. Dur-Git ölçüsüne başlarken, ilk noktada birkaç dakikalık statik ölçü yapılarak, faz belirsizliği çözülmekte ve alıcı kapatılmadan aynı uyduları izlerken diğer noktalar birkaç epokluk veri ile ölçülmektedir. Uydu sayısının 4'ün altına düşmesi durumunda faz belirsizliğinin yeniden çözülmesi gerekmektedir. Bunun için, ölçülere başlangıçtan itibaren yeniden başlanır veya bir sonraki noktada daha uzun süre beklenerek faz belirsizliği yeniden belirlenir. Yöntem özellikle birbirine çok yakın noktaların ölçülmesinde uygun sonuçlar vermektedir. Doğruluğu ise 1-2 cm + 1 ppm civarındadır (Kahveci ve Yıldız 2001).

2.1.5.4. Kinematik ölçme yöntemi

Dur-Git GPS ölçme yöntemine benzer olmakla beraber, burada tek tek noktaların ölçülmesi yerine gezici alıcının izlediği güzergâh belirlenmektedir. Bu yöntemde de ölçü başlangıcında faz belirsizliği çözümlenerek ölçüye başlanır. Bu ölçme yöntemi oldukça hızlı ve ekonomik bir ölçme yöntemi olup özellikle hareket halindeki araçların takibinde ve hidrografik ölçmelerde kullanılmaktadır. 1-2 cm + 1 ppm civarında doğruluğa sahiptir (Kahveci ve Yıldız 2001).

2.1.5.5. Pseudo kinematik ölçme yöntemi

Değişen uydu geometrisinden yararlanarak, ölçülecek noktaların 1-4 saatlik zaman aralığında, birkaç dakikalık süre ile en az iki kez ölçülmesi ile gerçekleştirilen bir GPS ölçme yöntemidir (Eren ve Uzel 1995). Gerek statik yöntem gerekse kinematik yöntem benzerlik gösteren bu yöntem, özellikle uydu geometrisinin zayıf olduğu durumlarda veya tek frekanslı alıcıların kullanıldığı durumlarda uygun sonuçlar

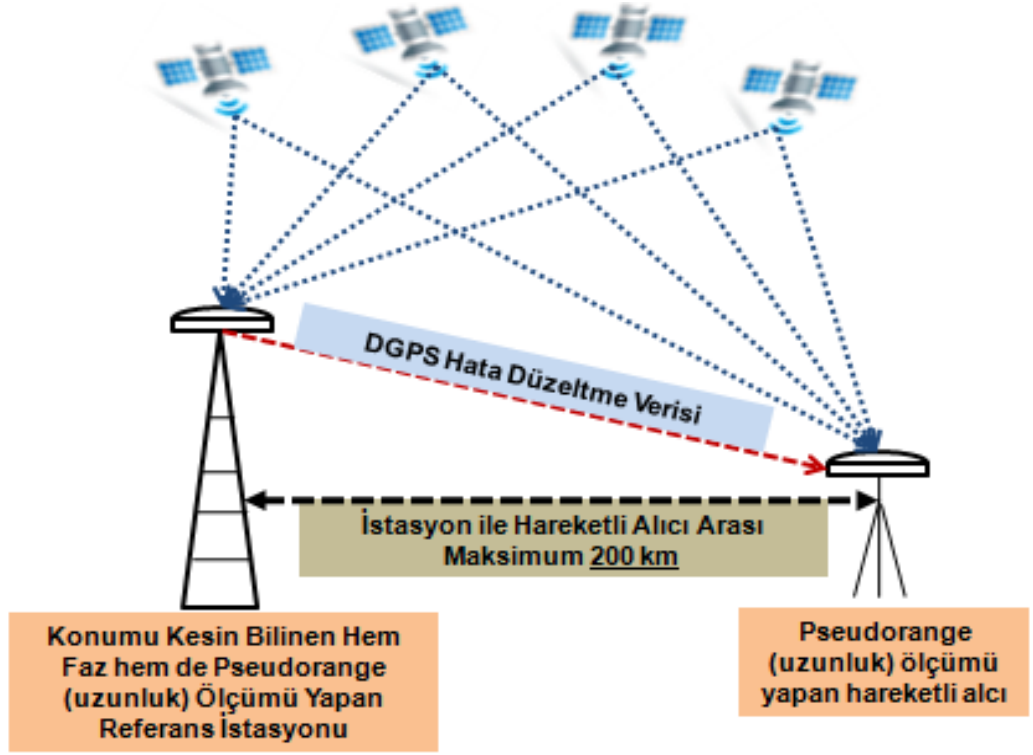
vermektedir. Yöntem merkezsiz baz veya travers yöntemi olarak ikiye ayrılabilir. Merkezi baz yönteminde alıcılardan birisi sabit kalmakta diğer alıcılar ölçülecek noktalarda gezdirilerek, hızlı statik yöntemle benzer şekilde referans istasyonu ile ölçülen noktalar arası baz vektörleri elde edilerek çözüm sağlanmaktadır. Travers yönteminde ise, sabit alıcı olmayıp her iki alıcıda hareketlidir. Bu yöntemde ölçüler atlamalı olarak yapılmaktadır. Bu şekilde birbirine komşu ardışık baz vektörleri bir dizi boyunca ölçülmektedir. Her iki yöntemde ölçü tekrarı sırasında aynı alıcının aynı noktada bulunması sağlanarak alıcıların homojen olmamasından kaynaklanan birtakım hatalar indirgenebilir. Yöntemin doğruluğu $5-10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$ dolayındadır (Kahveci ve Yıldız 2001).

2.1.5.6. Diferansiyel GPS (DGPS)

GPS ile elde edilen anlık doğruluk birçok amaç için yeterli olmakla birlikte bazı navigasyon uygulamalarında (kara, deniz ve hava araçlarının navigasyonu) daha yüksek doğruluklara gereksinim duyulmaktadır. Bu ise mevcut GPS sisteminden anlık konum belirlemede yararlanabilen olanaklarını kısıtlamaktadır. Bununla birlikte, istenen navigasyon amaçlı doğruluklara DGPS gibi bazı özel teknikler kullanılarak erişilebilmektedir.

Konum belirleme işleminde yatayda yaklaşık 20 metrelik hassasiyet her uygulama için yeterli değildir. Bazı uygulamalarda milimetre seviyesinde hassasiyet istenmektedir. Prensipte olarak bu sistemde kullanıcı alıcısına ek olarak koordinatları kesin olarak bilinen referans bir alıcı kullanılır (Şekil 2.19). Referans alıcı ile kullanıcı alıcısı sürekli olarak karşılaştırılarak hassasiyeti azaltan hataların çoğu ortadan kaldırılabilmektedir. Karşılaştırma sonrasında ortaya çıkan farklılıklar, Diferansiyel GPS olarak tanımlanır. Karşılaştırma işlemi iki farklı yöntemle gerçekleştirilir:

- Sinyal aktarım süresinin ölçümüne dayalı DGPS (erişilebilir hassasiyet yaklaşık 1 m)
- Taşıyıcı sinyalin faz ölçümüne dayalı DGPS (erişilebilir hassasiyet yaklaşık 1 cm)

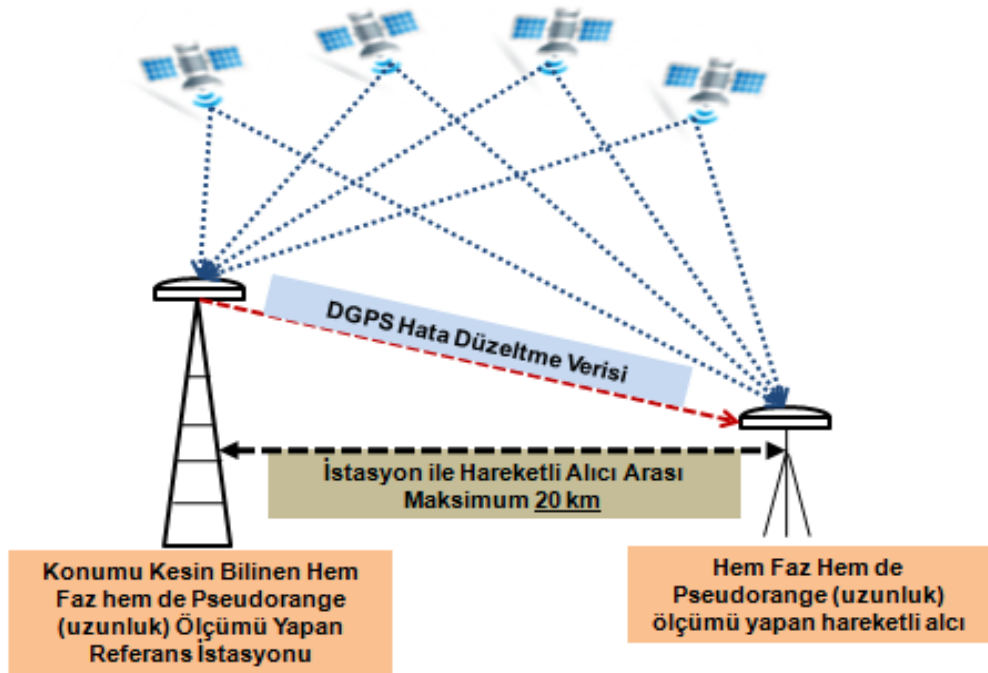


Şekil 2.19. DGPS yöntemi ile konum belirleme

Koordinatları kesin olarak bilinen referans istasyonu, izlediği tüm uydulardan gelen sinyallerin aktarım sürelerini ölçer. Ölçüm sonrasında, istasyon ile uydular arasındaki sahte mesafe hesaplanır. Aynı zamanda, referans istasyonun koordinatları hassas olarak bilindiği için, istasyon ile uydular arasındaki gerçek uzaklıklar da hesaplanır. Gerçek mesafeler ile sahte mesafeler arasında basit çıkarma işlemi neticesinde elde edilen fark sonucunda düzeltme değeri elde edilir. Bu düzeltme değeri, her uydu için farklıdır ve birkaç yüz kilometrelik bir yarıçap içerisindeki tüm GPS alıcıları için geçerli olacaktır. Elde edilen düzeltme değerleri, geniş bir alan içerisindeki diğer hareketli alıcıların sahte mesafe ölçüm değerlerini düzeltmek için uygun bir iletim ortamından (verici, telefon, radyo v.s) gecikmeksizin yayınlanmaktadır. Düzeltme sinyalini alan hareketli alıcılar, kendi ölçtüğü sahte mesafe bilgisini kullanarak gerçek mesafeleri belirler. Hareketli alıcı son olarak gerçek mesafeleri kullanarak tam konumu hesaplayabilir.

2.1.5.7. Gerçek zamanlı kinematik GPS (RTK GPS)

Gerçek zamanlı kinematik GPS, eş zamanlı ölçümlere olanak sağlayan ve bu amaçlar için kullanılmak üzere tasarlanmış bir ölçü yöntemidir (Aydın vd 2005). İşleyiş ve konfigürasyon açısından diferansiyel GPS (DGPS)'e benzerlik göstermekte ve bu sebeple Presizyonlu DGPS (PDGPS) olarak da adlandırılmaktadır (Alkan 1998). Diferansiyel GPS yöntemi kullanıcılara yaklaşık 1 m ölçüm hassasiyeti sunmaktadır. RTK yöntemi, kullanıcıların ölçme anında santimetre altında doğruluk elde edebildikleri, taşıyıcı dalga faz gözlemlerini kullanarak tıpkı DGPS'deki gibi konumlama yapan bir yöntemdir. RTK GPS uygulamalarında, koordinatları daha önceden bilinen bir noktada GPS alıcılarından biri sabit olarak sürekli gözlem yaparken, diğer hareketli GPS alıcısı da konum çözümünü gerçekleştirir (Şekil 2.20).



Şekil 2.20. Gerçek zamanlı kinematik GPS

Sabit alıcı ile uydu arasındaki herhangi bir t zamanında ölçülen taşıyıcı faz uzunluğu ile uydu-alıcı arasındaki koordinat farklarından hesaplanan geometrik uzunluk karşılaştırılır. Taşıyıcı faz ölçülerine getirilecek düzeltme ve düzeltme oranı hesaplanarak gezici alıcılara radyo dalgalarıyla iletilir (Aydın vd 2005). Gezici alıcılar,

kodlanarak radyo dalgaları üzerine modüle edilmiş olan düzeltmeleri alarak, kendi taşıyıcı faz ölçülerine düzeltme olarak getirirler. Böylelikle gezici alıcıların hassas olarak konumları belirlenir.

Gerçek zamanlı kinematik uygulamalarda genellikle taşıyıcı faz moduyla çalışılır. Taşıyıcı faz ölçüleriyle yüksek doğruluk elde etmek için uydular ile hareketli alıcılar arasındaki dalga boyunun tamsayı değerini hesaplamak gerekmektedir. Kinematik uygulamalarda bu değer, ölçüye başlanmadan önce biraz beklenecek, statik ölçmeler yapılarak çözülmektedir. Ölçü sonrası değerlendirmelerde ise bu çözüm değerlendirme programları ile yapılmaktadır. Ancak araç navigasyonu gibi hareketli alıcının sabit duramayacağı uygulamalarda tam sayı bilinmeyişi OTF (On-The-Fly) tekniği ile çözülmektedir. Kinematik OTF, başlangıç tam sayı belirsizliğinin statik olarak çözümünü gerektirmeden, hareket halindeki bir taşıttaki alıcıda yapılan ölçülerle bu belirsizliğin saptanmasını mümkün kılmaktadır. OTF yöntemi ile çözümün başarısı, uydu sayısı ve geometrisine, kullanılacak verinin türüne ve kalitesine, sabit ile hareketli alıcılar arasındaki uzaklığa ve atmosferik hatalara bağlıdır. OTF çözümünün performansını azaltan en önemli etken ise sinyal yansımalarıdır (Alkan 1998). Yansıma etkisi, etkiyi azaltan antenler kullanılarak en aza indirilebilir ya da modellenerek ölçülerden uzaklaştırılır.

Gerçek zamanlı kinematik GPS yönteminde, hem referans ve hem de gezici istasyonda çift frekanslı GPS alıcıları kullanılmaktadır. Ayrıca bu yöntemde, statik ve kinematik GPS ölçü yöntemlerinde kullanılan donanımdan farklı olarak (DGPS'te olduğu gibi) bazı ek donanımlar gerekir; sabit istasyonda, hesaplanan taşıyıcı dalga faz ölçü düzeltmelerini yayımlayan bir radyo vericisi ve gezici birimde de gönderilen bu düzeltmeleri alan bir radyo alıcısı kullanılır (Mekik 2001). Gerçek zamanlı kinematik GPS'te kullanılan radyo modem, DGPS de kullanılanı farklılık göstermektedir. Bu sistemde kullanılacak radyo modemin veriyi sabit istasyondan gezici istasyona her 0.5 ~ 2 saniyede güncellemesi gerekmektedir. Veri güncelleme oranının sıklığı nedeniyle gönderilen verinin hacmi artar. Bu nedenle Gerçek zamanlı kinematik GPS veri linki, en az 2400 bps (Byte Per Second) ister. Tavsiye edilen veri gönderim oranı ise 9600 hatta 19200 bps dir. Bu oranda bir veriyi destekleyebilecek bant genişliği

radio spektrumunun VHF veya UHF kısmında bulunabilir. Ancak VHF ve UHF bantları yasalar gereği kullanım lisansı gerektirmektedir (Langley 1998). Günümüzde, GSM teknolojisindeki gelişmeler neticesinde bu problem çözülmüştür. İnternet hizmeti cep telefonları üzerinden alınabilmektedir. Bu durum, GPS alıcısı üreten firmaları bu imkândan faydalanma olanağı sunmuştur. Yeni üretilen gerçek zamanlı kinematik GPS alıcıları içerisine sim kart yerleştirilmektedir. Bu sayede, alıcılar düzeltme sinyallerini internet üzerinden almaktadırlar.

Gerçek zamanlı kinematik ölçme yönteminde hassasiyet, hem referans hem de gezici alıcıların izlediği uydu sayısı ile ilişkilidir. Sistemin izlediği uydu sayısının fazla olması ölçüm hassasiyetini arttırmaktadır. Sistemin daha fazla sayıda uyduyu sürekli olarak izleyebilmesi için ülkeler bazında referans istasyon ağları kurulmuştur. Bu sayede, ölçüm yapan gezici alıcı, tek bir referans istasyonu yerine ağdaki tüm istasyonların verileri ışığında daha hassas düzeltme bilgisi almaktadır.

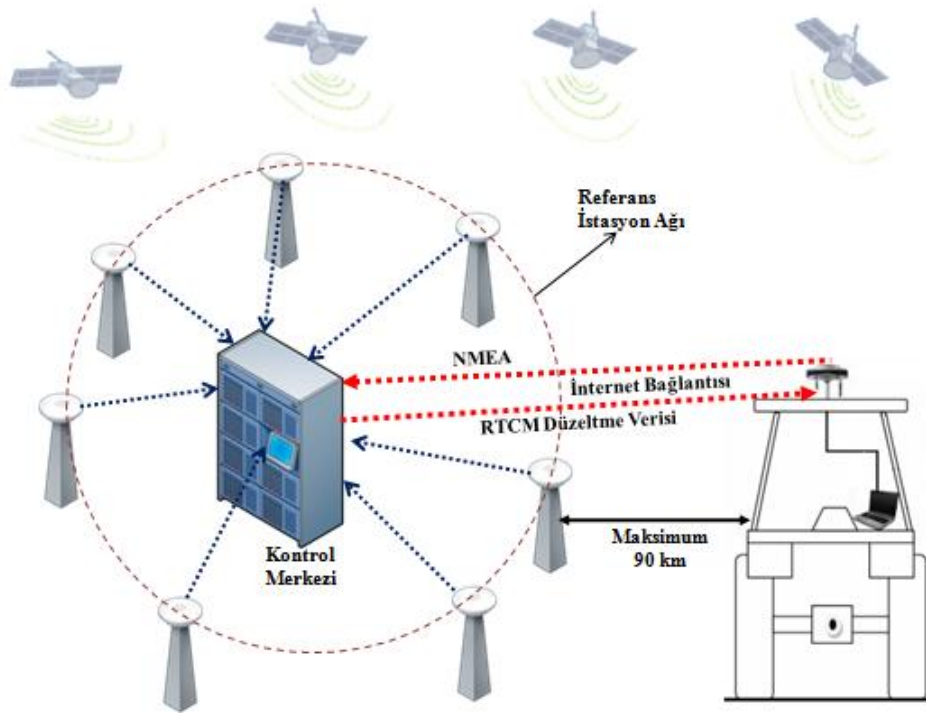
2.1.5.8. Referans istasyon ağı ile gerçek zamanlı kinematik GPS

GPS ölçümlerdeki jeodezik doğruluk için en az iki eş zamanlı ölçüm alıcısı ve faz ölçüm yöntemini kullanmak gerekir. Bu alıcılardan biri koordinatları kesin bilinen referans istasyonu diğeri de koordinatını belirlemeye çalışan hareketli alıcıdır. Sistem hem uzunluk hem de faz ölçümüne uygundur. Bu sistemde hassasiyet ölçme tekniğine bağlı olarak 1 metre civarındadır. Burada, referans istasyon ile alıcı arasında DGPS yönteminde maksimum 200 km, RTK sisteminde ise 20 km mesafe bulunmaktadır. Hassasiyete olumsuz yönde etki eden faktörlerden birisi istasyon ile alıcı arasındaki mesafe, diğeri ise alıcıların izlediği uydu sayısıdır. Her iki olumsuzluğu da ortadan kaldırmak için ülkeler kendi bünyelerinde sürekli olarak izlenebilir uydu sayısını arttırmak için referans istasyon ağları kurmaktadır. Bu sisteme, CORS (Continuously Operating Reference Station – Sürekli Gözlem yapan Referans İstasyonu) adı verilmiştir.

CORS sisteminde, tek bir referans istasyonuna olan bağımlılık ortadan kalkmış, ayrıca, çok sayıda referans istasyonuna ait verilerden yararlanarak belirli bir bölgeye ait atmosferik modelleme yapılması olanağı da sağlanmıştır. Bu modelleme sonucunda ise

GPS ölçülerini etkileyen en önemli hata kaynaklarından birisi olan iyonosfer ve troposfer hataları, konum belirleme uygulamaları için en düşük seviyeye indirilmiş olmaktadır (Kahveci 2009). Aynı zamanda kullanıcılar için kurulum maliyetleri azalmıştır. Kullanıcıların sadece bu sistemden yararlanabilecekleri teknik donanımına sahip alıcı kullanmaları yeterlidir.

CORS sisteminde, çalışma bölgesini kaplayan koordinatları bilinen referans istasyonlarına yerleştirilen GPS alıcıları uydulardan aldıkları verileri kontrol merkezine ADSL, leasline veya GPRS/EDGE/3G üzerinden iletirler. Aynı zamanda, gezici alıcı belirlediği konum bilgisini NMEA (National Marine Electronics Association) formatında kontrol merkezine gönderir. Alınan veriler yardımıyla kontrol merkezinde atmosfer modellenerek RTK/DGPS düzeltmeleri gerçek zamanda hesaplanıp, RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services) formatında GPRS/EDGE/3G üzerinden konumlama için gezici GPS alıcılarına gönderilmektedir (Şekil 2.21). RTK ölçme yönteminde istasyon ile gezici alıcı arasındaki mesafe maksimum 20 km olmasına rağmen CORS sisteminde bu mesafe 80 – 90 km arasında olması yeterlidir.



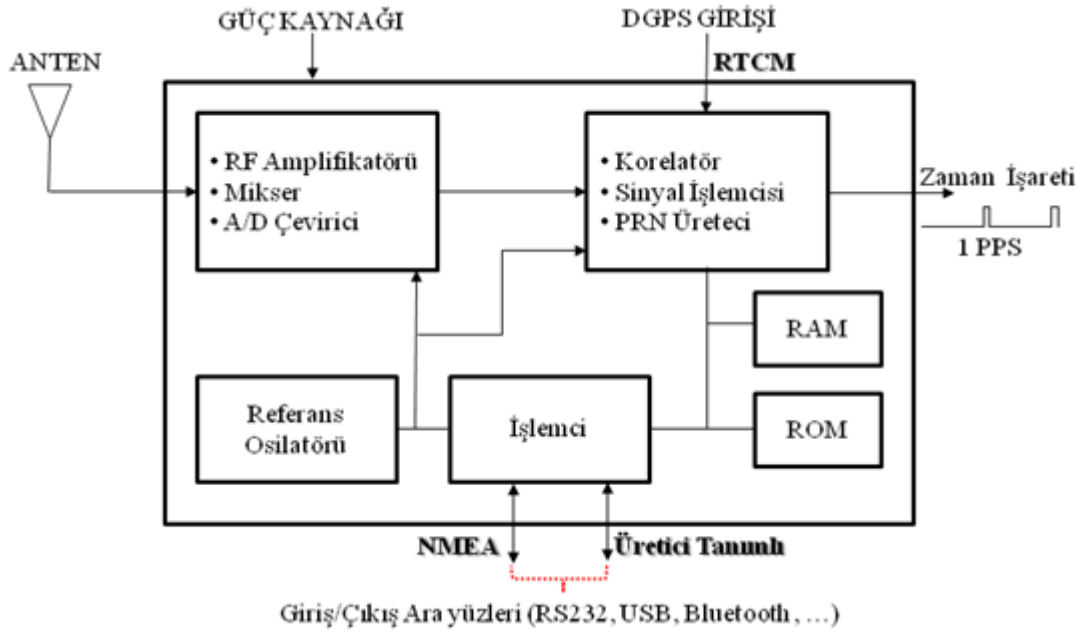
Şekil 2.21. CORS sisteminin yapısı

CORS sistemi kullanılarak hem yatay hem de dikey de santimetre altında hassasiyet elde edilmektedir. Bu bağlamda, tez çalışmasında CORS sistemini kullanabilecek özelliklere sahip bir gezici alıcı kullanılmıştır. Düzeltme sinyalleri CORS ağından alınmıştır.

2.1.6. GPS alıcısı ve veri iletişim formatları

GPS alıcıları, en az dört uydudan gelen zayıf anten sinyallerini değerlendirerek doğru bir şekilde konumlarını belirleyebilmektedir. Alıcılar, konum ve gerçek zaman bilgileri yanında, hız ve ivme gibi fiziksel değişkenleri de belirleyebilirler. Aynı zamanda alıcılar, izlenen uyduların sayısı ve durumları hakkında bilgi vermektedir.

GPS anteni vasıtasıyla alınan sinyaller (L1, L2), RF (Radio Frequency) amplifikatörü ile güçlendirildikten sonra daha düşük bir ara frekansa çevrilmektedir. Analog yapıdaki ara frekans, 2 bitlik ADC (Analog Digital Converter) yardımıyla dijital sinyale çevrilir. Referans Osilatörü, korelatör ve işlemci için gerekli olan saat frekansı yanında frekans çevriminde kullanılması için taşıyıcı dalga sinyalini üretir. Uydudan GPS alıcısına gelen sinyalin aktarım süresi, PRN üreticinin ürettiği sinyal ile gelen PRN sinyalinin korelasyonu ile belirlenir. İki sinyal arasındaki zaman farkı sinyal aktarım süresini verir. Sinyal işlemcisi, alıcının özelliklerine bağlı olmakla birlikte standart olarak eş zamanda en fazla 16 uydu sinyalini işleyebilmektedir. Konum belirleme ve diğer değişkenleri hesaplama işlemleri işlemci üzerinde gerçekleştirilir. GPS alıcıları için standart hale gelmiş olan iki önemli veri iletişim formatı vardır. Birincisi DGPS düzeltme sinyalleri için kullanılan RTCM formatıdır. İkincisi ise, alıcı tarafından hesaplanan verilerin farklı ortamlara iletilmesini sağlayan NMEA formatıdır. Bu iki format haricinde kullanılan veri iletişim formatları da kullanılmaktadır. Bu formatların kullanımı üretici firmadan üretici firmaya değişkenlik gösterebilir. GPS alıcılarının blok yapısı Şekil 2.22’de verilmiştir.



Şekil 2.22. GPS alıcısının blok şema gösterimi (Zogg, 2002)

2.1.6.1. NMEA veri iletişim formatı

GPS alıcıları hesapladıkları değişkenleri (konum, hız, rota gibi) çevre birimlere (bilgisayar, ekran, verici gibi) aktarmak için bazı ara yüzlere (RS232, USB, Bluetooth gibi) sahiptir. Elde edilen değişkenler, bu ara yüzler üzerinden özel bir formatla yayınlanır. Bu özel format veri alış verişinin sorunsuz bir şekilde gerçekleşmesi için Amerika Ulusal Deniz Elektroniği Birliği (NMEA) tarafından standart hale getirilmiştir. Günümüzde GPS verileri NMEA – 0183 özelliklerine göre yayınlanmaktadır. GPS verileri yaygın olarak aşağıda verilmiş olan yedi veri seti yardımıyla aktarılmaktadır (NMEA 0183 1998).

- GGA (GPS için sabit veri)
- GGL (Coğrafik pozisyon, enlem - boylam)
- GSA (Aktif uyduların durumları hakkında bilgiler)
- GSV (İzlenen uydular hakkında bilgiler)
- RMC (Önerilen minimum navigasyon bilgileri)
- VTG (İlerleme hızı, yer hızı, yatay seyir ve hız bilgileri)
- ZDA (Tarih ve saat bilgileri)

2.1.6.2. RTCM SC – 104 veri iletişim formatı

RTCM SC – 104 (Radio Technical Commission for Maritime Services Special Committee 104) standardı düzeltme sinyallerinin aktarımında kullanılmakta ve endüstriyel standart olarak dünya çapında tanınmaktadır (RTCM 104 1990). RTCM veri iletişim formatının şu ana kadar kullanılan 8 farklı versiyonu aşağıda verilmiştir.

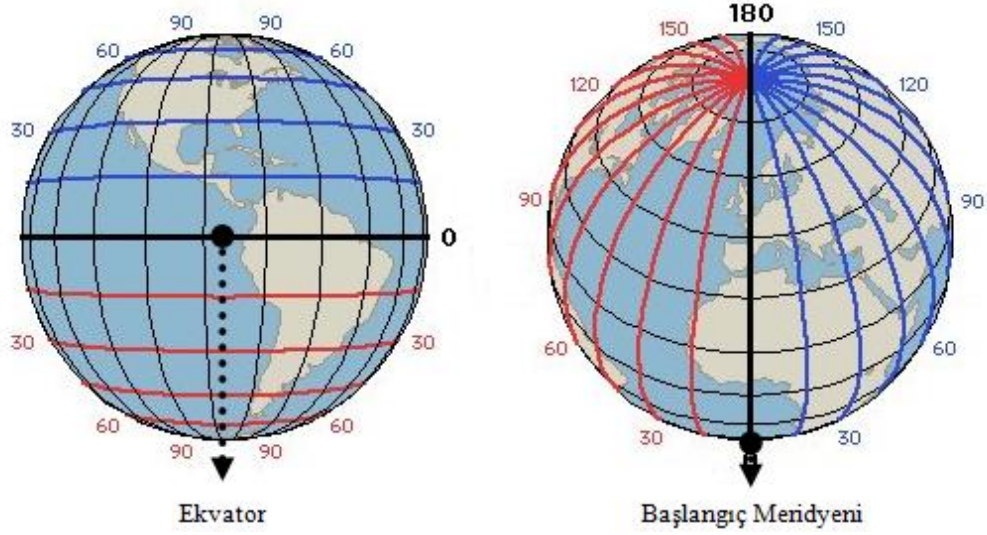
- RTCM 2.0
- RTCM 2.1
- RTCM 2.2
- RTCM 2.3
- RTCM 2.4
- RTCM 3.0
- RTCM 3.1
- RTCM SAPOS

RTCM veri iletişim formatı farklı tip ve marka GPS alıcılarının birlikte çalışabilmesi için geliştirilmiş bir standarttır. RTCM V2.x versiyonu, uzunluk ölçme yönteminde yaygın olarak kullanılırken, V3.x versiyonu faz ölçme yönteminde kullanılmaktadır. Tez çalışmasında kullanılan GPS alıcısı, RTK düzeltme sinyallerini uzunluk ölçümünde RTCM 2.3, faz ölçümünde ise RTCM 3.1 versiyonlarını kullanarak almaktadır.

2.1.7. Coğrafi konum sistemleri

Coğrafi konum sistemleri veya koordinat sistemleri, coğrafi konumları tanımlamak, harita oluşturmak ve navigasyon uygulamalarına yardımcı olmak için geliştirilmiştir. Koordinat sistemleri, birbirleri ile kesişen hayali çizgilerden oluşur. Bu çizgiler, harita üzerinde konum belirlemek için kullanılır. Bu sistemlerin çoğu coğrafi değerleri kullanırlar. Bu değerler, coğrafi konumları tanımlamak için nümerik veya alfa nümerik karakterlerle ifade edilirler. Koordinat sistemleri, konum ölçümü yapmak için

referans noktaları temel alır. Genellikle, koordinat sistemleri enlem için ekvatoru, boylam için başlangıç meridyenini referans olarak kullanırlar (Şekil 2.23).

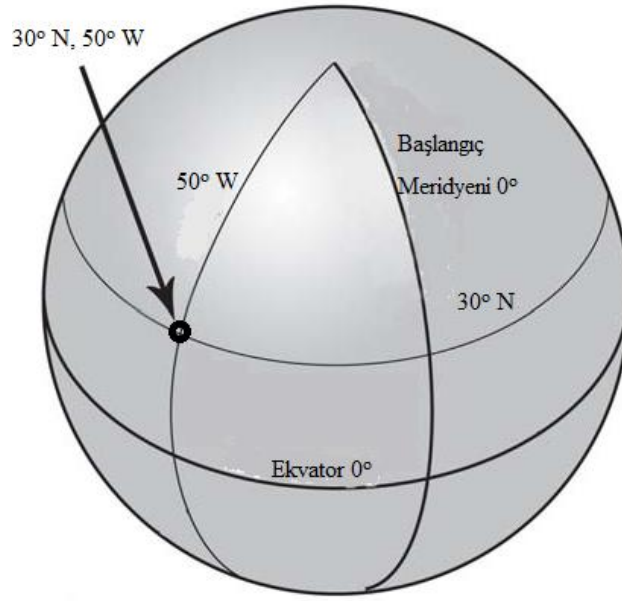


Şekil 2.23. Koordinat sistemleri için referans noktalar

Enlem çizgileri, ekvator çizgisine paralel olarak dünyayı doğudan batıya saran 180 adet çemberden oluşur. Bu çizgiler, ekvator çizgisinin güney ya da kuzeyinde bulunmalarına göre tanımlanırlar. Ekvator 0° , Kuzey kutbu 90° K ve Güney kutbu 90° G olarak adlandırılır. Diğer enlem çizgileri ise $0^\circ - 90^\circ$ K ve $0^\circ - 90^\circ$ G aralıklarında tanımlanırlar. Bütün enlem çizgileri arasındaki uzaklık birbirine eşit ve 111 km'dir.

Boylam çizgileri, ekvator çizgisine dik açı yapacak şekilde dünyayı kuzey kutbundan güney kutbuna saran ve uçları kutuplarda birleşen 360 adet çizgiden oluşur. Boylam çizgileri, başlangıç meridyeninin doğusunda ya da batısında bulunmalarına göre tanımlanırlar. Boylam çizgileri $0^\circ - 180^\circ$ D ve $0^\circ - 180^\circ$ B aralıklarında tanımlanırlar. Bütün boylam çizgileri arasında 4 dakikalık yerel saat farkı vardır.

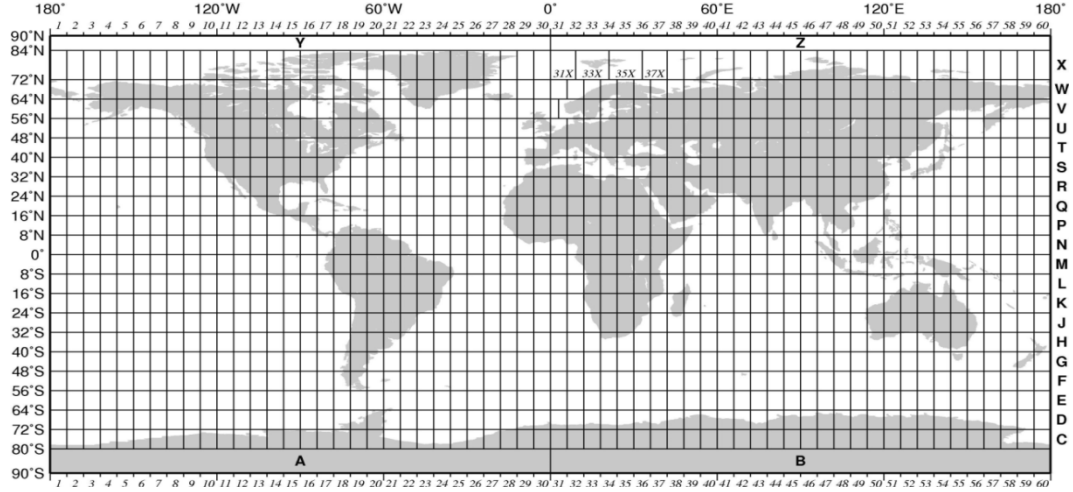
Dünya üzerindeki bir noktanın coğrafi koordinatı enlem ve boylam çizgilerine göre belirlenir (Şekil 2.24).



Şekil 2.24. Dünya üzerindeki bir noktanın koordinatlarının belirlenmesi

2.1.7.1. Universal transverse mercator (UTM)

UTM, coğrafi bir noktanın, derece – dakika – saniye formatı yerine mesafe (metre) formatına göre tanımlanabilmesini sağlayan küresel bir koordinat sistemidir. Bu sistem, GPS ve GIS uygulamalarında yaygın şekilde kullanılmakta olup, coğrafi konumları çok hassas tanımlayan bir metottür. UTM metodunda, dünya, 80° S ve 84° N enlemleri arasında 60 eşit dilime bölünmüştür (Şekil 2.25). Her dilim arasında 6° fark vardır. UTM sisteminde referans noktalar, doğu – batı yönleri için bağlı olduğu dilimin başlangıç boylamı ve kuzey – güney yönleri için ekvator çizgisidir. Bu sistemde, dilim başlangıç boylamı X eksenini, ekvator çizgisi ise Y eksenini olarak tanımlanır. Sonuç olarak, coğrafi bir noktanın UTM sistemindeki konumu, bağlı olduğu dilim başlangıç noktasına olan metre cinsinden uzaklık (X) ile ekvator çizgisine olan uzaklık (Y) olarak tanımlanır. UTM koordinat sistemi, düzlemsel trigonometri yöntemlerinin kullanılmasını sağlayarak, hesaplamaları kolaylaştırır. Bu yöntem ile UTM koordinatları bilinen iki nokta arasındaki mesafe ve yön açısı (bearing) rahatlıkla hesaplanabilir.



Şekil 2.25. UTM koordinat sistemi

2.1.8. Navigasyon metodolojisi

Navigasyon, bir kişinin veya bir aracın bir noktadan başka bir noktaya olan hareketinin kontrol edilmesi ve izlenmesi sürecidir. Navigasyon işlemi; denizde ve havada rota, karada ise güzergâh belirleme ve yön bulma gibi çok farklı uygulama alanında bir gereklilik olarak kendini göstermektedir. Bu sebeple uygulama alanlarına göre uçak, gemi araç navigasyonu ya da kişisel navigasyon gibi çeşitli isimler almaktadır. Her ne kadar söz konusu navigasyon yöntemleri, amaç ve uygulama ortamına bağlı olarak ortaya çıkan kısıtlamalar sebebiyle önemli farklılıklar içerse de yol bulma isteği tüm bu yöntemlerin temelini oluşturmaktadır (Doğru ve Uluğtekin 2005).

Navigasyon, hangi uygulama alanında kullanılırsa kullanılsın temel bazı gereksinimleri olan bir işlemdir. Bu gereksinimler;

- İşlem başlangıç noktasının konumu,
- Kullanıcının anlık konumu,
- Varış noktasının konumu,
- İşlem sırasında kullanılacak yöntem(ler) ve
- Kullanılacak yönteme göre yapılacak hesaplar şeklinde belirlenmiştir (Nissen vd 2003).

Araç navigasyon uygulamalarının yukarıda belirtilen gereksinimler çerçevesinde gerçekleştirilebilmesi için dört temel bileşenden oluşan bir yapının oluşturulması gerekmektedir. Bu bileşenler;

- Sistem dâhilinde kullanım şartlarına bağlı olarak tercih edilecek bir konum belirleme sistemi (GPS),
- Uygun konum belirleme sistemi ile elde edilen verilerin ilişkilendirileceği ve sistemin doğru bir şekilde çalışmasını sağlayacak nitelikteki geometrik ve geometrik olmayan veri,
- Tüm verileri değerlendirecek, yön bulma işlemi için gerekli analiz ve hesaplamaları yapacak ve elde edilen sonuçlarla yönlendirme yapabilecek bir yazılım,
- Bu işlemlerin gerçekleştirileceği araç içi donanım olarak sıralanabilir.

Araç navigasyon uygulamaları iki kategoriye ayrılmaktadır. Birincisi, sürücü destekli otomatik navigasyon uygulaması, ikincisi ise sürücü desteği olmadan hareket edebilen otonom navigasyon uygulamasıdır. Sürücü destekli otomatik sistemde, bir operatör aracın çalışma performansını izlemeyle sorumludur ve zor çalışma koşullarında aracın çalışmasını manuel hale getirerek aracı yönlendirmektedir. Bu tür uygulamalar, operatör üzerindeki baskı ve stresi azaltır, verimlilik ve güvenliği artırır, yüksek performansla uzun süreler çalışabilmesini sağlamaktadır (Gerrish vd 1997). Sürücüsüz otonom sistemde ise araç üzerine yüklenen görev ve koordinat bilgilerine göre kendi kendine hareket etmektedir. Otomatik sistemler, otonom sistemlere göre maliyet açısından daha ucuz olmasına rağmen etkinlik açısından otonom sistemler çoğu uygulamalarda tercih edilir duruma gelmiştir. Bu sebeple, tez çalışmasında otonom olarak hareket edebilen bir araç geliştirilmiştir.

Otonom olarak hareket edebilen araçlar içerisinde 3 temel donanım bulunmaktadır. Bunlar; konum sensörleri (GPS, pusula, vb.), araç kontrolcüler ve hareketlendiricilerdir. Konum sensörleri, aracın daha önceden belirlenen bir rota üzerinden istenilen noktaya konumlanmasını sağlamaktadır. Araç kontrolcüler, aracın ilerlemesi, durması ve dönüşleri için gerekli olan komut kümesini sağlayan elektronik

ve yazılımsal yapılardır. Hareketlendiriciler ise aracın çalıştırılmasını sağlayan motorlar ve bağlı hidrolik/elektronik bileşenlerdir. Otonom olarak çalışan bir aracın yönlendirilmesi işleminde, araç kontrolcülere, konum sensörlerinden aldığı konum bilgilerini uygun bir algoritmayla işleyerek aracın hareket planını belirlemektedir. Bu plan çerçevesinde, hareketlendiricilere gerekli komutları göndererek aracın hareketlendirilmesini ve yönlendirilmesini sağlamaktadır.

Hassas tarım teknolojisinin ortaya çıkmasıyla birlikte araştırmacılar, tarım makinelerinin otomatik olarak yönlendirilebilmesi için farklı teknikler üzerine odaklanmışlardır. Otomatik yönlendirme işlemi, önceden belirlenmiş bir rota üzerinden aracın otomatik olarak ilerletilmesini amaçlamaktadır. Otomatik yönlendirmede kullanılan rehberlik sistemi, aracın duruş yönünü tespit ederek hedefe ulaşmak için gerekli olan dümenleme komutlarını belirlemektedir. Tarım makineleri için bu zamana kadar mekanik, radyo, ultrasonik ve optik tabanlı rehberlik sistemleri kullanılmıştır. Bu rehberlik sistemleri farklı teknolojiler üzerine kurulu olmasına rağmen temelde çoğu, heading (istikamet) açısı, azimuth (kurtiz) açısı ve mesafe gibi aynı rehberlik parametrelerini kullanmaktadır. İstikamet açısı, araç merkez hattı ile manyetik kuzey arasındaki açı olarak tanımlanır. Azimuth açısı, manyetik kuzey ile gidilmek istenen nokta arasındaki açıdır. Mesafe ise, bulunulan nokta ile hedef nokta arasındaki uzaklık miktarıdır. Açısız parametreler üzerinde gerçekleştirilen matematiksel işlemler yardımı ile araçların sağa ya da sola dönüşleri belirlenebilmektedir.

2.2. Anız Yoğunluğu

Toprak işleme, ekim, hasat-harman gibi çeşitli tarımsal işlemlerden sonra toprak yüzeyine yayılmış olan sap, saman, kavuz, yaprak vb. ya da kökleriyle sıkıca toprağa bağlı bir şekilde bulunan anız gibi bitki parçalarına “yüzey artığı” adı verilmektedir (Göknur - Dursun 2002). Önceki ürünün türüne göre yüzey artıkları da farklı özelliklere sahip olmaktadır. Örneğin; soya yüzey artıklı bir tarladaki artıklar daha kolay parçalanırken mısır yüzey artıklı tarladaki yüzey artıkları daha güç parçalanmaktadır (Karabacak 2007). Şekil 2.26’de soya, Şekil 2.27’de ise mısır yüzey artıklı bir tarla görülmektedir.



Şekil 2.26. Tarla yüzeyindeki soya anızı



Şekil 2.27. Tarla yüzeyindeki mısır anızı

Çeşitli ürünlerin birim alan verimlerine bağlı olarak yüzey artığı kaplama oranları da değişmektedir. Çizelge 2.3’de bazı ürünlerin verimlerine bağlı olarak yüzey artığı kaplama oranları verilmiştir. Yüzey artığı kaplama oranı arttıkça verim de artmaktadır.

Çizelge 2.3. Yüzey artığı kaplama oranı ve yüzey artığı miktarı arasındaki ilişki (McCarthy 1993)

Yüzey Kaplama Oranı (%)	Küçük Taneli Tohumlar* (kg/ha)	Mısır (kg/ha)	Ayçiçeği (kg/ha)	Kanola, Hardal (kg/ha)
10	242	484	1210	1210
20	484	847	2420	1573
30	726	1210	3630	1936
40	968	1815	4840	2299
50	1210	2420	6050	2662
60	1573	3025	7260	3146
70	1815	3993	8470	3509
80	2420	4840	9680	3872
90	3630	6050	10890	4235
95	4840	7260	-	-

*: Buğday, arpa, çavdar, yulaf

Tarla yüzeyinde bırakılan bitki artıklarının başlıca yararları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Karabacak 2007):

- Toprak organik madde miktarının arttırılması,
- Toprak strüktürünün iyileştirilmesi,
- Topraktaki nemin korunması,
- Kaymak tabakası oluşumunun engellenmesi,
- Bazı yabancı ot miktarının azaltılması,
- Su ve rüzgâr erozyonunun engellenmesidir.

Bu yararların yanında yüzey artıklarının çok yoğun ve tekdüze olarak tarla yüzeyine yayılmaları durumunda birtakım sakıncaları da vardır (Karabacak 2007). Buna göre;

- Tarım alet ve makinelerinin tıkanmalarına neden olmaları,
- Hastalık ve böceklerin çoğalmalarına uygun bir ortamın oluşmasına yol açmaları,
- Toprak sıkışıklığını ve tohum çimlenme oranını azaltmaları gibi sakıncaları vardır (Wysocki 1988).

Tarihsel olarak, tarla yüzeyinde kalan bitki artıkları, hayvan çiftliklerinde yem olarak, hayvanlar için yatak olarak ve diğer tarla dışı işlemlerde kullanılmıştır. Ayrıca, hasat sonrası tarla yüzeyinde kalan bitki artıkları öncelikle zararlıları kontrol altına almak için yakılır ve daha sonra tarla sürülerek toprağa karıştırılırdı. Kültürel olarak bazı çiftçiler, tarlalarındaki bitki artıklarından kurtulmak için yoğun şekilde tarlalarını sürerek temiz ve pürüzsüz bir tarla yüzeyi elde etmekten gurur duyarlardı. Ancak, geleneksel olarak yapılan tarım uygulamalarının ekolojik sisteme olan zararlarının yanı sıra sürdürülebilir tarım felsefesine uygun olmadığı da yapılan araştırmalarla ortaya çıkmıştır (Archer vd 2008, McGinnis 2007, Paudel vd 2006). Son yıllarda, azaltılmış toprak işleme ve toprak işlemez tarımı içeren koruyucu toprak işleme uygulamaları da yaygın hale gelmiştir. Koruyucu toprak işleme yöntemlerinde, önemli miktarda bitki artığının, su ve rüzgâr erozyonuna karşı bir bariyer ve malç gibi davranması, toprağa besin olarak dönmesi ve potansiyel olarak gübre ihtiyacını azaltması nedenleriyle, toprak yüzeyinde bırakılması gerekmektedir (Causarano vd 2006, 2008). Çizelge 2.4'de farklı toprak işleme yöntemlerinin uygulanabilmesi için gerekli olan bitki artığı oranları verilmiştir.

Çizelge 2.4. Farklı toprak işleme yöntemlerinin uygulanması için gerekli olan bitki artığı oranları

Yöntem	Metot	Bitki artığı oranı
Geleneksel toprak işleme	Kulaklı pulluk kullanımı ve yoğun toprak işleme	< %15
Azaltılmış toprak işleme	Kulaklı pulluk kullanımı yok ve yoğun toprak işleme azaltılmış	≥ %15 < %30
Malçlı toprak işleme	Toprak, ekim işleminden önce bozulur. Çizel, kültivatör, gibi makineler kullanılır. Herbesitlerle yabancı ot kontrolü yapılır.	
Koruyucu toprak işleme	Sırtta ekime yönelik toprak işleme	≥ %30
	Toprak ekimden hasata bozulmadan bırakılır. Sırt yapma makinesi ile ekim yatağı hazırlanır. Sırtlar arasında bitki artıkları bırakılır. Herbesitler ile yabancı ot kontrolü yapılır.	
	Toprak işlesesiz	
	Toprak ekimden hasata bozulmadan bırakılır. Diskli çizici açıcı, dar uçlu çizel veya rototiller kullanılarak dar tohum yatağı hazırlanarak ekim yapılır. Yabancı ot kontrolü öncelikle herbesitlerle yapılır. Acil durumlarda gerekliyse toprak işleme yapılır	

Koruyucu toprak işleme (conservation tillage) sisteminde toprağı devirerek işleyen pulluk gibi toprak işleme aletleri kullanılmaz. Toprak sıkışıklığının sorun olduğu yerlerde toprağı belli bir derinlikte yırtarak işleyen çizel vb. aletler kullanılmaktadır. Bu sistemde ön bitki veya ürün artıkları tarla yüzeyinde bırakılmaktadır. Erozyon kontrolünde koruyucu toprak işleme ve doğrudan ekimin

olumlu etkileri ortaya konulmuştur (Aykas vd 2005). Genel kural olarak koruyucu toprak işleme sisteminde tarla yüzeyinin en az %30 oranında bitki örtüsü ile kaplı halde bulunması amaçlanmaktadır (Koller 2003). Tarla yüzeyindeki anız miktarının belirlenmesi, seçilecek olan toprak işleme yöntemine karar vermede önemlidir.

2.2.1. Anız yoğunluğunun belirlenmesinde kullanılan yöntemler

Tarla yüzeyindeki anız yoğunluğu, bitki yüzey artıklarıyla kaplı alanın toprak yüzey alanına oranı olarak tanımlanmaktadır. Toprak işleme ya da ekim işlemlerinden sonra toprak yüzeyindeki yüzey artığı kaplama oranının belirlenmesinde çeşitli yöntemlerden yararlanılmaktadır (McCarthy 1993). Bunlardan bazıları:

- Hesap Yöntemi,
- Kesişen hat yöntemi,
- Fotoğraf karşılaştırma yöntemi,
- Görüntü işleme yöntemidir.

Hesaplama yönteminde, tarla gözlemlerine gerek kalmadan tarla yüzeyindeki anız yoğunluğu oranı, matematiksel hesaplama yöntemiyle kabaca tahmin edilir. (Kaisi vd 2002). Her bir toprak işleme faaliyetinden sonra yüzey artığı kaplama oranını tahmin etmek için hesaplama yapmak gerekmektedir. Bu yöntem, uzun dönemli koruma planlarında, toprak işleme faaliyetlerinin yüzey artığı kaplama oranı üzerindeki etkilerinin tahmin edilmesinde kullanılmaktadır. Ancak toprak işleme ekipmanlarının kullanımında ve aşındırıcı etkilerde yıldan yıla farklılıklar olması nedeniyle fazla güvenilir bir yöntem değildir (Kline 2000, Eck vd 2001). Yapılacak olan toprak işleme ve ekim işlemlerinden sonra, geriye kalan yüzey artığıyla kaplı alanın yüzdesini tahmin etmek için; kullanılan toprak işleme aletleri ve ekim makinalarıyla çalışmadan sonra, bunların tarla yüzeyinde bırakacağı yüzey artığı kaplama oranlarından yararlanılmaktadır. Örneğin; başlangıçtaki yüzey artığı kaplama oranı %95 olan bir tarlanın sonbaharda dar uç demirli çizelle toprağın işlendiği, kışın tarlanın bu şekilde bekletildiği, ilkbaharda diskli pullukla toprağın işlendiği ve ardından çift diskli gömücü

ayaklı ekim makinesiyle ekimin yapıldığı kabul edilsin. Bu işlemlerden sonra tarla yüzeyindeki yüzey artığı kaplama oranı Eşitlik 19 kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$\text{Anız yoğunluğu oranı} = (0.95) \times (0.75) \times (0.90) \times (0.70) \times (0.90) = 0.40 \quad (19)$$

Hesaplama sonucunda yüzey artığı kaplama oranı %40 olarak bulunacaktır. %40 yüzey artığı kaplama oranı değeri, %30 yüzey artığı kaplama oranından fazla olduğundan koruyucu toprak işleme uygulaması olarak değerlendirilebilir. Bu oran, yaklaşık olarak %40 oranında rüzgâr ve su erozyonunun etkisini azaltacaktır (McCarthy 1993).

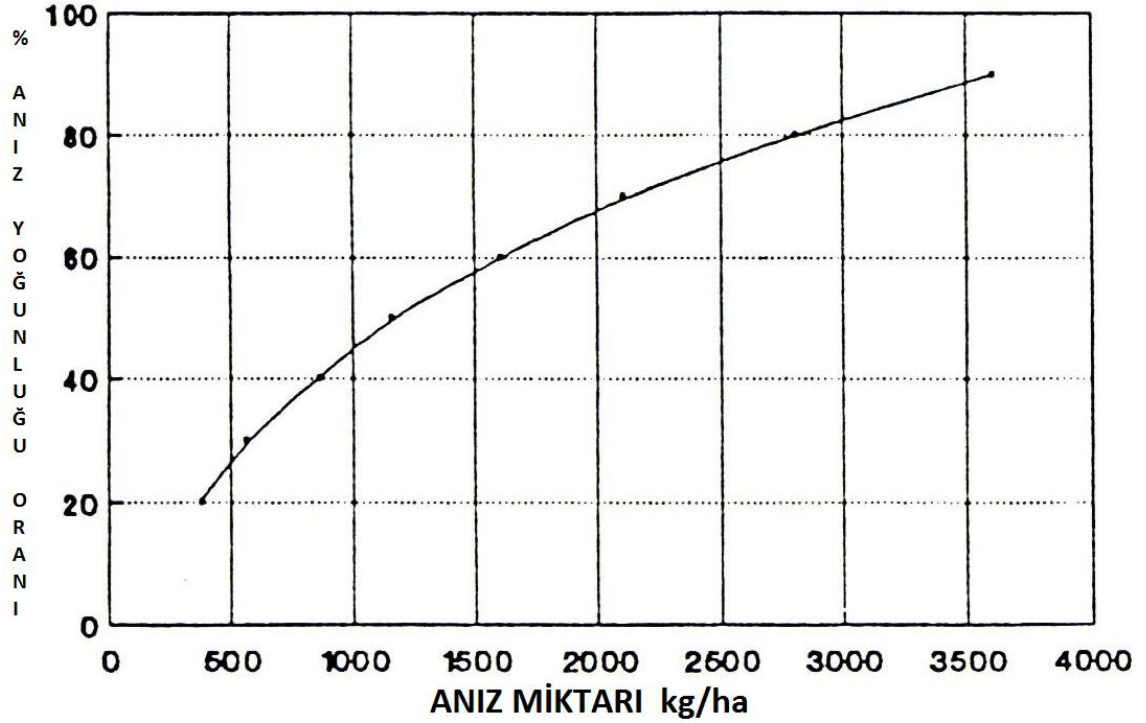
Toprak işleme ve ekim makinelerinin tek bir geçiş sonrası toprak yüzeyinde bıraktıkları bitki artığı miktarı üzerine çok sayıda araştırma yapılmıştır. Çizelge 2.5’de toprak işleme ve ekim makinelerinin tek bir geçişte toprak yüzeyinde bıraktıkları bitki artığı miktarları gösterilmiştir. Çizelgede verilen oranlar, tahmini olarak tarımsal işlemler sonrasında tarla yüzeyinde kalması beklenen bitki artığı oranının hesaplanmasında kullanılmaktadır.

Çizelge 2.5. Farklı tarım makinası, işlem ve zamana bağlı olarak toprak yüzeyinde kalan tahmini bitki artığı oranları

	Kalan bitki artığı oranı (%)	
	Mısır / küçük taneli tohumlar	Soya
Hasat / Sezon	Düşük - Yüksek	Düşük - Yüksek
Hasat sonrası	75 - 95	65 - 90
Kış sezonu sonrası	80 - 95	70 - 80
Makine veya İşlem		
Kulaklı Pulluk	0 - 10	0 - 5
Dipkazan / Riper	70 - 90	60 - 70
Çizel		
Kazayağı uç demirli	70 - 85	50 - 60
Dar uç demirli	60 - 80	40 - 60
Geniş uç demirli	50 - 70	30 - 40
Diskarolar		
Ofset Diskaro	25 - 50	10 - 25
Tandem Diskaro	30 - 60	20 - 40
Tarla Kültivatörleri		
Kazayağı uç demirli	35 - 65	30 - 55
Kesici uç demirli	35 - 75	50 - 70
Sivri uç demirli	60 - 80	55 - 75
Ekim Makineleri		
Çapa ayaklı çizi açıcı	50 - 80	40 - 60
Diskli çizi açıcı	80 - 100	60 - 80
Toprak işlemez	75 - 80	60 - 80

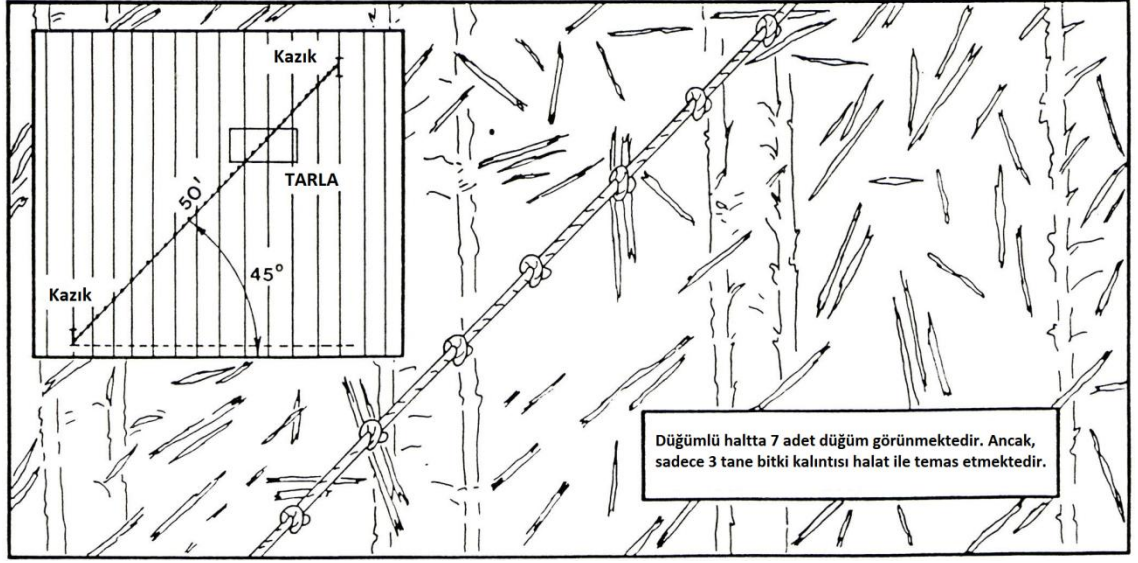
Hesaplama yöntemi kullanılarak anız yoğunluğunun ölçümünde kullanılan bir başka teknik, ağırlık esaslıdır. Tarla üzerinde farklı noktalarındaki birim alan yüzeyindeki anız toplanarak ağırlığı ölçülür. Ölçülen ağırlık birim alana oranlanarak

anız yoğunluğu belirlenir. Şekil 2.28’de ağırlığa bağlı olarak % cinsinden anız yoğunluğunun belirlenmesinde kullanılan grafik gösterilmiştir.



Şekil 2.28. Anız yoğunluğu çevrim grafiği (Kline 2000)

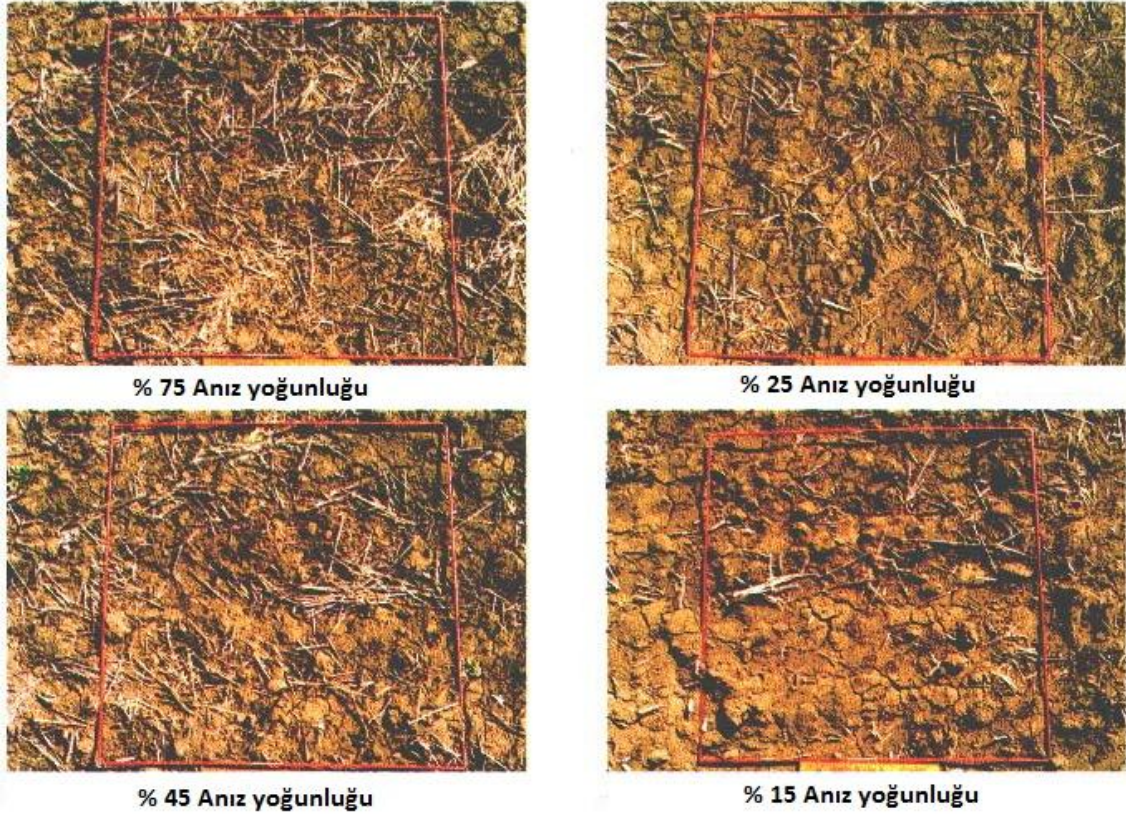
Kesişen hat yöntemi, kolay ve güvenilir bir anız yoğunluğu belirleme yöntemidir. Ölçümler, hızlı, basit ve güvenilir olmasına rağmen yapılması gereken işlemler açısından bazen karışıklıklar ya da yanlış anlamalar olabilmektedir (Wysocki 1988). Ölçüm işleminde şeritmetre, düğümlü halat ya da boncuklu ip kullanılır. İp veya halatlar 15.24 cm ya da 30.48 cm aralıklarla yerleştirilmiş 50 ya da 100 düğüme sahiptir. Şeritmetre kullanılmasının bir sakıncası, düz bir zemine yerleştirilmesinin gerekmesidir. Özellikle tek kişi ile yapıldığında ve rüzgarlı günlerde zorluk yaratmaktadır. Şeritmetre, ip ya da halat, toprak işleme yönüne ya da yüzey artığı sırasına göre Şekil 2.29’daki gibi 45 derece açıyla yerleştirilir (Wollenhaupt ve Pingry 1990, Wollenhaupt 1993, Kasi vd 2002, Kline 2000).



Şekil 2.29. Düğümlü ip ile anız yoğunluğu ölçümü (Kline 2000)

İp, çok sıkı gerilmemeli, zemini izleyecek şekilde gevşek bırakılmalıdır. Hat boyunca sıralanan her düğüm ya da işaretlenmiş nokta, aynı bakış pozisyonu korunarak ve aynı referans noktası dikkate alınarak gözlenmelidir (Wollenhaupt 1993, Kline 2000). Referans noktası, her düğümün merkezi ya da işaretlenmiş her noktanın kenarı olmalıdır. Yüzey artığıyla kesişen noktalar sayılır (Wollenhaupt 1993, Kaisi vd 2002). Yüzey artığının ölçüm şeridiyle kesişip kesişmediğine karar verilirken; şerit metre üzerindeki bu noktaya bir yağmur damlası düştüğünde bitki yüzey artığıyla mı yoksa toprakla mı temas edeceği göz önünde bulundurulmalıdır (Wollenhaupt ve Pingry 1990, Wollenhaupt 1993). Şüpheli durumda bu nokta dikkate alınmaz (Kline 2000). Kesişen nokta sayısı, hat üzerindeki referans işareti sayısına bölünür. Eğer 100 nokta kullanılırsa, her nokta %1, 50 nokta kullanılıyorsa her nokta %2 yüzey kaplama oranına sahiptir. Yüzey artığı örtüsü tekdüze değildir. Bu nedenle bir referans değeri elde etmek için birkaç örnekleme yapılması tavsiye edilmektedir. 5 ölçüm genellikle yeterlidir. Arazi için tipik bölgeler seçilmelidir (Wysocki 1988). Yüzey artığı yoğunluğunu etkileyen tarla sonlarından, su biriken ya da kurak kısımlardan, yabancı otların bulunduğu bölgelerden, böcek zararına uğramış alanlardan ölçüm yapılmamalıdır (Wollenhaupt ve Pingry 1990, Eck vd 2001). Kesişen hat yöntemi, en basit ve en doğru yöntemlerden biri olmasına rağmen, şerit boyu ve tipi, işaretler, işaretlerin sayısı ve işaretler arası mesafe standartlaştırılmalıdır (Korucu 2003).

Fotoğraf karşılaştırma yönteminde, yüzey artığı kaplama oranı bilinen tarlalara ait resimlerin, güncel tarla koşullarını gösteren resimlerle karşılaştırılmasından yararlanılmaktadır. Bu yöntem, hızlı bir tahmin sağlamaktadır (Hickman ve Schoenberger 1989). Ancak kesişen hat yöntemine göre daha az güvenilir olup sadece genel karşılaştırmalar için kullanılmalıdır. Fotoğraf karşılaştırma yönteminde, tarlayı temsil eden bir bölge seçilmekte ve yere doğru düz bakılarak mevcut resimlerle görüntü karşılaştırılmaktadır (Karabacak 2007). Yapılan karşılaştırmaya göre yüzey artığı kaplama oranı tahmin edilmektedir (Eck vd 2001). Yapılan bu tahmin, doğru olan anız yüzdesine göre %10-20 hata sınırları içerisinde gerçekleşmektedir (Korucu 2003). Şekil 2.30'da farklı anız yoğunluğu oranlarındaki buğday anızlı tarla resimleri görülmektedir.



Şekil 2.30. Farklı oranlardaki buğday anız yoğunlukları (Hickman ve Schoenberger 1989)

Dijital fotoğraf makinesi, video kamera ve tarayıcı gibi görüntü yakalayıcı cihazlarla alınarak sayısallaştırılan cisim görüntülerinin uygun bilgisayar yazılımlarıyla işlenmesi ve/veya analizi görüntü işleme olarak tanımlanır. Birçok yazar tarafından farklı tanımlamalar yapılmakla birlikte, görüntü yakalama ve analizini gerçekleştirmek için kullanılan yazılım ve donanım birimleri kombinasyonu görüntü işleme sistemi olarak adlandırılmaktadır (Bek ve Cebeci 1993, Cebeci vd 1992). Görüntü işleme sistemi, ilgilenilen bir objenin veya oluşumun tanımlanmasını sağlayacak lineer ve kuadratik geometrik özellikler, görelî ve mutlak konum gibi yerleşim özellikleri, renklilik veya yoğunluk gibi optik özelliklerinin saptanması ve analizinde kullanılabilir (Bul vd 2005). Bu durum, görüntü işleme sistemine hemen her alanda kullanım potansiyeli sağlayabilmektedir. Son yıllarda bilgisayar ve elektronik teknolojisinde görülen hızlı gelişme sonucu, görüntü işleme sistemlerinin ekonomik ve yaygın kullanımını mümkün kılacak yazılım ve donanım gelişiminin de söz konusu olduğu bildirilmektedir (Bek ve Cebeci 1993). Son on yıldan beri tarımda da görüntü işleme sisteminin kullanım olanakları yoğun ilgi görmüş ve yüzlerce uygulama ile gerçekleştirilmiştir. Tarımda meyvelerde renk analizi, sınıflandırma, meyvelerde zedelenme, kök gelişiminin izlenmesi, yaprak alanının ölçümü, yabancı otların belirlenmesi gibi amaçlarla kullanılmaktadır (Neuman vd 1989, Keefe 1992, Trooien ve Heermann 1992).

Tarımsal ürünlerin uzunluk, kalınlık, genişlik, yüzey alanı ve izdüşüm alanı gibi fiziksel özelliklerinin bilinmesi mühendislik açısından oldukça önem taşımaktadır. Yeni makinelerin tasarımında veya mevcut makineler üzerinde yapılacak olan iyileştirme çalışmalarında bu özelliklere gereksinim duyulmaktadır. Ancak söz konusu ürünlerin bilinen geometrik şekillere benzemeyen yapıları nedeniyle elle yapılacak ölçümleri zorlaştırmaktadır. Bu nedenle ölçümler sırasında modern teknolojilerden yararlanılması gerekmektedir. Görüntü işleme tekniği de bunlardan birisidir (Kabaş ve Özmerzi 2010).

2.2.2. Görüntü işleme sistemi

Görüntü işleme sistemi 2 temel bileşenden oluşur. Birincisi, resmi görüntüleyen (kamera, fotoğraf makinesi v.s.) ve uygun ışık şartlarını oluşturan resim yakalama bileşenidir. İkincisi ise resimleri depolayan ve işleyen bilgisayar ve analiz yazılımlarıdır. Wang ve Sun (2002), laboratuvar şartlarında görüntü işleme sisteminin yapısını Şekil 2.31’de göstermişlerdir.



Şekil 2.31. Görüntü işleme sistemi bileşenleri (Wang ve Sun 2002)

Bilgisayar tabanlı görüntü işleme sisteminin donanımsal konfigürasyonu genelde standarttır. Tipik olarak, bilgisayar tabanlı görüntü işleme sisteminde aşağıdaki yapıların bulunması gerekmektedir. Bunlar:

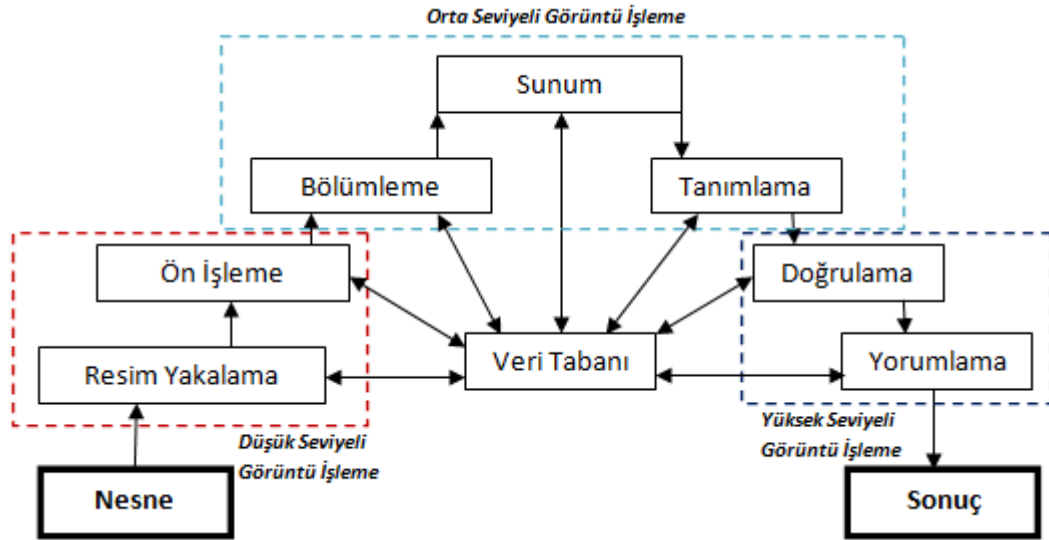
- Görüntü alınacak materyalin uygun ışık ortamını sağlayan ışıklandırma elemanları, (Dijital fotoğraf makineleri için karanlık bir ortamda makinenin flash ünitesi gibi)
- Görüntü yakalamak için kullanılacak kamera, fotoğraf makinesi v.s.,
- Görüntülenen resmin pikselleri üzerinde işlem yapılabilmesini sağlayan ve dijital ortama çevrilebilmesini sağlayan resim sayısallaştırıcı, (Şu anda dijital kamera ve fotoğraf makinelerinde bu özellik mevcuttur)

- Görüntülenen resmin depolanması ve analiz programlarının çalıştırılabilmesi için bilgisayar,
- Orijinal resmin ve analiz edilmiş resimlerin görüntülenmesi için yüksek çözünürlüklü ekrandır.

Görüntü işleme sisteminde, görüntünün alınacağı yerde ışık durumu, sistemin hassasiyeti ve görüntünün kalitesini etkileyen bir faktördür. Işık, ortamdaki materyallerin üzerine odaklanır. Işıklandırma tipi, ışığın konumu ve renk kalitesi görüntüsü alınacak olan nesnenin net görüntüsünün elde edilmesini etkileyen önemli faktörlerdendir. Ortamdaki ışıklandırma düzeni ön veya arka aydınlatma olarak gruplandırılmaktadır (Gunasekaran 2001). Ön aydınlatma, nesneye odaklanarak dış yüzey özelliklerinin daha iyi algılanması için kullanılırken, arka aydınlatma nesnenin arka planının belirginleştirilmesi için kullanılmaktadır. Genellikle ışık kaynağı olarak akkor ampuller, flüoresan lambalar, lazerler, X-Ray tüpleri ve kızıl ötesi lambalar kullanılmaktadır.

Görüntü işleme uygulamasının ilk adımı ham görüntünün elde edilmesidir. Günümüzde kullanılan dijital kamera ya da fotoğraf makineleri yardımıyla ham görüntü dijital olarak bilgisayara aktarılmaktadır. Bilgisayar ekranında resim olarak görüntülenen dijital görüntüler bilgisayar tarafından okunabilen dijital ve gerçek nesnelere temsil eden küçük noktalara çevrilmiştir. Uygulamanın ikinci adımı sayısallaştırılmış olan görüntünün görüntü işleme yazılımı içerisine transfer edilmesidir. Tüm sayısallaştırılmış görüntülerin temel yapı taşı olan küçük noktalara piksel denir. Dijital görüntüler, dikey ve yatay biçimde sıralanmış piksellerden oluşmaktadır. Resmin her bir pikseli tek bir noktadan oluşuyor ve bu nokta sayısal olarak 0 – 255 arasında bir değerse bu tür resimler siyah beyaz resim olarak tanımlanmaktadır. Burada, 0 beyaz rengi 255 ise siyah rengi göstermektedir. Aradaki değerler ise siyah ve beyazın tonları şeklindedir. Renkli resimlerde her bir piksel RGB (Red Green Blue) olarak adlandırılan 3 nokta ile tanımlanmaktadır. Her bir nokta 0 – 255 arasında belirtilen renklerin açıktan koyuya tonları şeklinde temsil edilmektedir.

Görüntü işleme mekanizması 3 aşamadan oluşmaktadır. Bunlar, düşük, orta ve yüksek seviyeli görüntü işleme aşamalarıdır (Şekil 2.32). Resmin görüntü işleme yazılımına aktarılması ve piksellerinin tanımlanması düşük seviyeli görüntü işleme aşamasını oluşturmaktadır. Orta seviyeli görüntü işleme aşaması bölümlenme, sunum ve tanımlama işlemlerinden oluşmaktadır. Bölümlenme işlemi, resmin özelliklerinin analizi, kesme ve ekleme işlemlerinden oluşmaktadır. Bu işlemin yapılmasının amacı, aralarında güçlü korelasyon ilişkisi bulunan resim bölgelerinin ayrıştırılmasıdır. Bölümlenme işleminde 3 teknik kullanılmaktadır. Bunlar thresholding (eşikleme), kenar bazlı ve bölge bazlı bölümlenme teknikleridir. Thresholding tekniği, gri tondaki resimlerin iki farklı renk türüne çevrilerek aydınlık ve karanlık noktalarının belirginleştirilmesi için kullanılmaktadır. Kenar bazlı bölümlenme tekniği, resimlerin gri renk seviyesi, piksel ve dokularındaki süreksizliklerinin tespiti ile nesnelerin kenar hatlarını algılamak için kullanılmaktadır. Bu teknik, nesnelerin şekil ve boyutlarının sınıflandırılmasında faydalıdır. Bölge bazlı bölümlenme tekniğinde ise benzer piksel yoğunluğu olan bölgelerin tespitinde kullanılmaktadır. Yüksek seviyeli görüntü işleme aşamasında orta seviyeli görüntü işleme aşamasında elde edilen verilerin, istatistiksel yöntemler ile sınıflandırılması, tanımlanması ve yorumlanması sağlanmaktadır.



Şekil 2.32. Görüntü işleme mekanizmasının aşamaları (Sun 2003)

2.3. Otomatik Yönlendirme Sistemleri

19. yy. sonlarında içten yanmalı motorların icadından sonraki süreçte tarım makinelerinde hızlı bir ilerleme sağlanmıştır. Bu ilerleme süreci, tarımsal üretkenlik ve verimliliğin artırılmasına yönelik fikirlerin hayata geçirilmesi çalışmalarıyla gelişimini devam ettirmiştir. Tarım makinelerinin geliştirilmesinde düşünülen fikirlerden bir tanesi de otonom makinelerin tasarlanmasıdır. Bu düşünce her ne kadar yeni gibi görünse de aslında oldukça eskidir. İnsan işgücünün dümenleme ile ilgili yükünün otomatik makineler ile ikame edilme çabaları 1924'lü yıllara dayanmaktadır. Willrodt (1924), çalışmasında, tarlanın pullukla sürümü sırasında, bir önceki işlemde oluşturulan çiziyile (sırayla) traktör ön aksı arasında oluşturulan bir mekanizma ile gerçekleştirilen bir kontrol sistemi tasarlamıştır. Sissons (1939) büyük bir tel makarayı kullanarak kademeli olarak azalan çemberler boyunca traktörü dümenlemeye çalışmıştır.

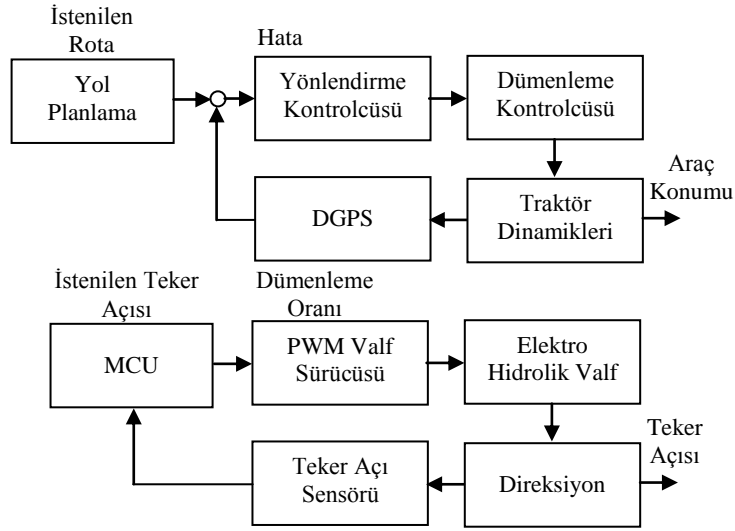
1950 ve 1960'larda otomatik kontrol uygulamaları, endüstride süreç kontrol işlemlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır (Wilson 2000). Otomatik kontrol sistemlerinin potansiyeli tarım da dahil olmak üzere tüm endüstri alanlarında fark edilmiştir. 1970 yılına kadar olan süreçte otonom olarak hareket eden tarım makinelerinin çoğunda mekanik ayarlar kullanılmıştır (Reid vd 2000). Rushing (1971), yer altına gömülen elektrik yüklü kablolar yardımıyla traktörün sürücüsüz olarak dümenlenmesini sağlamıştır. Dümenleme işlemi, elektrik motoru yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Traktörün gömülü kabloya göre göreceli konumu, iki özdeş telle manyetik alan ölçülerek belirlenmiştir. Sıra başlarındaki dönüşlere programlanmış şablonlar üzerinden ulaşılmıştır. İlerleme eksenini doğrusundan sapma, 6 km/h ilerleme hızında, 2.5 cm civarında gerçekleşmiştir. Schafer ve Young (1979) otonom traktör geliştirmek için benzer yöntemi kullanmışlardır.

1980 yılından itibaren görüntü analizi ve sensör konularındaki gelişmeler makinelerin görmeye dayalı rehberlik sistemleri yardımıyla yönlendirilebilmesini mümkün hale getirmiştir. Bu yöntem, kılavuz sistemler için popüler hale gelmiş ve araştırmacılar görüntü sensörleri ile yönlendirilebilen tarım makineleri hakkında çalışmaya başlamışlardır (Reid ve Searcey 1988). Aynı zamanda, tekerlek konum sensörleri,

detektör ve duyargaların kullanımı ile araç yönlendirme uygulamalarında hassasiyet sağlanmaya çalışılmıştır (Wilson 2000).

1990 yılında Carnegie Mellon Üniversitesi tarafından görüntü tabanlı otonom yonca hasat makinesi geliştirilmiştir (Ollis 1997). Geliştirilen hasat makinesi görüntü işleme yöntemine göre makinenin bir önceki geçişte oluşturduğu çiziyi referans olarak yönlendirilmekteydi. Ollis (1997) yaptığı çalışmada hasat makinesinin daha güvenli ve hassas çalışabilmesi için DGPS kullanılması gerektiğini düşünmüş fakat o zamanki teknolojik şartlarda bunun mümkün olmadığını bildirmiştir. Pilarski vd (2002), aynı hasat makinesi üzerine GPS sistemindeki hassasiyet iyileştirmelerinin de etkisiyle DGPS modülünü eklemişlerdir. 2000 yılından günümüze kadar olan süreçte, sensör ve GPS teknolojilerindeki gelişmelerin de etkisiyle, otonom tarım makinelerinin geliştirilmesi konusundaki çalışmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir.

Stombaugh vd (1999), yüksek hızda gerçekleştirilen tarla işlemlerini kontrol edebilme yeteneğine sahip tarımsal araç yönlendirme sistemi geliştirmişlerdir. Çalışmanın amacı, 16.2 km/h ve 24.48 km/h (pratikte maksimum çalışma hızı) arasındaki hızlarda istenilen doğrultu için ± 0.3 m hassasiyet ile dört çeker bir test traktörü (CASE - IH) için GPS tabanlı otomatik yönlendirme sistemi tasarlamaktır. Test traktörü üzerine konum belirlemek için Novatel RT – 20 DGPS alıcısı ve direksiyon üzerine de dönüş açılarını kontrol edebilmek için tekerlek açısı sensörü yerleştirilmiştir. Yönlendirme sistemi ve dümenleme kontrolcüsüne ait akış şemaları Şekil 2.33'de gösterilmiştir. Elektro hidrolik valf aktifken otomatik yönlendirme aktif değilken manuel yönlendirme işlemi gerçekleşmektedir. Darbe genlik modülasyon (PWM) sinyali elektro hidrolik valfi kontrol edebilmek için kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, dört çeker bir traktör için 6.8 m/s'nin üzerindeki hızlarda kullanılan yönlendirme sisteminin, istenilen rota üzerinde ± 16 cm hassasiyet sınırları içerisinde çalıştığı tespit edilmiştir.



Şekil 2.33. Yönlendirme ve dümenleme Kontrolcüleri (Stombaugh vd 1999)

Stoll ve Kutzbach (2000), CLASS marka kendi yürür yem hasat makinesi üzerine yerleştirdikleri RTK - GPS alıcısı kullanarak bir yönlendirme sistemi tanımlamışlardır. Sistemde kullanılan RTK – GPS alıcısı, birçok tarımsal uygulama için kabul edilebilir sınır olan 10 – 50 mm konumsal doğrulukla çalışmaktadır. Sistemin performansı, farklı rota şekilleri, zemin şartları ve hızları için incelenmiştir. Tüm şartlar için yapılan testler sonucunda sistemin standart sapması 100 mm ve altında olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde Cordesses vd (2000), biçerdöver üzerine yerleştirdikleri RTK – GPS alıcısı ile oluşturdukları yönlendirme sisteminde 4 km/h ile 10 km/h arasındaki hızlar için 50 mm hassasiyet sağlamışlardır.

Nagasaka vd (2004), 6 sıralı çeltik fide dikim makinesi için otomatik yönlendirme sistemi geliştirmişlerdir. Sistem içerisinde hassas olarak konum belirlemek için RTK – GPS alıcısı ve araç yönünün belirlenebilmesi için de fiber optik jiroskop (FOG) kullanılmıştır. Aracı direksiyonu ile gaz, debriyaj ve fren pedalları için hareketlendiriciler kullanılmıştır. Mutlak değerli döner sensör, aracın dönüş açısını ölçmek için, yaklaşım sensörleri de debriyaj ve fren pedallarının pozisyonlarını belirlemek için kullanılmıştır. Elektrikli lineer silindirler ise debriyaj ve fren pedallarının kontrolü için kullanılmıştır. Çalışma sonucunda aracın 2.52 km/h ilerleme

hızında istenilen doğrultudan maksimum sapma değeri (RMS) 120 mm ve altında sapma gösterdiği tespit edilmiştir.

Stombaugh ve Shearer (2001), geniş alanlarda çalışabilen DGPS tabanlı otomatik olarak yönlendirilebilen bir tarla pülverizatörü geliştirmişlerdir. Araç düz bir hatta ilerletilerek dümenleme hassasiyeti ve çalışma kararlılığı test edilmiştir. Otomatik yönlendirme işleminin gerçekleştirilebilmesi için SLX DGPS alıcısı, üzerinde Dijital Analog çevirici olan Pentium tabanlı bilgisayar ve yönlendirme valfi üzerindeki Analog değerleri okumak için veri yakalama kartı (DAQ) kullanılmıştır. Yönlendirme valfi olarak ucuz selenoid valflar kullanılmıştır. Aracın yönlendirme algoritması olarak istenilen rota için kuzey açısı ve rotadan sapma verileri kullanılmıştır. Araç direksiyonunun dümenlenebilmesi için gerekli olan yönlendirme komutlarının hesaplanması, değerlendirilmesi ve ilgili donanımlara gönderilebilmesi için Visual Basic ortamında yazılan bir program kullanılmıştır. Yönlendirme valfi bobinlerinin kontrolü için bir çift röle kullanılmıştır. Pozisyon geri beslemesi için sadece DGPS alıcısından gelen veriler kullanılmıştır. Hidrolik akış hızı ve geri besleme kazancı sistem üzerinde önemli bir etkiye sahip olan kritik parametre değerleri olarak bulunmuştur. Eğer sistem kazancı çok düşük olursa aracın istenilen rota üzerindeki yakınsaması az olmaktadır. Eğer sistem kazancı çok yüksek olursa, sistemdeki gürültüler güçlendirilmiştir. Eğer hidrolik akış hızı çok yüksek ise, sistem istenilen rota üzerinde salınımlara neden olmaktadır. Eğer hidrolik akış hızı çok az ise, sistem istenilen rota üzerindeki yönlendirme komutlarına yeterince hızlı cevap verememektedir. Araştırmacılar, sistemin karalı olarak çalıştırılabilmesinin zor olduğunu ancak istenilen rotayı izleme ve yakınsama işlemlerine iyi yanıt verdiğini bildirmişlerdir.

Guo ve Zhang (2004), arazi araçları için düşük maliyetli bir navigasyon sistemi geliştirmişlerdir. Geliştirilen navigasyon sisteminin içerisinde konum belirlemek için Garmin N17 GPS alıcısı, içerisinde üç tane tek eksenli jiroskop bulunan atalet sensörü ve üç eksenli ivmeölçer bulunmaktadır. Araç konumu, hızı ve rakım bilgileri GPS alıcısından elde edilmiştir. Araç navigasyon bilgilerinin daha hassas sağlanabilmesi için atalet sensörü kullanılmıştır. Tasarlanan sistem 3 farklı test ortamında değerlendirilmiştir. GPS alıcısı için kullanılan referans RTK GPS alıcısının dinamik

konum hassasiyetinin 18.3 mm olduğu belirtilmiştir. GPS alıcısının maksimum ölçüm hatası bir test ortamında 299 mm diğ erinde ise 500 mm olarak ölçülmüştür. Geliştirilen sistemde GPS sinyali 30 saniyeden daha fazla süre kesilse bile aracın yönlendirilmesinin yüksek hassasiyetle gerçekleştirilebildiği bildirilmiştir.

Mizushima vd (2004), düşük maliyetli konum sensörü kullanarak tarımsal araçlar için navigasyon sistemi tasarlamışlardır. Sistem içerisindeki sensör ünitesi üç adet titreşimli jiroskop ve iki tane eğimölçerden oluşmaktadır. Sensör verilerinin ölçülmesi, düzeltilmiş koordinat, kutup açısı ve eğim bilgilerinin hesaplanması için H8S2612 mikrobilgisayar (Hitachi Ltd, Tokyo, Japonya) kullanılmıştır. Farklı amaçlar için üç mikrobilgisayar kullanılmıştır. Bunlardan birincisi, jiroskop ve DGPS alıcısından gelen veriler göre kutup açısının hesaplanmasında kullanılmıştır. İkincisi, DGPS alıcısından elde edilen enlem / boylam formatındaki konum verilerini UTM koordinat sistemine çevirmek için kullanılmıştır. Üçüncüsü ise jiroskop ve eğimölçerden gelen verilere göre araç salınımlarını hesaplamak için kullanılmıştır. Sistem iç i haberleşme protokolü olarak CAN (Controller Area Network) protokolü kullanılmıştır. Geliştirilen sensör ünitesinin, kutup açısını 1.59°, dikey salınım açısını 0.41° ve yatay salınım açısını 0.65° hassasiyetle ölçüldüğü bildirilmiştir.

Burcham ve Lee (1999), tarımsal alanlardaki zararlıları bulmak ve ortadan kaldırmak için otonom bir robot geliştirmişlerdir. Otonom yönlendirme işlemi için üzerine yönlendirme sensörleri ve DGPS alıcısı yerleştirilmiş olan ATRV-Jr (iRobot, MA, USA) robot kullanılmıştır. Otonom olarak hareket edebilen robot, coğrafi olarak tanımlanmış bir çerçeve içerisinde tanımlı olan noktalara yönlenebilme yeteneğine sahiptir. Robot için gerekli olan oryantasyon verilerinin elde edilmesi için manyetometre ve eğimölçer kullanılmıştır. Sistem içerisinde iki tane bilgisayar kullanılmıştır. Birinci bilgisayar, aracın hareket edeceği coğrafi çerçevenin tanımlanması, ilerleyeceği noktaların oluşturulması (navigasyon dosyası) ve robot üzerindeki bilgisayara yüklenmesi için kullanılmıştır. İkinci bilgisayar, robot üzerindedir ve içerisinde navigasyon yazılımı ve dosyası yüklüdür. Navigasyon yazılımı, araştırmacılar tarafından C++ yazılımı kullanılarak yazılmıştır. Yazılım,

DGPS ve manyetometre ünitelerinden gelen verilere göre robotun hareketlendirilmesi ve navigasyon dosyasındaki noktalara yönlendirilmesini sağlamaktadır.

Noguchi vd (1999, 2002), tarımsal amaçlı bir tarla robotu geliştirmişlerdir. Robot üzerinde navigasyon için RTK – GPS, fiber optik jiroskop (FOG) ve atalet ölçüm ünitesi (IMU) kullanılmıştır. Araştırmacılar, tarım araçlarının otonom olarak yönlendirilmesi için yapılan çalışmaların çoğunun özel tarım işlemlerine çözüm bulmak için yapıldığını, ancak tüm tarımsal üretim işlemleri için bu sistemlerin kullanılamayacağını bildirmişlerdir. Geliştirilen robot traktör, görev planlayıcı ve otonom işlem modlarını işletebilmektedir. Robot, görev planlayıcı modunda, daha önce bir kullanıcı tarafından oluşturulmuş olan yol güzergâhını taklit edebilme yeteneğine sahiptir. Robotun motor hızı ve çekiş fonksiyonlarının ayarlanması gibi yönetim işlemleri, görev planlayıcı modunda gerçekleştirilmektedir. Görev planlayıcı modu için gerekli olan coğrafi haritalar GIS programı kullanılarak oluşturulabilmektedir. Çalışmada, navigasyon amaçlı konum hatalarının dengelenmesi ve fiber optik jiroskop sapmalarını tanımlamak için sensör füzyon algoritması geliştirilmiştir. Robot traktör üzerinde, düz ve kavisli yollarda 9 km/h hıza kadar olan hızlar için navigasyon işlemi başarılı olarak çalışmıştır. Sistemin ofset hatası yaklaşık 49 mm olarak gerçekleşmiştir. Geliştirilen yöntem, üzerindeki yazılımın gerekli olan konum verisini hesaplaması esnasında aracın kararlı çalışmasını sağlamaktadır. Tekerlekler ile toprak arasındaki etkileşim nedeniyle yaklaşık 500 mm lateral hata olmuştur.

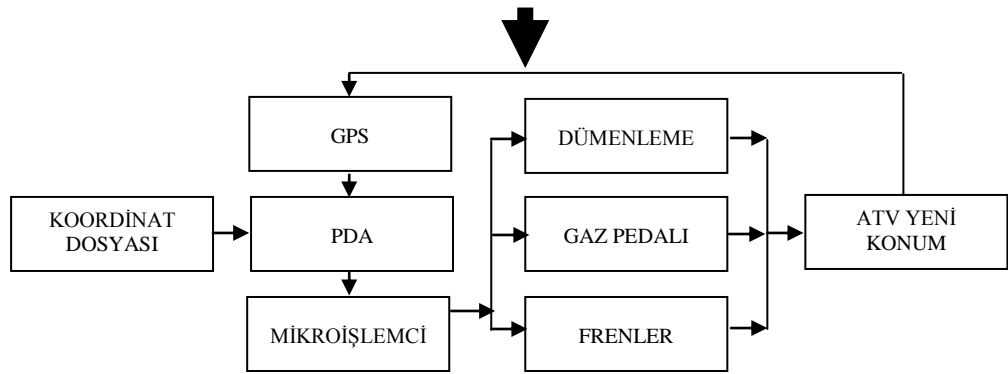
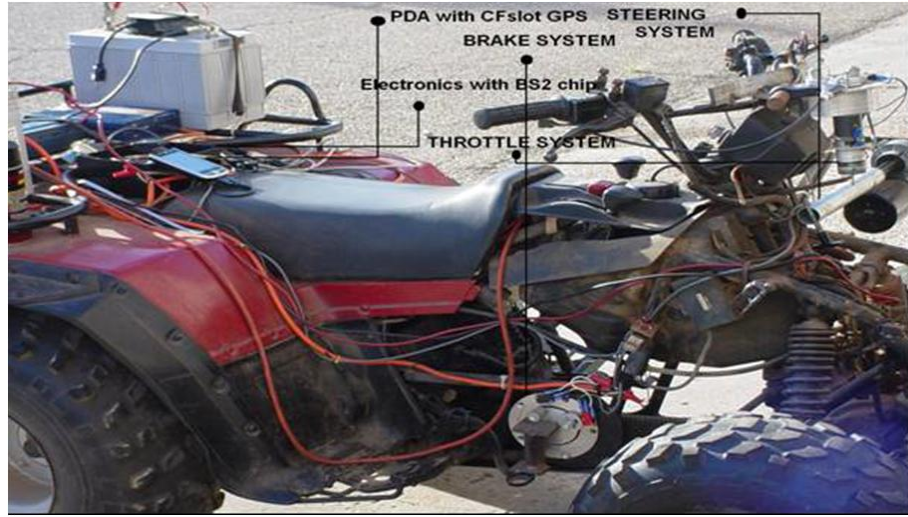
Kanjanaphachoat vd (2011), konum belirlemek için DGPS alıcısı ve multipath hatalarının düzeltilmesi için çift elektrikli kumpas ile donatılmış yüksek hassasiyetli tarımsal amaçlı robotik bir araç ve yönlendirme sistemi geliştirmişlerdir. Aracın hareketi süresince konum koordinatlarının tahminlendirilmesi için yeni bir düzeltme algoritma modeli kullanılmıştır. Kullanılan model, hem DGPS alıcısından hem de iki elektrikli pusuladan gelen verileri senkronize olarak kullanmaktadır. Eğer kullanılan DGPS alıcısının izlediği uydu sayısı 6'dan az ve HDOP değerinin 3'den fazla olduğu problemlili şartlarda pusulalar, sistemin kararlı çalışmasını sağlamaktadır. Sistem ağaç yoğunluğun fazla olduğu ortamda test edilmiş ve multipath hatasının 20 cm civarında

gerçekleşmiştir. Araştırmacılar, geliştirilen sistemin küçük boyutlu pülverizatörler için ideal olduğunu bildirmişlerdir.

Garcia vd (2011), ucuz maliyetli GPS alıcısı yardımıyla tarımsal traktörlerin otonom yönlendirilmesini sağlayan bir navigasyon sistemi geliştirmişlerdir. Sistem John Deere 6400 traktörü üzerine yerleştirilmiştir. Sistem içerisinde temel GPS alıcısı olarak HI – 204III Haicom alıcı ve bu alıcının hassasiyetini kontrol edebilmek için de Garmin 15 ve Garmin 18 alıcıları kullanılmıştır. Traktör dümenlemesinin sağlanabilmesi için direksiyona bir dişli ve bu dişlinin hareketlendirilmesi için RE – 30 Maxon DC motor monte edilmiştir. Motor dönüş hızının direksiyon dönüş hızına adapte edilebilmesi için GP 32 Maxon düşürücü dişli kullanılmıştır. Teker dönüş açısının belirlenmesi için MA3 US dijital manyetik enkoder kullanılmıştır. GPS alıcısı ve diğer sensörlerden gelen verilerin değerlendirilmesi, motorun gerekli miktarda çalıştırılarak direksiyonun sağa ya da sola dönüşlerinin sağlanabilmesi ve gerekli olan verilerin hesaplanabilmesi için taşınabilir bilgisayar kullanılmıştır. Araştırmacılar, traktörün yönlendirilmesi için kullanılan temel verinin, aracın doğrultu açısı olduğunu bildirmişlerdir. Traktörün, 9 km/h civarındaki ilerleme hızlarında istenilen doğrultudan sapma miktarının 1 m ve altında olduğu, diğer hızlarda bu miktarın arttığı rapor edilmiştir.

Nistala (2006), küçük tarım araçlarında, toprak özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmak üzere düşük maliyetli bir rehberlik sistemi geliştirmiştir. Geliştirilen sistemde, aracın coğrafi konumunu belirleyebilmek için GPS alıcısı ve rehberlik talimatlarının oluşturulabilmesi için yazılım modülü beraber kullanılmıştır. Sistem, açık bir arazide, aracın noktadan noktaya yönlendirilebilme yeteneğine sahiptir. Çalışmada sırasıyla, optimum test aracının araştırılması ve seçilmesi, aracın otonom olarak hareket edebilmesi için gerekli olan donanımsal otomasyonun geliştirilmesi, gerekli yazılımları çalıştıran taşınabilir bilgisayarın seçilmesi, navigasyon ve rehberlik sinyallerini belirleyen yazılımın geliştirilmesi ve sistemin bütün olarak test edilmesi işlemleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.34'de geliştirilen araç ve yönlendirme sisteminin akış şeması verilmiştir. Geliştirilen araçta, Fortuna Xtrack® DGPS alıcısı kullanılmıştır. DGPS alıcısı, WAAS düzeltme sinyali yardımıyla yaklaşık 8 - 40 cm arasında bir hassasiyete sahiptir. Taşınabilir bilgisayar olarak, Dell AximX50-v PDA kullanılmıştır.

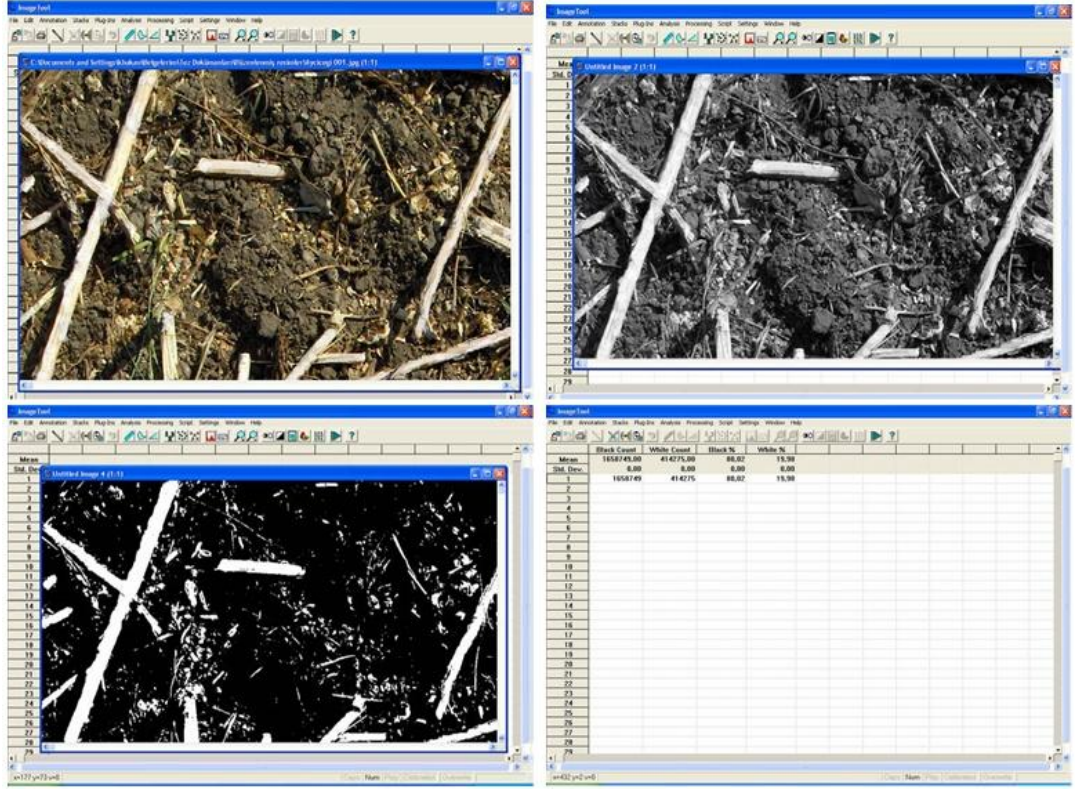
PDA'nın işlemci hızı 624 MHz dir. Elektroniksel olarak kontrol edilen hareketlendiricilerin çalıştırılabilmesi için A Basic Stamp® 2p mikroişlemci kullanılmıştır. Test aracı olarak elektriksel olarak çalıştırılabilen, tek silindirli, benzinli ve 4 zamanlı motora sahip Suziki marka ATV kullanılmıştır. Otonom rehberlik sistemi, önceden belirlenmiş örnekleme noktaları için test edilmiştir. Sistemin ortalama ofset hatası yaklaşık 14 – 23 cm arasında belirlenmiştir. Sistemin örnekleme noktalarına göre standart sapması yaklaşık 6 – 9 cm arasında olduğu tespit edilmiştir. Sistemin toplam maksimum hatasının yaklaşık 48 cm olduğu bildirilmiştir. Ayrıca araştırmacı, otonom araçlar için kullanılan 25 – 30 cm arasında hassasiyete sahip GPS alıcılarının, toprak testi ve örnekleme işlemlerinde rahatlıkla kullanılabilceğini belirtmiştir.



Şekil 2.34. Geliştirilen araç ve yönlendirme sistemi (Nistala 2006)

2.4. Görüntü İşleme Yöntemi

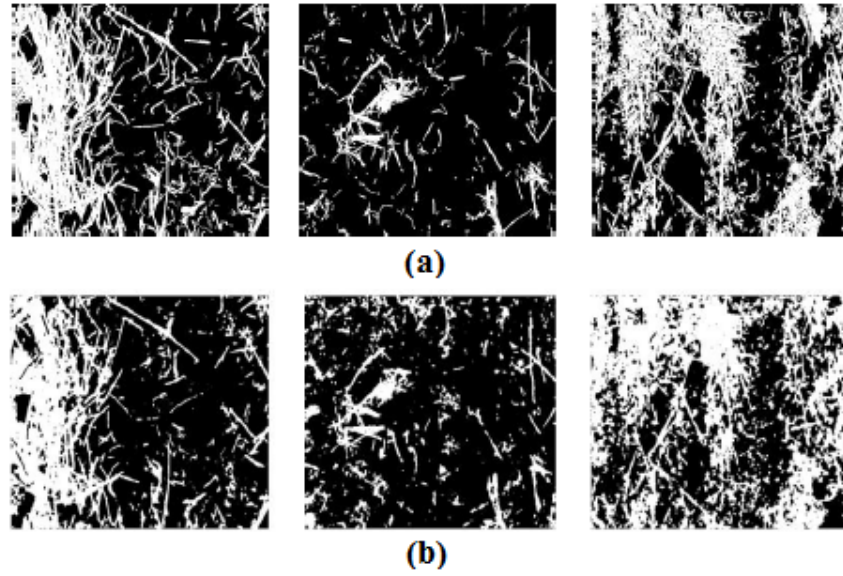
Karabacak (2007), çalışmasında, tarla yüzeyindeki bitki yüzey artığı kaplama oranını belirleyebilmek için görüntü işleme yönteminden yararlanmıştır. Yüzey artığı resimlerinin çekilmesi ve bilgisayara aktarılması amacıyla HP Photosmart M525 marka, fotoğraf makinesi, görüntülerin kaydedilmesi ve görüntü işleme uygulamasının gerçekleştirilebilmesi için Intel Pentium 4 CPU 2 GHz işlemci, 504 megabayt RAM, 32 megabayt Asus V3700 TNT2 ekran kartı özelliklerine sahip bilgisayar kullanılmıştır. JPEG formatında fotoğraf makinesine kaydedilen resimler, TIFF formatında bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Görüntü işleme tekniklerinin uygulanabilmesi için “ACD Photo Editor 3.1” ve “UTHSCSA Image Tool 3.0” yazılımları kullanılmıştır. Buğday, mısır ve ayçiçeği yüzey artığı ile kaplı tarlaların her birinde, yüzey artığı kaplama oranının belirleneceği alanlar üzerine 1 m²'lik çerçeve yerleştirilmiştir. Yüzey artıkları ile zemin arasında zıtlık oluşturarak, yüzey artığı kaplama oranının daha kolay belirlenmesi amacıyla, 1 m²'lik çerçeve alanı içerisinde kalan kısım suyla ıslatılmıştır. Fotoğraf makinesi, 1 m²'lik çerçeve içerisindeki ölçümü yapılacak alana dik olacak şekilde tutularak çekim yapılmıştır. Elde edilen renkli resimler, gri tona çevrilerek netlik ayarı yapılmıştır. Bu işlemlerden sonra, resimlerin aydınlık ve karanlık alanların oranları karşılaştırılarak yüzey artığı kaplama oranı değerleri belirlenmiştir (Şekil 2.35). Buğday, ayçiçeği ve mısır yüzey artıklı tarlalarda, kesişen hat ve görüntü işleme yöntemi kullanılarak yürütülen çalışmalar sonucunda elde edilen yüzey artığı kaplama oranları, istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır ve P < 0.05 güven düzeyinde anlamlı ilişkilerin olduğu tespit edilmiştir. Bitki yüzey artığı kaplama oranının belirlenmesinde görüntü işleme yönteminden başarıyla yararlanılabileceği ve görüntü işleme yönteminin bitki yüzey artığı küçük boyutlu olan ürünlerde daha başarılı sonuçlar verebileceği bildirilmiştir.



Şekil 2.35. Bitki artığı oranının görüntü işleme yöntemi ile belirlenmesi (Karabacak 2007)

Ribeiro vd (2011), bitki artıklarının toprak yüzeyi kaplama alanını belirlemek için genetik algoritma tabanlı görüntü işleme yöntemi kullanmışlardır. Çalışmanın amacı, elde edilen görüntüdeki bitki artığı olan bölgeler ile olmayan bölgelerin birbirlerinden ayrıştırılması olarak belirtilmiştir. Çalışmada elde edilen görüntüler üzerinde iki farklı yöntem kullanılarak sonuçlarının birbirlerine benzerliği test edilmiştir. Çalışmaya ait RGB görüntüleri, tripod üzerine yerleştirilmiş Olympus C5050Z fotoğraf makinesi ile açık havada kontrolsüz ışık koşulları altında alınmıştır. Çalışmaya ait 64 adet resim başlangıçta 2560 x 1920 çözünürlükte ve 0.5 x 0.5 m alanı çerçeveleyecek şekilde alınmıştır. Yüksek çözünürlükte elde edilen görüntüler sırasıyla yazıcıdan çıkarılmış, üzerine şeffaf asetat yerleştirilerek bitki kalıntıları siyah kalemle asetat üzerine çizilmiş ve asetat tekrar tarayıcı yardımıyla sayısallaştırılmış ve bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bu sayede sadece bitki kalıntılarını gösteren 64 adet şablon görüntü elde edilmiştir. Daha sonra, görüntü işleme süresini azaltabilmek için yüksek çözünürlükteki resimler 640 x 480 çözünürlükte yeniden örneklenmiştir. Çalışmaya ait

resimler üzerinde gri tonlama ve threshold filtresi uygulanarak binary resimler oluşturulmuş ve bitki artıkları ile diğer alanlar arasında ayrıştırılma sağlanmıştır. Çalışma sonucunda şablon resimler ile binary resimler karşılaştırılmıştır (Şekil 2.36). Şablon resimlerle yapılan ölçüm sonucunda, resim alınan alanların %49.63 oranında bitki artığı ile kaplı olduğu, binary resimler ile yapılan hesaplamada ise %50.48 oranında bitki artığı ile kaplı olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, her iki yöntemin %92 den daha fazla benzer sonuçlar içerdiği bildirilmiştir.



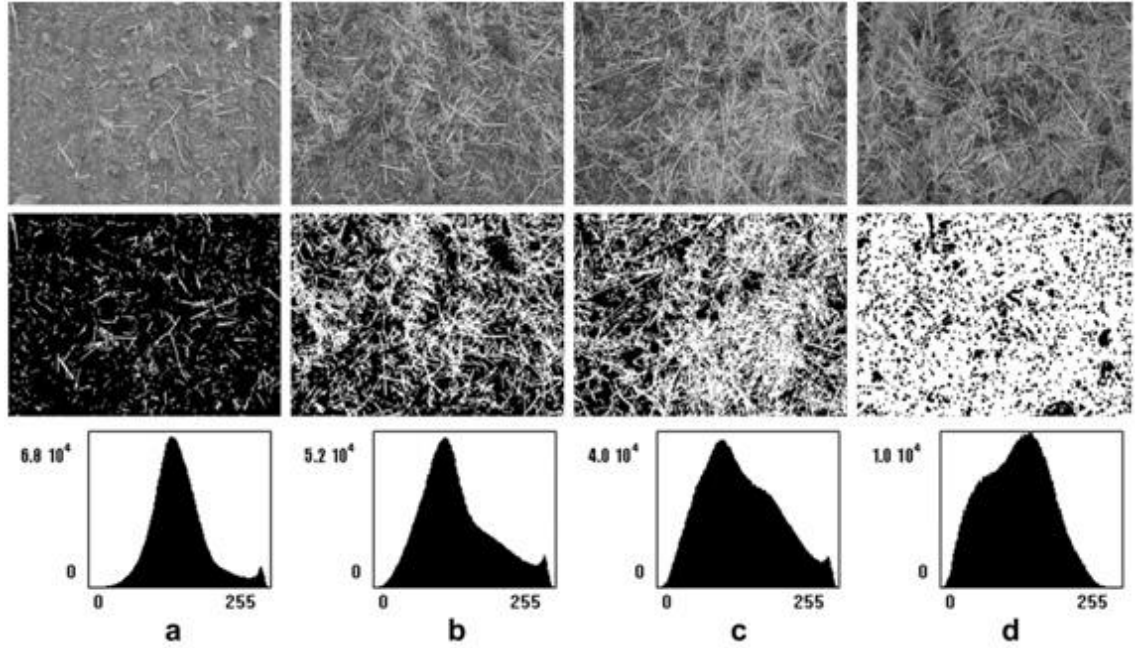
Şekil 2.36. a) Şablon resimler b) Binary resimler (Ribeiro vd 2011)

Pforte ve Hansel (2010), on-line olarak toprak yüzeyinde kalan anızların yoğunluk yüzdesini ölçmek için prototip bir sistem geliştirmişlerdir. Çalışmada uygun görüntü yakalama ekipmanları ve görüntü alma koşulları araştırılmıştır. Ayrıca, anlık elde edilen görüntülerdeki toprak ile anızın ayrıştırılmasını sağlayabilmek için Media Cybernetics firmasına ait Optimas yazılımını kullanmışlardır. Anız yoğunluğu belirleme işleminde görüntü işleme algoritması ile elde edilen değerler, görsel olarak yapılan standart yoğunluk belirleme yöntemi sonuçlarından elde edilen değerler karşılaştırılmış ve Pearson korelasyonu 0.967 olarak elde edilmiştir. Toprak yüzeyinden görüntü almak için, uEye 2220 USB2.0 CCD siyah beyaz kamera, yüksekliği 1 m olacak şekilde bir ATV aracının önünde oluşturulan platforma yerleştirilmiştir (Şekil 2.37). Görüntü alınan noktadaki güneş ışığının olumsuz etkilerini ortadan kaldırabilmek için kamera

etrafına koruyucu bir kutu yerleştirilmiştir. Kutu içerisine, toprak yüzeyine dikey aydınlatma oluşturmak için iki adet 55W halojen lamba yerleştirilmiştir. Kameranın tüm donanım kontrolleri görüntü işleme için kullanılan program üzerinden yapılmıştır. Kamera ile toprak yüzeyi arasındaki mesafeye bağlı olarak anızlı yüzey görüntüleri 55x55cm çerçeveli ve 360x360 piksel çözünürlükte elde edilmiştir. Elde edilen görüntüler gri skalaya çevrilerek çerçeve içerisindeki açık renk yoğunluğu belirlenmiştir (Şekil 2.38).



Şekil 2.37. Anız yoğunluğu ölçüm sistemi (Pforte ve Hansel 2010)



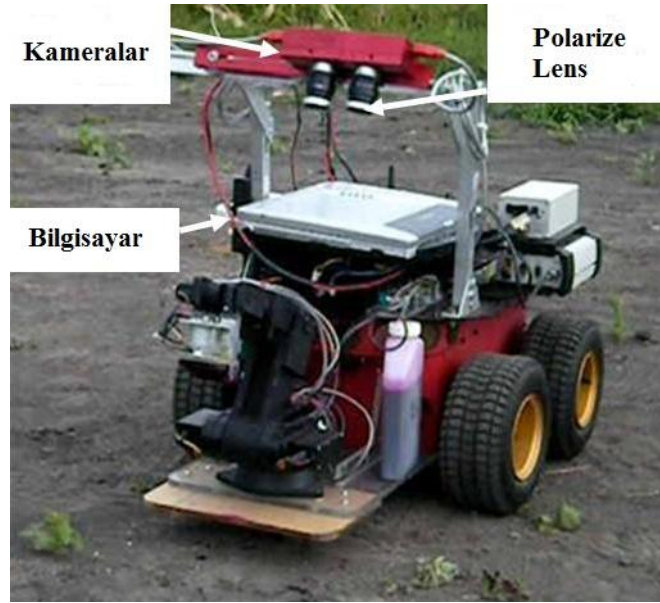
Şekil 2.38. Gri skalaya çevrilmiş anız görüntüleri (Pforte ve Hansel 2010)

Wiles (2011), nadasa bırakılan alanlarda oluşan yabancı otların yüzeyde kapladığı miktarı görüntü işleme yöntemi yardımıyla belirleyen bir program geliştirmiştir. Araştırmacı, nadas zamanı yüzeyde oluşan yabancı otların haritalandırılmasının yabancı otla mücadele işlemi için önemli olduğunu ve bu işlemin düşük maliyetli renkli kameralarla yapılabileceğini fakat bu konuyla ilgili uzmanlık bilgisi ve yazılımların eksik olduğunu bildirmiştir. Yüzeye ait görüntüler, Canon EOS 10D kamera ve Canon TC-80N3 uzaktan kumanda ile saat 9:00 ile 2:00 saatleri arasında doğal gün ışığı altında toplanmıştır. Görüntü alınan noktaya ait koordinat verileri 2 sn aralıklarla Garmin GPS60 GPS alıcısı kullanılarak toplanmıştır. Hem kamera hem de GPS alıcısı bir ATV aracının önünde oluşturulan bir platforma monte edilmiştir (Şekil 2.39). Kameranın yerden yüksekliği 1.2 m seçilmiş ve bu sayede yaklaşık 1 m² alana sahip resim görüntüleri elde edilmiştir. Resimler 2048x1360 piksel çözünürlükte kamera içerisindeki flash kart içerisine depolanmıştır. ATV aracının ilerleme hızı 8-11 km/h olarak seçilmiştir. Tüm veriler işlem sonunda bilgisayar ortamına aktarılmış ve GPS noktaları ile resimler arasındaki ilişki GPS saati ve kamera saatlerinin ilişkilendirilmesi prensibine göre Geospatial Experts firmasına ait GPS - Photo Link yazılımı kullanılarak ilişkilendirilmiştir. Elde edilen renkli resimlerin her bir pikselinde bulunan RGB (Red Green Blue) bilgisi kullanılarak NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) değeri belirlenmiştir. Bu değer toprak ile yeşil bitki ayırımında kullanılan bir değerdir. Resimlerin doğal güneş ışığı altında çekilmesi nedeniyle oluşan gölgelenmeler ve aşırı pozlamalar neticesinde oluşan bozulmalar düzeltilmiştir. Çalışma sonucunda yabancı ot kaplama miktarının elde edilen resimler üzerinden %96 hassasiyetle tahmin edildiği bildirilmiştir.



Şekil 2.39. Yabancı ot ölçüm sistemi (Wiles 2011)

Jeon vd (2011), tarla yüzeyindeki yabancı otların tespiti için görüntü işleme algoritması geliştirmişlerdir. Yabancı otların tespiti işlemi, standartlaştırılmış aşırı yeşillik dönüşümü, istatistikî eşik değeri tahmini, uyarlanabilir görüntü segmentasyonu, medyan filtre, morfolojik özellik hesaplama ve yapay sinir ağı uygulamalarını içermektedir. Tarla görüntüleri kontrolsüz ışık şartları altında tarla robotu (PC3-AT, ActivMedia Inc., Amherst, NH, USA) üzerine yerleştirilmiş stereo kamera (STH-MDCS2-VAR-C, Videre Design, Menlo Park, CA, USA) kullanılarak elde edilmiş ve herhangi bir manuel ayarlama yapılmadan görüntü işleme algoritması otomatik olarak çalıştırılmıştır (Şekil 2.40). Çalışmada, kamera görüntülerinin toplanması ve robotun manuel olarak hareket edilmesi için Microsoft C++ programı geliştirilmiştir. Aynı zaman, ışık şartları ve bitki büyüme süreçleri içerisinde 2276 adet resim elde edilmiştir. Resimler üzerinde yabancı otların tespiti için Matlab ortamında resim normalleştirme, adaptif resim segmentasyonu, gürültü filtreleme ve tekil bitki tanımlama metotları kullanılmıştır. Geliştirilen algoritmanın hata sınırlarının %2.1 ile %2.9 arasında olduğu ve kullanılan algoritma ile yabancı otların %72.6 oranında tespit edildiği bildirilmiştir.



Şekil 2.40. Otonom olarak çalışan yabancı ot tespit robotu (Jeon vd 2011)

3. MATERYAL ve METOT

3.1. Materyal

Bu çalışmada, iki adet DC motor ile hareketlendirilen lastik tekerlekli bir mobil robot tasarlanmıştır. Robotun, otonom olarak GPS verilerine göre ilerletilmesi için bilgisayar yazılımı ve donanımı oluşturulmuştur. Ayrıca, robot üzerine yerleştirilen yüksek çözünürlüklü dijital fotoğraf makinesinden elde edilen görüntüleri işleyerek, toprak yüzeyindeki anız yoğunluğunu belirleyen bilgisayar yazılımı geliştirilmiştir. Mobil robot mekanik, elektronik, bilgisayar ve yazılım olmak üzere 4 bölümden oluşmaktadır. Şekil 3.1’de geliştirilen sisteme ait bölümler ve kullanılan materyaller gösterilmiştir.

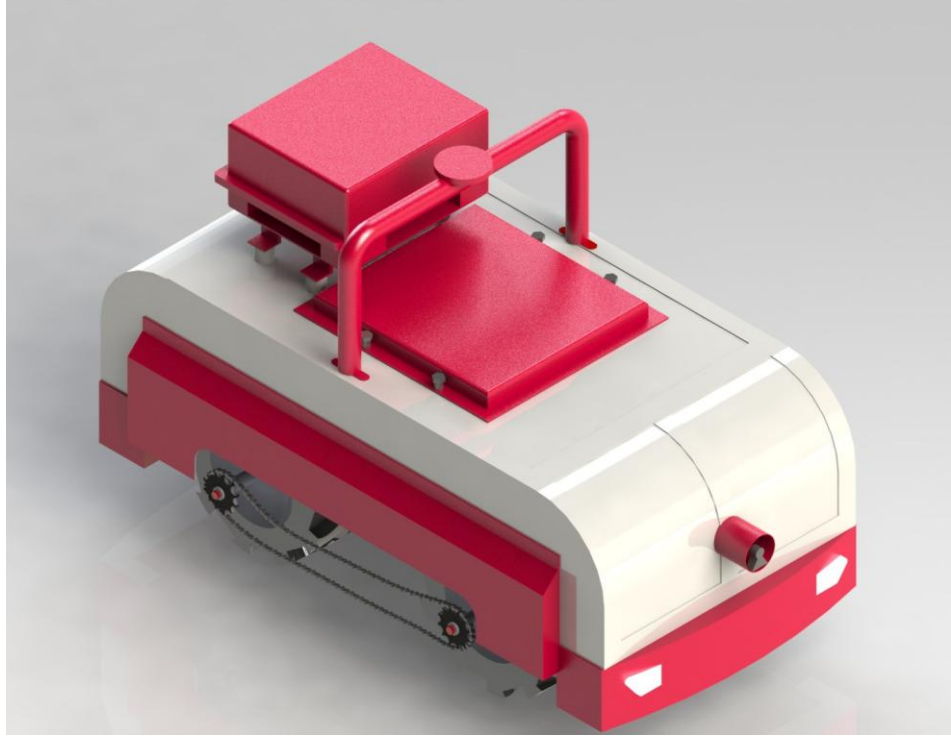


Şekil 3.1. Mobil robot sistemi için kullanılan materyaller

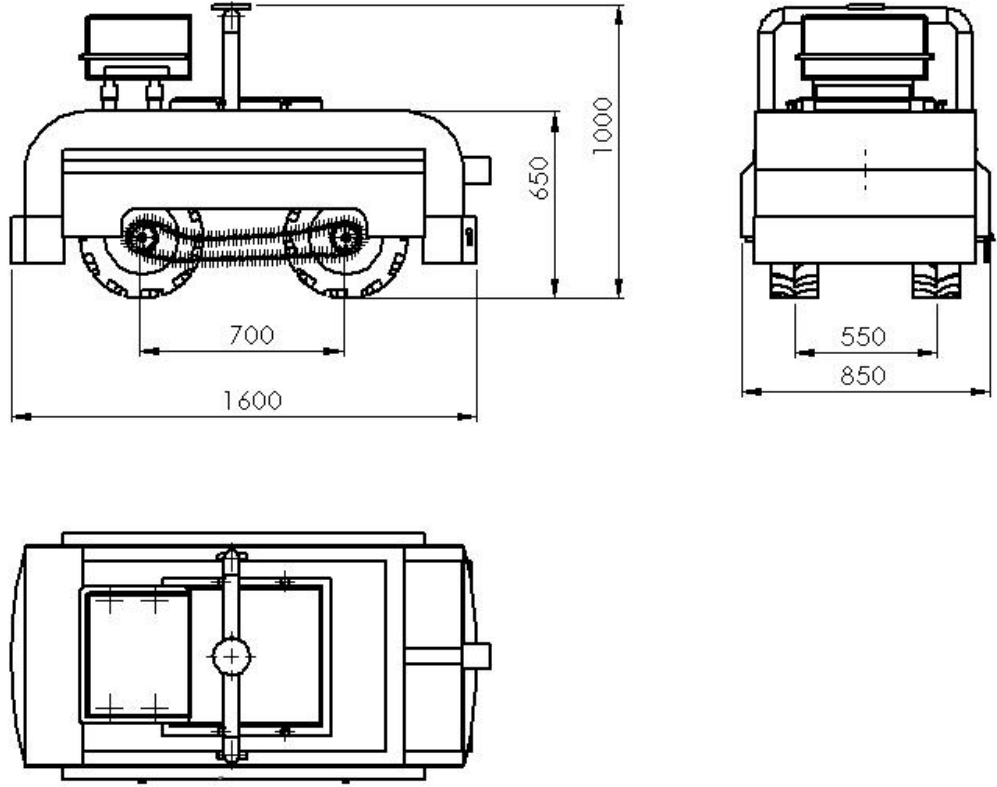


Şekil 3.2. GPS yönlendirmeli tarımsal robot

Tasarlanan mobil robot görüntüsü Şekil 3.2.'de, katı model tasarımı Şekil 3.3.a'da, ve üç görünüşü Şekil 3.3.b'de verilmiştir.



Şekil 3.3. a) Mobil robot katı modeli



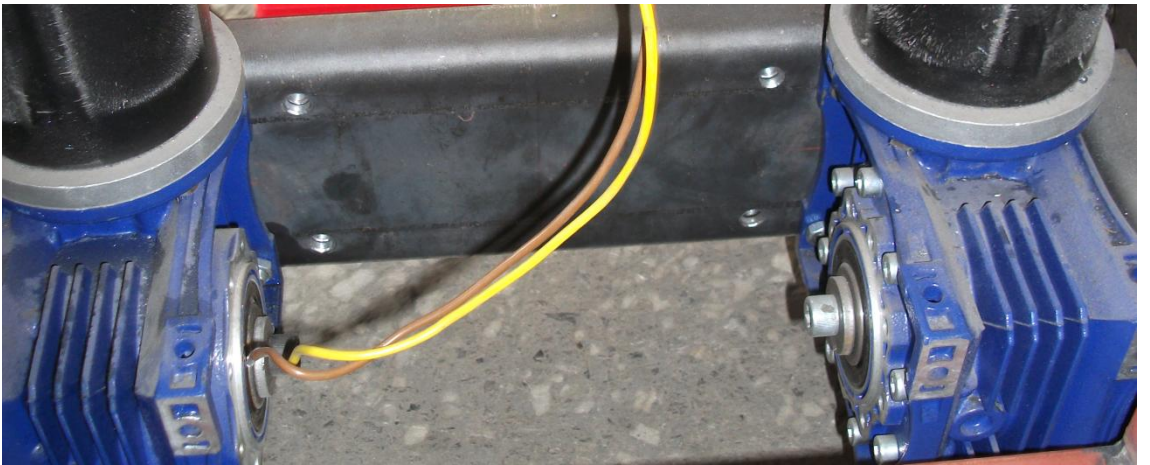
Şekil 3.3. b) Mobil robot görünüşleri

3.1.1. Mobil robot çatısı

Mobil robot ana çatısının oluşturulması için, 140 mm genişliğinde NPU profil kullanılmıştır. Ana çatıyı oluşturan yan ve arka profiller 4 adet M16 cıvata ile birbirlerine sabitlenmiştir (Şekil 3.4). Ön ve arka profiller ise redüktör gövdesine 16 adet M6 cıvata ile sabitlenerek birleştirilmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.4. Ana çatı görünümü



Şekil 3.5. Redüktörlerin bağlantısı

Mobil robotun kaportasının oluşturulabilmesi için 50x40 mm kutu profillerin uçlarına kaynatılan muhtelif ebatlardaki sac levhalar, ana çatıya M6 civata ve somunlarla sabitlenmiştir. Mobil robotun yan kaportaları 2 mm et kalınlığına sahip sac levhaların kutu profillere kaynatılması ile oluşturulmuştur. Mobil robotun üst kaportası ise kutu profillere civata ile sabitlenmiştir. Mobil robotun ön ve arka kapakları sac levha kullanılarak oluşturulmuş ve üst kaportaya menteşeler ile sabitlenmiştir. Mobil robotun yan kısımları ise kutu profillere civata ve M6 inbus vida ile sabitlenmiştir.

3.1.2. Mobil robot hareket sistemi

Mobil robot, 4 adet lastik tekerlek üzerinde hareket etmektedir. Robotun ön sağ ve sol tekerlekleri robot çatısına monte edilmiş olan motor – redüktör grubuna bağlanmıştır. Bu sayede motorun ürettiği moment tümüyle tekerleklere iletilmiştir. Robotun arka sağ ve sol tekerlekleri birbirinden bağımsız olarak rulmanlar yardımıyla hareket etmektedir. Mobil robotun hareket sistemi olarak diferansiyel sürüş sistemi kullanılmıştır. Bu sistemde, robotun sağ ve sol tekerlekleri arasında hız farkı oluşturulmaktadır. Hızlı olan tekerlek daha fazla yol alacağından robot yavaş olan tekerlek tarafına döner. Her iki tekerleğe aynı hız uygulandığında ise robot doğru bir hat üzerinde gitmektedir. Diferansiyel sürüş sisteminde temel problem arka sağ ve sol tekerleklerin önde bulunan hareket tekerlekleri ile aynı hızda hareket ettirilmesidir. Eğer arka tekerlekler ön tekerleklerden bağımsız olarak hareket ederse dönüş anında arka tekerlekler robotun dönüşünü zorlaştıracaktır. Bu sorun, robotun ön sağ ile arka sağ, ön sol ile arka sol tekerleklerin aynı hızda dönüşlerinin sağlanmasıyla çözülmüştür. Bu sebeple robot üzerindeki her bir tekerleğin üzerine 3/4“ 13 dişli cer dişlisi bağlanmıştır (Şekil 3.6). Ön sağ ve arka sağ – ön sol ve arka sol tekerlekler üzerinde bulunan dişliler birbirlerine tek sıra makaralı zincirler ile bağlanarak tank sürüş sistemi benzeri bir yapı oluşturulmuştur (Şekil 3.7).

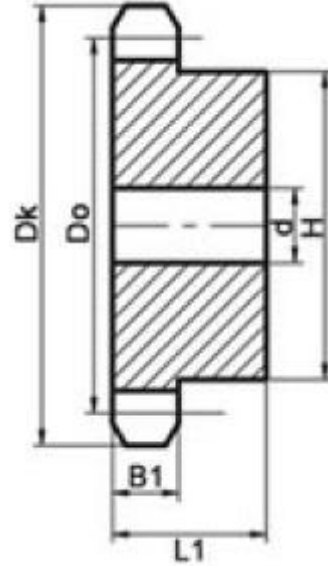


Şekil 3.6. Tekerleklere yerleştirilmiş dişli



Şekil 3.7. Dişli ve zincir sistemi

Kullanılan dişliye ait teknik çizim Şekil 3.8’de gösterilmiştir. Dişli teknik özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

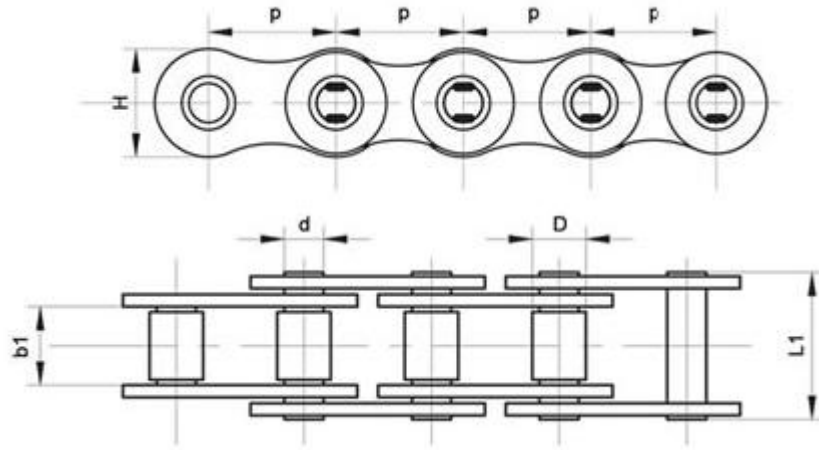


Şekil 3.8. Dişli görünümü

Çizelge 3.1. Dişli teknik özellikleri

Perno Çapı (mm)	Hatve (mm)	Diş sayısı (adet)	D_k (mm)	D_o (mm)	H (mm)	D (mm)	L_1 (mm)	B_1 (mm)
12.07	19.05	13	88	79,6	62	16	32	11.1

Tek sıra makaralı zincir, ön tekerlekten gelen hareketi arka tekerleğe aktarmak için kullanılmıştır. Mobil robotun her iki tarafında 200 cm uzunluğunda zincir kullanılmıştır. Şekil 3.9’da zincire ait görünüş verilmiştir. Çizelge 3.2’de ise zincire ait teknik ölçüler verilmiştir. Zincirin pimleri ve burçları sağ ve sol taraftaki ikişer dişlinin dişleri arasına geçirilmiş ve dişlilerin çevresine sarılarak mobil robotun ön ve arka tekerleklerin aynı hızda hareket etmeleri sağlanmıştır.



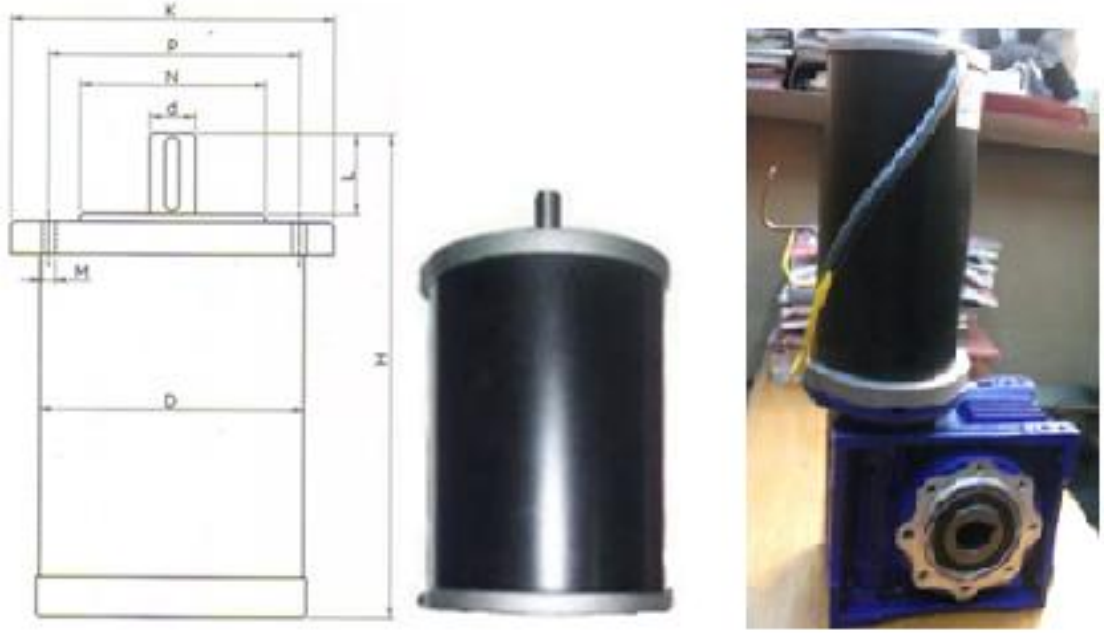
Şekil 3.9. Tek sıra makaralı zincire ait görünüşler

Çizelge 3.2. Tek sıra makaralı zincire ait teknik özellikler

ISO No	p (mm)	b ₁ (mm)	d (mm)	D (mm)	L ₁ (mm)	H (mm)
12B	19.05	11.68	5.72	12.07	22.70	16.10

3.1.3. DC motor ve redüktör

Mobil robotun ilerletilmesi ve dönüşlerinin sağlanması amacıyla 2 adet DC motor (Mugul Elektronik, İstanbul, Türkiye) kullanılmıştır (Şekil 3.10). DC motorlar, redüktörler yardımı ile mobil robotun tekerleklerine hareket sağlamaktadır. Kullanılan motorlar, 1.6 Nm nominal tork, 8 Nm kilitlenme tork değerlerine sahiptir. Motorlar yüksüz çalışma koşullarında şebekeden 1.2 A, tam yükte çalışmada ise 13 A akım çekmektedir. Çizelge 3.3’de motorlara ait teknik özellikler verilmiştir.



Şekil 3.10. DC Motor

Çizelge 3.3. DC Motora ait katalog verileri

Voltaj (V)	Devir (rpm)	Güç (W)	Akım (A)	Ağırlık (kg)	ÖLÇÜLER (mm)							
					D	H	L	d	K	P	N	M
24	1400	500	1.2-13	6.100	102	252	40	19	120	100	80	M6

Tasarlanan mobil robotun ilerleme hızı yaklaşık 4 km/h olarak belirlenmiştir. Mobil robotun ağırlığı ve taşıyabileceği ağırlık, redüktör devri, tekerlek çapı gibi kriterler ilerleme hızı dikkate alınarak hesaplanmıştır. Tekerlek çapı 400 mm olarak seçilmiştir. Mobil robot için kullanılan redüktör çıkış devri ve redüksiyon oranı Eşitlik 20 kullanılarak belirlenmiştir. Hesaplama sonucunda redüktör devri yaklaşık 46 dev/dak olarak bulunmuştur. Buna bağlı olarak kullanılan motorlar için 1:30 transmisyon oranına sahip redüktörler kullanılmıştır.

$$v = \frac{n * d * 3.14 * 60}{1000} \quad (20)$$

Burada;

v : İlerleme hızı (km/h)

n : Devir (dev/dak)

d : Teker çapı (m)

Hesaplanan redüksiyon devri ve motor gücüne bağlı olarak geliştirilen tork Eşitlik 21 ile hesaplanmıştır. Tek bir motor için geliştirilen tork miktarı yaklaşık 103 Nm olarak bulunmuştur.

$$Md_R = \frac{N}{n} * 9550 \quad (21)$$

Burada;

Md_R : Redüktör torku (Nm)

N : Motor Gücü (kW)

n : Devir (dev/dak)

Mobil robotun ağırlık ve taşıma yükü kapasitesi, hesaplanan tork değerine bağlı olarak Eşitlik 22'de hesaplanmıştır. Hesaplama robot tekerleklerinin yuvarlanma katsayısı, 0.085 olarak alınmıştır. Hesaplama sonucunda mobil robotun ağırlığı ile birlikte taşıma kapasitesi iki motor için yaklaşık 1132 kg olduğu belirlenmiştir.

$$Md_T = \frac{f * G * d * 9.8}{2} \quad (22)$$

Burada;

Md_T : Tekerlek torku (Nm)

f : Yuvarlanma katsayısı

G : Mobil robot ağırlığı (kg)

d : Tekerlek çapı (m)

Mobil robot için F 090 tip alüminyum enjeksiyon gövdeli redüktör (Özdemir Redüktör Mak. San. Tic. Ltd. Şti, İzmir, Türkiye) kullanılmıştır. Bronz dişliler DIN 1726 (GSN Bz 12), dişli göbeği ise GGG50 malzemeden üretilmiştir. Sonsuz vidalar, DIN 17210 (16 MnCr5) malzemeden üretilmiş olup vida profil tasarlanmıştır. Alüminyum gövdeler RAL5002 statik, pik gövdeler ise epoxy polister ile mavi renkte boyanmıştır (Şekil 3.11). Redüktöre ait teknik özellikler Çizelge 3.4’de verilmiştir. Şekil 3.12’de motor – redüktör grubunun robot üzerindeki yerleşimi gösterilmiştir.



Şekil 3.11. F 090 Tip Redüktör

Çizelge 3.4. Redüktöre ait teknik özellikler

Motor Gücü (kW)	Devir (min^{-1})	Tork (Nm)
0.09 – 7.5	0.4 - 386	10 - 2300



Şekil 3.12. Motor – redüktör grubunun robot üzerindeki yerleşimi

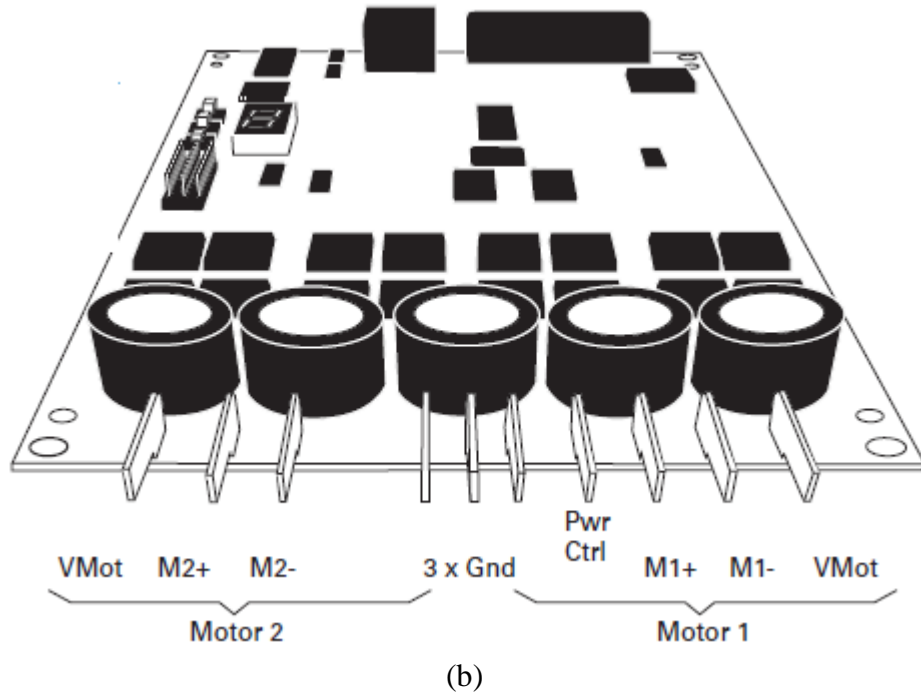
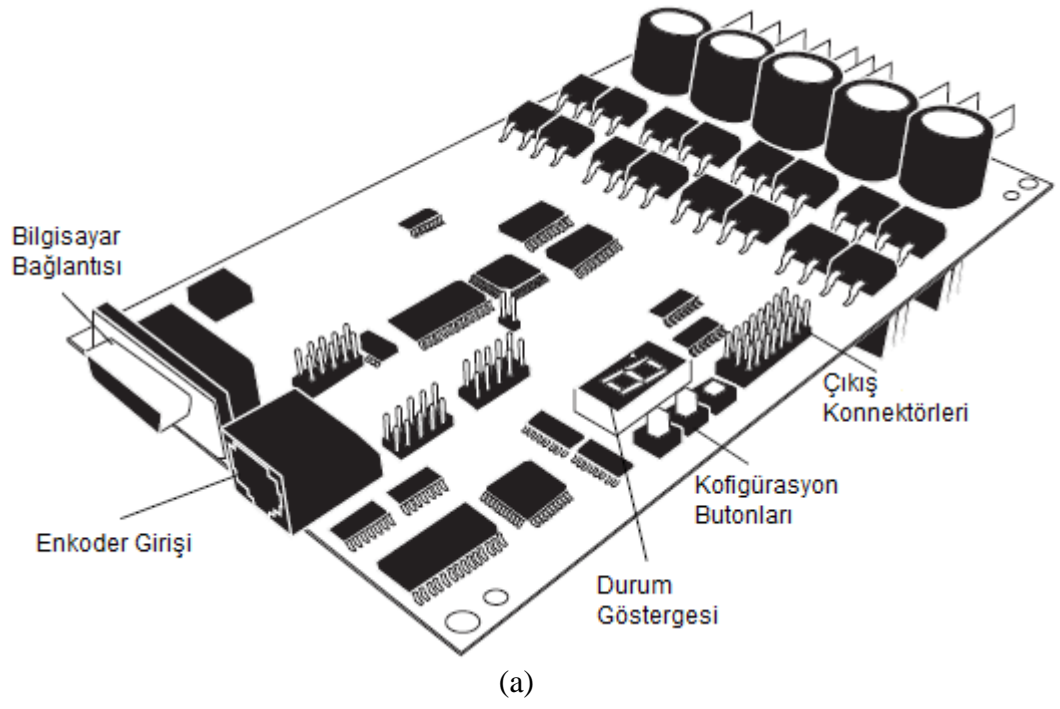
3.1.4. Motor kontrol ünitesi

Mobil robot üzerinde bulunan 2 adet DC motorun çalışma hızı ve yönünü kontrol edebilmek amacıyla Roboteq AX3500 (Roboteq Inc., Arizona, USA) çift kanallı motor kontrol kartı kullanılmıştır (Şekil 3.13). Motor kontrol ünitesi, seri port üzerinden RS232 iletişim kuralını kullanarak endüstriyel bilgisayara bağlanmaktadır. Bu bağlantı ile endüstriyel bilgisayar içerisinde yüklü olan Client yazılımı üzerinden kontrol ünitesine motor çalışma verileri gönderilmektedir.



Şekil 3.13. AX3500 Motor kontrol ünitesi

Motor hızlarının ayarlanması ve denetimi için kontrol ünitesinde PWM (Pulse Width Modulation – Darbe Genlik Modülasyonu) yöntemi kullanılmıştır. DC motorların hızını kontrol edebilmek için ayarlanabilir bir DC gerilime ihtiyaç vardır. PWM yöntemi ile motora belirli aralıklarda, darbe işaretleri gönderilerek enerji verilmekte ve motor belirli bir hızda çalıştırılmaktadır. Bu darbe işaretlerinin genliği ayarlanarak motorun enerjili olma süresi artırılıp azaltılabilir. Bu ise motorun çalışma hızının artırılıp azaltılması anlamına gelmektedir. Motorların ileri ya da geri çalıştırılabilmesi için motorlara uygulanan gerilimin yönü değiştirilmektedir. Şekil 3.14’de motor kontrol ünitesine ait blok şema gösterilmiştir. Çizelge 3.5’de motor kontrol ünitesine ait teknik özellikler verilmiştir.



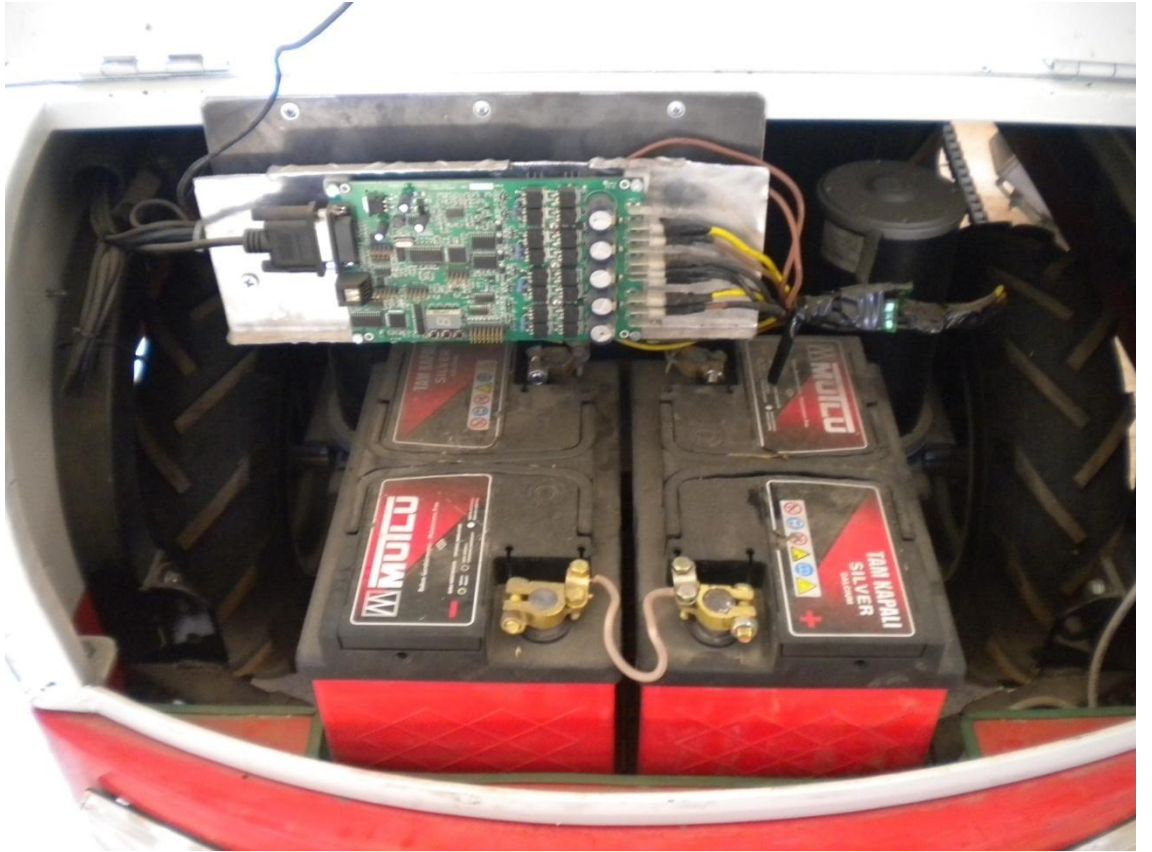
Şekil 3.14. AX3500 Motor kontrol ünitesi blok şeması a) Bilgisayar Bağlantısı b) Motor ve Güç Bağlantıları

Çizelge 3.5. Motor kontrol ünitesi teknik özellikleri

Güç Katı	
Çalışma Gerilimi	12 V – 40 V DC
Kanal Sayısı	2
Maksimum Akım	-
30 s	60 A
1 min	50 A
3 min	40 A
1 h	40 A
Anlık Akım	>250 A
Ön Direnç	5 mOhm
Akım Sınırlama	Yük ve geçen zamana bağlı olarak otomatik çıkış gücü azalımı
Gerilim Koruma	12 V altı ve 43 V üstü otomatik kapanma
Komut	
R/C Girişleri	2 giriş(1.0 ms - 1.5 ms merkez – 2 ms, ayarlanabilir)
Seri Arayüz	RS232. 9600 baud
Analog Arayüz	2 giriş (0 V - 2.5 V merkez – 5 V)
Giriş ve Çıkışlar	
Optik Enkoder Girişi	2 artırımı enkoder için 4 giriş. 125 kHz max
RC Çıkışları	RC servo motorlar için 8 çıkış
Analog Giriş	2 giriş, 8-bit çözünürlük
Dijital Çıkış	1 çıkış, 24 V 2 A max
Dijital Giriş	2 genel amaçlı giriş
5V Besleme Çıkışı	100 mA max Radio veya diğer aygıtlar
Çalışma Modları	
Open Loop Hız	İleri & Geri Hız Kontrol. Ayrı veya Karışık
Closed Loop Hız	Analog girişler için takometre kullanımı & PID
Pozisyon Modu	Analog girişler için potansiyometre kullanımı & PID
Fiziksel	
Çalışma Sıcaklığı	-40 ile +85 derece
	4.2" En (106 mm)
	6.75" Boy (172 mm)
Boyut	1.2" Yükseklik (30 mm)
Kablolar	10" (25 cm) RC Kablo. 4' (1 m) RS232 kablo
Ağırlık	212 g

3.1.5. Besleme ünitesi

Mobil robotun otomasyonu, elektromekanik bileşenler yardımı ile sağlanmıştır. Motorlar, panel bilgisayar, GPS alıcısı, kamera ve fotoğraf makinesi gibi bileşenlerin çalıştırılabilmesi için hem AC hem de DC güç kaynağına ihtiyaç vardı. Bu sebeple, sistem içerisinde 3 adet 12 volt 72 Ah bakım gerektirmeyen kuru akü kullanılmıştır. Bu aküler, sistem gereksinimleri ve bakım özellikleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Ayrıca, güç kaynağı olarak akü kullanımı taşınabilir uygulamalar için ideal olması nedeniyle tercih edilmiştir. Bu sayede sistem için gerekli olan DC güç gereksinimi sağlanmıştır. Sistem içerisinde kullanılan motorların 24 V besleme gerilimine ihtiyaç duyması nedeni ile 2 adet akü seri bağlanarak bu ihtiyaç karşılanmıştır (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Güç kaynağı

Motorlar haricindeki diğ er donanımların bazıları DC bazılarının da AC güç gereksinimine ihtiyaç duymaları nedeniyle 1000 W'lık inverter / converter kullanılmıştır. Motorlara bağı lı olan akülerin çalışma haricinde ş arj edilebilmeleri için akü ş arj cihazı kullanılmıştır (Ş ekil 3.16).



Ş ekil 3.16. Akü ş arj cihazı

Motorlar haricindeki diğ er sistemlerin ihtiyacını karşılayan akünün ş arj edilebilmesi için yine 1000 W'lık inverter/converter kullanılmıştır (Ş ekil 3.17). Ş ekil 3.18'de inverter ve akünün robot üzerindeki yerleşimi gösterilmiştir.



Ş ekil 3.17. 1000 W inverter/converter



Şekil 3.18. Inverter ve akünün robot üzerindeki yerleşimi

Çizelge 3.6'da bileşenlerin akım tüketim miktarları verilmiştir. Bileşenlerin saatlik toplam akım tüketimi dikkate alındığında mobil robot tam yükte, kesintisiz olarak 4 saat çalışabildiği hesaplanmıştır.

Çizelge 3.6. Mobil robot bileşenlerine ait saatlik akım tüketim değerleri

Bileşen	Adet x İhtiyaç (Ah)	Saatlik Tüketim (Ah)
2 DC motor	2 x 10	20
GPS Alıcısı	1 x 5	5
Bilgisayar ve diğer bileşenler	1 x 5	5
Toplam		30

3.1.6. Endüstriyel bilgisayar

Robot üzerine yerleştirilen tüm elektronik tabanlı donanımların yönetilmesi ve birbirleri ile iletişimlerinin sağlanması için dokunmatik all – in - one HUGIN WIZE POS HD marka bilgisayar kullanılmıştır (Şekil 3.19). Bilgisayar üzerindeki iletişim portlarının fazlalığı, satınalma bedeli ve all – in – one teknolojisinden dolayı bu bilgisayar tercih edilmiştir. Bilgisayara ait teknik veriler Çizelge 3.7’de verilmiştir. Kullanılan bilgisayarın görevleri;

- GPS alıcısının gönderdiği verileri toplamak ve depolamak
- Navigasyon verilerini oluşturmak için kullanılan yazılımı çalıştırmak
- DC motorlar için gerekli olan kontrol verilerini üretmek ve motorların çalıştırılmasını sağlamak
- Dijital fotoğraf makinesinin yazılımsal olarak kontrolünü sağlamak
- Görüntü işleme yazılımının çalıştırılmasını sağlamak
- Elde edilen verilerin internet üzerinden uzak bilgisayara gönderilmesini sağlamaktır.

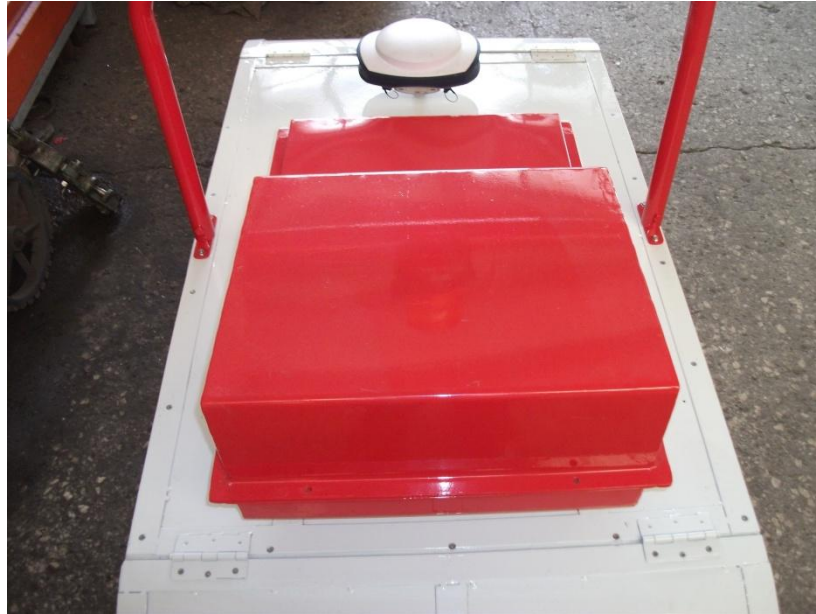


Şekil 3.19. HUGIN WIZE POS HD panel bilgisayar

Çizelge 3.7. HUGIN WIZE POS HD panel bilgisayar teknik özellikleri

Özellik	Değer
İşlemci	Intel Atom N230 İşlemci
Chipset	Intel 945GC + ICH7 Chipset
Hard disk	160GB SATA hard disk
RAM	1GB DDR2 RAM
Ekran	15.6" Ratio 16:9 dokunmatik ekran
Klavye / Mouse	PS/2 -klavye / Mouse
USB	4 adet Usb 2.0
LAN, LPT	10/100 LAN, 1 adet paralel port (LPT)
RS232	3 adet seri port (RS-232)
Ebat	En: 40 cm, Boy: 36 cm, Yükseklik: 30 cm

Endüstriyel bilgisayar, güneş ışınları, yağmur, toz toprak gibi çalışmasını engelleyici çevresel etkenlerden koruma amacıyla 50x40x40 cm boyutlarında sac kutu içerisine yerleştirilmiştir. Sac kutu ise mobil robotun en arka bölümüne çıkarılabilir olarak 4 adet civata ile sabitlenmiştir (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. Endüstriyel bilgisayarın robot üzeri yerleşimi

3.1.7. GPS alıcısı

Mobil robotun otonom olarak ilerletilmesi ve yönlendirilebilmesi için, robotun bulunduğu noktaya ait coğrafi koordinat verilerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu sebeple, robot üzerine Promark 500 GPS (Magellan Co., California, USA) alıcısı monte edilmiştir. GPS alıcısı, 75 kanal ve 20 Hz'e kadar veri çıkış hızına sahiptir. Promark 500, çoklu işletim modu, konfigürasyon, haberleşme modülü (UHF, GSM/GPRS, EDGE) ve protokol sunabilen esnek bir 3G GNSS alıcısıdır. Alıcı, üzerine yerleştirilen telefon sim kartı yardımıyla Corse-TR (Continuously Operating Reference Stations - Turkey) sistemine bağlanarak düzeltme sinyallerini alabilmektedir (Şekil 3.21). Alıcı, %99 güven aralığına sahiptir. Konum hassasiyetinin, katalog verilerine göre düzeltme sinyalleri ile milimetre seviyelerine indiği bildirilmiştir. Alıcı ile diğer elektronik cihazlar arasında RS-232, Bluetooth ve USB portu üzerinden NMEA 0183 veri transferi sağlanabilmektedir. Alıcı yardımı ile ölçüm yapılan noktanın coğrafik koordinatı, ilerleme hızı, doğrultu açısı (heading) gibi bilgiler robot üzerindeki endüstriyel bilgisayarın seri portuna gönderilmiştir. GPS alıcısı ile bilgisayar arasında RS-232 seri haberleşme protokolü ve 9600 baud haberleşme hızı kullanılmıştır. GPS alıcısına ait teknik özellikler Çizelge 3.8'de verilmiştir. GPS alıcısı, sinyalleri kesintisiz olarak alabilmesini sağlamak amacıyla mobil robotun ön üst bölümüne taşınabilir olarak yerleştirilmiştir (Şekil 3.22). GPS alıcısı mobil robotun uç noktasından 40 cm geriye monte edilmiştir.



Şekil 3.21. Promark 500 GPS alıcısı ve SIM kart yerleşimi



Şekil 3.22. GPS alıcısının mobil robot üzerindeki yerleşimi

Çizelge 3.8. Promark 500 GPS alıcısı teknik özellikleri

ÖZELLİK	DEĞER
Uygulama	Jeodezik Alım Aplikasyon Uygulamaları, İnşaat Jeoloji, Jeofizik Uygulamaları, Hassas GIS Çalışmaları
Alıcı Tanımı	Çift frekanslı GNSS alıcısı
Kanal Sayısı	75
RTK Çözüm Menzili	100 km
Init Süresi	2 sn.
RTK Init. Güven Düzeyi	99%
İzlenebilen Sinyaller	GPS: L1 C/A kod, L1/L2 P kod ve L1/L2 tam dalga boyu taşıyıcı, GLONASS: L1 kod, L2 P kod, L1/L2 tam dalga boyu taşıyıcı, SBAS (WAAS-EGNOS-MSAS) : kod ve taşıyıcı
RTK Hassasiyeti (Fix)	Yatay: 10 mm + 1 ppm Düşey: 20 mm + 1 ppm
RTK Hassasiyeti (Flying)	Yatay: 50 mm + 1 ppm Düşey: 200 mm + 1 ppm
Statik Ölçü Hassasiyeti	Yatay: 5 mm + 0,5 ppm Düşey: 10 mm + 1 ppm
Kinematik Ölçü Hassasiyeti	Yatay: 10 mm + 1 ppm Düşey: 20 mm + 1 ppm
SBAS (WAAS-EGNOS-MSAS)	Yatay < 1 m
Radyo Modem	Magellan 430-470 Mhz
GSM/GPRS Modem	Magellan 4 bantlı GPRS/EDGE modem
Portlar	1 x RS-232, 1 x RS-422, 1 x USB, 1 x Bluetooth, PPS ve Event Marker
Veri Kayıt Aralığı	0.1 - 999 sn
Veri Giriş-Çıkış Tipleri	RTCM 2.3, RTCM 3.1, CMR, CMR+, Magellan ATOM, NMEA 0183, NTRIP, DBEN
Veri Çıkış Hızı	10 Hz (20 Hz'e kadar arttırılabilir)

3.1.8. Dijital fotoğraf makinesi

Anız yoğunluğunun tespiti için toprak yüzeyinden belli bir alana ait yüksek çözünürlüklü resimlerin alınması gerekmektedir. Bu çalışmada, yapılacak işlemin özellik ve ihtiyaçlarına göre CCD dijital fotoğraf makinalarının tercih edilmesi gerekmektedir. Çalışma için Canon PowerShot SX100 IS (Canon Inc., Tokyo, Japonya) fotoğraf makinası kullanılmıştır (Şekil 3.23).



Şekil 3.23. Canon PowerShot SX100 IS ön ve arka görüntüleri

Fotoğraf makinası, uzaktan kontrol edilebilmesi, hızlı resim yakalama oranı, yüksek çözünürlüğü, hafif ve küçük yapısı nedeniyle tercih edilmiştir. Çizelge 3.9’da fotoğraf makinasına ait teknik özellikler verilmiştir.

Çizelge 3.9. Canon PowerShot SX100 IS Teknik verileri

ÖZELLİK	DEĞER
Çözünürlük:	8.00 Mega piksel
Minimum çözünürlük:	640x480
Sensör boyutları:	1/2.5-inch
Sensör tipi:	CCD
Geniş Açı Zoom (mm):	36
Dijital Zoom:	Evet
Otomatik odaklama:	Evet
Geniş açı min. Diyafram:	f/2.8
TELE ZOOM(mm):	360
Telefoto minimum diyafram:	f4.3
Çekim hızı önceliği:	Evet
Minimum çekim hızı:	15
Maksimum çekim hızı:	1/2500
Metrajlama:	Centre weighted Evaluative Spot
Pozlama telafisi:	-2EV - +2EV with 1/3 steps
Beyaz ayarı:	Auto Cloudy Custom Daylight Fluorescent Tungsten
Video çekimi:	Evet
LCD ekran boyutları:	2.5-inch
Usb bağlantısı:	USB 2.0 Hi
Video çıkışı:	Evet
Resim formatı:	JPEG
Ağırlık:	266 g
Boyutlar:	108.7x71.4x46.7

Toprak yüzeyinde bulunan anız yoğunluğuna ait görüntülerin alınabilmesi için robotun tam orta noktasında 45x50 cm boyutlarında etrafı sac levhalarla kapalı bir ortam tasarlanmıştır (Şekil 3.24).



Şekil 3.24. Fotoğraf makinasının yerleştirildiği kapalı ortam

Toprak yüzeyinden alınacak olan görüntülerin, güneşin farklı geliş açıları ve gölgelenmelerden etkilenmemesi için etrafı kapalı bir ortam oluşturulmuştur. Fotoğraf makinası, oluşturulan bu kapalı kutunun üzerine tam ortalı şekilde portatif olarak yerleştirilmiştir. Fotoğraf makinasının lensi ile toprak yüzeyi arasında 60 cm yükseklik bulunmaktadır (Şekil 3.25). Bu yükseklikte, 2250 cm² alana ait anız görüntüleri elde edilebilmektedir.



Şekil 3.25. Fotoğraf makinasının robot üzerindeki yerleşimi

3.1.9. Gözlem kamerası

Mobil robot, tarla üzerinde otonom olarak hareket etmesi nedeniyle ofis ortamından izlenmesi gerekmektedir. Bunun için, mobil robotun n tarafına bir adet gözlem kamerası yerleştirilmiştir. Gözlem kamerası, mobil robotun sürücü gözü olacak şekilde hareket doğrultusu üzerindeki görüntüleri internet üzerinden ofis ortamındaki yazılıma aktarmaktadır. Bu sayede, oluşabilecek herhangi bir olumsuz durum karşısında robota uzaktan müdahale edebilme imkânı sağlanabilmektedir. Gözlem kamerası olarak 640x480 piksel video ekim, 1.3 MP görüntü çözünürlüğüne sahip bir USB Webcam kamera kullanılmıştır (şekil 3.26).



şekil 3.26. HP Pro USB Webcam

Gözlem kamerası, mobil robotun n tarafına, 10 cm çapında 10 cm boyundaki bir muhafaza içerisine yerleştirilmiştir (şekil 3.27). Böylece, güneş işınlarının kamera lensi üzerine direkt olarak düşmesi engellenerek olası görüntü bozukluklarının önüne geçilmeye çalışılmıştır.



Şekil 3.27. Gözlem kamerasının robot üzerindeki yerleşimi

3.1.10. 3G WINN modem

Mobil robot üzerindeki panel bilgisayar ile ofis ortamındaki bilgisayar arasında veri aktarımı yapabilmek için internet bağlantısı gerekmektedir. Bunun için, robot üzerindeki panel bilgisayara kablosuz internet ortamı sağlayan Turkcell 3G Winn E177 USB modem yerleştirilmiştir (Şekil 3.28).



Şekil 3.28. Turkcell 3G Internet Modem

İnternet bağlantısı aşağıda sıralanan görevlerin başarılabilmesi için kullanılmıştır.

- Robotun çalışma yapacağı tarlaya ait iş dosyasının robot üzerindeki bilgisayara gönderilebilmesi,
- Herhangi bir olumsuzluk durumunda robota ofis ortamından müdahale edilebilmesi,
- Robot üzerindeki gözlem kamerası yardımı ile elde edilen görüntülerin ofis ortamına aktarımı,
- Hesaplanan anız yoğunluğu verilerinin ofis ortamındaki veritabanına kaydedilmesi

Çizelge 3.10'da Turkcell 3G W111 E177 USB modeme ait teknik özellikler verilmiştir.

Çizelge 3.10. Turkcell 3G W111 E177 USB modem özellikleri

Özellik	Bilgiler
İndirme Hızı	7.2 Mbps
Yükleme Hızı	5.76 Mbps
SMS	Var
Mikro SD Kart Girişi	Var

3.1.11. El kumandası

Mobil robotun server bilgisayar üzerinden uzaktan kontrolünü sağlamak amacıyla USB el kumandası (Logitech Europe S.A., İsviçre) kullanılmıştır (Şekil 3.29). El kumandası üzerinde farklı amaçlar için programlanabilecek 11 adet tuş kontrolü ve kumanda kolu bulunmaktadır.



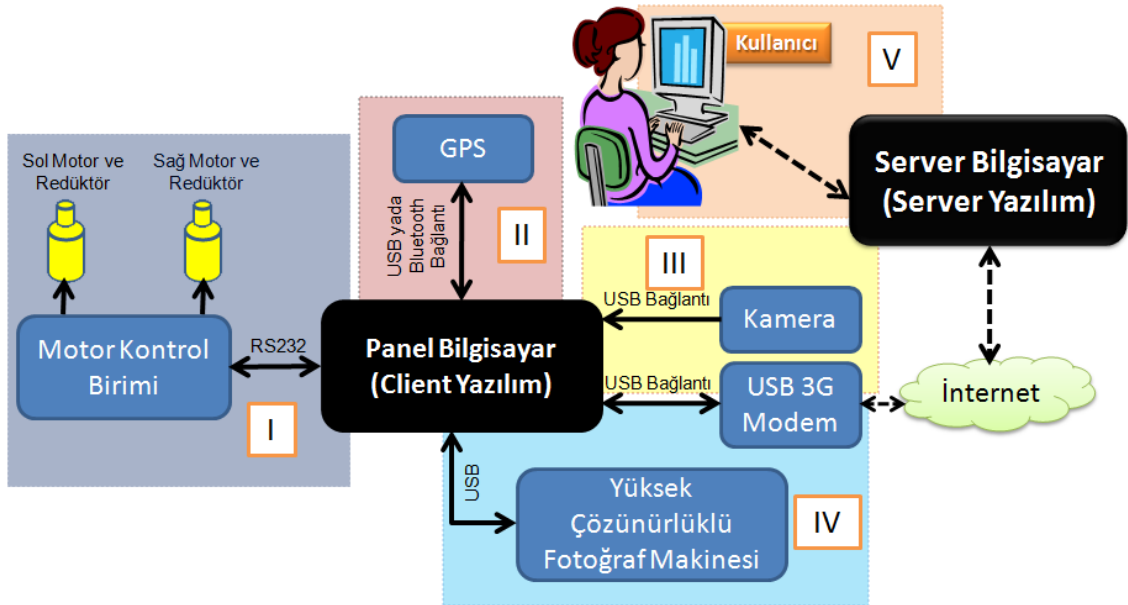
Şekil 3.29. Uzaktan yönlendirme için kullanılan USB El kumandası

3.1.12. Yazılım geliştirme ortamı

Mobil robot üzerindeki sistemlerin çalıştırılması ve uzak bilgisayar ile iletişim kurulabilmesi için iki farklı yazılım geliştirilmiştir. Ayrıca uzak noktalardaki kullanıcıların robotun çalışması esnasında topladığı verilere ulaşabilmeleri için bir web sayfası geliştirilmiştir. Robot üzerindeki panel bilgisayar ve ofis ortamındaki server bilgisayar için Client / Server yapısında iki farklı yazılım oluşturulmuştur. Bu yazılımlar için, Visual Studio.NET 2005 platformu (Microsoft Corp., Redmond, WA, USA) kullanılmıştır. Elde edilen verilerin depolanması için SQL Server 2005 Database platformu (Microsoft Corp., Redmond, WA, USA) kullanılmıştır. Sistemin çalışma analizinin yapılması, hassasiyet sınırlarının belirlenmesi ve coğrafi koordinat sapmalarının hesaplanabilmesi ve haritaların oluşturulması için ARCGIS 9.3 programı kullanılmıştır.

3.2. Metot

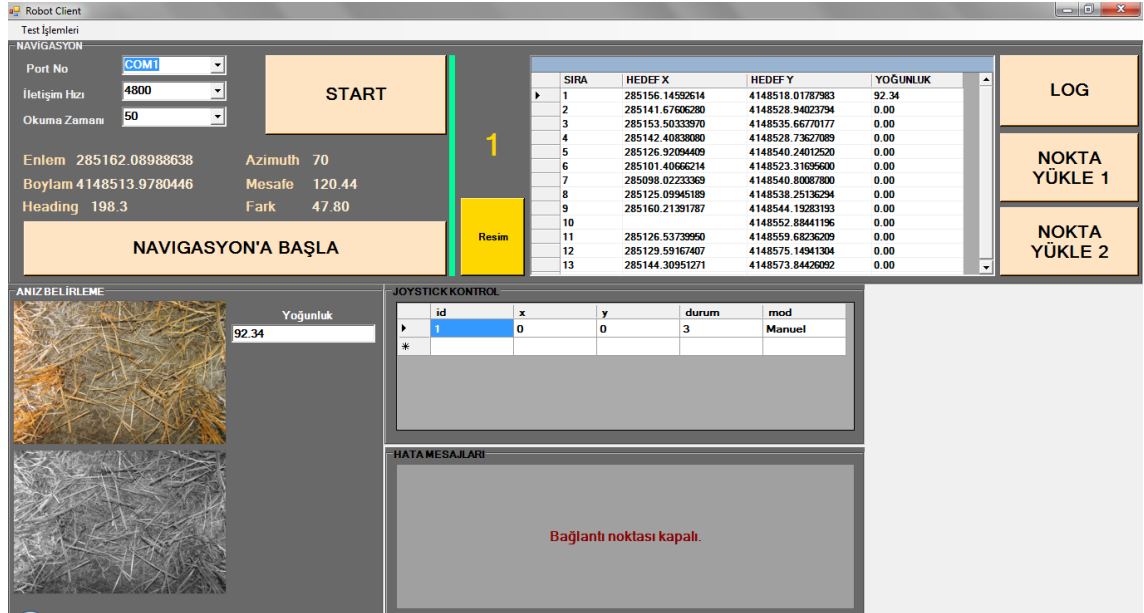
Bu çalışmada, GPS verilerinin işlenmesi sonucu elde edilen bilgilere göre otonom olarak hareket edebilen tarımsal amaçlı mobil bir robotun geliştirilmesi ve tarla yüzeyindeki anız yoğunluğunun hesaplanması uygulamasında kullanılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda mobil robotun, elektronik ve bilgisayar donanımlarını da içeren mekanik yapısı ile sistemin bir bütün olarak çalışmasını sağlayan yazılımsal yapısı oluşturulmuştur. Mobil robotun işletilmesi için 5 bölümden oluşan yazılımsal çözümler geliştirilmiştir (Şekil 3.30). Bu çözümler, motorların çalışması ve kontrolü (I), GPS verilerinin işlenmesi ve navigasyonun sağlanması (II), gözlem kamerasından elde edilen görüntülerin ofis ortamına aktarılması (III), yüksek çözünürlüklü kamera yardımıyla anız yoğunluğunun tespiti (IV) ve ofis ortamından mobil robotun izlenmesi ve kontrol edilmesi (V) çözümleridir. Bu yazılımın çalıştırılması sonucunda, mobil robotun verdiği tepkiler ve hassasiyet sınırları belirlenmiştir. Ayrıca görüntü işleme yöntemi ile belirlenen anız yoğunluğu ile yaygın kullanılan kesişen hat yöntemi karşılaştırılarak yazılımın doğruluğu test edilmiştir. Bu bölümde yukarıda belirtilen işlemler, yöntemler ve testler alt başlıklar halinde sunulmuştur.



Şekil 3.30. Mobil robotun blok yapısı

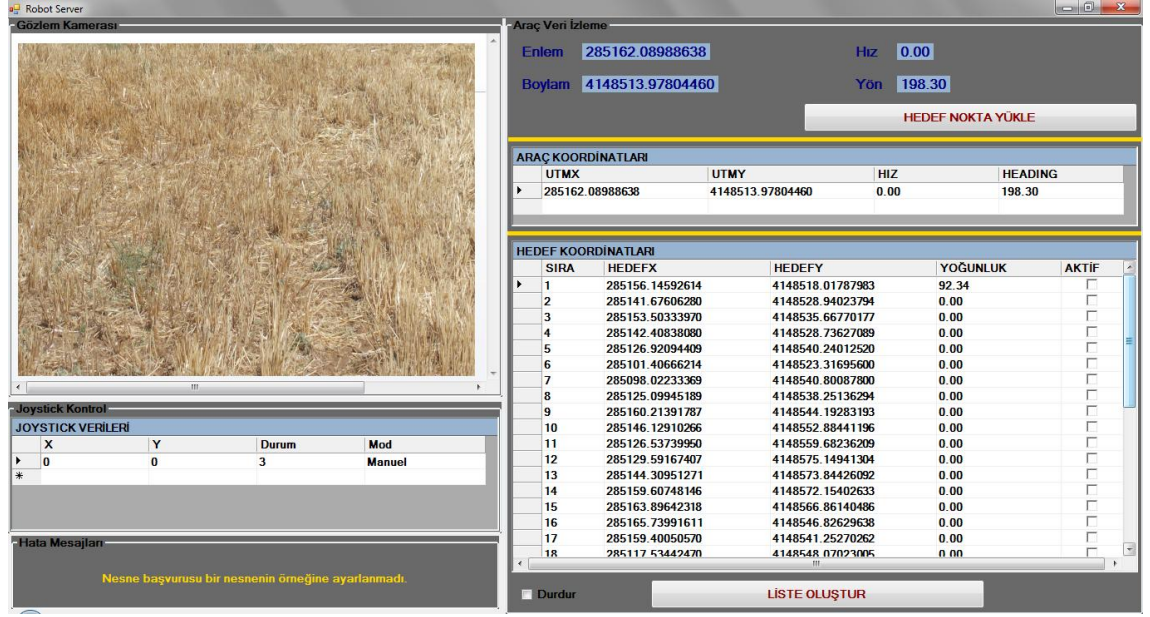
3.2.1. Yazılımsal çözümler

Mobil robotun çalıştırılması, izlenmesi ve kontrol edilebilmesi amacıyla iki program ve bir web sayfası geliştirilmiştir. Motorların çalışması ve kontrolü, GPS verilerinin işlenmesi ve navigasyonun sağlanması, gözlem kamerasından elde edilen görüntülerin ofis ortamına aktarılması ve yüksek çözünürlüklü kamera yardımıyla anız yoğunluğunun tespiti amacıyla Client yazılımı geliştirilmiştir (Şekil 3.31). Geliştirilen yazılım, mobil robot üzerinde bulunan panel bilgisayarda çalıştırılmaktadır. Geliştirilen yazılıma ait kodlar Ek-1’de verilmiştir.



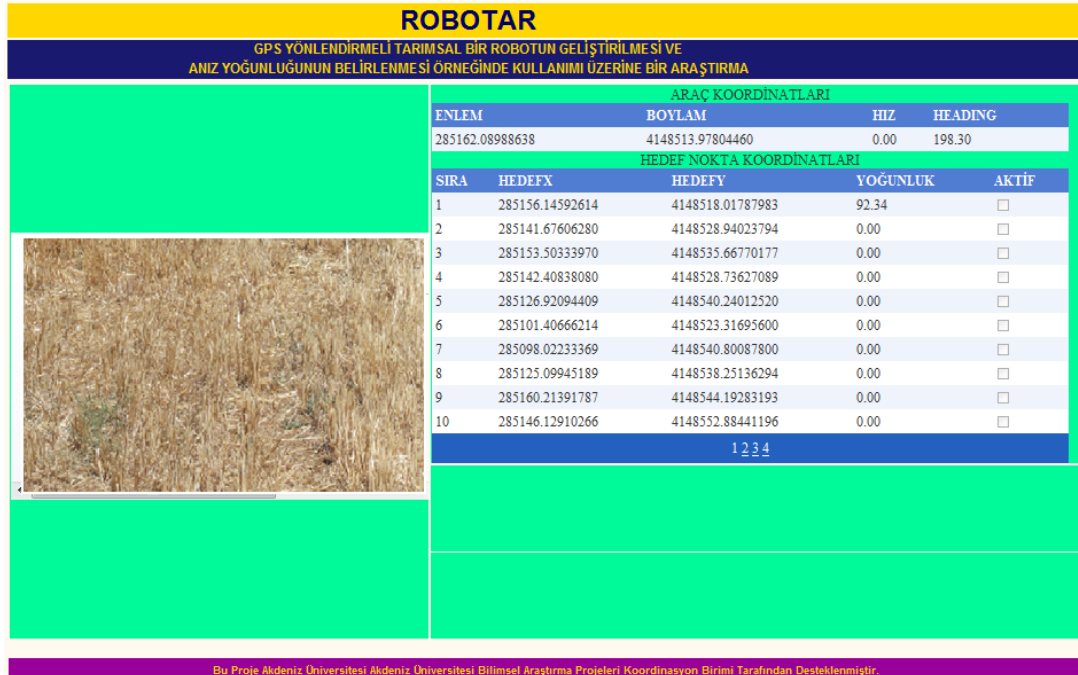
Şekil 3.31. Client yazılımı

Ofis ortamından mobil robotun izlenmesi ve kontrol edilmesi amacıyla Server yazılımı geliştirilmiştir (Şekil 3.32). Server yazılım ile mobil robotun çalışması esnasında topladığı tüm veriler anlık olarak izlenebilmektedir. Yazılımın yüklü olduğu bilgisayara takılan el kumandası vasıtasıyla mobil robot, manuel olarak çalıştırılabilmektedir. Ayrıca mobil robotun bulunduğu coğrafi koordinatlar, veri tabanına aktarılarak navigasyon dosyası oluşturulabilmektedir. Geliştirilen yazılıma ait kodlar Ek-2’de verilmiştir.



Şekil 3.32. Server yazılımı

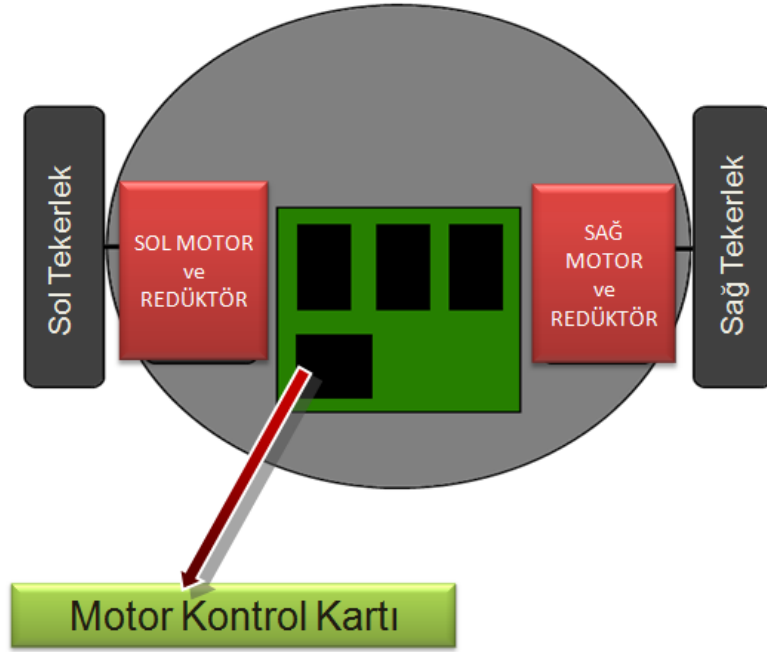
Sistemin tüm çalışma sonuçlarının web ortamında farklı kullanıcılar tarafından izlenebilmesi amacıyla bir web sayfası geliştirilmiştir (Şekil 3.33). Tüm yazılımlara ait kodlamalar Ekler bölümünde verilmiştir. Ayrıca yazılımlar içerisinde kullanılan algoritmalar ilerleyen alt başlıklar halinde açıklanmıştır.



Şekil 3.33. Sisteme ait web sayfası

3.2.1.1. Motorların yerleşimi ve kontrol algoritması

Robot tasarımında, makinanın hareket ve dönüşlerdeki yüksek performansı nedeniyle, aynı taraftaki tekerleklerin eşzamanlı döndüğü sürüş yapısına sahip lastik tekerlekli araç tercih edilmiştir. Mobil robotun her iki tarafındaki tekerlek düzeneğine hareket verebilmek için 2 adet 500 W gücünde DC motor kullanılmıştır. Mobil robotun ilerleme ve dönüşleri, motorların aynı yada farklı hızlarda, ileri ya da geri çalıştırılması ile sağlanmıştır. Mobil robot tekerlek ve motor düzeneği şematik olarak Şekil 3.34’de gösterilmiştir.



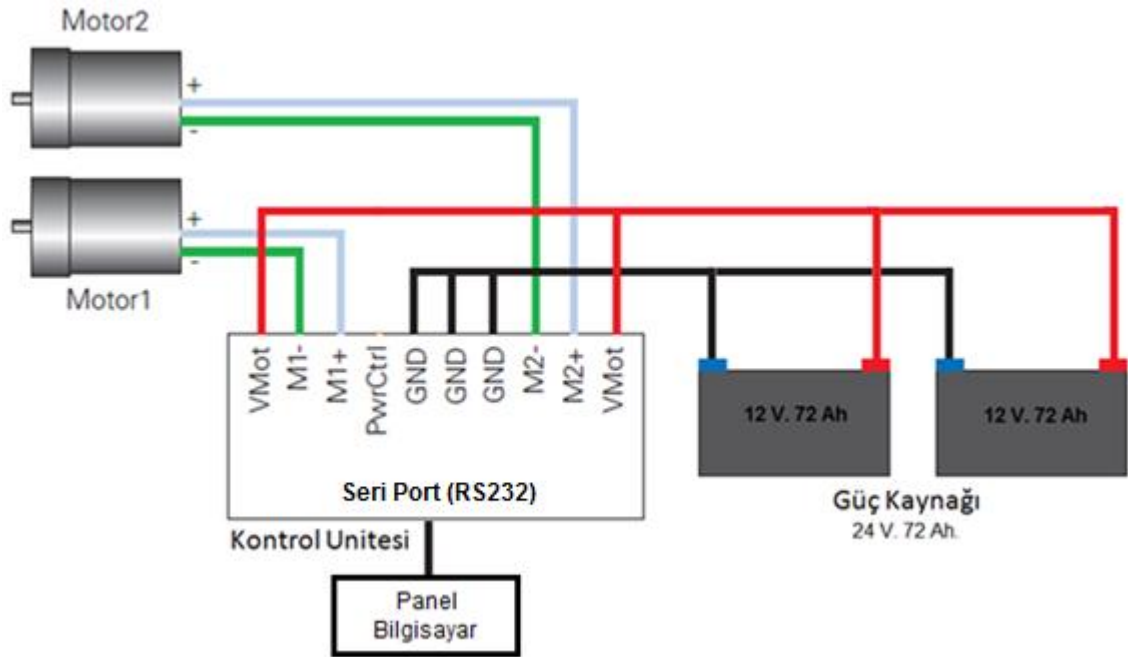
Şekil 3.34. Mobil robot tekerlek, motor ve redüktör düzeneği

Mobil robotun üzerindeki her iki motoru da kontrol edebilmek için çift kanallı motor kontrol kartı kullanılmıştır. Motor kontrol kartı, seri port üzerinden panel bilgisayara bağlanmıştır. Bu sayede, panel bilgisayar üzerindeki motor kontrol yazılımı ile motor kontrol kartı arasındaki haberleşme sağlanmıştır. Şekil 3.35’de motor kontrol işlemi için kullanılan sistemin blok şeması gösterilmiştir.

Mobil robot üzerine yerleştirilen motor kontrol ünitesinin katalog verilerine göre hem mobil robot üzerindeki Client ve ofis ortamındaki Server yazılımı içerisinde motor kontrol işlemini çalıştıran yazılım geliştirilmiştir. Yazılım üzerinden motor kontrol kartına gönderilen 0 – 127 arasındaki heksadesimal sayısal verilere göre robot ileri-geri ve hızlı-yavaş şekilde hareket ettirilmektedir. Çizelge 3.11’de motor kontrol algoritması için kullanılan veriler verilmiştir.

Çizelge 3.11. Motor kontrol algoritması verileri

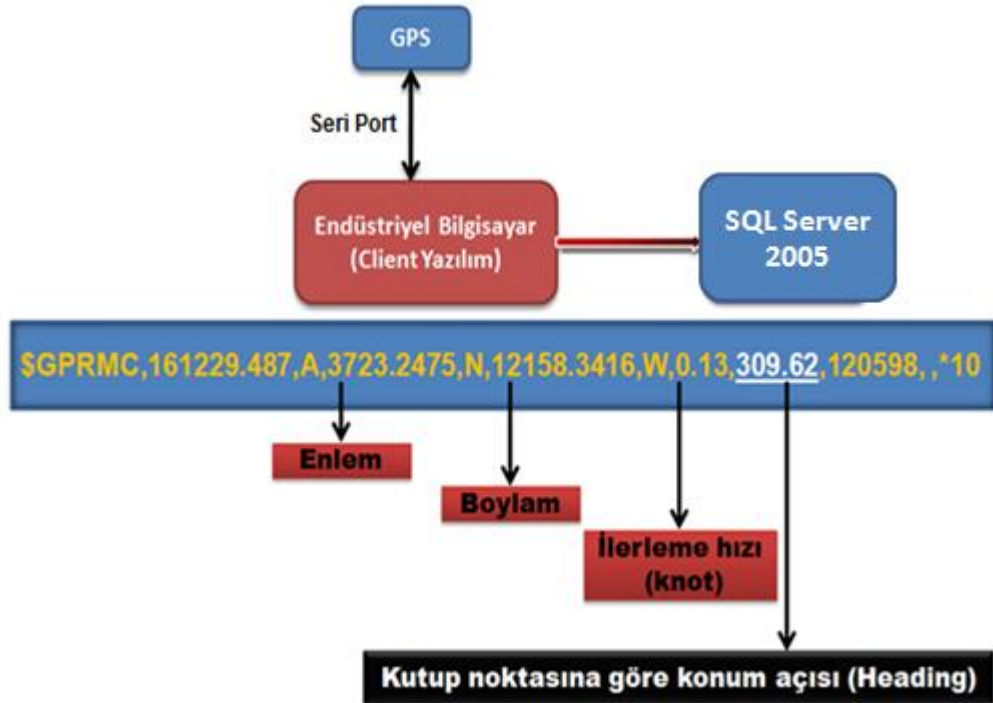
Durum	Kontrol Sinyali	Komut		Motor Hızı	
		Motor 1	Motor 2	Motor 1	Motor 2
Motor İleri	!A00 – 7F	!A7F ↑	!A3F ↑	İleri Hızlı	İleri Yavaş
Motor Geri	!a00 – 7F	!a3F ↓	!A7F ↑	Geri Yavaş	İleri Hızlı
Motor Stop	!A00 veya !a00	!A00	!a3F ↓	Stop	Geri Yavaş



Şekil 3.35. Motor kontrol işlemine ait blok şema

3.2.1.2. GPS verilerinin işlenmesi ve navigasyon algoritması

Mobil robotun ilerlemesi ve dönüşleri, coğrafi koordinatlara bağlı olarak gerçekleştirileceği için sistemde GPS alıcısından faydalanılmıştır. Robotun o an bulunduğu noktaya ait coğrafi pozisyon bilgileri, anlık olarak seri port üzerinden bilgisayara aktarılmıştır. Endüstriyel bilgisayar için geliştirilmiş olan Client yazılım, NMEA 0183 formatındaki pozisyon bilgilerini UTM formatına çevirerek SQL Server 2005 veritabanına depolamaktadır (Şekil 3.36).

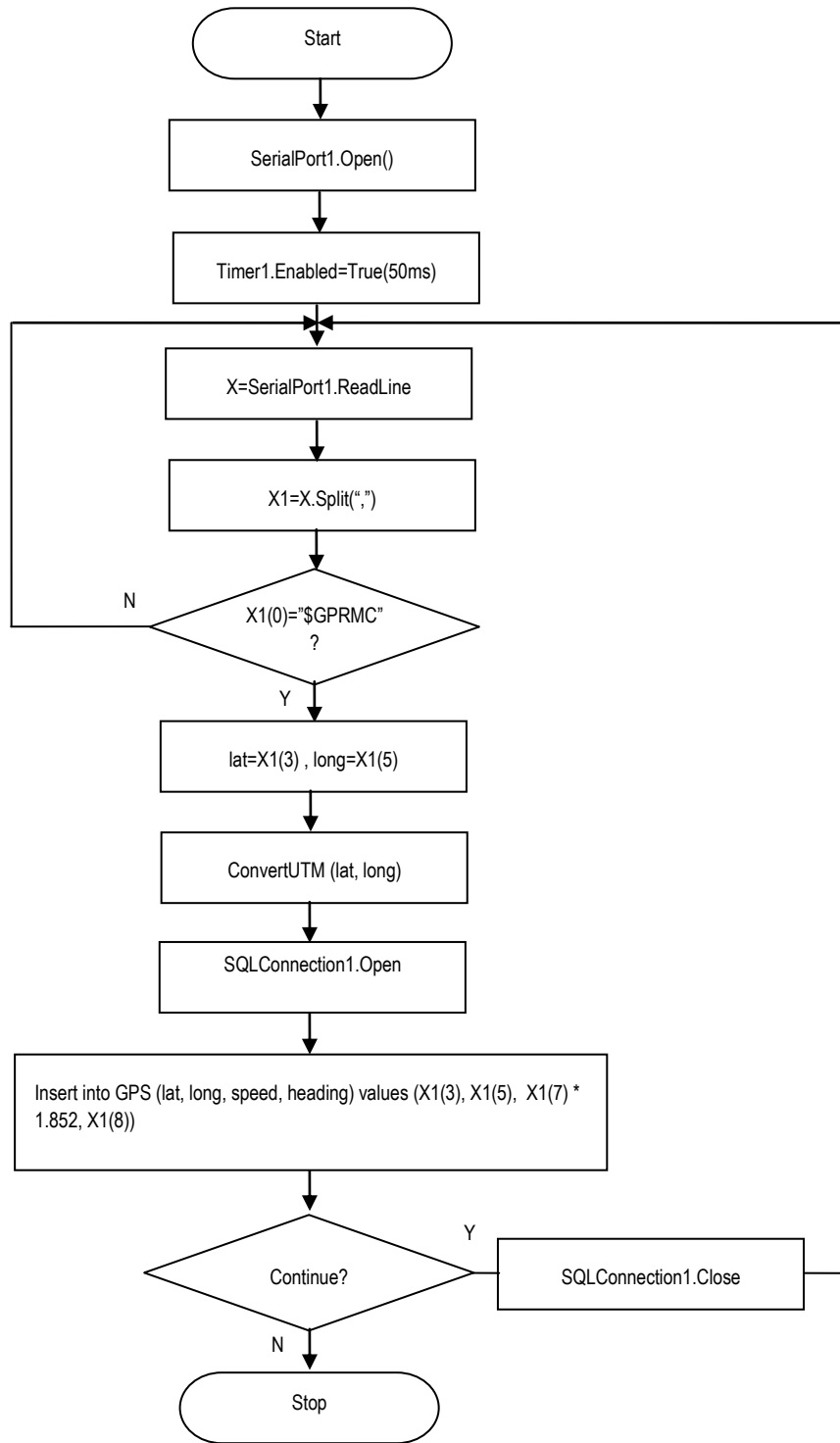


Şekil 3.36. GPS verilerinin depolanması

GPS verilerinin işlenmesi için geliştirilen Client yazılımda, alıcının göndermiş olduğu “\$GPRMC” ile başlayan veri kümesi kullanılmıştır. GPS alıcılarının diğer elektronik aygıtlara göndermiş olduğu NMEA formatındaki veri kümelerinin her biri “\$” karakteri ile başlar ve sonrasındaki 5 karakter, gelen verinin tipini belirlemektedir. “\$GPRMC” ile başlayan veri kümesi, zamansal ve mekânsal bilgileri içerisinde

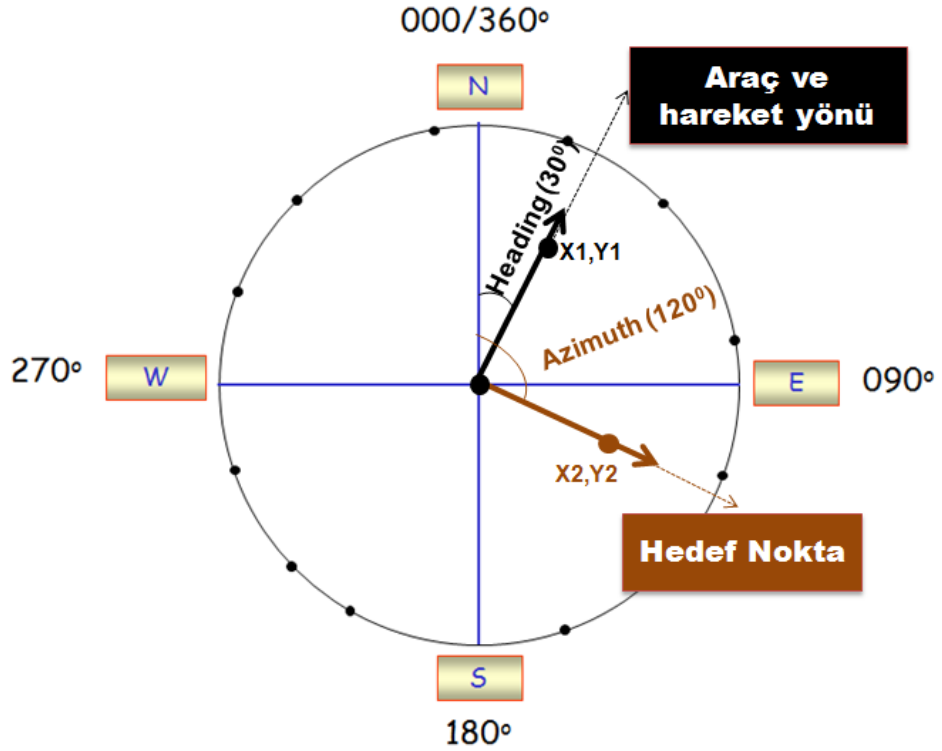
bulunduran, navigasyon uygulamaları için de oldukça önemli ve kullanışlı bir veri kümesi olması nedeniyle tercih edilmiştir.

Çalışmada, GPS alıcısının 10 ms aralıklarla Client yazılıma “\$GPRMC” veri kümesinin gönderilmesi sağlanmıştır. “\$GPRMC” veri kümesinin işlenmesi ve navigasyon amaçlı kullanılabilmesi için 3 adımdan oluşan bir algoritma kullanılmıştır. “\$GPRMC” veri kümesi, araları birbirinden virgüllerle ayrılmış 11 farklı bilgi içermektedir. Bu sebeple, birinci adımda alıcıdan gelen “\$GPRMC” veri kümesi yazılımda kullanılan Split fonksiyonu ile virgüllerinden ayrıştırılmış ve her bir bilgi içeriğini ayrı şekilde kullanabilmek için, bir dizi değişkenine aktarılmıştır. Dizi değişkeni içerisine aktarılan ve konum belirleme için önemli olan enlem ve boylam bilgileri, NMEA formatının özellikleri nedeniyle derece, dakika ve desimal dakika formatında alınabilmektedir. Birçok uygulama için bu format uygun olsa da, verilerin haritalandırılması ve üzerinde matematiksel hesaplamaların yapılmasında uygun değildir. Bu sebeple, enlem ve boylam bilgilerinin derece - dakika formatındaki ızgara koordinatından, metrik ölçülere sahip harita projeksiyonlarına çevrilmesi gerekmektedir. Metrik ölçülere sahip harita projeksiyonlarından en yaygın kullanılanı ise UTM projeksiyon sistemidir. UTM sistemi, jeodezik koordinatlarla ilişkili olup konum ölçümünde enlem ve boylam bilgilerini dünya üzerindeki gerçek ölçülere göre vermektedir. Dolayısıyla, algoritmanın ikinci adımında derece – dakika formatındaki enlem ve boylam bilgileri UTM formatına çevrilmiştir. Algoritmanın son adımında ise elde edilen tüm bilgiler SQL Server 2005 veritabanı içerisine depolanmıştır. Bu sayede, çalışma sonrası, ofis ortamında çalışma ile ilgili incelemelerin harita üzerinde değerlendirme imkânı sağlanmıştır. Ayrıca elde edilen verilerin çalışma süresince uzak bilgisayar üzerinde yüklü olan Server yazılım tarafından da izlenebilmesi sağlamaktadır. Elde edilen UTM formatındaki enlem ve boylam bilgileri ile “\$GPRMC” veri kümesi içerisinden alınmış olan heading (yön açısı) bilgileri yardımıyla mobil robotun navigasyon algoritması geliştirilmiştir. Şekil 3.37’de GPS verilerinin işlenmesini ve depolanmasını sağlayan algoritmanın akış şeması gösterilmiştir.



Şekil 3.37. GPS verilerinin işlenmesi ve depolanması için kullanılan akış şeması

Mobil robotun istenilen noktaya hareketlendirilmesi ve dönüşlerinin sağlanması, iki önemli açı (heading ve azimuth açıları) ve bulunulan nokta ile hedef nokta arasındaki mesafe bilgisine göre sağlanmaktadır. Heading açısı, robotun ilerleme doğrultusunun kuzey kutbuna olan açısıdır. Azimuth açısı ise hedef noktanın robota ve kuzey kutbuna göre açısıdır (Şekil 3.38). GPS alıcısı tarafından gönderilen “\$GPRMC” başlığı ile başlayan veri içerisinde enlem, boylam ve heading açı değerleri ile hedef noktanın enlem ve boylam değerleri arasındaki matematiksel ilişkiye göre yönlendirme ve ilerleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Endüstriyel bilgisayar üzerindeki yazılım ile anlık olarak robotun heading açısı, hedef noktanın azimuth açısı ve iki nokta arasındaki mesafe hesaplanmaktadır. Heading ve azimuth açısı eşit olduğunda ve mesafe 0’a yaklaştığında mobil robot hedef noktaya ulaşmaktadır.



Şekil 3.38. Heading ve Azimuth açıları

Mobil robotun o anda bulunduğu noktaya ait coğrafi koordinatlar $(X1,X2)$ ile hedef noktaya ait coğrafi koordinatlar $(X2,Y2)$ arasındaki mesafe Client yazılım tarafından;

$$Mesafe = \sqrt{(X1 - X2)^2 + (Y1 - Y2)^2} \quad (23)$$

eşitliğiyle hesaplanmıştır.

Burada;

X1: Mobil robotun o an bulunduğu noktanın enlemi (m)

Y2: Mobil robotun an bulunduğu noktanın boylamı (m)

X2: Mobil robotun gideceği hedef noktanın enlemi (m)

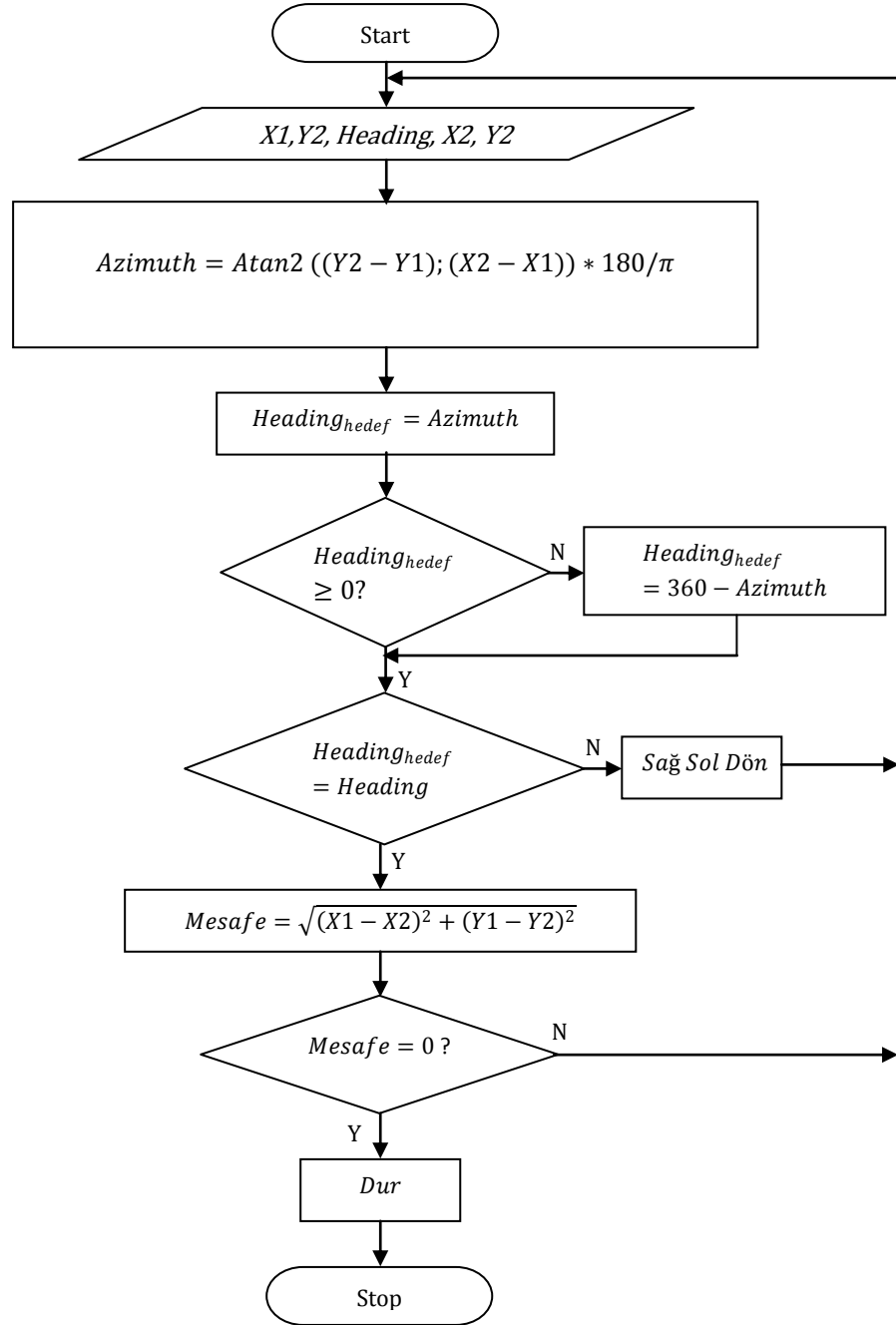
Y2: Mobil robotun gideceği hedef noktanın boylamı (m)

Hedef nokta ile hedef noktanın kuzey kutbuna göre konum açısı (Azimuth) ise;

$$Azimuth = Atan2 ((Y2 - Y1); (X2 - X1)) * 180/\pi \quad (24)$$

eşitliğiyle hesaplanmıştır.

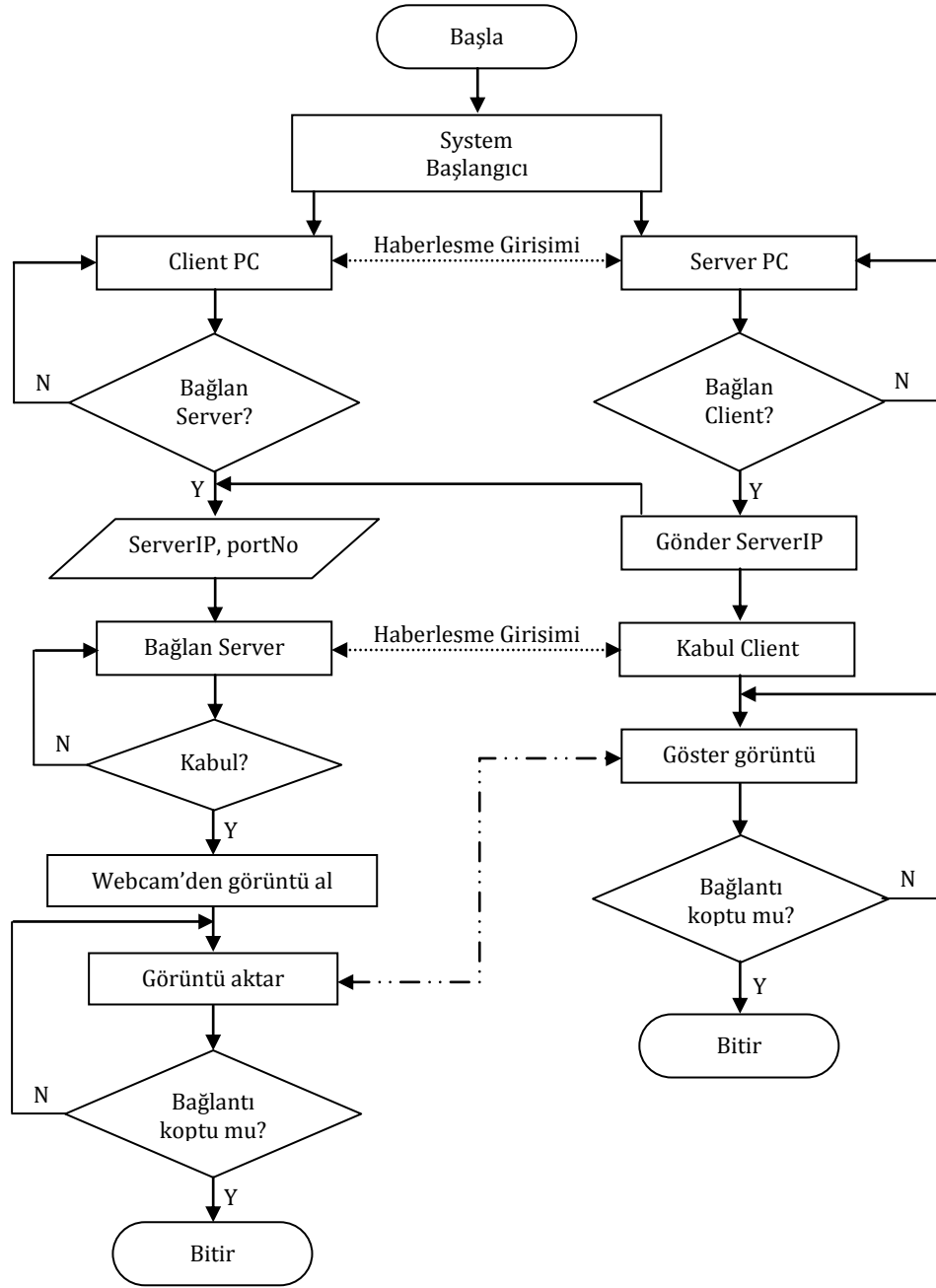
Navigasyon metodolojisinde, mobil robotun ilerleme yönü (heading) ile hedef noktanın yönü (azimuth) aynı doğrultuya gelene kadar mobil robotun sağa veya sola yönlendirilmesi gerekmektedir. Mobil robot yönü ile hedef noktanın yönü aynı doğrultuya geldiği anda robot düz bir doğrultuda ilerletilmekte ve hedef noktaya ulaşana kadar ölçüm kontrolü yapılmaktadır. Eşitlik 23'e göre her iki noktanın enlem ve boylam bilgileri arasındaki ilişki yardımı ile mobil robotun bulunduğu yer ile hedef noktanın bulunduğu yer arasındaki mesafe hesaplanmaktadır. Mobil robot hedef noktaya doğru hiç yönlendirilmeden ilerletilmektedir. Bu esnada, mesafe bilgisi anlık olarak hesaplanmaktadır. Mesafe bilgisi 0 değerine ulaştığı anda mobil robot durdurulmaktadır. Mobil robotun durduğu nokta, hedef noktanın bulunduğu yerdir. Mobil robotun yönlendirilmesi ve ilerletilmesi için kullanılan akış şeması Şekil 3.39'da gösterilmiştir. Burada kullanılan akış şeması, GPS verilerinin toplanması için kullanılan Şekil 3.37 ile doğrudan bağlantılıdır.



Şekil 3.39. Mobil robotun yönlenme ve ilerlemesi için kullanılan akış şeması

3.2.1.3. Gözlem kamerası görüntülerinin aktarım algoritması

Mobil robotun  n kısmına yerleştirilmiş olan Webcam'e ait görüntülerin, Client yazılımı üzerinden Server yazılımına aktarımını sağlamak amacıyla TCP/IP programlama yöntemi kullanılmıştır. TCP/IP programlama yönteminde iki bilgisayar arasında görüntü haberleşmesinin sağlanabilmesi için görüntünün aktarılacağı bilgisayarın IP adresi ile ortaklaşa kullanacakları bir porta ihtiyaç bulunmaktadır. Geliştirilen sistemde, Server bilgisayar, kendi IP numarasını Client yazılıma gönderdiği anda iki program arasında görüntü aktarımını başlamaktadır. Her iki yazılım için 8080 numaralı port, görüntü aktarımını sağlamak için kullanılmıştır. Şekil 3.40'da görüntü aktarımını için kullanılan yazılıma ilişkin akış Şeması verilmiştir.



Şekil 3.40. Görüntü aktarımı için kullanılan akış şeması

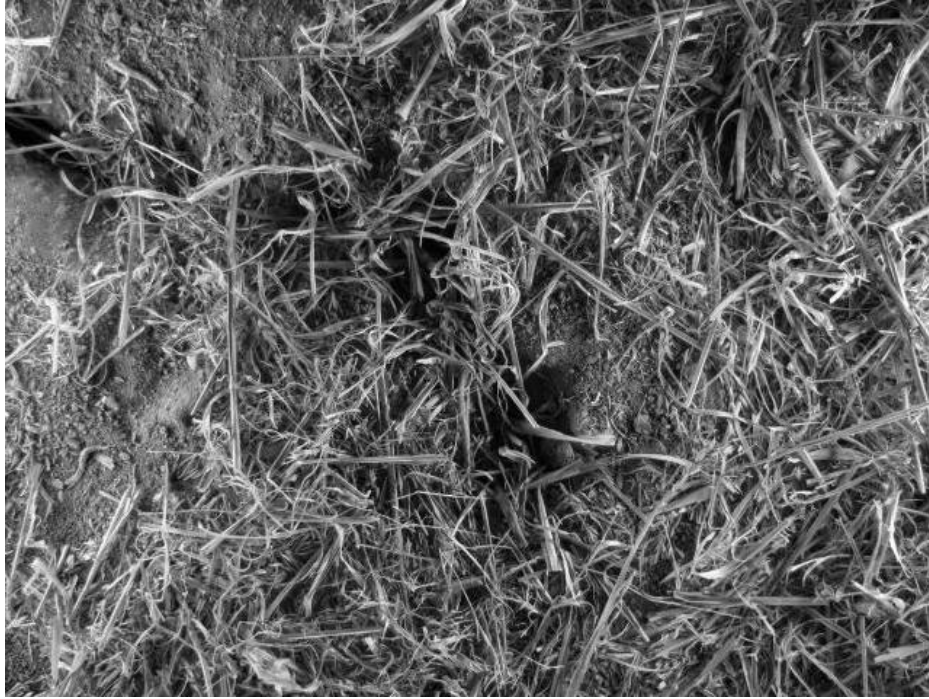
3.2.1.4. Görüntü işleme ile anız yoğunluğu belirleme algoritması

Tarla yüzeyindeki anız yoğunluğunun belirlenebilmesi için Client yazılımı içerisine görüntü işleme algoritması yerleştirilmiştir. İşlem için gerekli olan anız görüntüleri, mobil robot üzerine yerleştirilmiş olan fotoğraf makinası ile alınmıştır. Mobil robotun orta noktasında oluşturulmuş olan 45x50 cm boyutlarındaki kapalı kutu içerisine yüzeyden 60 cm yükseklikte kamera yerleştirilmiş ve 640x480 çözünürlükte anız görüntüleri Client yazılıma aktarılmıştır. Mobil robotun ilerletildiği her bir nokta için 2250 cm² alana sahip yüzeyin anız yoğunluğu belirlenmiştir. Fotoğraf makinasından alınan görüntüler grayscale formata çevrilmiştir. Çevrilen grayscale formattaki resim içerisinde anızı tanımlayan renk değerlerinin aralığı belirlenmiştir. Bu aralığa uyan renk değerlerinin toplam görüntü içerisindeki yoğunluğu belirlenerek, o görüntüye ait anız yoğunluğu hesaplanmıştır. Robotun tarla üzerindeki çalışması esnasında işlenen her görüntünün ayrı ayrı anız yoğunluklarının aritmetik ortalaması ile tarlanın % cinsinden anız yoğunluğu belirlenmiştir. Şekil 3.41’de üzerinde herhangi bir görüntü işleme yapılmamış ham anız görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.41. Üzerinde görüntü işleme yapılmamış anız görüntüsü

Görüntü işleme metodu, 640x480 çözünürlükte anlık olarak alınan görüntülerin her bir pikselinin R (Kırmızı), G (Yeşil) ve B (Mavi) renk değerlerinin incelenmesi esasına dayanmaktadır. RGB renkleri ana renkler olup, 0 ile 255 arasında değişen sayısal değerlerle tanımlanmaktadır. Her üç rengin 255 olması beyaz, 0 olması ise siyah rengi ifade etmektedir. Diğer renkler, bu üç rengin farklı oranlarda karıştırılması ile oluşmaktadır. Çalışmada, renkli olarak elde edilen görüntüler, üzerinde daha rahat işlem yapabilmek için grayscale formata çevrilmiştir (Şekil 3.42). Grayscale formatındaki bir resim siyah-beyaz ve tonlarından oluşmaktadır. Grayscale resim içerisinde her bir piksele ait RGB değerleri eşittir ve 0-255 arasında siyah-beyaz tonlardan oluşmaktadır. Renkler 255-0'a doğru koyulaşmaktadır. Anızı tanımlayan RGB piksel değerleri ile toplam resmin piksel değerlerinin oranlanması ile anız yoğunluğu belirlenmiştir.



Şekil 3.42. Grayscale anız resmi

Sistemin kalibrasyonu için, üzerinde anız bulunan toprağa ait görüntüler Client yazılıma aktarılmıştır. Aktarılan görüntü 640x480 çözünürlüğe sahip olup içerisinde 307200 adet piksel ve aynı miktarda kırmızı (R), yeşil (G) ve mavi (B) sayısal renk değerleri bulunmaktadır. Elde edilen görüntü grayscale formata dönüştürülmüştür. Dönüştürülen görüntünün her bir pikseline ait RGB sayısal renk kodları tespit edilerek

toprak ile anızı ayıran RGB renk kodu (RGB_{aniz}) belirlenmiştir. Aynı işlem 5 kez yenilenmiş ve her görüntünün RGB_{aniz} değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak Anız Kalibrasyon Katsayısı (A_{kk}) değeri tespit edilmiştir (Çizelge 3.12).

Çizelge 3.12. Siyah renk kalibrasyon katsayısı

Görüntü Sayısı (n)	Anız Belirleme Değeri (RGB_{aniz})	Anız Kalibrasyon Katsayısı (A_{kk})
1	68	$\frac{\sum_{i=1}^n RGB_{aniz}(i)}{n}$
2	72	
3	69	
4	70	
5	72	

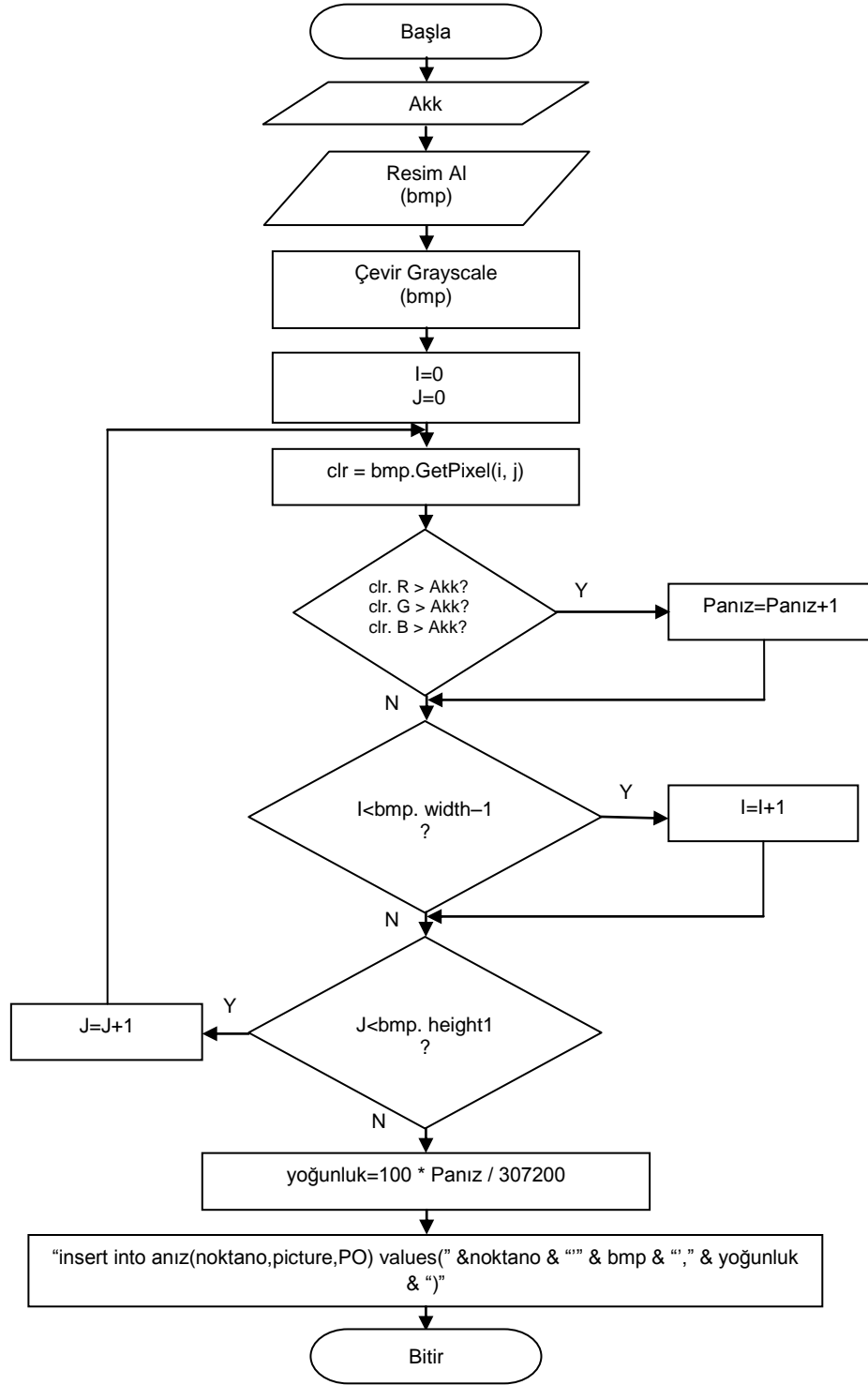
Çizelge 3.12’de belirlenen Anız Kalibrasyon Katsayısı (A_{kk}) anız ile toprağı birbirinden ayırmak için kullanılan sınır değerdir. Eğer grayscale resim içerisindeki tüm piksellere ait RGB değeri 70 değerinden küçük ise toprağı, değil ise anızı göstermektedir. Belirlenen A_{kk} değeri, farklı toprak bünyeleri için tekrar belirlenmesi gerekmektedir. Resimler 640x480 çözünürlüğe sahip olup içerisinde 307200 adet Piksel RGB değeri bulunmaktadır. Sonuç olarak 307200 adet RGB değeri içerisinde 70 değerinden büyük değerlerin, toplam piksel sayısına oranlanması ile resme ait anız yoğunluğu oranı belirlenebilmektedir. Eşitlik 3.3 toprak yüzeyindeki anız yoğunluğunu tespit etmek için kullanılmıştır. Şekil 3.43’de Client yazılım içerisinde kullanılan görüntü işleme yöntemine ait akış şeması gösterilmiştir.

$$D = 100 * N_{RGB} / 307200 \quad (3.3)$$

Burada;

D : Anız yoğunluğu (%)

N_{RGB} : Anız RGB piksel sayısı (adet)



Şekil 3.43. Görüntü işleme yöntemine ait akış şeması

3.2.1.5. Mobil robotun el kumandası ile kontrol algoritması

Mobil robot, üzerine yüklenen koordinat dosyasına göre otonom olarak hareket etmektedir. Ancak, meydana gelebilecek herhangi bir olumsuzluk durumunda robota uzaktan müdahale edilmesi gerekmektedir. Bu sebepten dolayı hem Client hem de Server yazılımı içerisinde mobil robotun el kumandası kullanılarak yönlendirilmesini sağlayan bir yapı yerleştirilmiştir. Bu sayede, el kumandası üzerinde bulunan kumanda kolu ve butonlar yardımıyla mobil robotun çalıştırılması ve yönlendirilmesi sağlanmış ve mobil robot iki farklı modda çalışabilir hale getirilmiştir. Birinci modda, mobil robot, üzerine yüklenen koordinat dosyasına göre hareket edebilmektedir. İkinci modda ise robot, el kumandası yardımı ile uzaktan manuel olarak çalıştırılabilmektedir.

El kumandası, bağlı olduğu yazılıma, kumanda kolu yardımıyla X, Y ve Z düzlemleri için 0 – 65536 arasında sayısal veri göndermektedir. Aynı zamanda, üzerinde bulunan her bir butonda 1 – 11 arasında sayısal bilgi göndermektedir. Çizelge 3.13’de el kumandası üzerindeki kumanda kolundan gönderilen veriler ve hareket yönleri verilmiştir.

Çizelge 3.13. El kumanda kolunun ürettiği veriler

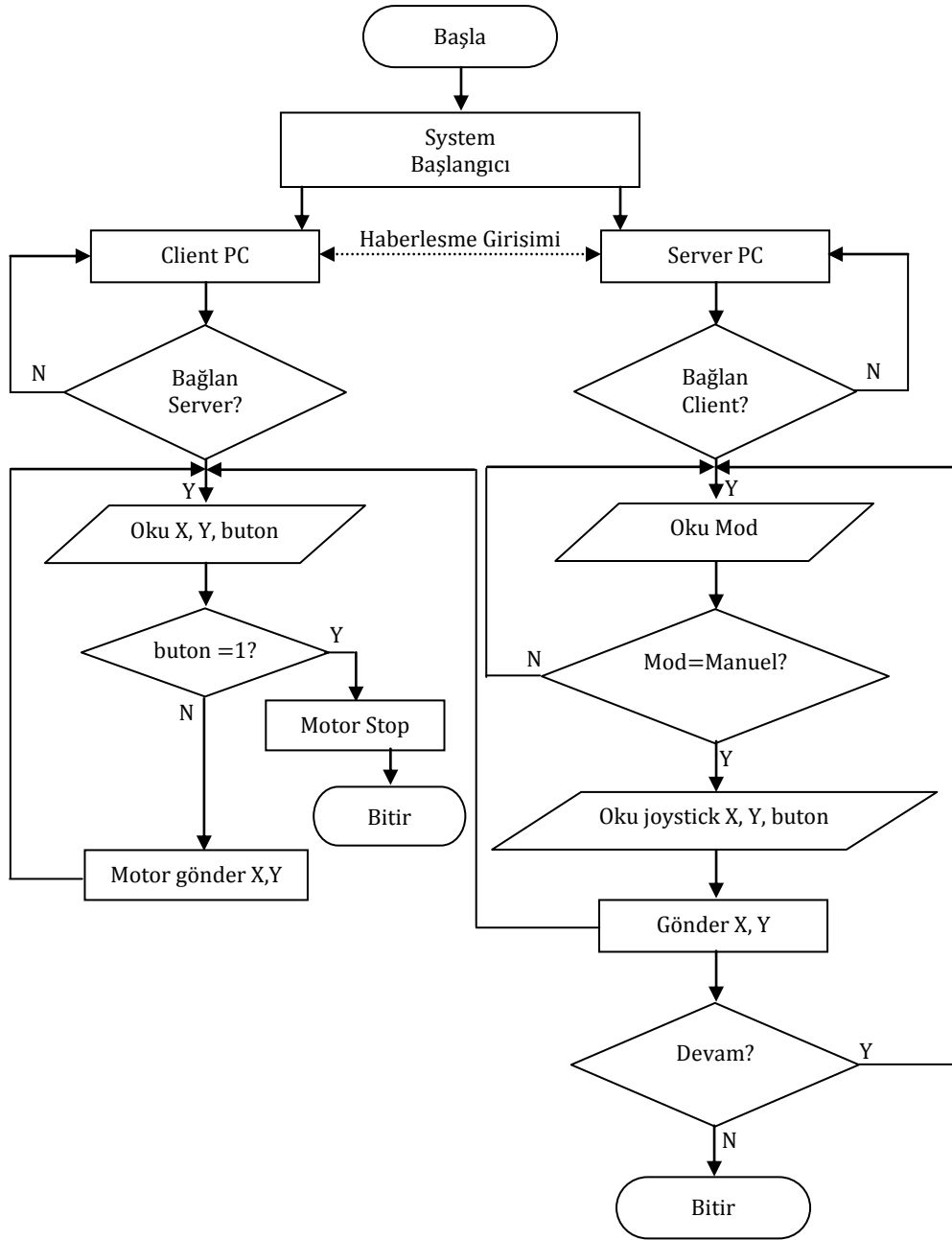
Kontrol	Y Düzlemi		X Düzlemi	
	İleri	Geri	Sağ	Sol
Kumanda Kolu	32769 - 65536	0 - 32767	32769 - 65536	0 - 32767

Motor kontrol ünitesinin çalışmasına ait veriler daha önce Çizelge 3.11’de verilmiştir. Motor kontrol ünitesinin çalışması için gerekli olan sayısal veriler ile el kumandası tarafından üretilen veriler arasında uyumsuzluk bulunmaktadır. Bu uyumsuzluğun ortadan kaldırılabilmesi için el kumanda kolunun ürettiği sayısal bilgiler üzerinde bir oranlama işlemi yapılması gerekmektedir. Gerçekleştirilmiş olan oranlama işlemi Çizelge 3.14’de verilmiştir.

Çizelge 3.14. Motor kontrol ünitesi ve el kumandası orarlama

Durum	Kontrol Sinyali (KS)	Joystick Sinyali (JS)	Orarlama
Motor İleri	1 - 127	32769 - 65536	$(100 - \text{FIX}(\text{JS} / 330)) + 16$
Motor Geri	-1 - 127	0 - 32767	$(100 + (\text{FIX}(\text{JS} / 330) * -1)) - 16$
Motor Stop	0	32768	0

Mobil robotun el kumandası kullanılarak çalıştırılabilmesi için client ve server yazılımların birbirine bağlanması gerekmektedir. Yazılımlar arasında bağlantı kurulduktan sonra server yazılım üzerinden mobil robotun çalışma modu seçilir. Eğer manuel mod seçilirse mobil robot el kumandası kullanılarak yönlendirilmektedir. Otonom modu seçildiğinde ise robot, üzerine yüklenen koordinat dosyasına göre otonom olarak yönlendirilmektedir. Manuel modda çalışırken el kumandası üzerindeki 1 numaralı butona basıldığında client yazılıma 1 değeri gönderilir ve mobil robot durdurulur. Bu sayede acil durumlar için robotun durdurulması sağlanır. Mobil robotun otonom modda çalışırken acil olarak durdurulması için de aynı yöntem kullanılmaktadır. Ayrıca, istenmeyen şekilde her iki yazılım arasındaki haberleşme koparsa da mobil robotun durdurulması, aynı yöntemle sağlanmaktadır. Şekil 3.44'de server yazılım üzerinden mobil robotun el kumandası kullanılarak çalıştırılması için kullanılan yazılıma ait akış şeması verilmiştir.



Şekil 3.44. El kumandası kullanımına ait akış şeması

3.2.2. Mobil robot test işlemleri

Mobil robotun tarla koşullarındaki çalışma durumunun kontrol edilmesi için test işlemi gerçekleştirilmiştir. Test işlemleri kapsamında;

- Mobil robotun, tarla üzerinde çalıştırılabilmesi için gerekli olan iş dosyasının oluşturulması,
- Mobil robotun doğrusal bir hat üzerinde konumlandığı hedef nokta ile olması gereken hedef nokta arasındaki hata oranlarının belirlenmesi,
- Mobil robotun tarla üzerindeki farklı noktalara otonom olarak ilerletilmesi sonucu meydana gelen hata oranlarının belirlenmesi,

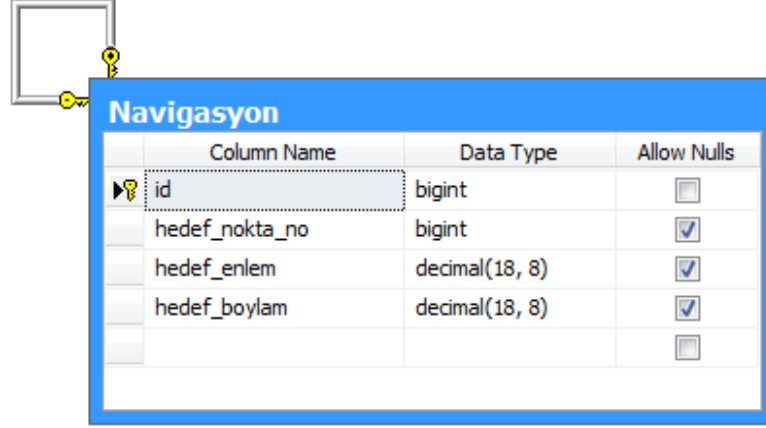
aşamaları gerçekleştirilmiştir. Her bir aşama için gerekli olan uygulamalar aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

3.2.2.1. Navigasyon iş dosyasının oluşturulması

Mobil robotun tarla üzerinde hareket edebilmesi için o an bulunduğu noktaya ait pozisyon bilgileri (enlem, boylam, heading) ile gideceği noktaya ait pozisyon bilgilerinin bilinmesi gerekmektedir. Mobil robotun anlık olarak bulunduğu noktaya ait pozisyon bilgileri, üzerinde bulunan GPS alıcısı yardımıyla client yazılıma aktarılmaktadır. Ancak, robotun hareket edeceği noktalara ait pozisyon bilgilerinin de client yazılım tarafından bilinmesi gerekmektedir. Bu sayede, mobil robot, hareket edeceği noktalara gidebilmek için izleyeceği rotayı hesaplayabilmektedir. Bu sebeple, geliştirilen sistemde, mobil robotun hareket edeceği hedef noktalara ait pozisyon bilgilerinin toplu olarak girilebileceği bir yapı tasarlanmıştır.

Mobil robotun hareket edeceği hedef noktalara ait pozisyon bilgilerinin endüstriyel bilgisayara yüklenebilmesi için SQL Server 2005 veri tabanı içerisinde navigasyon isimli bir tablo oluşturulmuştur. Tablo içerisine hedef noktalara ait nokta numarası, enlem ve boylam bilgileri istenildiği miktarda girilebilmektedir. Bu sayede,

mobil robotun tarla üzerinde istenilen kadar noktaya hareket ettirilmesi sağlanmaktadır. Oluşturulan navigasyon tablosu Şekil 3.45’de verilmiştir.



Column Name	Data Type	Allow Nulls
id	bigint	<input type="checkbox"/>
hedef_nokta_no	bigint	<input checked="" type="checkbox"/>
hedef_enlem	decimal(18, 8)	<input checked="" type="checkbox"/>
hedef_boylam	decimal(18, 8)	<input checked="" type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>

Şekil 3.45. Navigasyon tablosu

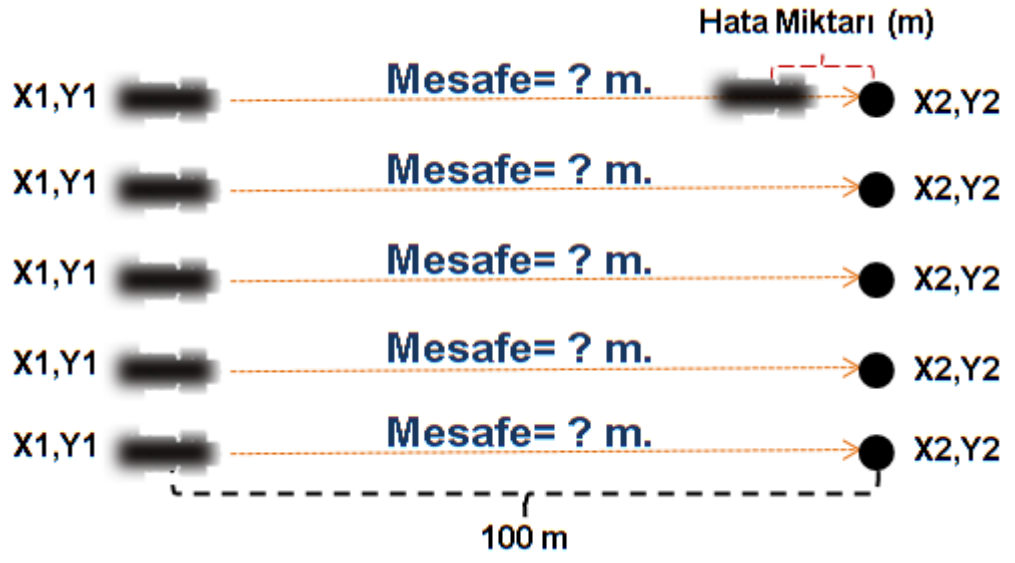
Mobil robotun hareket edeceği hedef noktalara ait pozisyon bilgileri, kullanıcılar tarafından hem Client hem de Server yazılım üzerinden girilebilmektedir. Hedef noktaların kullanıcılar tarafından tespit edilmesi işlemi için iki farklı yöntemin kullanılması gerekmektedir. Birincisi, tarla üzerinden GPS alıcısı kullanılarak noktaların toplanmasıdır. İkincisi ise çalışma yapılacak olan tarlaya ait sayısal uydu görüntülerinin ArcGIS haritalama programına aktarılıp ofis ortamında tarlaya gitmeden hedef noktaların belirlenmesidir. Her iki yöntemde de toplanacak olan pozisyon bilgilerinin UTM formatında olması gerekmektedir. Şekil 3.46’da çalışma için belirlenen hedef noktalara ait navigasyon bilgileri gösterilmiştir.

Table - dbo.Navigasyon		Summary		
	id	hedef_nokt...	hedef_enlem	hedef_boylam
▶	1	1	289587,05020738	4086247,72642192
	2	2	289587,97518095	4086236,53245845
	3	3	289589,92251830	4086212,43602315
	4	4	289591,21505452	4086195,56138596
	5	5	289593,40992113	4086163,99603436
	6	6	289585,90811070	4086253,63167701
	7	7	289590,11142754	4086210,40327188
	8	8	289594,88193362	4086136,54359048
	9	9	289579,57625242	4086260,04109433
	10	10	289490,51706555	4086258,42784108
	11	11	289339,08869210	4086026,67419181
*	NULL	NULL	NULL	NULL

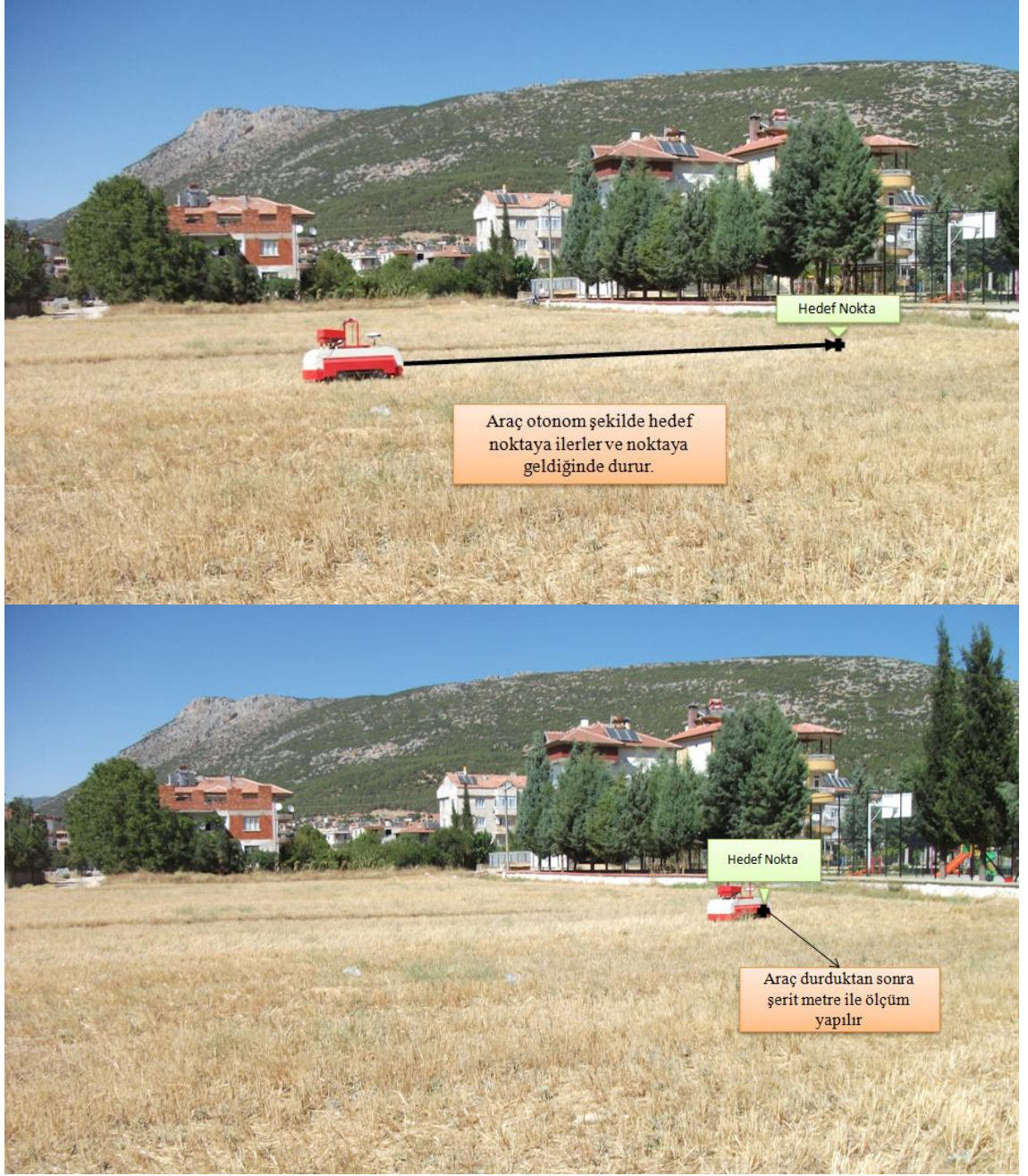
Şekil 3.46. Mobil robotun gideceği noktalara ait navigasyon bilgileri

3.2.2.2. Doğrusal hedef nokta hata oranlarının belirlenmesi

Tasarımı yapılan mobil robotun istenilen hedef noktaya ne kadar hassasiyetle gittiğinin belirlenmesi amacıyla test işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu test işleminde, mobil robot sabit bir ilerleme hızında ve aralarında 100 m mesafe bulunan iki nokta arasında tekrarlı olarak ilerletilmiştir (Şekil 3.47). Mobil robot, belirlenen başlangıç noktasına yerleştirilmiştir. Bitiş noktasına ait GPS koordinatları UTM formatında mobil robot test yazılımına girilmiştir. Mobil robot üzerinde bulunan GPS alıcısı ile mobil robot test yazılımına robotun o an bulunduğu noktanın GPS koordinatları aktarılmış ve UTM formatına çevrilmiştir. GPS alıcısından elde edilen koordinatlar ile bitiş noktasına ait koordinatlar arasında Eşitlik 23 kullanılarak anlık mesafe ölçümü yapılmıştır. Mobil robotun bitiş noktasına ilerlemesi esnasında ölçülen mesafenin 0 m olması durumunda mobil robot durdurulmuştur. Mobil robotun durduğu nokta ile hedef nokta arası şerit metre yardımı ile ölçülmüş ve hata miktarı belirlenmiştir (Şekil 3.48). Ölçüm işlemi 10 kez tekrar edilmiştir. Ölçümde elde edilen hata miktarı değerleri, hedef nokta hata oranının belirlenmesi için kullanılmıştır.



Şekil 3.47. Doğrusal hedef nokta hassasiyet oranının belirlenmesi

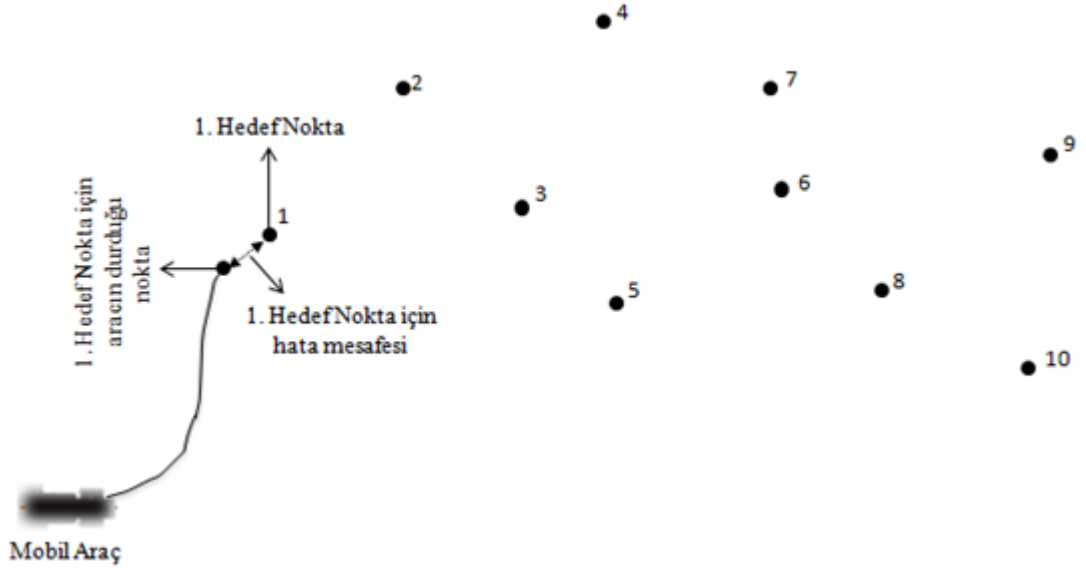


Şekil 3.48. Doğrusal hedef nokta hata ölçüm işlemi

3.2.2.3. Dağınık hedef nokta hata oranlarının belirlenmesi

Client yazılım içerisindeki navigasyon algoritması, mobil robot doğrultu açısı (heading), hedef noktanın kuzey kutbuna göre açısı (azimuth) ve robot ile hedef nokta arasındaki mesafe verilerine göre çalışmaktadır. Robot ile hedef nokta aynı doğrultu üzerine geldiği andan itibaren anlık mesafe kontrolü yapılmaktadır. Mobil robot hedef noktaya gelindiğinde motorlardaki güç 0 yapılarak robot durdurulmaktadır.

Mobil robot tarla üzerinde dağınık olarak belirlenen 10 farklı nokta için çalıştırılmış ve robotun hedef noktaya varış hassasiyeti ölçülmüştür (Şekil 3.49). Ölçüm işlemi için şeritmetre kullanılmıştır. Robotun durduğu nokta ile hedef nokta arasındaki mesafe şeritmetre yardımıyla ölçülmüştür.



Şekil 3.49. Dağınık hedef nokta hassasiyet oranının belirlenmesi

3.2.3. Anız yoğunluğu ölçümünün test işlemleri

Anız yoğunluğu oranının belirlenmesi ve haritalandırılması için mobil robot üzerine yerleştirilen sistemin güven düzeyinin belirlenebilmesi amacıyla test işlemi gerçekleştirilmiştir. Test işleminde üzerinde buğday anızı bulunan iki deneme alanı kullanılmıştır. Deneme alanları üzerinden hem geliştirilen görüntü işleme sistemi hem de bilinen bir yöntem olan kesişen hat yöntemi yardımıyla anız yoğunluğu verileri alınmıştır. Çalışma yapılan deneme alanlarına ait özellikler, anız yoğunluğu belirleme ve haritalama işlemi aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

3.2.3.1. Anız yoğunluğu belirleme işleminde kullanılan deneme alanı

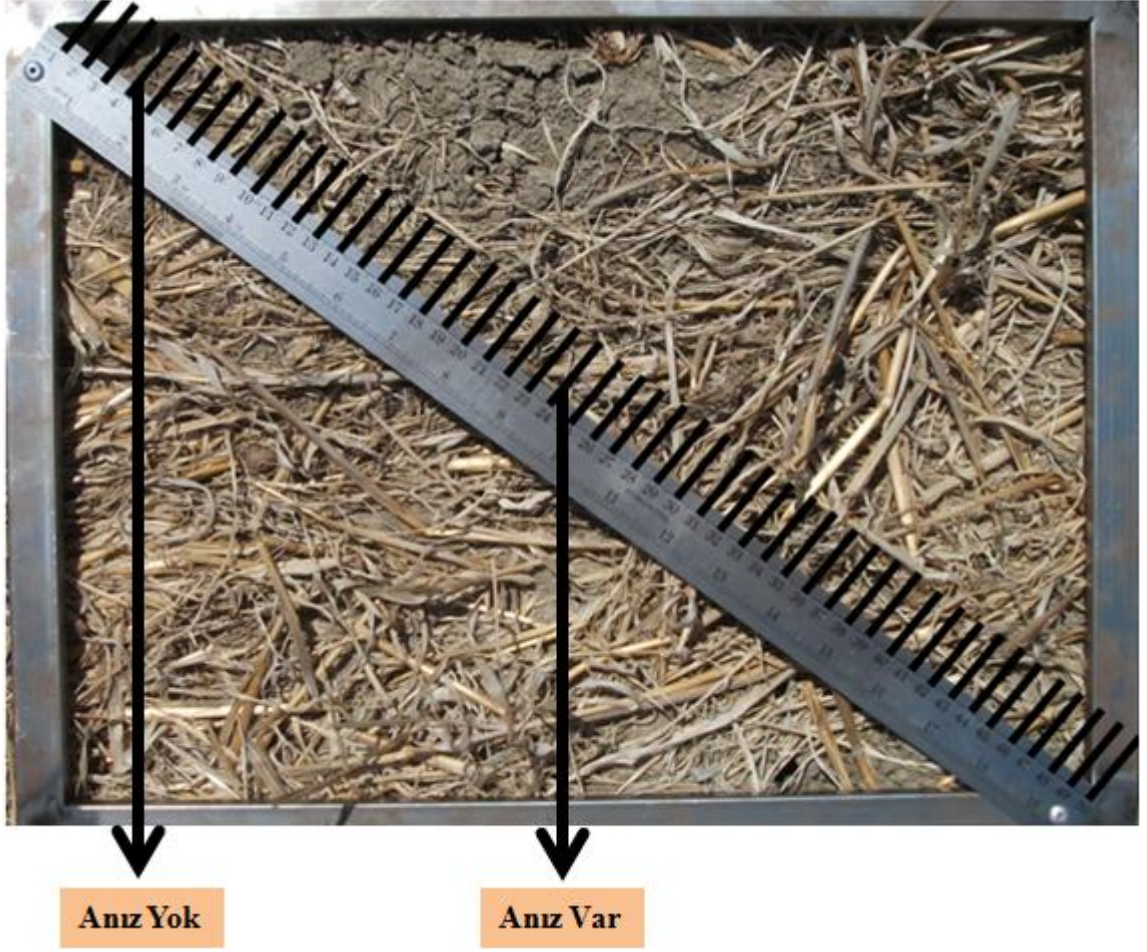
Anız yoğunluğunun belirlenmesi çalışmaları Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsüne (BATEM) ait alanda ve Bucak (Burdur) ilçesinde bir alanda gerçekleştirilmiştir. Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Aksu Birimi Antalya merkezine yaklaşık 20 km uzaklıkta ve 30.84 D ve 36.94 K koordinatları arasında bulunmaktadır. Deneme alanı büyüklüğü 24 da'dır. Burdur Bucak ilçesinde bulunan tarla ise 30.57 D ve 37.45 K koordinatları arasında bulunmaktadır ve deneme alanı büyüklüğü 10 da'dır.

3.2.3.2. Anız yoğunluğunun belirlenmesi

Tarla yüzeyindeki anız yoğunluğunu belirlenmesi denemeleri 2 farklı alanda gerçekleştirilmiştir. Her bir deneme 10 farklı nokta için 3 tekerrürlü olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Birinci denemenin yapıldığı alanın büyüklüğü yaklaşık 24 da olup buğday hasadı Haziran 2012'de biçerdöverle yapılmıştır. Birinci deneme Temmuz 2012'de gerçekleştirilmiştir. Her bir tekerrür için mobil robot el kumandası yardımı ile 10 farklı noktaya ilerletilmiş ve noktaya ait konum bilgileri navigasyon dosyasına aktarılmıştır. Mobil robot her 10 nokta için otonom olarak çalıştırılmıştır. Mobil robot her bir noktaya ulaştığında durmuş ve o noktaya ait anız resimleri fotoğraf makinası yardımıyla client yazılıma aktarılmıştır. Her bir noktadan alınan anız resimleri üzerinden görüntü işleme algoritması kullanılarak noktaya ait anız yoğunluk oranı

hesaplatılmıştır. Her bir nokta için belirlenen anız yoğunluk oranı değerleri SQL Server 2005 veritabanı içerisinde depolanmıştır. İkinci deneme ise Ağustos 2012'de büyüklüğü yaklaşık 10 da ve buğday hasadı yapılmış olan tarlada aynı yöntemle gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın doğruluğunu test etmek için görüntü işleme ile birlikte bilinen ve kullanımı kolay bir anız yoğunluğu belirleme yöntemi olan kesişen hat yöntemi kullanılmıştır. Bu işlem için 45x50 cm boyutlarında metal bir çerçeve kullanılmıştır. Metal çerçeve, mobil robot içerisindeki fotoğraf makinasının aldığı görüntü alanıyla eşit büyüklüktedir. Görüntü alınan her bir noktanın aynı zamanda kesişen hat yöntemi yardımıyla değerlendirilmesi yapılmıştır. Kesişen hat yöntemi için metal çerçeve anız kaplı toprak üzerine yerleştirilmiştir. Çerçeve içerisine 50 cm uzunluğundaki şeritmetre 45 derecelik açı oluşturacak şekilde yerleştirilmiştir. Kesişen hat yönteminde, şeritmetrenin her 1 cm'lik çizgisi referans noktası olarak kabul edilmiştir. Her bir referans nokta üzerindeki anızlar sayılmıştır (Şekil 3.50). Aynı referans noktası üzerinde birden fazla anız bulunduğu durumlarda yalnızca bir anız kabul edilmiştir. Şeritmetrenin 50 cm uzunluğu boyunca 50 adet referans noktası oluşturduğumuz için anız ile kesişen nokta sayısı 2 ile çarpılarak anız yoğunluğu oranı yüzde cinsinden bulunmuştur. Bu yöntem ile her bir tekerrürdeki 10 farklı nokta için kesişen hat yöntemi ile tarla anız yoğunluğu oranı belirlenmiştir. Her iki yöntem için elde edilen veriler istatistiksel olarak bağımsız örnek t testi kullanılarak değerlendirilmiştir.



Şekil 3.50. Kesişen hat yöntemi ile anız yoğunluğu belirleme işlemi

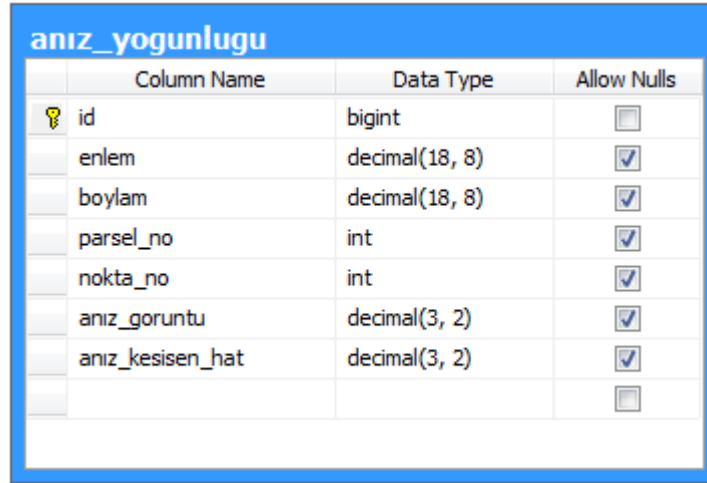
3.2.3.3. Anız yoğunluğunun haritalanması

Çalışma kapsamında her bir deneme ve tekerrüre ait anız yoğunluğu oranları hem görüntü işleme hem de kesişen hat yöntemiyle tespit edilmiştir. Elde edilen veriler yardımıyla, her bir tarlanın toplam anız yoğunluğu oranları belirlenmiştir. Elde edilen sayısal verilerin yansıra tarla yüzeyine ait anız yoğunluğu haritalarının da oluşturulması gerekmektedir.

Haritalar, konumsal verinin işlenmesi için bir araçtır ve aynı zamanda veri analizi ve sonuçlarının sunumunu da içermektedir. Haritaların bir başka önemi de kullanıcıların doğru ve hızlı karar vermesine katkıda bulunmaktır. Doğru karar vermek için veri kalitesi önem kazanmaktadır. Haritalar karar destekleme amaçlıdır ve bu

kararlar coğrafi objelerle ilişkilidir. Karar aşamasında konumsal boyut dikkate alındığı için verilerin görsel olarak gösterilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, çalışmada her bir denemede elde edilen 30 nokta için görüntü işleme yöntemi ile elde edilen anız yoğunluğu haritaları oluşturulmuştur. Ek-3’de denemelere ait koordinat verileri verilmiştir.

Anız yoğunluğu haritalarının oluşturulabilmesi için elde edilen veriler Microsoft SQL Server 2005 veri tabanı içerisinde haritalama programlarına adapte edilebilecek şekilde depolanmıştır. Veri tabanı, ArcGIS 9.3 haritalama programı içerisinde aktarılmıştır. Haritanın oluşturulması için ordinary kriging interpolasyonu kullanılmıştır. Anız yoğunluğu haritasının oluşturulabilmesi için tasarlanan tablo yapısı Şekil 3.51’de verilmiştir.



	Column Name	Data Type	Allow Nulls
🔑	id	bigint	<input type="checkbox"/>
	enlem	decimal(18, 8)	<input checked="" type="checkbox"/>
	boylam	decimal(18, 8)	<input checked="" type="checkbox"/>
	parsel_no	int	<input checked="" type="checkbox"/>
	nokta_no	int	<input checked="" type="checkbox"/>
	aniz_goruntu	decimal(3, 2)	<input checked="" type="checkbox"/>
	aniz_kesisen_hat	decimal(3, 2)	<input checked="" type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>

Şekil 3.51. Anız yoğunluğu haritalamada kullanılan veritabanı tablosu

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada, GPS verilerine göre tarla üzerinde otonom olarak hareket etme yeteneğine sahip mobil bir robot geliştirilmiştir. Geliştirilen robot, GPS verilerini referans alarak tarla üzerinde belirlenen noktalara hareketlendirilmiştir. Ayrıca, mobil robotun yönlendirildiği her bir noktaya ait anız yoğunluğu değerini hesaplayan bir görüntü işleme sistemi de geliştirilmiştir. Bu bağlamda, sistem için gerekli olan tüm mekanik, elektronik ve yazılımsal yapılar tamamlanmıştır. Mobil robotun tarla üzerindeki çalışma şekli ve doğruluğu iki kısımda test edilmiştir. Birinci kısımda, mobil robotun navigasyon sonrası hedef nokta için durduğu nokta ile hedef nokta arasındaki mesafe farkları ölçülmüştür. Böylece robotun hedef noktaya varış hassasiyeti belirlenmiştir. İkinci kısımda ise, mobil robotun ulaştığı hedef noktaya ait anız yoğunluğu değerleri tespit edilerek bilinen bir yöntem kesişen hat yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Bu sayede, robot üzerindeki görüntü işleme sisteminin doğruluk düzeyi test edilmiştir. Her iki değerlendirmede elde edilen veriler istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Böylece, hem mobil robotun navigasyon hem de görüntü işleme metotları tüm çalışmayı temsil edecek şekilde doğruluk düzeyleri belirlenmiştir. Her iki kısım için gerçekleştirilen test işlemlerine ait sonuçlar aşağıda sırasıyla verilmiştir.

4.1. Mobil Robot Test İşlemleri

Mobil robotun tarla üzerindeki çalışma hassasiyetlerinin belirlenebilmesi için iki aşamadan oluşan test işlemi gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada, mobil robotun hiç yönlendirme yapılmadan düz bir hat üzerinde hedef noktaya yaklaşım mesafeleri belirlenmiştir. Bu sayede robotun hedef noktaya ne derece hassasiyetle ulaştığı tespit edilmiştir. İkinci aşamada ise mobil robotun tarla üzerindeki dağınık noktalara ne kadar hassasiyetle ulaştığı belirlenmiştir.

4.1.1. Mobil robot teknik özellikleri

Geliştirilen mobil robotun kütlesi 250 kg, taşıma kapasitesi yaklaşık 900 kg'dır. Mobil robot, 45 derece eğimli koşullarda çalışabilme yeteneğine sahiptir. Robotun maksimum ilerleme hızı 4 km/h'dir. Robot, geldiği istikamet in tam tersi yönde dönmesi için 3 m çapında bir daire oluşturmaktadır. Robot üzerinde yüklü olan yazılım yardımı ile hedef noktaya ulaşana kadar, 50 ms aralıklarla açı ve mesafe kontrolü yapılmaktadır. Kullanılan RTK GPS alıcısının teknik özellikleri robotun kapalı hava koşullarına rağmen çalışmasına olanak vermektedir.

4.1.2. Doğrusal hedef nokta hata oranları

Çalışmada, mobil robotun çalıştırılmasında kullanılan iki önemli faktör olan mesafe ve açı değerleri kullanılmıştır. Birincisi, robotun hedef noktaya yaklaşımını kontrol eden mesafe bilgisidir. İkincisi ise mobil robotun doğrultusu ile hedef noktanın bulunduğu yerin, kuzey kutbuna göre buldukları açıdır. Birinci aşamada, mesafe ölçümünün doğruluğunun belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle mobil robot, yönlendirme yapılmadan düz bir hat üzerinde mesafesi bilinen iki nokta arasında tekrarlı bir şekilde ilerletilmiştir. Test işlemi için, aralarında 100 m mesafe bulunan iki nokta belirlenmiştir. Her iki noktaya ait coğrafi koordinat (enlem, boylam) verileri robot üzerinde kullanılan GPS alıcısı yardımıyla elde edilmiştir. Mobil robot birinci noktaya konumlandırılmış ve hedef nokta ile arasının 100 m olması sağlanmıştır. Belirlenen hat üzerinde robot 10 tekrar olacak şekilde çalıştırılmıştır. Her bir çalışma sonucunda, robotun durduğu nokta ile hedef nokta arasındaki mesafe şerit metre yardımıyla ölçülmüştür. Ölçümlere ait sonuçlar Çizelge 4.1'de verilmiştir.

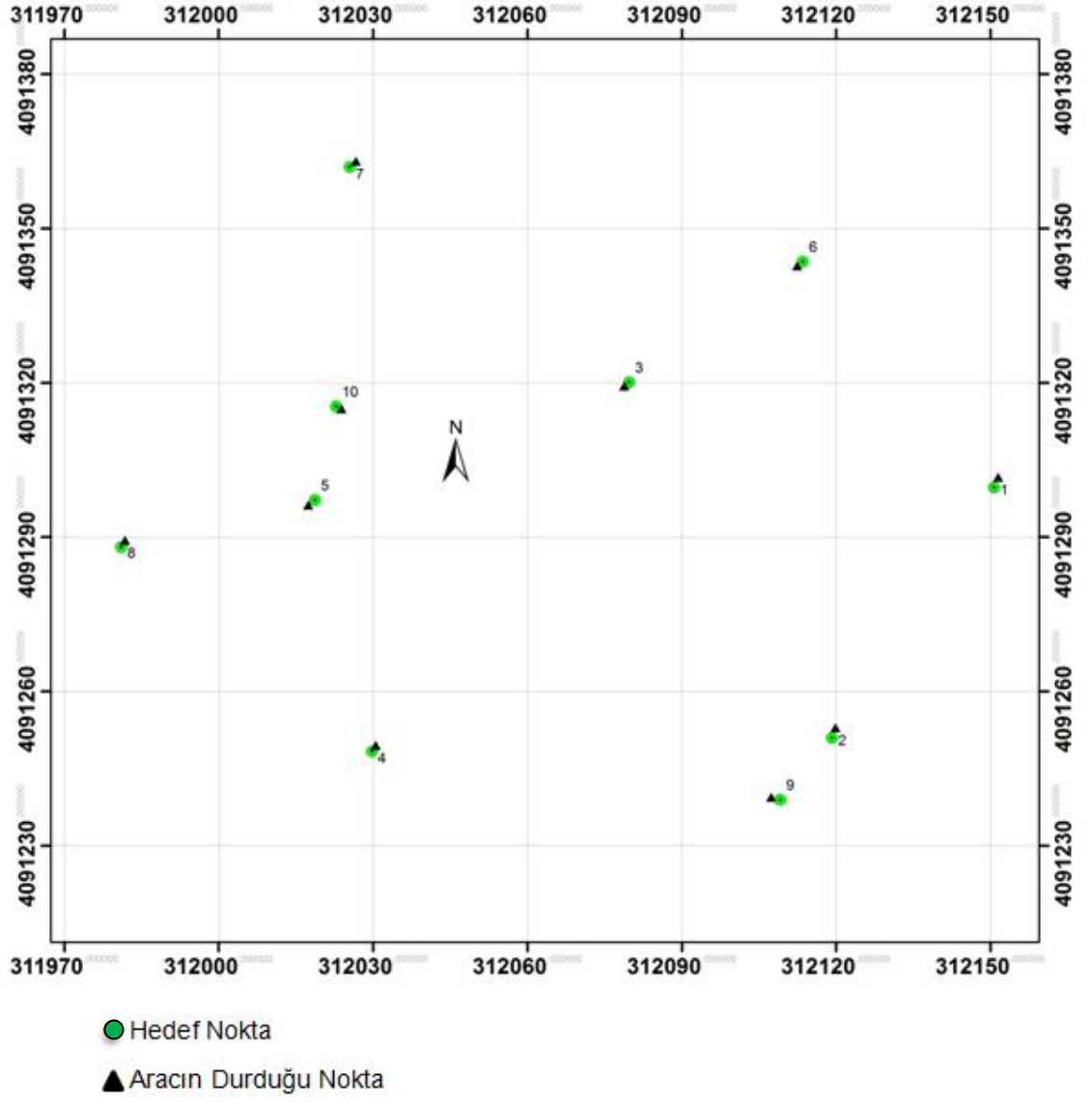
Çizelge 4.1. Doğrusal hedef nokta hata mesafeleri

Tekerrür	Mesafe (m)	Hata Mesafesi (cm)	Ortalama Hata (cm)	Standart Sapma
1		10.30		
2		11.20		
3		10.70		
4		10.50		
5	100	12.00	11.32	0.92
6		11.00		
7		13.00		
8		12.50		
9		10.50		
10		11.50		

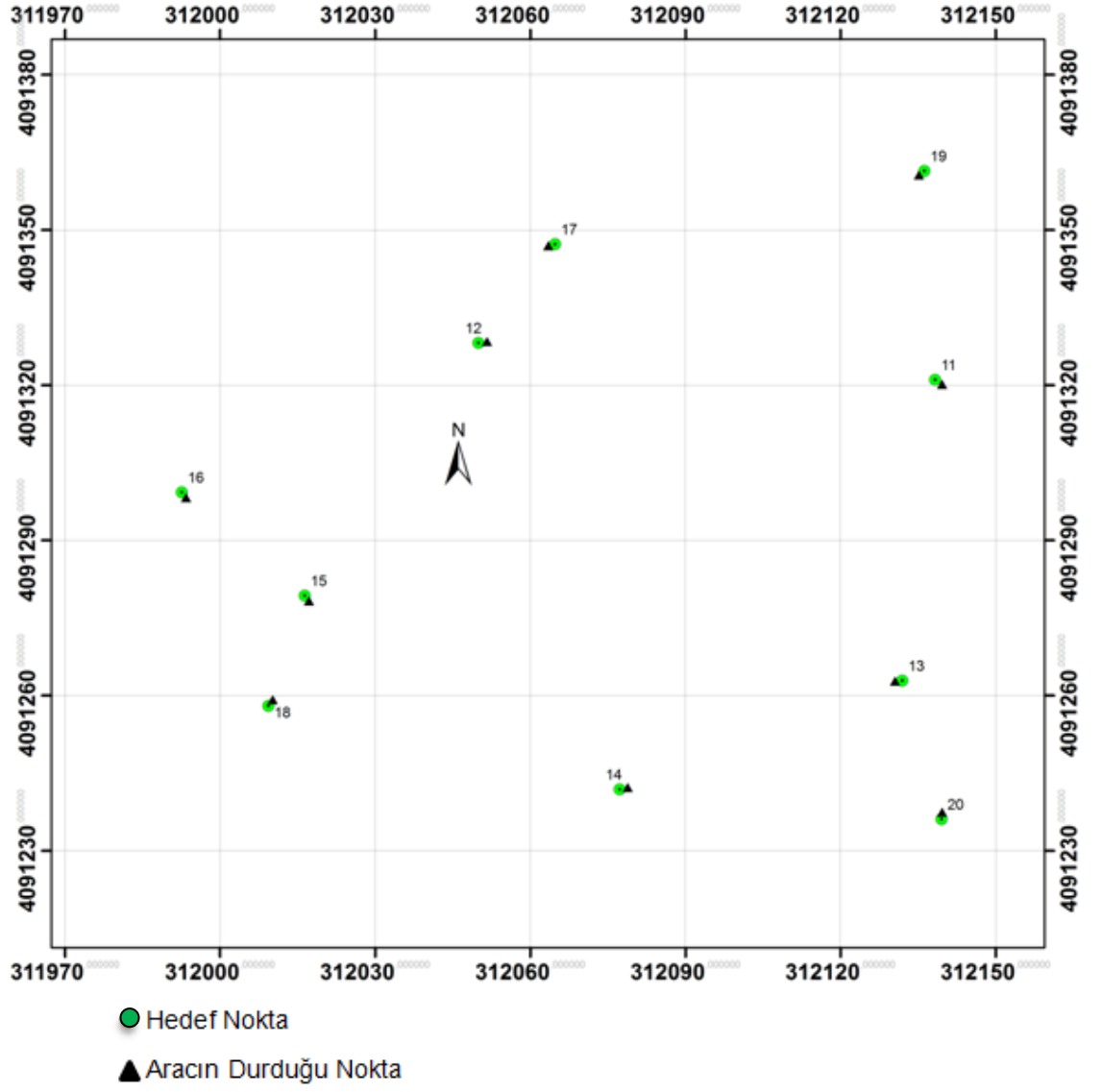
Sonuç olarak mobil robotun doğrusal bir hat üzerinde ortalama 11.32 cm hata mesafesiyle durduğu belirlenmiştir.

4.1.3. Dağınık hedef nokta hata oranları

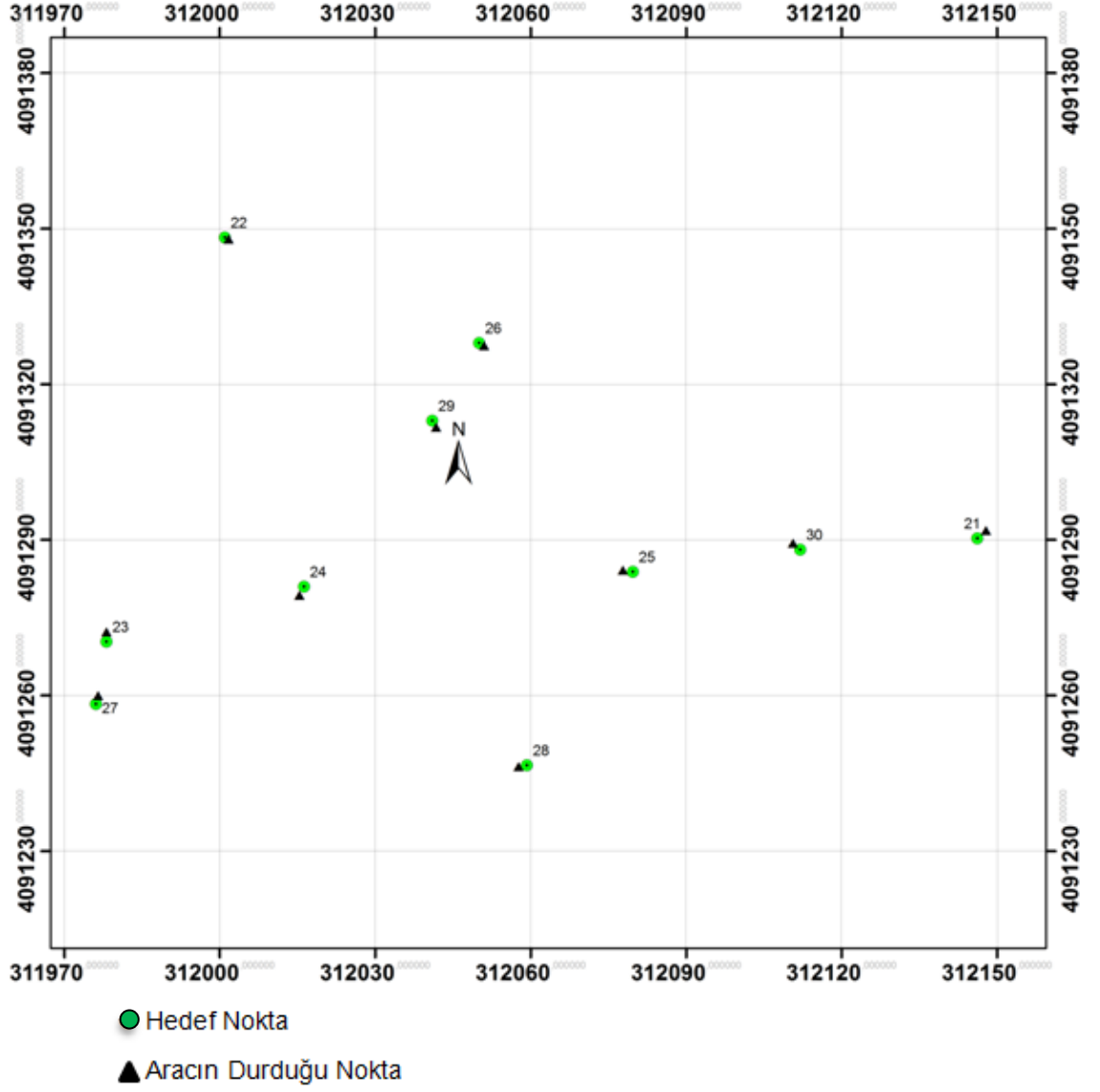
Dağınık hedef nokta hata oranlarının belirlenebilmesi amacıyla denemeler, iki farklı alanda üç tekerrür olacak şekilde yapılmıştır. Mobil robot, her bir tekerrür için dağınık olarak belirlenen 10 farklı nokta için çalıştırılmıştır. Mobil robotun her bir nokta için durduğu nokta ile hedef nokta arasındaki mesafe şeritmetre kullanılarak ölçülmüştür. İlk deneme BATEM'e ait alanda yapılmış olup deneme yapılan noktalara ait koordinat haritaları Şekil 4.1 - 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Deneme 1 Tekerrür 1 koordinat haritası

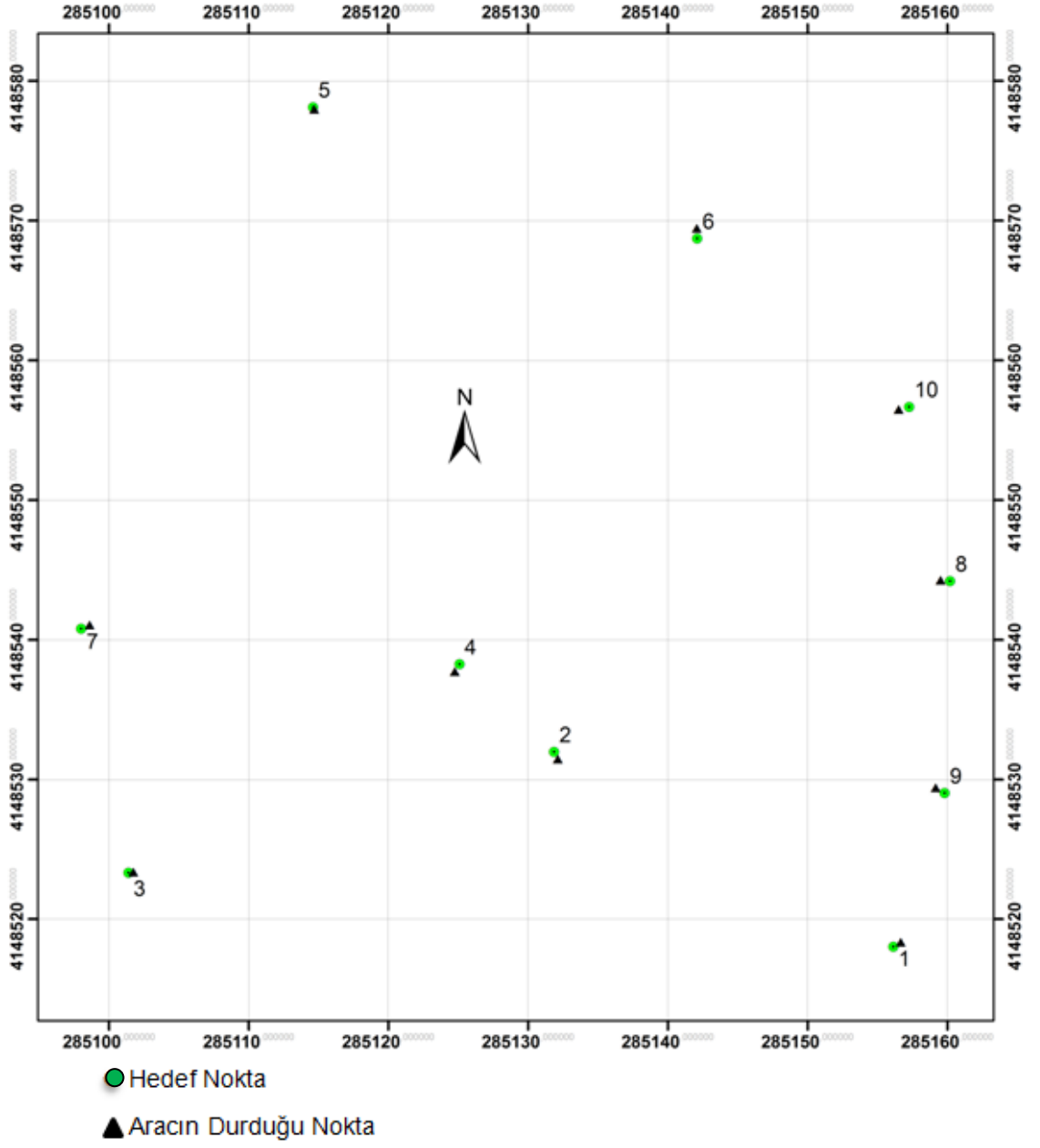


Şekil 4.2. Deneme 1 Tekerrür 2 koordinat haritası

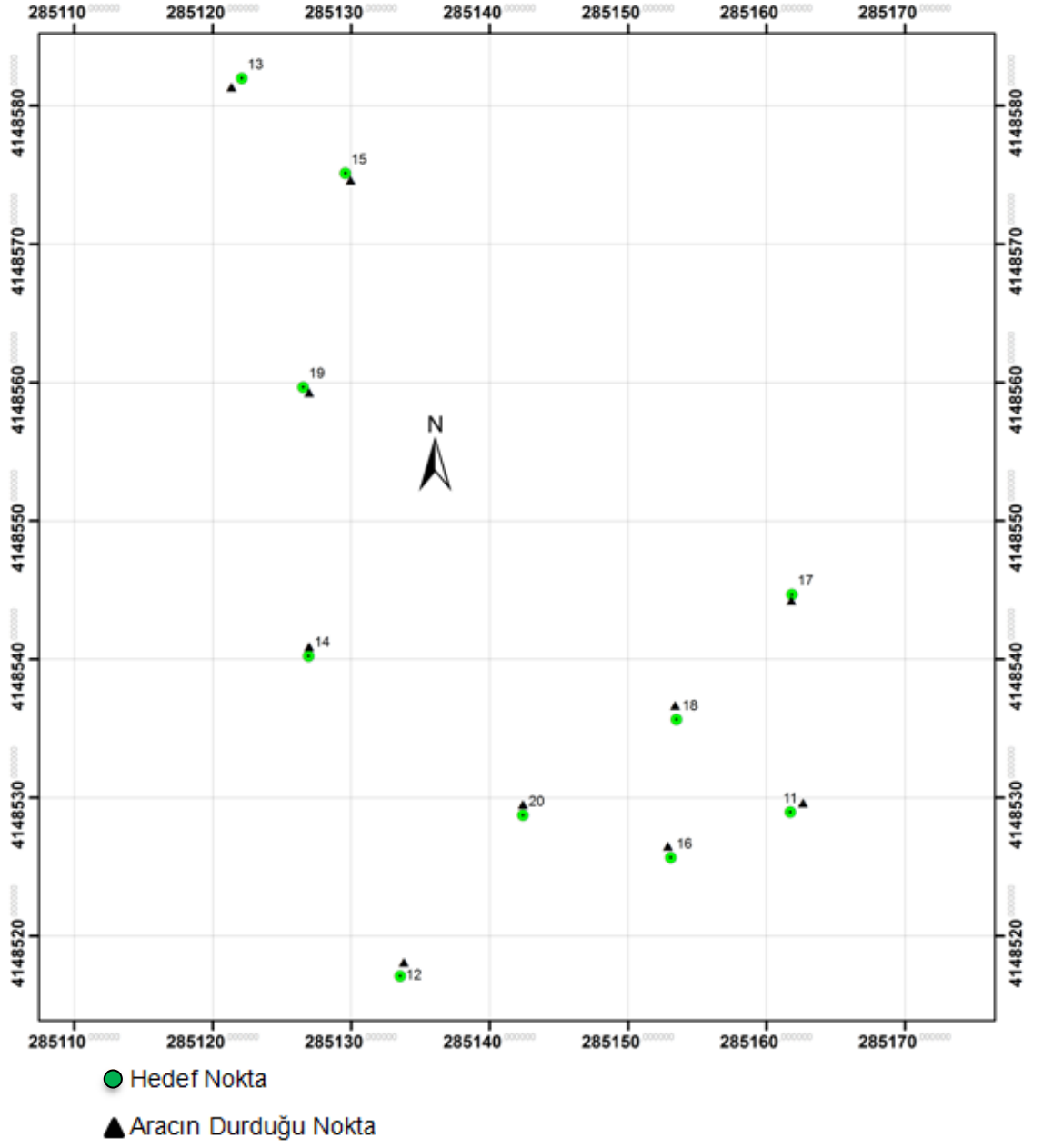


Şekil 4.3. Deneme 1 Tekerrür 3 koordinat haritası

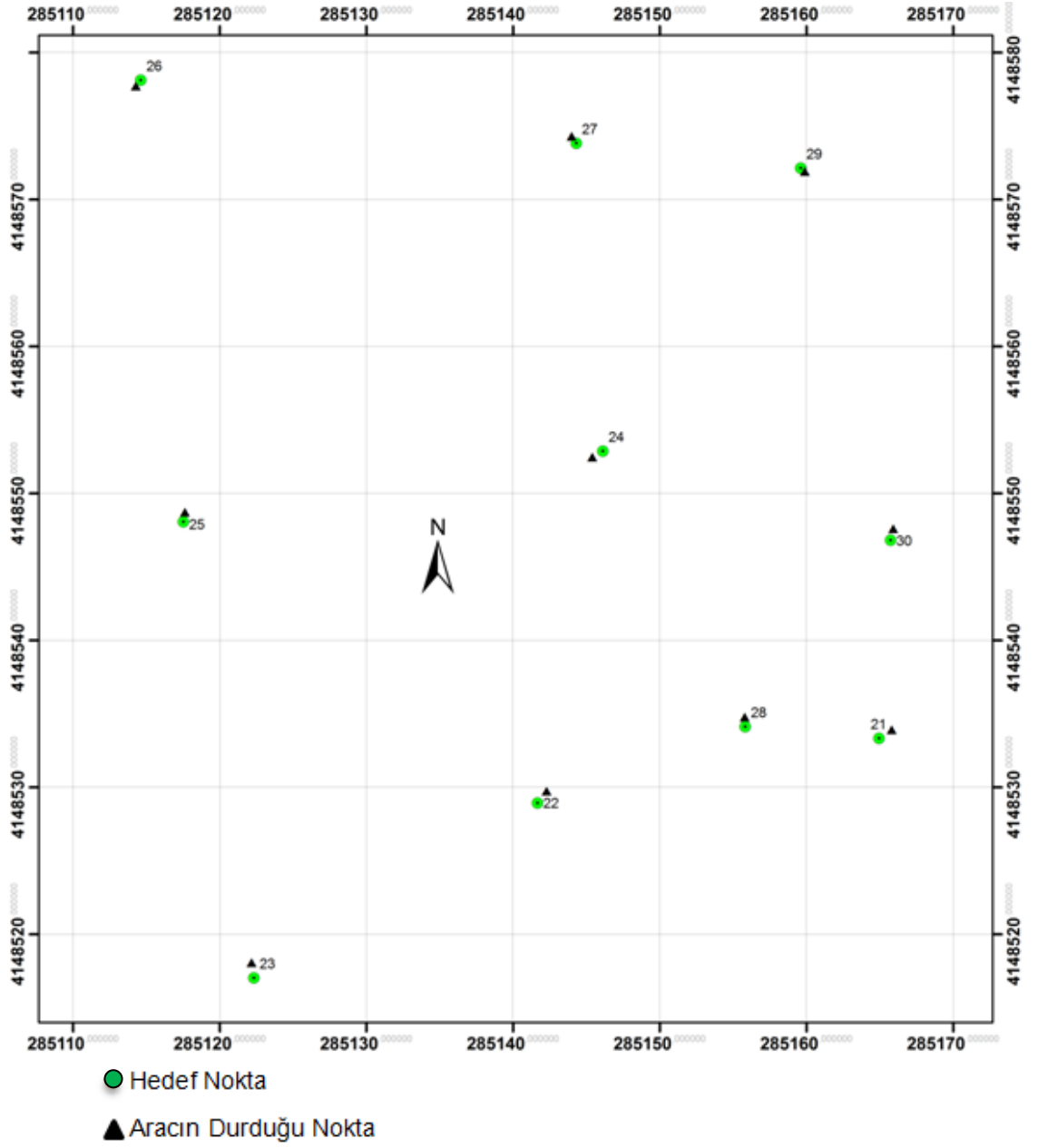
İkinci deneme Burdur Bucak ilçesinde bir alanda yapılmış olup deneme yapılan noktalara ait koordinat haritaları Şekil 4.4 – 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.4. Deneme 2 Tekerrür 1 koordinat haritası



Şekil 4.5. Deneme 2 Tekerrür 2 koordinat haritası



Şekil 4.6. Deneme 2 Tekerrür 3 koordinat haritası

Yapılan denemeler sonucunda, hedef nokta ile robotun durduğu noktalar şeritmetre yardımıyla ölçülmüştür. Ölçüm sonucunda elde edilen hata mesafeleri, ortalama hata mesafeleri ve standart sapma değerleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Dağılık hedef nokta hata mesafeleri

Deneme No	Hedef Nokta No	Tekerrür 1 Hata Mesafesi (cm)	Tekerrür 2 Hata Mesafesi (cm)	Tekerrür 3 Hata Mesafesi (cm)
DENEME 1	1	18.50	19.40	20.00
	2	17.60	16.50	13.50
	3	13.00	15.20	14.40
	4	13.50	16.70	16.10
	5	16.40	14.90	15.00
	6	15.00	16.00	14.90
	7	14.50	13.90	13.90
	8	15.50	13.60	14.10
	9	17.30	13.00	17.10
	10	14.10	12.80	16.00
Ortalama Hata (cm)		15.54	15.20	15.50
Standart Sapma (cm)		1.85	2.03	1.94
DENEME 2	1	14.70	14.30	15.70
	2	23.90	13.70	16.80
	3	16.20	13.50	17.50
	4	15.80	15.20	14.90
	5	17.30	15.00	14.10
	6	16.60	18.30	13.80
	7	15.00	17.60	14.00
	8	13.60	18.50	13.90
	9	18.10	16.50	14.30
	10	17.40	14.40	16.40
Ortalama Hata (cm)		16.86	15.70	15.14
Standart Sapma (cm)		2.83	1.89	1.37

Gerçekleştirilen her iki deneme sonucunda, mobil robotun dağınık olarak belirlenmiş hedef noktalara yaklaşım mesafesinin 15 – 17 cm, standart sapma değeri ise 1-3 cm arasında olduğu tespit edilmiştir.

Stombaugh vd (1999), çift çekir bir traktör için geliştirdikleri yönlendirme sisteminin ortalama hatasının 16 cm olduğunu bildirmişlerdir. Nagasaka vd (2004), çeltik fide dikim makinası için geliştirdikleri yönlendirme sisteminin hedef noktalardan maksimum 12 cm ve altında sapma gösterdiğini bildirmişlerdir. Guo ve Zhang (2004), arazi araçları için geliştirdikleri navigasyon sisteminin 30 – 50 cm arasında değışen hatalarla çalıştığını bildirmişlerdir. Kanjanaphachot vd (2011), tarımsal amaçlı olarak geliştirdikleri robot ve yönlendirme sisteminin hedef noktadan sapma değeri yaklaşık 20 cm civarında olduğunu bildirmişlerdir. Garcia vd (2011), tarımsal traktörlerin otonom olarak yönlendirilmesi sağlamak amacıyla geliştirdikleri navigasyon sisteminin 100 cm ve altında hata ile çalıştığını bildirmişlerdir. Nistala (2006), küçük tarım araçlarına yönelik olarak geliştirdiği navigasyon sisteminin maksimum hatasının 48 cm olduğunu, otonom araçlar için 25 – 30 cm arasındaki hataların toprak testi ve örnekleme işlemlerinde rahatlıkla kullanılabileceğini bildirmiştir.

Sonuç olarak bu araştırmada elde edilen hata değeri ile yapılan benzer çalışmalarda elde edilen değeri karşılaştırıldığında, bu araştırmada belirlenen sonuçların diğer çalışmalara ile benzerlik gösterdiğini görülmektedir.

4.2. Anız Yoğunluğu Ölçme İşlemi

Anız yoğunluğu ölçümü için, toprak yüzeyinde buğday anızı bulunan tarlalar kullanılmıştır. Tarla üzerinden hem geliştirilen görüntü işleme sistemi hem de bilinen bir yöntem olan kesişen hat yöntemi yardımıyla anız yoğunluğu verileri toplanmıştır. Denemeler, iki farklı deneme alanı ve zamanda gerçekteştirilmiştir. Her bir çalışma üç tekerrür olacak şekilde gerçekteştirilmiştir. Her bir tekerrür için 10 farklı GPS noktası belirlenmiştir. Her bir tekerrür için hem geliştirilen görüntü işleme yazılımı hem de kesişen hat yöntemi kullanılarak anız yoğunluğu oranları belirlenmiştir. Elde edilen veriler istatistiksel olarak incelenmiştir. Son olarak, her bir deneme içerisindeki tekerrürler birleştirilerek, deneme yapılan tarlara ait anız yoğunluğu haritaları oluşturulmuştur. Tarla yüzeyinden elde edilen resimler Ek – 4’de verilmiştir.

4.2.1. Görüntü işleme ve kesişen hat yöntemi kullanılarak elde edilen anız yoğunluğu verileri

Görüntü işleme ve kesişen hat yöntemi kullanılarak elde edilen anız yoğunluğu değerleri Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Denemelere ait anız yoğunluğu değerleri

Deneme No	Hedef Nokta No	Tekerrür 1		Tekerrür 2		Tekerrür 3	
		G.İ.Y Oran (%)	K.H Oran (%)	G.İ.Y Oran (%)	K.H Oran (%)	G.İ.Y Oran (%)	K.H Oran (%)
		DENEME 1					
	1	95.91	98.00	84.48	86.00	96.68	100.00
	2	93.91	96.00	94.63	96.00	92.91	96.00
	3	94.09	98.00	95.28	100.00	80.36	76.00
	4	89.47	90.00	90.66	92.00	87.84	90.00
	5	85.20	86.00	94.15	96.00	98.25	100.00
	6	94.75	96.00	90.38	90.00	90.65	96.00
	7	93.43	94.00	96.77	98.00	85.88	86.00
	8	92.09	92.00	98.64	100.00	80.20	86.00
	9	90.75	92.00	82.20	84.00	90.76	90.00
	10	94.69	98.00	90.97	92.00	88.95	96.00
Korelasyon				0.93			
DENEME 2							
	1	94.18	96.00	85.39	80.00	94.83	98.00
	2	92.30	92.00	94.31	88.00	94.24	98.00
	3	89.10	88.00	98.44	100.00	97.20	98.00
	4	93.24	96.00	97.37	100.00	95.19	98.00
	5	93.58	94.00	80.93	84.00	94.44	96.00
	6	86.08	88.00	93.29	98.00	93.78	96.00
	7	88.64	84.00	94.16	98.00	89.43	92.00
	8	91.01	88.00	84.98	86.00	98.30	98.00
	9	90.59	92.00	90.17	86.00	95.18	98.00
	10	89.63	88.00	90.49	94.00	97.89	98.00
Korelasyon				0.87			

G.İ.Y: Görüntü İşleme Yöntemi K.H: Kesişen Hat

Her bir deneme için 30 nokta üzerinden görüntü işleme ve kesişen hat yöntemlerinde elde edilen değerler arasındaki korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Hesaplama sonucunda, birinci denemede 0.93, ikinci denemede ise 0.87 değerleri bulunmuştur. Bulunan bu değerler, görüntü işleme yönteminin anız yoğunluğu belirleme işleminde güvenle kullanılabileceğini göstermektedir. Çizelge 4.4’de her iki denemeye ait istatistikî veriler gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Denemelere ait istatistikî veriler

Deneme No	Nokta Sayısı	Görüntü işleme			Kesişen hat		
		Oran (%)	Std. Sapma	Std. Hata	Oran (%)	Std. Sapma	Std. Hata
1	30	91.16	5.00	0.91	93.00	5.77	1.05
2	30	92.28	4.25	0.78	93.00	5.63	1.03

Her bir deneme için görüntü işleme ve kesişen hat yöntemi ile elde edilen anız yoğunluğu değerleri arasında istatistiksel olarak farklılık olup olmadığının incelenmesi için veriler üzerine bağımsız örnek t testi uygulanmıştır. Gerçekleştirilen t testine ait sonuçlar Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5. T testi sonuçları

Deneme No	df	t	P
1	58	1.317	0.193
2	58	0.560	0.578

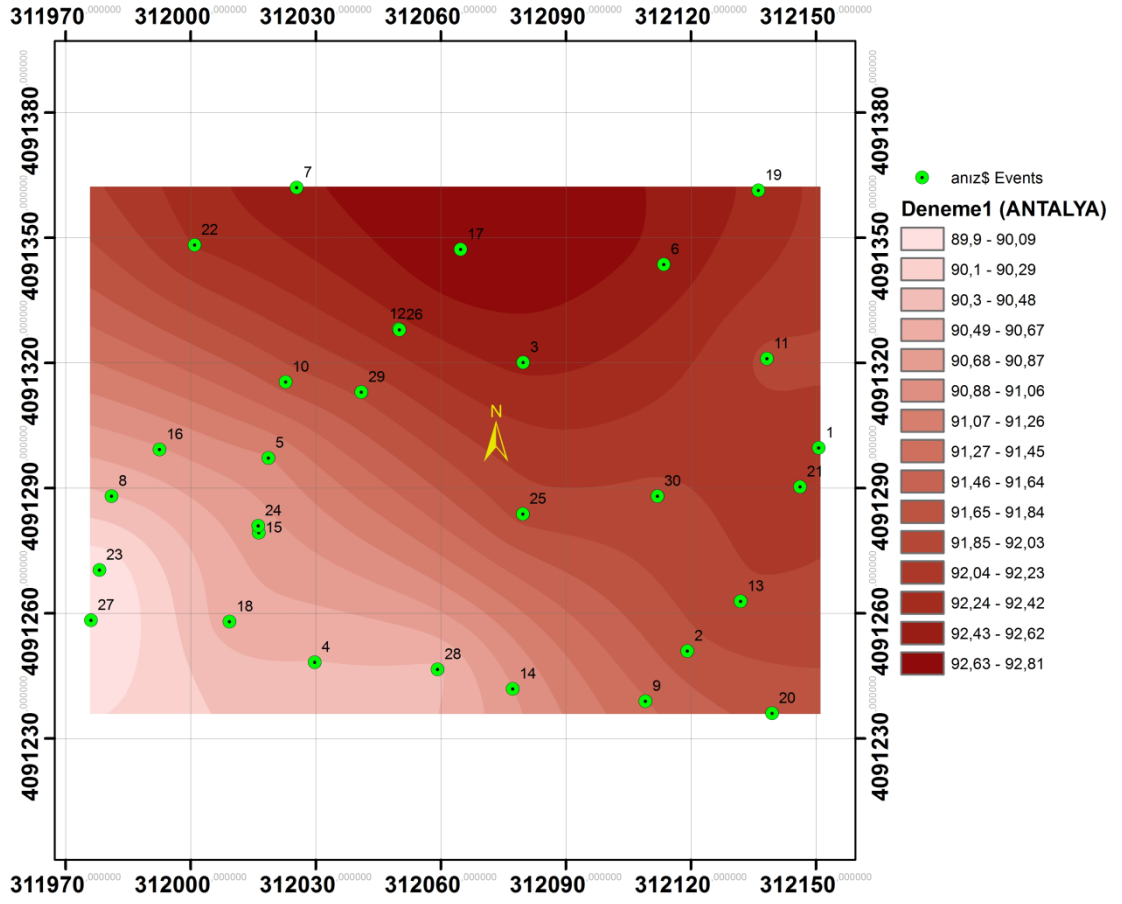
Her bir deneme için gerçekleştirilen bağımsız örnek t testi sonuçlarına göre hem görüntü işleme hem de kesişen hat yöntemine göre elde edilen anız yoğunluğu oranları arasında %95 güvenirlilik seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı bir farkın olmadığı belirlenmiştir ($P > 0.05$).

Karabacak (2007), tarla yüzeyindeki bitki yüzey artığı kaplama oranını belirleyebilmek için görüntü işleme yönteminden yararlanmış ve kesişen hat yöntemi ile karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda, her iki yöntemin istatistiksel olarak %95 güvenilirlik seviyesinde anlamlı ilişkilerinin olduğunu, görüntü işleme yöntemi ile bitki yüzey artığı belirleme işleminin başarılı sonuçlar verdiğini bildirmiştir. Ribeiro vd (2011), bitki kalıntılarının toprak yüzeyi kaplama alanını belirlemek için iki farklı görüntü işleme yöntemini karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda her iki yöntemin %92'den daha fazla benzer sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir. Pforte ve Hansel (2010), anlık olarak toprak yüzeyindeki anız yoğunluğunu belirlemek için geliştirdikleri ölçme ve görüntü işleme sistemi ile görsel olarak yapılan standart yoğunluk belirleme yöntemini karşılaştırmışlardır. Yapılan karşılaştırma sonucunda her iki yöntem arasındaki Pearson korelasyonununun 0.967 olduğunu bildirmişlerdir.

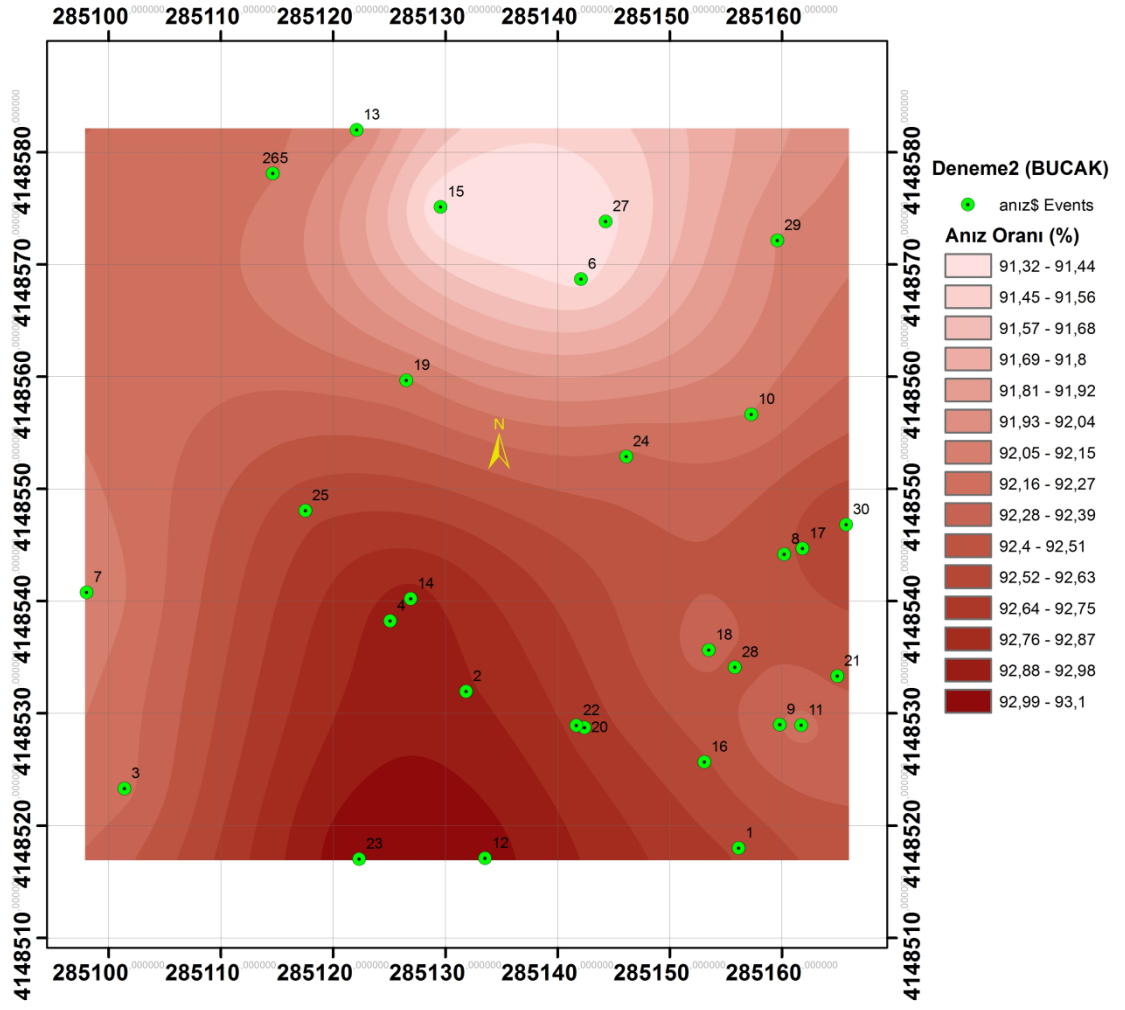
Çalışma sonucunda geliştirilen görüntü işleme yöntemi ve denemeler sonucu elde edilen değerler, literatürde yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında benzer sonuçları ortaya koymaktadır. Sonuç olarak geliştirilen görüntü işleme yöntemi ile anız yoğunluğu belirleme işleminin güvenilir olduğu söylenebilir.

4.2.2. Anız yoğunluğu haritalarının oluşturulması

Denemeler sonucunda, her bir deneme için gerçekleştirilen tekerrürlerde elde edilen veriler birleştirilerek anız yoğunluğu haritaları oluşturulmuştur. Her bir tekerrür için kullanılan 10 nokta birleştirilerek toplamda 30 noktaya ait anız yoğunluğu verileri ArcGis 9.3 haritalama programına aktarılarak haritalar elde edilmiştir. Şekil 4.7'de birinci deneme için kullanılan tarlaya ait anız yoğunluğu haritası gösterilmiştir. Şekil 4.8'de ise ikinci denemeye ait oluşturulan anız yoğunluğu haritası gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Birinci deneme için kullanılan tarlaya ait anız yoğunluğu haritası



Şekil 4.8. İkinci deneme için kullanılan tarlaya ait anız yoğunluğu haritası

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Otonom olarak hareket edebilen tarım makinesi tasarımı, tarım sektörü için ve özellikle hassas tarım teknolojisinde önemli bir atılım olmasının yanı sıra son zamanlarda yapılan araştırma ve geliştirme çalışmalarının odak noktasını oluşturmaktadır. Bu çalışmada, GPS konum verileri kullanma yeteneğine sahip, noktadan noktaya otonom olarak hareket edebilen bir mobil robot ve yönlendirme sistemi geliştirilmiştir. Ayrıca geliştirilen mobil robot üzerine, görüntü işleme yöntemi yardımıyla toprak yüzeyindeki anız yoğunluğunu tespit eden bir sistem tasarlanarak yerleştirilmiştir. Araştırma kapsamında mobil robot, doğrusal bir hat üzerindeki tek bir hedef noktaya ve dağınık olarak belirlenen birden çok hedef noktaya tekerrürlü şekilde otonom olarak ilerletilmiş ve yönlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, mobil robotun ulaştığı nokta ile hedef nokta arasındaki farklar belirlenmiştir. Ayrıca, mobil robot üzerine yerleştirilen görüntü işleme sistemi yardımıyla tarla yüzeyinden anız görüntüleri alınarak anız yoğunluğu belirlenmiştir. Elde edilen tüm sonuçlar üzerinde istatistiki analizler yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca gelecekte yapılacak olan çalışmalar için öneriler de açıklanmıştır.

1. GPS verilerine göre hem otonom hem de manuel olarak kontrol edilebilen, odak noktası tarımsal amaçlı olup farklı alanlarda da kullanılabilir yapıya sahip bir mobil robot geliştirilmiştir.
2. Mobil robot, doğrusal olan tek bir hedefe ortalama 10 - 12 cm, dağınık olarak belirlenmiş olan hedeflere ortalama 15 - 17 cm hatayla ulaşabilmektedir. Robot dağınık hedeflere, doğrusal olan tek bir hedefe göre yaklaşık 5 cm farkla ilerlemektedir. Bu fark robot yönlendirme algoritmasından kaynaklanmaktadır. Dağınık hedefler için GPS alıcısından gelen heading açısına göre yönlendirme yapılması bu farkın oluşmasına neden olmaktadır. Ancak, robot üzerine elektronik pusulalar yerleştirilerek bu farkın giderilebileceği öngörülmektedir.
3. Mobil robotun tarla üzerindeki çalışmasına işlevsellik kazandırmak amacıyla görüntü işleme yöntemi kullanılarak anız yoğunluğu belirlemeye yönelik bir

yazılım geliştirilmiştir. Mobil robot üzerine yerleştirilen yüksek çözünürlüklü dijital fotoğraf makinası ile elde edilen resimlerin işlenerek iki farklı tarlaya ait anız yoğunluğu oranları belirlenmiştir. Elde edilen değerlerin doğruluğunu test etmek için bilinen bir yöntem olan kesişen hat yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Deneme yapılan birinci tarlada, 30 nokta üzerinden görüntü işleme yöntemi ile %91.16, kesişen hat yöntemi ile %93 oranında anız yoğunluğu belirlenmiştir. İkinci tarlada ise, yine 30 nokta üzerinden görüntü işleme yöntemi ile %92.28, kesişen hat yöntemi ile %93 oranında anız yoğunluğu belirlenmiştir. Her iki denemeye ait sonuçlar istatistiksel olarak t testine tabi tutulmuştur. Birinci deneme için, her iki yönteme ait sonuçların birbirinden istatistiksel olarak farklılık göstermediği tespit edilmiştir ($P = 0.193$). İkinci denemede ise, aynı şekilde iki yönteme ait sonuçların birbirinden istatistiksel olarak farklılık göstermediği tespit edilmiştir ($P = 0.578$). Buna göre, görüntü işleme yöntemi belirli bir alanı, kesişen hat yöntemi ise doğrusal bir hat üzerindeki anız yoğunluğunu belirlemesi nedeni ile görüntü işleme yönteminin daha güvenilir ve kesin sonuç verdiği düşünülmektedir.

4. Mobil robot 250 kg kütleyle, yaklaşık 900 kg taşıma kapasitesine sahiptir. Bu ağırlığın tarımsal amaçlı otonom robotlar ve toprak yüzeyinde tutunma gerektiren işlemler için uygun olduğu düşünülmektedir. Ayrıca geliştirilen robotun bir taşıyıcı olarak da kullanılabilmesi öngörülmektedir.
5. Geliştirilen robotun, mevcut motor, redüktör ve tekerlek özellikleri ile maksimum 4 km/h ilerleme hızında çalıştığı gözlemlenmiştir. Ayrıca her bir tekerlek için üretilen tork miktarı 103 Nm olarak belirlenmiştir. Robota ait hız, güç ve ağırlık değerleri dikkate alındığında, toprak penetrasyon direnci ölçümü, toprak üzerinden örnek alınması gibi birçok işlemde kolaylık sağlayabileceği düşünülmektedir. Mevcut özellikleri ile elde edilen ilerleme hızı, robotun geldiği istikamete 3 m çapında daire oluşturarak dönmesini sağlamaktadır. Robot üzerindeki redüktörlerin daha düşük transmisyon oranlarına sahip redüktörlerle değiştirilmesi ile güç düşürülüp hız arttırılabilecektir. Bu sayede, robotun geldiği istikamete geri dönüş çapı daha düşük değerlere indirilebilecektir. Geliştirilen

robotun her bir tekerleğine motor ve redüktör takılarak dönüş çapı daha da düşürülebilecektir.

6. Çalışmada, robot ile uzak bilgisayar arasında veri haberleşmesi için 3G modem kullanılmıştır. Oluşabilecek herhangi bir bağlantı kopukluğu esnasında aracın otomatik olarak durdurulup, bağlantı geldiğinde tekrar çalıştırılması client yazılıma yerleştirilen bir algoritma ile sağlanmıştır. Denemeler esnasında dikkate değer bir bağlantı kopukluğu yaşanmamıştır. Ancak, bazı noktalarda veri iletişim hızının zayıfladığı görülmüştür. Ayrıca yüksek gerilim hattının bulunduğu noktalarda 3G kapsam alanının kaybolduğu gözlemlenmiştir.
7. Robot tüm enerjisini 3 adet 72 Ah kapasiteli kuru akülerden almaktadır. Yapılan teorik hesaplamalar sonucunda robotun 4 saat kesintisiz çalışabileceği belirlenmiştir. Ancak, pratikte robot yaklaşık 6 saat boyunca çalıştırılmıştır. Mobil robot, enerjisini güneşten almak için güneş panelleri yerleştirilerek, hareket ettirilmesine olanak sağlayacak yapıdadır. Robot üzerine yerleştirilecek güneş panelleri ile belirtilen çalışma süresinin daha da arttırılabileceği öngörülmektedir.
8. Robot için kullanılan motor kontrol kartı, iki adet yüksek güçlü DC motoru kontrol etme özelliğine sahiptir. Kullanılan kartın üzerinde bulunan giriş portlarına, 8 adet küçük servo motor da bağlanabilmektedir. Motor kartının özelliklerine bağlı olarak, robot üzerine farklı mekanik parçalar takılarak kontrol edilebilir ve hareketlendirilebilir. Bu sayede robot, toprak veya bitki üzerinden örnek toplama veya ilaçlama yapabilme gibi fonksiyonlar eklenebilme olanaklarına sahiptir.
9. Mobil robotun izlenebilmesi ve hareketlendirilebilmesi için ofis ortamında bir bilgisayara ihtiyaç bulunmaktadır. Ancak cep telefonlarının teknolojisindeki gelişim ve yaygın kullanımı dikkate alındığında, mobil robot için geliştirilen server yazılımının akıllı telefonlara adaptasyonu sağlanabilir.

Sonuç olarak, günümüzde yurt dışında yoğun olarak çalışılmakta olan otomatik dümenleme ve otonom olarak GPS verilerine göre hareket edebilen tarımsal amaçlı bir robot ülkemizde ilk defa tasarlanmıştır. Geliştirilen mobil robotun, ilerleme ve yönlendirme metodolojisi farklı makinalar için kullanılabilir bir veri tabanı kaynağı oluşturabileceği düşünülmektedir. Mobil robotun tarla üzerinde GPS verilerine bağlı olarak yönlendirilmesi için geliştirilen navigasyon yazılımı, sürücüsüz traktör uygulamaları için kaynak oluşturma özelliğine sahiptir. Toprak için gerekli organik maddelerin önemli bir kaynağını oluşturan ve koruyucu toprak işlemede önemli bir ölçüt olan anız yoğunluğunun görüntü işleme yöntemi ile tespit edilmesi konu ile ilgili literatüre önemli katkılar sağlayacaktır. Ayrıca, geliştirilen robotun bu özellikleriyle ülkemizde mera alanlarında kaplama oranının belirlenmesi amacıyla kullanılabilmesi düşünülmektedir. Geliştirilen robot üzerine farklı veri toplama sistemleri monte edilerek, toprak ve bitki bünyesine ait özelliklerin belirlenmesinde kolaylık sağlayabilecektir.

6. KAYNAKLAR

- AKTAN, C.C., ve TUNÇ, M. 1998. Bilgi Toplumu ve Türkiye. *Yeni Türkiye Dergisi*, 118-134.
- ALKAN, R.M. 1998. Prezisyonlu Hidrografik Çalışmalar için GPS Yöntemi ile Bat-Çık (Heave) Etkisinin Giderilmesi. Doktora tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- ARCHER, D.W., HALVORSON, A.D. and REULE, C.A. 2008. Economics of irrigated continuous corn under conventional-till and no-till in northern Colorado. *Agron. J.*, 100: 1166–1172.
- AYDIN, Ö., AYKUT, N.O., AKPINAR, B. ve ATA, E. 2005. RTK GPS Yöntemiyle Kıyı Çizgisinin Ölçülmesi. 5.Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, 5-7 Mayıs, Bodrum.
- AYKAS, E., YALÇIN, H. ve ÇAKIR, E. 2005. Koruyucu Toprak İşleme Yöntemleri ve Doğrudan Ekim. *Ege Üniv. Ziraat. Fak. Derg.*, 42(3):195-205.
- BEK, Y., CEBECİ, Z. 1993. Tarımsal üretim ve araştırmalarda görüntü işleme sistemleri. *T.K.B. Tarım ve Köy Dergisi*, 84: 18-20.
- BLACKMORE, B.S., GRIEPENTROG, H.W. 2002. A future view of precision farming. In: Proceedings 'Precision Agriculture Tage. Germany, KTBL, Darmstadt. 38: 131-145.
- BLACKMORE, B.S., STOUT, W., WANG, M. and RUNOV, B. 2005. Robotic agriculture – the future of agricultural mechanisation. 5th European Conference on Precision Agriculture. ed. J. Stafford, V. The Netherlands, Wageningen Academic Publishers. 621-628.
- BUL E, GELEN, G., ALTUN, H. 2005. Görüntü İşlemeye Dayalı Tarımsal Ürün Sınıflandırma. Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 11. Ulusal Kongresi. 22-25 Eylül 2005, İstanbul.
- BURCHAM, N.T. and LEE, P. 1999. Autonomous Robot for Locating and Eradicating Pests in Agricultural Systems. http://www.asta.msstate.edu/2002/Projects/Engineering/02_12.pdf

- CAUSARANO, H.J., DORAISWAMY, P.C., MCCARTY, G.W., HATFIELD, J.L., MILAK, S. and STERN, A.J. 2008. EPIC modeling of soil organic carbon sequestration in croplands of Iowa. *J. Environ. Qual.*, 37: 1345–1353.
- CAUSARANO, H.J., FRANZLUEBBERS, A.J., REEVES, D.W. and SHAW, J.N. 2006. Soil organic carbon sequestration in cotton production systems of the southeastern United States: A review. *J. Environ. Qual.*, 35: 1374–1383.
- CEBECİ, Z., BEK, Y. PEKEL, E. 1992. Görüntü işleme sistemlerinin hayvansal üretim ve kalite kontrolünde kullanım olanakları. Trakya Bölgesi 1. Hayvancılık Sempozyumu, 8-9 Ocak 1992, Tekirdağ. Hasad Yayıncılık: Hayvancılık Serisi 2: 153-164.
- CORDESSES, L., THUILOT, B., MARTINET, P., and CARIOU, C. 2000. Curved path following of a farm tractor using a CP-DGPS. Proceedings of the 6th IFAC Symposium on Robot Control (SYROCO'00). Vienna, Austria, 489-494.
- CORRIGAN, T.M., HARTRANFT, J.F., LEVY, L.J., PARKER, K.E, PRITCHETT, J.E., PUE, A.J., PULLEN, S. and THOMPSON, T. 1999. GPS Risk Assessment Study Final Report, The Jhon Hopkins University, Applied Physics Laboratory, Laurel, MD.
- COX, S. 2002. Information Technology: The Global Key to Precision Agriculture and sustainability. *Computers and Electronics in Agriculture*, 36: 93-111.
- DOĞRU, A.Ö. ve ULUĞTEKİN, N. 2005. CBS Uygulaması Olarak Araç Navigasyon Sistemleri. Ege Üniversitesi CBS Sempozyumu, İzmir, 175-181 ss.
- ECK, J.K., HILL, R.P. and WILCOX, R.J. 2001. Estimating corn and soybean residue cover. <http://www.agry.purdue.edu>. Erişim Tarihi: 23.03.2012.
- EL-RABBANY, A. 2002. Introduction To GPS: Global Positioning System. Artech House, Boston, Londra, 1, 76s.
- EREN, K., UZEL, T. 1995. GPS Ölçmeleri. Yıldız Teknik Üniversitesi Matbaası, Yayın No: 301, İstanbul.
- GARCIA, S.A, GIL, J.G. and ARRIBAS, J.I. 2011. Evaluation of the use of low-cost GPS receivers in the autonomous guidance of agricultural tractors, *Spanish Journal of Agricultural Research*. 9 (2): 377-388.

- GERRISH, J.B., FEHR, G.R., VAN, G.R., and WELCH, D.P. 1997. Self-steering tractor guided by computer vision. *Applied Engineering in Agriculture.*, Vol. 13.
- GÖKNUR-DURSUN, İ. 2002. Bitki yüzey artığı kaplama oranının belirlenmesinde kullanılan yöntemler. *Türk – Koop Ekin*, 6 (21): 60-65.
- GUNASEKARAN, S. 2001. Non-Destructive Food Evaluation Techniques to Analyze Properties and Quality, Food Science and Technology. Vol:105, Marcel Decker, New York.
- GUO, S.L. AND ZHANG, Q. 2004. A Low-Cost Navigation System for Autonomous Off-Road Vehicles. ASAE Publication Number: 701P1004.
- GÜLER, M., KARA, T. 2005. Hassas Uygulamalı Tarım Teknolojisine Genel Bir Bakış. *OMÜ Zir. Fak. Derg.*, 20 (3): 110-117.
- HICKMAN, J.S. and SCHOENBERGER, D.L. 1989. Soybean residue. <http://www.oznet.ksu.edu>. Erişim Tarihi: 23.03.2012.
- HOFFMANN, W., LICHTENEGGER, H. and COLLINS, J. 2001. GPS - Theory and Practice. Springer. Netherlands. Cilt No: 42, Sayı No: 4, 572 s.
- JEON, H.Y., TIAN, L.F. and ZHU, H. 2011. Robust Crop and Weed Segmentation under Uncontrolled Outdoor Illumination. *Sensors*, 11: 6270-6283.
- KABAŞ, Ö., ÖZMERZİ, A. 2010. Balo Tipi Dolmalık Biberin Bazı Fiziksel Özelliklerinin Görüntü İşleme Yöntemiyle Belirlenmesi. *Tarımsal Mekanizasyon 26. Ulusal Kongresi*, 22-23 Eylül, Hatay.
- KAHVECİ, M. 2009. Kinematik GNSS ve RTK CORS Ağları. Zerpa Yayıncılık, Ankara.
- KAHVECİ, M. ve YILDIZ, F. 2001. GPS (Global Konum Belirleme Sistemi), Teori ve Uygulama. Nobel Yayın, Ankara, 182 ss.
- KAISI, A.M., HANNA, M. and TIDMAN, M. 2002. Methods for measuring crop residue. <http://www.ipm.iastate.edu>. Erişim Tarihi: 23.03.2012.

- KANJANAPHACHOAT, C., HSIEH, K.J., CHENG, C.T., SHI, H.M. 2011. Combining a differential global positioning system and double electric compass to improve multi-path error correction for a high-precision agricultural robotic vehicle. *Maejo Int. J. Sci. Technol.* 5 (02): 169-180.
- KARABACAK H. 2007. Bitki yüzey artığı kaplama oranının görüntü işleme tekniğiyle belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi (yayınlanmamış). Ankara Üniversitesi, 66 ss.
- KEEFE, P.D. 1992. A dedicated wheat grain image analyzer. *Plant Varieties and Seeds*, 5: 27-33.
- KLINE, R. 2000. Estimating crop residue cover for soil erosion control. <http://www.agf.gov.bc.ca>. Erişim Tarihi: 23.03.2012.
- KOLLER, K. 2003. Conservation tillage-technical, ecological and economic aspects. Koruyucu Toprak İşleme ve Doğrudan Ekim Çalıştayı Bildiriler Kitabı. ISBN 975-483-601-9. İzmir.
- KORUCU, T. 2003. Ürün artık belirleme yöntemleri. Tarımsal Mekanizasyon 21. Ulusal Kongresi, 3-5 Eylül, Konya, 293-301.
- LANGLEY, R.B. 1998. RTK GPS. *GPS World*, September, 70 s.
- MCCARTHY, J.R. 1993. Conservation tillage and residue management to reduce soil erosion. <http://muextension.missouri.edu>. Erişim Tarihi: 08.06.2011.
- MCGINNIS, L. 2007. Show me the money: Why economics is essential for sustainable agriculture. *Agric. Res.*, 55: 8–11.
- MEKİK, Ç. 2001. Gerçek Zamanlı Kinematik GPS, Seminer Çalışması, ZKÜ, Zonguldak.
- MIZUSHIMA, A., NOGUCHI, N. and ISHII, K. 2004. Automatic Navigation of Agricultural Vehicle Using a Low Cost Attitude Sensor. ASAE Publication Number 701P1004.
- NAGASAKA, Y., UMEDA, N., KANETAI, Y., TANIWAKI, K. and SASAKI, Y. 2004. Autonomous guidance for rice transplanting using global positioning and gyroscopes. *Computer and Electronics in Agriculture*, 43 (3), 223-234.

- NEUMAN, M.R., SAPIRSTEIN, H. D., SHWEDYK, E. and BUSHUK, W. 1989. Wheat grain colour analysis by digital image processing. II. Wheat Class Discrimination Journal of Cereal Science. 10: 183-188.
- NISSEN, F., HVAS, A., SWENDSEN, J. and BRODERSEN, L. 2003. Small-Display Cartography, GiMoDig Scientific Report.
- NISTALA, G.J. 2006. Development of an Inexpensive Guidance System for Agricultural Purposes, M. Sc. Thesis, Louisiana State University, 112 pp.
- NMEA 0183 1998. Standard for Interfacing Marine Electronic Devices, Version 2.30, National Marine Electronics Association
- NOGUCHI, N., REID, J.F., ZHANG, Q., WILL, J.D., and ISHII K. 1999. Development of Robot Tractor Based on RTK-GPS and Gyroscope. ASAE Annual International Meeting, Sacramento, California.
- NOGUCHI, N., KISE, M., ISHII, K., and TERAOKA, H. 2002. Field Automation Using Robot Tractor. ASAE Publication Number: 701P0502.
- OLLIS, M. 1997. Perception Algorithms for a Harvesting Robot. Ph.D. thesis, Carnegie-Mellon University.
- PARKINSON, B. and SPILKER, J.J. 1995. GPS: Theory and Applications. Vols. 1. American Institute of Aeronautics and Astronautics. Washington D.C.
- PAUDEL, K.P., LOHR, L. and CABRERA, M. 2006. Residue management systems and their implications for production efficiency. *Renewable Agric. Food Syst.*, 21: 124–133.
- PFORTE, F. and HANSEL, O. 2010. Development of an algorithm for online measurement of percent residue cover. *Biosystems Engineering*, 106: 260 – 267.
- PILARSKI, T., HAPPOLD, M., PANGELS, H., OLLIS, M., FITZPATRICK, K. and STENTZ, A. 2002. The demeter system for automated harvesting. *Autonom. Rob.*, 13: 9–20.

- POWELL, N. B. 2006. Agricultural Robotics Using Absolute Position Sensors on a Zero Turning Radius Platform. Ph.D. Thesis (unpublished), North Carolina State University. 142 pp.
- REID J.F., ZHANG Q., NOGUCHI N., DICKSON M. 2000. Agricultural automatic guidance research in North America. *Comput Electron Agric.*, 25(1-2): 155-167.
- REID, J.F. and SEARCY, S.W. 1988. An Algorithm for Separating Guidance Information from Row Crop Images. *Transactions of the ASAE*, 31 (6) : 1624-1632.
- REMONDI, B.W. 1984. Using The Global Positioning System (GPS) Phase Observable for Relative Geodesy Modelling Processing and Results. Ph.D.Thesis (unpublished), The University of Texas.
- RIBEIRO, A., RANZ, J., ARTIZZU, X.P.B., PAJARES, G., SANCHEZ DEL ARCO, M.J. and NAVARRETE, L. 2011. An Image Segmentation Based on a Genetic Algorithm for Determining Soil Coverage by Crop Residues. *Sensors*, 11: 6480-6492.
- ROBERT, P.C., RUST, R.H., and LARSON, W.E. 1995. Preface. In: Proceedings of site-specific management for agricultural systems. Minneapolis, Minnesota, Robert, P.C., Rust, R.H. and Larson, W.E. (Eds.). American Society of Agronomy. Madison, WI.
- RTCM 1990. Recommended Standards for Differential NAVSTAR GPS Service, Version 2.0, Radio Technical Commission for Maritime Services, Paper No. 134-89/CS 104-68, January 1990.
- RUSHING, K. 1971. Developing the driverless tractor. *Agricultural Engineering*, 52 (5): 260-262.
- SCHAFFER, R. L. and YOUNG R. E. 1979. Automatic Guidance-System for Tractors. *Transactions of the ASAE.*, 22 (1), 46-49,56.
- SHAW, M., SANDHOO, K. and TURNER D. 2000. Modernization of the Global Positioning System. *GPS World.*, 11(9): 36-44.
- SISSONS, R. 1939. Plowing in Circles Saves Time. *Prarie Farmer* (20), 7.

- STOLL, A., and H.D. KUTZBACH. 2000. Guidance of a forage harvester with GPS. *Precision Agriculture*, 2 (3): 281-291.
- STOMBAUGH, T.S., and SHEARER, S. A. 2001. DGPS-Based Guidance of High-Speed Application Equipment. ASAE Paper Number: 01-1190.
- STOMBAUGH, T.S., BENSON, E.R. and HUMMEL, J.W. 1999. Guidance Control of Agricultural Vehicles at High Field Speeds. *Transactions of the ASAE.*, 42(2): 537-544.
- SUN, D.W. 2003. Computer Vision: An Objective, Rapid and Non-Contact Quality Evaluation Tool for the Food Industry. *Journal of Food Engineering.*, 61: 1-2.
- TROOEN, T.P. and HEERMANN, D.F. 1992. Measurement and simulation of potato leaf area using image processing. I. Model Development. *Transactions of the ASAE*, 35 (5): 1709-1712.
- TÜRKER, U. ve GÜÇDEMİR, İ. 2004. Atatürk Orman Çiftliğinde Nadas-Tahıl Sisteminde Küçük Ölçekli Alansal Değişkenliğin Hassas Tarım Teknolojilerinden Yararlanarak Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 10(3): 305-312.
- VATANDAŞ, M., GÜNER, M. ve TÜRKER, U. 2005. Hassas Tarım Teknolojileri. Ziraat Mühendisliği VI. Teknik Kongresi, 3-7 Ocak, Ankara 347-365 ss.
- VEGA, A.N. 2001. Development Of A Real-Time Proximity Warning And 3D Mapping System Based On Wireless Networks, Virtual Reality Graphics, And Gps To Improve Safety In Open-Pit Mines. Mining Engineering Department Colorado School of Mines Golden, CO, U.S.A., 149 s.
- WANG, H.H., SUN, D.W. 2002. Correlation between cheese meltability determined with a computer vision method and with Arnott and Schreiber. *Journal of Food Science.*, 67(2): 745-749.
- WELLS, D.E., BECK, N., DELIKARAOĞLU, D., KLEUSBERG, A., KRAKIWSKY, E. J., LACHAPPELLE, G., LANGLEY, R.B., NAKIBOĞLU M, SCHWARZ, K.P., TRANQUILLA, J. M., and VANICEK, P. 1987. Guide To GPS Positioning. Canadian GPS Associates, Fredericton. New Brunswick, 503 s.

- WILES, L.J. 2011. Software to quantify and map vegetative cover in fallow fields for weed management decisions. *Computers and Electronics in Agriculture.*, 78: 106–115.
- WILLRODT, F.L. 1924. Steering attachment for tractors. US.
- WILSON J.N. 2000. Guidance of agricultural vehicles – a historical perspective. *Comput Electron Agric.*, 25(1-2): 3-9.
- WOLLENHAUPT, N. 1993. Estimating residue: line transect method. <http://www.extension.missouri.edu>. Erişim Tarihi: 23.03.2012.
- WOLLENHAUPT, N. and PINGRY, J. 1990. Estimating residue using the line-transect method. <http://learningstore.uwex.edu>. Erişim Tarihi: 23.03.2012.
- WYSOCKI, D. 1988. Measuring residue cover. <http://pnwsteep.wsu.edu>. Erişim Tarihi: 23.03.2012.
- ZHALKA, A. 2010. Precision Agriculture - The future is here (and the journey is just beginning)!", Topcon Precision Agriculture. <http://www.topconpositioning.com/news-events/single/item/precision-agriculture-the-future-is-here-and-the-journey-is-just-beginning/>
- ZOGG, J.M. 2002. GPS Basics – Introduction to the System Application Overview. U-Blox AG, Switzerland, 94 ss.

7. EKLER

EK – 1 Geliştirilen server yazılıma ait kodlar

```
Imports System.Threading.Thread
<Microsoft.VisualBasic.ComClass()> Public Class Form1

    Dim sistemkontrol As String
    Dim motorjoystick As SByte
    Dim motorjoystickdurum As Byte

    Dim baglan As New
    SqlConnection("Server=188.59.58.17;Database=mk;User
ID=sa;Password=1")
    Dim baglan1 As New
    SqlConnection("Server=188.59.58.17;Database=mk;User
ID=sa;Password=1")
    Dim baglanjostick As New
    SqlConnection("Server=188.59.58.17;Database=mk;User
ID=sa;Password=1")

    'Dim baglan As New
    SqlConnection("Server=ILKERUNAL\ILKERUNAL;Database=mk;Use
r ID=sa;Password=1")
    'Dim baglan1 As New
    SqlConnection("Server=ILKERUNAL\ILKERUNAL;Database=mk;Use
r ID=sa;Password=1")
    'Dim baglanjostick As New
    SqlConnection("Server=ILKERUNAL\ILKERUNAL;Database=mk;Use
r ID=sa;Password=1")

    Dim adapjoystick As New SqlConnection.SqlDataAdapter("select * from
mk", baglanjostick)
    Dim dsjoystick As New DataSet
    Dim adap As New SqlConnection.SqlDataAdapter("select * from aniz",
baglan)
    Dim kom As New SqlConnection.SqlCommand
    Dim kom1 As New SqlConnection.SqlCommand
    Dim ds As New DataSet
    Dim cbul As New SqlConnection.SqlCommandBuilder(adap)
    Dim gelen As String
    Dim heading, hiz As Double
    Dim azimuth As Double
    Dim utmx, utmy As Double
    Dim hedefx, hedefy As Double
    Dim kayıt As Boolean = False
    Const A = 6378137 'a (earth radius-m)
    Dim PI As Double = 3.1415927
    Const k0 = 0.9996 'coeff.d'aplatissement de la terre
    Const e = 0.081819190842 '0.8 excentricité
    Const eccSquared = 0.00669437999 '0.0064 carré de
l'excentricité
    Const eccPrimeSquared = 0.006739496742 '0.007
```

```

Const North_South_Offset = 10000000 'décalage NS pour toujours
manipuler des données positives l'équateur a la valeur
'10000km quand on va vers le Sud
Const East_West_Offset = 500000 'Le
Dim Deg_Long As Double
Dim Min_Long As Double
Dim Sec_Long As Double
Dim Deg_Lat As Double
Dim Min_Lat As Double
Dim Sec_Lat As Double
Dim DirEW
Public DirNS
Dim Zone_Number
Dim X_North_south
Dim Y_East_West
'Intermediate data
Dim b, f, deg_RAD, longrad, FormuleLong, FormuleLat, FormuleNS
As Double
Dim longi, longo, lat, longdeg_origin, longradorigin As Double
Dim sinlat, sin2lat, coslat, tanlat, n1, n2, n3, n4, n5, T, C,
A0 As Double
Dim Aprime, Bprime, Cprime, Dprime, Eprime, M, N As Double

Public Sub ConvUTM3(ByVal DirEW, ByVal DirNS, ByVal Deg_Long,
ByVal Min_Long, ByVal Sec_Long, ByVal Deg_Lat, ByVal Min_Lat, ByVal
Sec_Lat)
'Intermediate
b = A - A / 298.2572
deg_RAD = (2 * PI) / 360
FormuleLong = ((Deg_Long) + (Min_Long) / 60 + (Sec_Long) /
3600) * deg_RAD
FormuleLat = ((Deg_Lat) + ((Min_Lat) / 60) + ((Sec_Lat) /
3600)) * deg_RAD
'Détermination du signe de longitude
If DirEW = "E" Then
    longi = FormuleLong
Else
    longi = -1 * FormuleLong
End If
'Détermination du signe de latitude
If DirNS = "N" Then
    lat = FormuleLat
Else
    lat = -1 * FormuleLat
End If
'Calcul du numéro de la Zone
If Deg_Long = 180 Then
    Zone_Number = 1
Else
    If DirEW = "E" Then
        Zone_Number = Int((Deg_Long / 6) + 31)
    Else
        Zone_Number = Math.Abs(Int((Deg_Long) / 6) - 30)
    End If
End If
'Calcul de l'origine (centre) de la Zone

```



```

longdeg_origin = ((Zone_Number - 1) * 6) - 180 + 3
longo = (longdeg_origin) * deg_RAD
'Calculs de géométrie
sinlat = Math.Sin(lat)
sin2lat = Math.Sin(lat) * Math.Sin(lat)
coslat = Math.Cos(lat)
tanlat = Math.Tan(lat)
T = Math.Tan(lat)
N = A / Math.Sqrt(1 - eccSquared * sin2lat)
C = eccPrimeSquared * coslat * coslat
A0 = coslat * (longi - longo)
n1 = (A - b) / (A + b)
n2 = n1 * n1
n3 = n2 * n1
n4 = n3 * n1
n5 = n4 * n1
Aprime = A * (1 - n1 + (5 / 4) * (n2 - n3) + (81 / 64) *
(n4 - n5))
Bprime = (3 * A * n1 / 2) * (1 - n1 + (7 / 8) * (n2 - n3) +
(55 / 64) * (n4 - n5))
Cprime = (15 * A * n2 / 16) * (1 - n1 + (3 / 4) * (n2 -
n3))
Dprime = (35 * A * n3 / 48) * (1 - n1 + (11 / 16) * (n2 -
n3))
Eprime = (315 * A * n4 / 51) * (99 / 144) * (n2 - n3)
M = Aprime * lat - Bprime * Math.Sin(2 * lat) + Cprime *
Math.Sin(4 * lat) - Dprime * Math.Sin(6 * lat) + Eprime *
Math.Sin(8 * lat)
FormuleNS = (k0 * (M + N * tanlat * (A0 * A0 / 2 + (5 - T +
9 * C + 4 * C * C) * A0 * A0 * A0 * A0 / 24 + (61 - 58 * T + T * T
+ 600 * C - 330 * eccPrimeSquared) * A0 * A0 * A0 * A0 * A0 * A0 /
720)))
'Output data
If lat < 0 Then
    X_North_south = North_South_Offset + FormuleNS
Else
    X_North_south = FormuleNS
End If
Y_East_West = (k0 * N * (A0 + (1 - T + C) * A0 * A0 * A0 /
6 + (5 - 18 * T + T * T + 72 * C - 58 * eccPrimeSquared) * A0 * A0
* A0 * A0 * A0 / 120) + East_West_Offset)
End Sub

Public Sub sonrakisira()
    Label16.Text = Label16.Text + 1
End Sub
Dim hedefvarmı As Boolean = False
Public Sub hedefal()
    Try
        hedefvarmı = False
        kom.Connection = baglan
        kom.CommandText = "select hedefx, hedefy from anız
where sıra=" & Label16.Text
        Dim dr As SqlClient.SqlDataReader
        baglan.Open()
        dr = kom.ExecuteReader

```

```

        Do While dr.Read = True
            hedefvarmı = True
            hedefx = dr(0)
            hedefy = dr(1)
        Loop
        baglan.Close()
        If hedefvarmı = False Then
            Timer4.Enabled = False
            Timer2.Enabled = False
            Labell16.Text = "1"
        End If
    Catch
        Labell18.Text = Err.Description
        baglan.Close()
    End Try
End Sub

Public Sub aktifyap()
    Try
        kom.Connection = baglan
        kom.CommandText = "update anız set aktif=0"
        baglan.Open()
        kom.ExecuteNonQuery()
        kom.CommandText = "update anız set aktif=1 where sıra="
& Labell16.Text
        kom.ExecuteNonQuery()
        baglan.Close()
    Catch
        Labell18.Text = Err.Description
        baglan.Close()
    End Try
End Sub

Private Sub Form1_FormClosing(ByVal sender As Object, ByVal e
As System.Windows.Forms.FormClosingEventArgs) Handles
Me.FormClosing
    SerialPort2.Close()
End Sub

Private Sub Form1_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal e
As System.EventArgs) Handles MyBase.Load
    Try
        SerialPort2.Open()
        For Each sp As String In
My.Computer.Ports.SerialPortNames
            ComboBox1.Items.Add(sp)
        Next
        Call listeyukle()
        kom.Connection = baglan
        kom.CommandText = "select min(sıra) from anız"
        baglan.Open()
        'Labell16.Text = kom.ExecuteScalar
        baglan.Close()
    Catch
        Labell18.Text = Err.Description
    End Try
End Sub

```

```

        End Try
    End Sub

    Public Sub listeyukle()
        Try
            ds.Clear()
            adap.Fill(ds, "aniz")
            DataGrid1.DataSource = ds.Tables("aniz")
        Catch
            Label18.Text = Err.Description
        End Try
    End Sub

    Private Sub Button1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles Button1.Click
        Try
            If Button1.Text = "START" Then
                SerialPort1.PortName = ComboBox1.Text
                SerialPort1.BaudRate = ComboBox2.Text
                Timer1.Interval = Val(ComboBox3.Text)
                SerialPort1.Open()
                Timer1.Enabled = True
                Button1.Text = "STOP"
            Else
                kayit = False
                Timer1.Enabled = False
                SerialPort1.Close()
                Button1.Text = "START"
            End If
        Catch
            Label18.Text = Err.Description
        End Try
    End Sub

    Private Sub Timer1_Tick(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles Timer1.Tick

        'konum almak
        Try
            gelen = SerialPort1.ReadLine
            Dim ayrık() As String
            ayrık = gelen.Split(",")
            If ayrık(0) = "$GPRMC" Then
                Deg_Long = Convert.ToDouble(Mid(ayrık(5), 1, 3))
                Min_Long = Convert.ToDouble(Mid(ayrık(5), 4, 2))
                Sec_Long = Convert.ToDouble("0." & Mid(ayrık(5), 7,
6)) * 60

                Deg_Lat = Convert.ToDouble(Mid(ayrık(3), 1, 2))
                Min_Lat = Convert.ToDouble(Mid(ayrık(3), 3, 2))
                Sec_Lat = Convert.ToDouble("0." & Mid(ayrık(3), 6,
6)) * 60

                DirEW = "E"
                DirNS = "N"
                Call ConvUTM3(DirEW, DirNS, Deg_Long, Min_Long,
Sec_Long, Deg_Lat, Min_Lat, Sec_Lat)
                utmy = Convert.ToDouble(X_North_south)
            End If
        Catch
            Label18.Text = Err.Description
        End Try
    End Sub

```

```

        utmx = Convert.ToDouble(Y_East_West)
        hız = Convert.ToDouble(ayrık(7)) * 1.852
        heading = ayrık(8)
        Label6.Text = heading
        If kayıt = True Then
            Call hareket_kaydet()
        End If
        Label4.Text = utmx
        Label5.Text = utmy

    End If
Catch
    Label18.Text = Err.Description
End Try
End Sub

Public Sub hareket_kaydet()
    Try
        kom1.Connection = baglan1
        kom1.CommandText = "update hareket set utmx=" & utmx &
",utmy=" & utmy & ",hız=" & hız & ",heading=" & heading
        baglan1.Open()
        kom1.ExecuteNonQuery()
        baglan1.Close()
    Catch
        baglan1.Close()
        Label18.Text = Err.Description
    End Try
End Sub

Private Sub MotorTestİşlemiToolStripMenuItem_Click(ByVal sender
As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
MotorTestİşlemiToolStripMenuItem.Click
    Dim f2 As New Form2
    f2.Show()
End Sub

Public Sub resimcek()
    System.Diagnostics.Process.Start(Application.StartupPath &
"\CanonSDK\CanonSDKSample\CanonSDKSample\bin\Debug\CanonSDKSample.e
xe")
End Sub
Private Sub Button5_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal
e As System.EventArgs) Handles Button5.Click
    Call resimcek()
    'Timer2.Enabled = True
End Sub

Private Sub Button2_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal
e As System.EventArgs) Handles Button2.Click
    kayıt = True
End Sub

Private Sub Button4_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal
e As System.EventArgs) Handles Button4.Click

```

```

        'adap.Update(ds.Tables("aniz"))
        Call listeyukle()
    End Sub

    Private Sub Button6_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal
e As System.EventArgs) Handles Button6.Click
        Try
            kom.Connection = baglan
            kom.CommandText = "select max(sıra) from aniz"
            Dim densıra As Integer
            baglan.Open()
            densıra = kom.ExecuteScalar
            baglan.Close()
            kom.Connection = baglan
            kom.CommandText = "insert into
aniz(sıra,hedefx,hedefy,aniz,aktif) values(" & densıra + 1 & "," &
Label4.Text & "," & Label5.Text & ",0,0)"
            baglan.Open()
            kom.ExecuteNonQuery()
            baglan.Close()
            Call listeyukle()
        Catch
            Dim densıra As Integer = 0
            baglan.Close()
            kom.Connection = baglan
            kom.CommandText = "insert into
aniz(sıra,hedefx,hedefy,aniz,aktif) values(" & densıra + 1 & "," &
Label4.Text & "," & Label5.Text & ",0,0)"
            baglan.Open()
            kom.ExecuteNonQuery()
            baglan.Close()
            Call listeyukle()
            Label18.Text = Err.Description
        End Try
    End Sub

    Private Sub Button3_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal
e As System.EventArgs) Handles Button3.Click
        otokontrol = True
        System.Threading.Thread.Sleep(5000)
        Call aktifyap()
        Call hedefal()
        If hedefvarmı = True Then
            Call ilkhareket()
        End If
        'hedefnoktaya gelindiğinde işler bittiğinde sırasıyla
sonrakisıra, aktifyap ve hedefal prosedürleri çalıştırılmalıdır
    End Sub

    Public Sub res_isle_aniz_bul()
        Try
            PictureBox1.Image =
System.Drawing.Bitmap.FromFile("D:\aniz_resim\" & Label16.Text &
".jpg")
            Call PureBW(PictureBox1.Image)
        End Try
    End Sub

```

```

        PictureBox2.Image =
System.Drawing.Bitmap.FromFile("D:\aniz_resim\sb" & Label16.Text
& ".jpg")
        Call resimisle()
        PictureBox1.Image =
System.Drawing.Bitmap.FromFile("D:\aniz_resim\" & Label16.Text &
".jpg")
        kom.Connection = baglan
        kom.CommandText = "update aniz set aniz=" &
TextBox1.Text & " where sira=" & Label16.Text
        baglan.Open()
        kom.ExecuteNonQuery()
        baglan.Close()
    Catch
        baglan.Close()
        Label18.Text = Err.Description
    End Try
End Sub
Enum BWMode
    By_Lightness
    By_RGB_Value
End Enum
Public Function PureBW(ByVal image As System.Drawing.Bitmap,
Optional ByVal Mode As BWMode = BWMode.By_Lightness, Optional ByVal
tolerance As Single = 0) As System.Drawing.Bitmap
    Try
        Dim xx As Integer
        Dim yy As Integer
        If tolerance > 1 Or tolerance < -1 Then
            Throw New ArgumentOutOfRangeException
            Exit Function
        End If
        For xx = 0 To image.Width - 1 Step 1
            For yy = 0 To image.Height - 1 Step 1
                Dim clr As Color = image.GetPixel(xx, yy)
                If Mode = BWMode.By_RGB_Value Then
                    If (CInt(clr.R) + CInt(clr.G) +
CInt(clr.B)) > 383 - (tolerance * 383) Then
                        image.SetPixel(xx, yy, Color.White)
                    Else
                        image.SetPixel(xx, yy, Color.Black)
                    End If
                Else
                    If clr.GetBrightness > 0.5 - (tolerance /
2) Then
                        image.SetPixel(xx, yy, Color.White)
                    Else
                        image.SetPixel(xx, yy, Color.Black)
                    End If
                End If
            Next
        Next
        image.Save("D:\aniz_resim\sb" & Label16.Text &
".jpg")
        Return image
    Catch

```

```

        Label18.Text = Err.Description
    End Try
End Function
Public Sub resimisle()
    Dim sayresim As Long
    Dim clr As New Color()
    Dim iresim, jresim As Integer
    sayresim = 0
    Dim bmp As Bitmap
    Try
        bmp = PictureBox2.Image
        For iresim = 0 To Val(PictureBox2.Image.Size.Width) - 1
            For jresim = 0 To
Val(PictureBox2.Image.Size.Height) - 1
                clr = bmp.GetPixel(iresim, jresim)

                If Convert.ToByte(clr.B.ToString) = 255 And
Convert.ToByte(clr.G.ToString) = 255 And
Convert.ToByte(clr.R.ToString) = 255 Then
                    sayresim = sayresim + 1
                End If
            Next
        Next
        Dim toplamresim As Long
        toplamresim = Val(PictureBox2.Image.Size.Width) *
Val(PictureBox2.Image.Size.Height)
        TextBox1.Text = (100 * sayresim) / toplamresim
    Catch
        Label18.Text = Err.Description
    End Try
End Sub

Private Sub Timer2_Tick(ByVal sender As System.Object, ByVal e
As System.EventArgs) Handles Timer2.Tick
    'resim işleme
    Timer2.Enabled = False
    Call res_isle_aniz_bul()
    System.Threading.Thread.Sleep(15000)
    Call sonrakisıra()
    Call listeyukle()
    Button3_Click(sender, New System.EventArgs()) 'yeni hedef
için hareketin başlamsı
End Sub
Dim otokontrol As Boolean = False
Private Sub Timer3_Tick(ByVal sender As System.Object, ByVal e
As System.EventArgs) Handles Timer3.Tick
    If My.Computer.Network.IsAvailable = False Then
        Timer4.Enabled = False
        Label18.Text = "bağlantı yok"
        Call aracdur()
    Else
        'Label18.Text = hedefx & " " & hedefy
        'joystick kontrolü
        Try
            Call listeyukle()
            dsjoystick.Clear()
        End Try
    End If
End Sub

```

```

        adapjoystick.Fill(dsjoystick, "mk")
        DataGridView1.DataSource = dsjoystick.Tables("mk")
        sistemkontrol = DataGridView1(4, 0).Value.ToString
        motorjoystick = DataGridView1(2, 0).Value.ToString
        motorjoystickdurum = DataGridView1(3,
0).Value.ToString
        If sistemkontrol = "Manuel" Then
            If motorjoystickdurum = 3 Then
                Timer4.Enabled = False
                otokontrol = False
                Call motorverigonder(motorjoystick,
motorjoystick)

                ElseIf motorjoystickdurum = 4 Then
                    Call motorverigonder(40, 127)
                ElseIf motorjoystickdurum = 5 Then
                    Call motorverigonder(127, 40)
                ElseIf motorjoystickdurum = 2 Then
                    Call motorverigonder(0, 0)
                End If
            ElseIf sistemkontrol = "Auto" Then
                If otokontrol = False Then
                    Button3_Click(sender, New
System.EventArgs()) 'yeni hedef için hareketin başlamsı
                    End If
                End If
            End If

            Catch
                Label18.Text = (Err.Description)
            End Try
        End If
    End Sub

    Private Sub Timer4_Tick(ByVal sender As System.Object, ByVal e
As System.EventArgs) Handles Timer4.Tick
        Try
            Call hedefal()
            Call aracquadrantbul()
            Call hedefquadrantbul()
            Call hareketbelirle()
            'Call dogrugit()
            Call mesafebul()
        Catch
            Label18.Text = Err.Description
        End Try
    End Sub

    Dim aracquadrant As Byte
    Dim hedefquadrant As Byte

    Public Sub aracquadrantbul()
        If heading >= 0 And heading < 90 Then
            aracquadrant = 1
        ElseIf heading >= 90 And heading < 180 Then
            aracquadrant = 2
        ElseIf heading >= 180 And heading < 270 Then
            aracquadrant = 3
        End If
    End Sub

```



```

ElseIf (heading >= 270 And heading < 360) Then
    aracquadrant = 4
Else
    aracquadrant = 5
End If
End Sub

Dim azimuthx As Double
Dim acıfarkı As Double
Dim hedefmesafe As Double

Public Sub hedefquadrantbul()
    azimuthx = Math.Atan2((hedefx - utmx), (hedefy - utmy)) *
(180 / Math.PI)
    If azimuthx < 0 Then
        azimuth = 360 + azimuthx
    Else
        azimuth = azimuthx
    End If
    Label7.Text = azimuth
    If azimuth >= 0 And azimuth < 90 Then
        hedefquadrant = 1
    ElseIf azimuth >= 90 And azimuth < 180 Then
        hedefquadrant = 2
    ElseIf azimuth >= 180 And azimuth < 270 Then
        hedefquadrant = 3
    ElseIf azimuth >= 270 And azimuth < 360 Then
        hedefquadrant = 4
    Else
        hedefquadrant = 5
    End If
End Sub

Public Sub hareketbelirle()
    If (aracquadrant = 1 And hedefquadrant = 2) Or
(aracquadrant = 1 And hedefquadrant = 3) Or (aracquadrant = 2 And
hedefquadrant = 3) Or (aracquadrant = 2 And hedefquadrant = 4) Or
(aracquadrant = 3 And hedefquadrant = 1) Or (aracquadrant = 3 And
hedefquadrant = 4) Or (aracquadrant = 4 And hedefquadrant = 1) Or
(aracquadrant = 4 And hedefquadrant = 2) Then
        Call sagadon()
    ElseIf (aracquadrant = 1 And hedefquadrant = 4) Or
(aracquadrant = 2 And hedefquadrant = 1) Or (aracquadrant = 3 And
hedefquadrant = 2) Or (aracquadrant = 4 And hedefquadrant = 3) Then
        Call soladon()
    Else
        If (heading > azimuth) Then
            Call soladon()
        ElseIf (heading < azimuth) Then
            Call sagadon()
        Else
            Call dogrugit()
        End If
    End If
End Sub

```

```

Public Sub sagadon()
    ' motor1 sol motor2 sağ ise motor1 40 motor2 15 devirde
    çalışacak.
    Call motorverigonder(127, 40)
    acıfarkı = azimuth - heading
    'Label9.Text = acıfarkı
    'Label18.Text = "sağa dön"
    If (acıfarkı >= -2) And (acıfarkı <= 2) Then
        Call dogrugit()
    End If

End Sub

Public Sub soladon()
    ' motor1 sol motor2 sağ ise motor1 127 motor2 40 devirde
    çalışacak.
    Call motorverigonder(40, 127)
    acıfarkı = azimuth - heading
    'Label9.Text = acıfarkı
    'Label18.Text = "sola dön"
    If (acıfarkı >= -2) And (acıfarkı <= 2) Then
        Call dogrugit()
    End If

End Sub

Public Sub dogrugit()
    ' her iki motor 110 devirde çalışacak
    Call motorverigonder(110, 110)
    'Label18.Text = "doğru git"
End Sub

Public Sub ilkhareket()
    ' 6 saniye süreyle doğru git sonra yön kontrolü yap
    Call motorverigonder(80, 80)
    System.Threading.Thread.Sleep(6000)
    Timer4.Enabled = True
End Sub

Public Sub mesafebul()
    hedefmesafe = Math.Sqrt((utmX - hedefx) ^ 2 + (utmY -
hedefy) ^ 2)
    'Label8.Text = hedefmesafe
    If hedefmesafe <= 0.5 Then
        'Label8.Text = hedefmesafe
        Call aracdur()
        Timer4.Enabled = False
        Call resimcek()
        System.Threading.Thread.Sleep(12000)
        Timer2.Enabled = True
        ' araç hedefe geldi ve navigasyon durması gerekir ve
resimişleme prosedürü çalışmalı sonrasında bir sonraki hedefe
geçilmeli
    End If
End Sub

Public Sub aracdur()

```

```

        ' her iki motora 0 bilgisi gönderilecek
        Call motorverigonder(0, 0)
    End Sub

    Public Sub motorverigonder(ByVal motor1 As SByte, ByVal motor2
As SByte)
        If (motor1 < 16) And (motor1 > -16) Then
            SerialPort2.Write("!a00" & vbCr)
            SerialPort2.Write("!b00" & vbCr)
        ElseIf (motor1 > 15) Then
            SerialPort2.Write("!a" &
Conversion.Hex(Convert.ToSByte(motor1)) & vbCr)
            SerialPort2.Write("!b" &
Conversion.Hex(Convert.ToSByte(motor2)) & vbCr)
        ElseIf (motor1 < -15) Then
            SerialPort2.Write("!A" &
Conversion.Hex(Convert.ToSByte(motor1 * -1)) & vbCr)
            SerialPort2.Write("!B" &
Conversion.Hex(Convert.ToSByte(motor2 * -1)) & vbCr)
        End If
    End Sub

End Class

```

Dijital Fotoğraf makinası kullanım kodları

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;
using System.IO;

using RDC.CameraSDK;

namespace CanonSDKSample
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        private Camera camera;
        private List<int> brightnessValues;
        private Dictionary<string, int> exposureModesList;
        private Dictionary<string, int> photoEffectsList;
        private Dictionary<string, byte> AFDistanceList;
        private Dictionary<string, prType.prptpMetering>
meteringModeList;
        private Dictionary<string, UInt32> imageSizeList;
        private Dictionary<string, prType.prptpImageQuality>
imageQualityList;

        public Form1()

```

```

    {
        InitializeComponent();

        lblPath.Text = Application.StartupPath;

        brightnessValues = new List<int>();
        exposureModesList = new Dictionary<string, int>();

        camera = new Camera();
        camera.Connected += new
Camera.ConnectionEventHandler(camera_Connected);
        camera.ReceivedFrame += new
Camera.ReceivedFrameEventHandler(camera_ReceivedFrame);
        camera.DevicesEnumerated += new
Camera.DeviceNamesEnumeratedEvent(camera_DevicesEnumerated);
        camera.ImageAcquired += new
Camera.ImageAcquiredEventHandler(camera_ImageAcquired);
    }

    void camera_ImageAcquired(object sender, StreamEventArgs e)
    {
        camera.StartLiveViewer();
    }

    void camera_DevicesEnumerated(object sender,
DeviceListEventArgs e)
    {
        cboDevices.DataSource = e.DeviceNames;
    }

    void camera_ReceivedFrame(object sender, StreamEventArgs e)
    {
        pictureBox1.Image = e.frame;
    }

    void camera_Connected(object sender, ConnectionEventArgs e)
    {
        camera.StartLiveViewer();
        zoom.Maximum = camera.MaxOpticalZoomPos;
        brightnessValues.Clear();

        foreach (int u in
camera.GetExposureCompensation().Values)
        {
            if (!brightnessValues.Contains(u))
                brightnessValues.Add(u);
        }

        brightnessValues.Sort();

        brightness.Maximum = brightnessValues.Count - 1;

        photoEffectsList = camera.GetPhotoEffects();

        photoEffects.Items.Clear();
    }

```

```

if (photoEffectsList != null)
{
    foreach (string key in photoEffectsList.Keys)
    {
        photoEffects.Items.Add(key);
    }
}

exposureModesList = camera.GetShootingModes();

exposureModes.Items.Clear();

if (exposureModesList != null)
{
    foreach (string key in exposureModesList.Keys)
    {
        exposureModes.Items.Add(key);
    }
}

AFDistance.Items.Clear();

AFDistanceList = camera.GetAFDistances();

if (AFDistanceList != null)
{
    foreach (string key in AFDistanceList.Keys)
    {
        AFDistance.Items.Add(key);
    }
}

meteringModeList = camera.GetMeteringModes();

meteringModes.Items.Clear();

if (meteringModeList != null)
{
    foreach (string key in meteringModeList.Keys)
    {
        meteringModes.Items.Add(key);
    }
}

imageSizes.Items.Clear();

imageSizeList = camera.GetImageSizeFormats();

if (imageSizeList != null)
{
    foreach (string key in imageSizeList.Keys)
    {
        imageSizes.Items.Add(key);
    }
}

```

```

        imageQualityList = camera.GetImageQualityFormats();
        imageQualities.Items.Clear();

        if (imageQualityList != null)
        {
            foreach (string key in imageQualityList.Keys)
            {
                imageQualities.Items.Add(key);
            }
        }

private void btnConnect_Click(object sender, EventArgs e)
{
    camera.StartSDK();
    camera.GetDevices();
}

private void btnUse_Click(object sender, EventArgs e)
{
    if (!string.IsNullOrEmpty(cboDevices.Text))
    {
        camera.Connect(cboDevices.Text);
    }
}

private void OnChangeZoom(object sender, EventArgs e)
{
    camera.ZoomPos = zoom.Value;
}

private void brightness_Scroll(object sender, EventArgs e)
{
    if (brightnessValues.Count >= brightness.Value)
    {
        camera.ExposureCompensation =
brightnessValues[brightness.Value];
    }
}

private void photoEffects_SelectedIndexChanged(object
sender, EventArgs e)
{
    string ef = photoEffects.SelectedItem as string;

    if (ef != null && photoEffectsList.ContainsKey(ef))
    {
        camera.PhotoEffect = photoEffectsList[ef];
    }
}

private void exposureModes_SelectedIndexChanged(object
sender, EventArgs e)
{

```

```

        string mode = exposureModes.SelectedItem as string;

        if (mode != null &&
exposureModesList.ContainsKey(mode))
        {
            camera.ShootingMode = exposureModesList[mode];
        }
    }

    private void AFDistance_SelectedIndexChanged(object sender,
EventArgs e)
    {
        string distance = AFDistance.SelectedItem as string;

        if (distance != null &&
AFDistanceList.ContainsKey(distance))
        {
            camera.AFDistance =
(prType.prptpAFDistance)AFDistanceList[distance];
        }
    }

    private void meteringModes_SelectedIndexChanged(object
sender, EventArgs e)
    {
        string mode = meteringModes.SelectedItem as string;

        if (mode != null && meteringModeList.ContainsKey(mode))
        {
            camera.MeteringMode = meteringModeList[mode];
        }
    }

    private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
    {
        camera.StartSDK();
        camera.GetDevices();
    }

    private void btnPath_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        FolderBrowserDialog dlg = new FolderBrowserDialog();
        dlg.SelectedPath = lblPath.Text;

        if (dlg.ShowDialog() == DialogResult.OK)
        {
            lblPath.Text = dlg.SelectedPath;
        }
    }

    private void btnCapture_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        //if (string.IsNullOrEmpty(txtFilename.Text))
        //{

```

```

        //      MessageBox.Show(this, "Enter a filename to save
first" );
        //}
        //else
        //{
            try
            {

camera.AsyncRelease(Path.Combine("D:\\aniz_resim", "1.jpg"));
            }
            catch(Exception)
            {
                // Assume invalid filename, this is not
production quality.
                MessageBox.Show(this, "Capture error, check the
filename provided is valid");
            }
        //}
    }

    private void OnFormClosed(object sender,
FormClosedEventArgs e)
    {
        //camera.Disconnect();
        //camera.EndSDK();
    }
    int say = 0;
    string d_yol = "D:\\aniz_resim";
    string d_ad = "";
    private void timer1_Tick(object sender, EventArgs e)
    {
        say = say + 1;
        if (say == 1)
        {
            if (!string.IsNullOrEmpty(cboDevices.Text))
            {
                camera.Connect(cboDevices.Text);
            }
        }
        if (say == 6)
        {
            try
            {
                int fileCount =
Directory.GetFiles("D:\\aniz_resim", "*.*",
SearchOption.TopDirectoryOnly).Length;
                //d_ad =
DateTime.Now.Hour.ToString()+DateTime.Now.Minute.ToString()+DateTim
e.Now.Second + ".jpg";
                //MessageBox.Show(fileCount.ToString());
                d_ad = (fileCount+1) + ".jpg";
                camera.AsyncRelease(Path.Combine(d_yol, d_ad));
            }
            catch (Exception)
            {

```



```
        // Assume invalid filename, this is not
production quality.
        MessageBox.Show(this, "Capture error, check the
filename provided is valid");
    }

    }
    if (say == 11)
    {
        timer1.Enabled = false;
        camera.Disconnect();
        camera.EndSDK();
        Application.Exit();
    }
}
}
```

EK – 2 Geliştirilen client yazılıma ait kodlar

```
Imports Microsoft.DirectX.DirectInput
Imports Microsoft.DirectX

Public Class Form1
    Dim alet As Device
    Dim durum As JoystickState
    Dim x, x1 As Integer
    Dim y, y1 As Integer
    Dim z, z1 As Integer
    Dim durum1() As ButtonState
    Dim aletstr() As String
    Dim joystickdevice As Device
    Dim cps As DeviceCaps
    Dim xx As DeviceList
    Dim buton() As Byte
    Dim buton1() As Boolean

    Dim b As New
    SqlConnection("Server=ILKERUNAL\ILKERUNAL;Database=mk;Use
r ID=sa;Password=1")
    Dim b1 As New
    SqlConnection("Server=ILKERUNAL\ILKERUNAL;Database=mk;Use
r ID=sa;Password=1")
    Dim b2 As New
    SqlConnection("Server=ILKERUNAL\ILKERUNAL;Database=mk;Use
r ID=sa;Password=1")
    Dim a As New SqlConnection("select * from mk", b)
    Dim a1 As New SqlConnection("Select Top 1 * from
hareket ORDER BY id DESC", b1)
    Dim a2 As New SqlConnection("Select * from anız",
b2)
    Dim k As New SqlCommand
    Dim ds As New DataSet
    Dim ds1 As New DataSet
    Dim ds2 As New DataSet
    Dim c As New SqlCommandBuilder(a2)
    Dim k3 As New SqlCommand
    Dim b3 As New
    SqlConnection("Server=ILKERUNAL\ILKERUNAL;Database=mk;Use
r ID=sa;Password=1")

    Private Sub Form1_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal e
As System.EventArgs) Handles MyBase.Load
        Try
            xx = Manager.GetDevices(DeviceClass.GameControl,
EnumDevicesFlags.AttachedOnly)
            If (xx.Count > 0) Then
                Dim systemJoysticks(xx.Count) As String
                Dim i As Integer = 0
                For Each deviceinstance As DeviceInstance In xx
                    joystickdevice = New
Device(deviceinstance.InstanceGuid)
```

```

        joystickdevice.SetCooperativeLevel(Me,
CooperativeLevelFlags.Background +
CooperativeLevelFlags.NonExclusive)
        systemJoysticks(i) =
joystickdevice.DeviceInformation.InstanceName
        i = i + 1
    Next

joystickdevice.SetDataFormat(DeviceDataFormat.Joystick)
    joystickdevice.Acquire()
    End If
    ds.Clear()
    a.Fill(ds, "mk")
    DataGrid3.DataSource = ds.Tables("mk")
Catch
    Label9.Text = Err.Description
End Try
End Sub

Private Sub Timer1_Tick(ByVal sender As System.Object, ByVal e
As System.EventArgs) Handles Timer1.Tick
    Try
        cps = joystickdevice.Caps
        joystickdevice.Poll()
        durum = joystickdevice.CurrentJoystickState
        x = durum.X
        y = durum.Y
        z = durum.Z

        If y > 0 And y <= 30000 Then
            y1 = (100 - Fix(y / 330)) + 16
        End If
        If y >= 35534 And y <= 65534 Then
            y1 = (100 + (Fix(y / 330) * -1)) - 16
        End If
        If y > 30000 And y < 35534 Then
            y1 = 0
        End If

        Dim motormod As Byte
        Dim mmod As String = ""
        buton = durum.GetButtons
        Dim j As Integer
        For j = 0 To 10
            If buton(j) >= 128 Then
                ListBox1.Items.Clear()
                ListBox1.Items.Add(j + 1)
            End If
        Next
        Try
            motormod = ListBox1.Items.Item(0)
            If motormod = 11 Then
                mmod = "Auto"
            Else
                mmod = "Manuel"
            End If
        End Try
    End Try
End Sub

```

```

        End If

        k.Connection = b
        k.CommandText = "update mk set x=" & x1 & ",y=" &
y1 & ",durum=" & ListBox1.Items.Item(0) & ",mod='" & mmod & "'
where id=1"
        b.Open()
        k.ExecuteNonQuery()
        b.Close()

        ds.Clear()
        a.Fill(ds, "mk")
        DataGrid3.DataSource = ds.Tables("mk")
    Catch
        Label9.Text = k.CommandText
    End Try
Catch
    Label9.Text = Err.Description
End Try
End Sub

```

```

Private Sub Timer2_Tick(ByVal sender As System.Object, ByVal e
As System.EventArgs) Handles Timer2.Tick

```

```

    Try
        ds1.Clear()
        a1.Fill(ds1, "hareket")
        DataGrid1.DataSource = ds1.Tables("hareket")
        Label5.Text = DataGrid1(0, 1).ToString
        Label6.Text = DataGrid1(0, 2).ToString
        Label7.Text = DataGrid1(0, 3).ToString
        Label8.Text = DataGrid1(0, 4).ToString
        ds2.Clear()
        a2.Fill(ds2, "aniz")
        DataGrid2.DataSource = ds2.Tables("aniz")
    Catch
        Label9.Text = Err.Description
    End Try
End Sub

```

```

Dim yenisira As Integer

```

```

Private Sub Button1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e
As System.EventArgs) Handles Button1.Click

```

```

    Try
        k3.Connection = b3
        k3.CommandText = "select max(sira) from aniz"
        b3.Open()
        yenisira = k3.ExecuteScalar
        b3.Close()
        k3.Connection = b3
        k3.CommandText = "insert into
aniz(sira,hedefx,hedefy,aniz,aktif) values(" & yenisira + 1 & "," &
Label5.Text & "," & Label6.Text & ",0,0)"
        b3.Open()
        k3.ExecuteNonQuery()
        b3.Close()
    Catch

```

```

        yenisıra = 0
        b3.Close()
        k3.Connection = b3
        k3.CommandText = "insert into
anız(sıra,hedefx,hedefy,anız,aktif) values(" & yenisıra + 1 & "," &
Label5.Text & "," & Label6.Text & ",0,0)"
        b3.Open()
        k3.ExecuteNonQuery()
        b3.Close()
        Label9.Text = Err.Description
    End Try
End Sub

Private Sub Button2_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal
e As System.EventArgs) Handles Button2.Click
    Try
        a2.Update(ds2.Tables("anız"))
        ds2.Clear()
        a2.Fill(ds2, "anız")
        DataGrid2.DataSource = ds2.Tables("anız")
    Catch
        Label9.Text = Err.Description
    End Try
End Sub

Private Sub CheckBox1_CheckedChanged(ByVal sender As
System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
CheckBox1.CheckedChanged
    If CheckBox1.Checked = True Then
        Timer2.Enabled = False
    Else
        Timer2.Enabled = True
    End If
End Sub
End Class

```

EK – 3 Deneme alanları için kullanılan koordinatlar

DENEME 1			
sıra	hedefx	hedefy	anız
1	312150.73528085	4091299.70780932	95.91
2	312119.21827757	4091251.00736259	93.91
3	312079.76853409	4091320.15100654	94.09
4	312029.77341983	4091248.36358386	89.47
5	312018.68130681	4091297.26782143	85.20
6	312113.54838805	4091343.63942335	94.75
7	312025.46197640	4091362.05715234	93.43
8	311981.06106178	4091288.11088864	92.09
9	312109.15300269	4091239.01944547	90.75
10	312022.79710203	4091315.49290839	94.69
11	312138.29048663	4091321.07488491	84.48
12	312049.95392886	4091328.21208541	94.63
13	312131.95488958	4091262.93612719	95.28
14	312077.29408745	4091241.94532563	90.66
15	312016.35459808	4091279.37311415	94.15
16	311992.59416937	4091299.32607711	90.38
17	312064.77957911	4091347.30997085	96.77
18	312009.34935327	4091258.06684136	98.64
19	312136.21489186	4091361.45367421	82.20
20	312139.52783730	4091236.12655253	90.97
21	312146.22263751	4091290.37208535	96.68
22	312000.95606498	4091348.35423840	92.91
23	311978.14473365	4091270.41426916	80.36
24	312016.24306098	4091281.04070366	87.84
25	312079.70785552	4091283.88980194	98.25
26	312050.09824072	4091328.02387480	90.65
27	311976.09747258	4091258.43379412	85.88
28	312059.28232747	4091246.59966660	80.20
29	312041.00626193	4091313.05426206	90.76
30	312112.02312722	4091288.16931818	88.95

DENEME 2			
sıra	hedefx	hedefy	anız
1	285156.14592614	4148518.01787983	94.18
2	285131.87063818	4148531.96931749	92.30
3	285101.40666214	4148523.31695600	89.10
4	285125.09945189	4148538.25136294	93.24
5	285114.62194683	4148578.12672155	93.58
6	285142.11209504	4148568.71900837	86.08
7	285098.02233369	4148540.80087800	88.64
8	285160.21391787	4148544.19283193	91.01
9	285159.82275452	4148529.02719817	90.59
10	285157.29034876	4148556.66794777	89.63
11	285161.73918487	4148528.97774974	85.39
12	285133.55281786	4148517.12031754	94.31
13	285122.09775704	4148582.00532490	98.44
14	285126.92094409	4148540.24012520	97.37
15	285129.59167407	4148575.14941304	80.93
16	285153.09831909	4148525.68438089	93.29
17	285161.84982059	4148544.70583114	94.16
18	285153.50333970	4148535.66770177	84.98
19	285126.53739950	4148559.68236209	90.17
20	285142.40838080	4148528.73627089	90.49
21	285164.94944099	4148533.33659445	94.83
22	285141.67606280	4148528.94023794	94.24
23	285122.33951164	4148517.03955061	97.20
24	285146.12910266	4148552.88441196	95.19
25	285117.53442470	4148548.07023005	94.44
26	285114.62194683	4148578.12672155	93.78
27	285144.30951271	4148573.84426092	89.43
28	285155.82385840	4148534.12726632	98.30
29	285159.60748146	4148572.15402633	95.18
30	285165.73991611	4148546.82629638	97.89

EK – 4 Denemelerde elde edilen anız görüntüleri



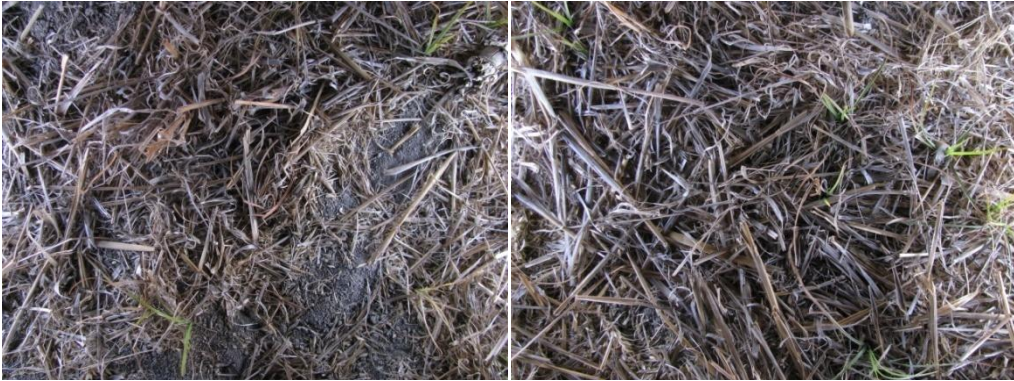
Deneme1 – Resim 1

Deneme1 – Resim 2



Deneme1 – Resim 3

Deneme1 – Resim 4



Deneme1 – Resim 5

Deneme1 – Resim 6



Deneme1 – Resim 7

Deneme1 – Resim 8



Deneme1 – Resim 9



Deneme1 – Resim 10



Deneme1 – Resim 11



Deneme1 – Resim 12



Deneme1 – Resim 13



Deneme1 – Resim 14



Deneme1 – Resim 15



Deneme1 – Resim 16



Deneme1 – Resim 17



Deneme1 – Resim 18



Deneme1 – Resim 19



Deneme1 – Resim 20



Deneme1 – Resim 21



Deneme1 – Resim 22



Deneme1 – Resim 23



Deneme1 – Resim 24



Deneme1 – Resim 25



Deneme1 – Resim 26



Deneme1 – Resim 27



Deneme1 – Resim 28



Deneme1 – Resim 29



Deneme1 – Resim 30



Deneme2 – Resim 1



Deneme2 – Resim 2



Deneme2 – Resim 3



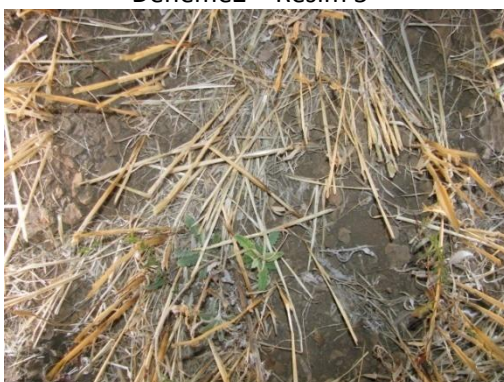
Deneme2 – Resim 4



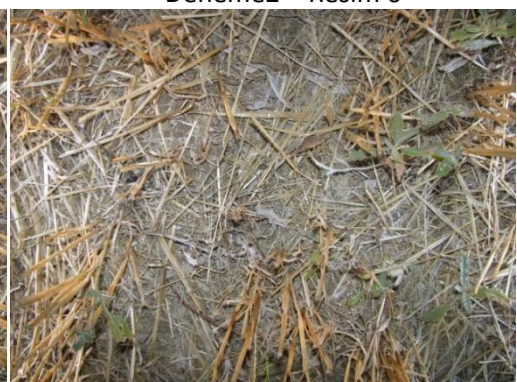
Deneme2 – Resim 5



Deneme2 – Resim 6



Deneme2 – Resim 7



Deneme2 – Resim 8



Deneme2 – Resim 9



Deneme2 – Resim 10



Deneme2 – Resim 11



Deneme2 – Resim 12



Deneme2 – Resim 13



Deneme2 – Resim 14



Deneme2 – Resim 15



Deneme2 – Resim 16



Deneme2 – Resim 17



Deneme2 – Resim 18



Deneme2 – Resim 19



Deneme2 – Resim 20



Deneme2 – Resim 21



Deneme2 – Resim 22



Deneme2 – Resim 23



Deneme2 – Resim 24



Deneme2 – Resim 25



Deneme2 – Resim 26



Deneme2 – Resim 27



Deneme2 – Resim 28



Deneme2 – Resim 29



Deneme2 – Resim 30

ÖZGEÇMİŞ

8 Haziran 1974 yılında Ankara'da doğdum. İlkokulu Isparta Bahçelievler İlkokulunda, Ortaokulu Isparta Merkez Ortaokulunda ve Liseyi Isparta Teknik Lise Bilgisayar Bölümünde tamamladım. Lisans eğitimimi 1997 yılında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik Bilgisayar Öğretmenliği bölümünde tamamladım. Aynı yıl Süleyman Demirel Üniversitesi Bucak Hikmet Tolunay Meslek Yüksekokulunda Öğretim Görevlisi olarak çalışmaya başladım. 2006 yılında Yüksek Lisans eğitimimi Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Bilgisayar Eğitimi Anabilim dalında tamamladım. 2008 yılında Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim dalında doktora eğitimime başladım. Evli ve 1 çocuk babasıyım.