

**GPRS İLE İNTERNET ÜZERİNDEN İNSANSIZ  
GÖZLEM ARACI KONTROLÜ VE DENETİMİ**

**2013  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR EĞİTİMİ**

**İsmail Umut DURAN**

**GPRS İLE İNTERNET ÜZERİNDEN İNSANSIZ GÖZLEM ARACI  
KONTROLÜ VE DENETİMİ**

**İsmail Umut DURAN**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Ocak 2013**

İsmail Umut DURAN tarafından hazırlanan “GPRS İLE İNTERNET ÜZERİNDEN İNSANSIZ GÖZLEM ARACI KONTROLÜ VE DENETİMİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. İbrahim ÇAYIROĞLU .....  
Tez Danışmanı, Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 16/ 01/ 2013

<u>Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)</u>	<u>İmzası</u>
Başkan : Yrd. Doç. Dr. İbrahim ÇAYIROĞLU (KBÜ)	.....
Üye : Yrd. Doç .Dr. Can Bülent FİDAN (KBÜ)	.....
Üye : Yrd. Doç. Dr. Mustafa AKTAŞ (KBÜ)	.....

...../...../2013

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN .....  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

İsmail Umut DURAN

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **GPRS İLE İNTERNET ÜZERİNDEN İNSANSIZ GÖZLEM ARACININ OTONOM KONTROL VE DENETİMİ**

**İsmail Umut DURAN**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Yrd. Doç. Dr. İbrahim ÇAYIROĞLU**

**Ocak 2013, 99 sayfa**

Bu çalışmada GPRS alt yapısı kullanılarak internet üzerinden bir gözlem aracının otonom kontrol ve denetimi yapılmıştır. GPS modülünden aracın dünya üzerindeki x ve y konumu alınıp daha sonra bu konum bilgisi Mikrodenetleyici kullanılarak GPRS modülüne aktarılmıştır. GPRS modülü, alınan bilgileri internet vasıtasıyla sürekli bağlantı halinde olduğu sunucuya iletmektedir. İnternete bağlı kullanıcı sunucuya aktarılmış olan konum bilgisini alarak aracın mevcut konumu hakkında bilgi sahibi olmaktadır. Kontrol programı aracılığıyla sunucuya bağlanan kullanıcı sunucuya yeni bir hedef ya da görev gönderdiğinde, robot sunucudan bu yeni görevi ile ilgili konum bilgisini almakta ve hedefe doğru hareket etmektedir

Geliştirilen uygulamanın pratik hayata katkısını sağlamak için, bir yerleşke içerisinde güvenlik aracı olarak kullanılması düşünülmüştür. Bu maksatla kontrol programına Google Earth eklentisi yüklenmiştir. Bu sayede kullanıcı robotun görsel olarak hangi

konumda nerede olduğunu tam olarak tespit edebilmektedir. İstenildiğinde robot üzerine kablosuz bir kamera takılabilmektedir.

**Anahtar Sözcükler :** GPS, GPRS, otonom araç kontrolü.

**Bilim Kodu** : 715.1.096

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **GPRS AND INTERNET-BASED AUTONOMOUS UNMANNED OBSERVATION VEHICLE CONTROL**

**İsmail Umut DURAN**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Electronic and Computer Education**

**Thesis Advisor:**

**Assist. Prof. Dr. İbrahim ÇAYIROĞLU**

**January 2013, 99 pages**

In this study an autonomous observation vehicle was controlled over internet through the use of GPS and GPRS sub-structure. X and Y position of the vehicle was took from GPS module by using microcontroller. GPRS module transmit the information over internet to server which always connected. The user who connected to the internet takes vehicle status from server. When the user installs a new task or a new target to server, the robot receives the position information related to this new task from server and set the direction for it.

To contribute to practical life of the developed application a securityvehicle in the campus was used. For this purpose Google Earth plug-in was installed to server.. So the user was determinated the position of the robot visually. For to transmit information to security personel about the area which was cambed, wireless camera was mounted on robot, so was provided transfer of visual data.

**Key Word** : GPS, GPRS, autonomous vehicle control.

**Science Code** : 715.1.096



## TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütölmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Yrd. Doç. Dr. İbrahim AYIROğLU'na sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xvii
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2 .....	5
LİTERATÜR TARAMASI.....	5
BÖLÜM 3 .....	9
QUADROTOR HAKKINDA GENEL BİLGİLER.....	9
3.1. TANIM.....	9
3.2. QUADROTORUN HAREKETİ .....	9
3.2.1. Yunuslama ( $\Phi$ ) Açısı .....	10
3.2.2. Yalpalama ( $\theta$ ) Açısı .....	10
3.2.3. Sapma ( $\psi$ ) Açısı.....	10
BÖLÜM 4 .....	12
ROBOTUN TASARIMI.....	12
4.1. ROBOTUN MEKANİK TASARIMI.....	12
4.1.1. Gövde.....	12
4.1.2. Motorlar .....	13

	<b><u>Sayfa</u></b>
4.1.2.1. Dış Rotorlu Fırçasız Doğru Akım Motorları .....	14
4.1.2.2. Disk Tipi Fırçasız Doğru Akım Motoru .....	14
4.1.2.3. İç rotorlu Fırçasız Doğru Akım Motoru.....	15
4.1.3. Motor Sürücüsü .....	16
4.1.3.1. Evirici.....	17
4.1.3.2. Kontrolör (Mikrodenetleyici).....	17
4.1.4. Lityum Polimer Batarya .....	19
4.1.5. Mikrodenetleyici.....	20
4.1.6. Sensörler .....	22
4.1.6.1. İvmeölçer .....	22
4.1.6.2. Jiroskop .....	24
4.1.6.3. Manyetik Sensor .....	26
4.1.6.4. Altimetre .....	27
4.1.6.5. GPS .....	28
4.1.7. Kontrol Kartları .....	30
4.1.7.1. Yardımcı Kontrol Kartı.....	30
4.1.7.2. Ana Kontrol Kartı .....	30
4.1.8. GPRS Terminal.....	32
4.2. ROBOTUN KONTROL TASARIMI .....	33
4.2.1. DCM (Direction Cosine Matris) Algoritması ile Açık Tespiti.....	34
4.2.1.1. Rotasyon Matrisi .....	35
4.2.1.2. Jiroskop Değerleri.....	38
4.2.1.3. Normalizasyon .....	39
4.2.1.4. Yunuslama ve Yalpalama Düzeltmesi .....	40
4.2.1.5. Sapma Açısının Düzeltmesi.....	42
4.2.2. PID Kontrollör Tasarımı.....	43
4.2.2.1. Yunuslama ve Yalpalama Açılarının PID ile Kontrolü .....	48
4.2.2.2. Sapma Açısının PID ile Kontrolü .....	50
4.2.2.3. Yükseklik Kontrolü İçin PID Kontrolör .....	52
4.2.2.4. Enlem ve Boylam Hareketi Kontrolü İçin PID Tasarımı.....	52
4.2.3. Haberleşme Sistemi .....	57
4.3. ROBOTUN YAZILIM TASARIMI .....	60

	<b><u>Sayfa</u></b>
4.3.1. Mikrodenetleyici Programı .....	60
4.3.1.1. GPRS Terminal ile İletişim.....	61
4.3.1.2. Tüm Sensörlerden Veri Okuma .....	61
4.3.1.3. Euler Açılarının Tespiti.....	61
4.3.1.4. Altimetre Verilerinin Filtrelenmesi.....	62
4.3.1.5. Konum Bilgilerinin Sunucuya Aktarılması .....	62
4.3.1.6. Sunucudan Gelen Verilerin Ayırıştırılması.....	62
4.3.1.7. Kumanda Sinyallerinin Okunması .....	62
4.3.1.8. Konum Değişimi için PID Hesaplamalarının Yapılması.....	64
4.3.2. Sunucu Yazılımı .....	64
4.3.3. Kontrol Yazılımı .....	65
4.3.3.1. Sunucu Program ile Bağlantı Kurma .....	66
4.3.3.2. Harita Üzerinden Takip ve Rota Planlama .....	66
BÖLÜM 5 .....	70
ROBOTUN SİMULASYONU .....	70
5.1. MATEMATİKSEL MODEL .....	70
5.2. EULER YÖNTEMİ.....	71
5.3. SİMULASYON PROGRAMI.....	72
5.4. SİMÜLASYON SONUÇLARI .....	76
5.4.1. Quadrotorun Yükseklik Değişimi .....	76
5.4.2. Yunuslama ve Yalpalama Açıları Değişimleri .....	78
5.4.3. Sapma Açısı Değişimi .....	79
5.4.4. Konum Değişimi .....	79
BÖLÜM 6 .....	84
DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	84
6.1. AÇI TESPİT UYGULAMALARI .....	84
6.2. KONUM HESAPLAMA UYGULAMALARI .....	88
6.2.1. Konum Ölçümü.....	88
6.2.2. Takip Uygulaması.....	89
6.3. YÜKSEKLİK TESPİT UYGULAMALARI.....	90

	<b><u>Sayfa</u></b>
6.4. TEST DÜZENEĞİ UYGULAMALARI.....	91
6.5. İLETİŞİM HIZI ÖLÇÜMÜ.....	93
BÖLÜM 7. ....	94
SONUÇLAR .....	94
KAYNAKLAR .....	96
ÖZGEÇMİŞ .....	99

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 1.1. Geliştirilen otonom kontrollü quadrotor robot. ....	2
Şekil 1.2. Robotun kontrol sisteminin genel çalışma prensibi .....	3
Şekil 3.1. Araç üzerine etki eden kuvvetler ve 3 ekseninde açılar .....	9
Şekil 3.2. Motor hızlarına göre hareket yönleri.....	11
Şekil 4.1. Gövdenin genel görünümü .....	12
Şekil 4.2. İniş takımları .....	13
Şekil 4.3. Dış rotorlu fırçasız doğru akım motorları: .....	14
Şekil 4.4. Disk tipi fırçasız doğru akım motoru .....	15
Şekil 4.5. İç rotorlu fırçasız doğru akım motoru .....	15
Şekil 4.6. Motor özellikleri ve teknik çizimi.....	16
Şekil 4.7. Üç faz FADM İçin IGBT tabanlı evirici devre şeması .....	17
Şekil 4.8. Hız sürücüsü çalışma şeması.....	18
Şekil 4.9. ESC giriş sinyalleri.....	19
Şekil 4.10. Lithium polimer batarya.....	20
Şekil 4.11. Atmega 2560 denetleyicisi ve arduino mega denetleyici kartı .....	21
Şekil 4.12. Yerçekimsiz ortamda ivmeölçerin çalışması.....	22
Şekil 4.13. Hareket anında ivmeölçerin çalışması.....	23
Şekil 4.14. Yer çekimli bir ortamda ivmeölçerin çalışması .....	23
Şekil 4.15. Yer çekimli ortamda 45 derece açı ile ivmeölçerin çalışması.....	24
Şekil 4.16. Jiroskop'un iç yapısı.....	25
Şekil 4.17. Hareket anında jiroskop'un çalışması .....	25
Şekil 4.18. Yeryüzü manyetik alan çizgileri .....	26
Şekil 4.19. 3 Eksedeki manyetik alan vektörleri .....	27
Şekil 4.20. Altimetre.....	28
Şekil 4.21. GPS alıcısı .....	29
Şekil 4.22. Ana kontrol kartı .....	31
Şekil 4.23. Ana kontrol kartı devre şeması.....	31

Şekil 4.24. Vodafone 2012 yılı kapsama alanı haritası .....	32
Şekil 4.25. Telit GT863-PY terminal .....	33
Şekil 4.26. Aracın temel çalışma şeması .....	34
Şekil 4.27. DCM çalışma şeması .....	35
Şekil 4.28. Koordinat sistemlerine ait matrisler .....	36
Şekil 4.29. Vektör diklikleri .....	37
Şekil 4.30. Asimetrik matris.....	37
Şekil 4.31. PID çalışma şeması .....	44
Şekil 4.32. Kp katsayısına göre çıkışlardaki değişim.....	45
Şekil 4.33. Ki katsayısına göre çıkışlardaki değişim.....	46
Şekil 4.34. Kd katsayısına göre çıkışlardaki değişim.....	47
Şekil 4.35. Yalpalama kontrolünden sorumlu PID kontrolör şeması.....	49
Şekil 4.36. Yunuslama kontrolünden sorumlu PID şeması.....	49
Şekil 4.37. Yönlere göre açı değerleri .....	50
Şekil 4.38. Sapma kontrolünden sorumlu PID şeması .....	52
Şekil 4.39. Yükseklikten sorumlu PID kontrol şeması.....	53
Şekil 4.40. Bekleme modunda hareket Rota takip modunda hareket .....	54
Şekil 4.41. Quadrotorun motor numaraları.....	55
Şekil 4.42. Haberleşme şeması .....	60
Şekil 4.43. Farklı kumanda kanallarından okunan PWM sinyalleri.....	63
Şekil 4.44. Sunucu programı .....	65
Şekil 4.45. Kontrol programı üzerinden quadrotor takibi .....	67
Şekil 4.46. Görevler ve uçuş rota bilgileri.....	69
Şekil 4.47. Hedef koordinatları ve sırası .....	69
Şekil 5.1. Simülasyon programının genel görünümü .....	76
Şekil 5.2. 0 - 10 Metre arası yükseklik ve PID değişim grafiği .....	77
Şekil 5.3. 0 - 20 Metre arası yükseklik ve PID değişim grafiği .....	77
Şekil 5.4. 0 - 10 Derece arası yalpalama açı değişimi.....	78
Şekil 5.5. 0 - 45 Derece arası yönelme (sapma) açısı değişimi.....	79
Şekil 5.6. Quadrotorun hareket rotası.....	80
Şekil 5.7. Konum grafiği .....	81
Şekil 5.8. Konum ve yükseklik grafiği.....	82

	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 5.9. Yalpalama açısı değişimi .....	82
Şekil 5.10. Yunuslama açısı değişimi .....	83
Şekil 5.11. Sapma açısı değişimi.....	83
Şekil 6.1. İvmeölçer ve açı tamamlama filtresinin karşılaştırılması .....	85
Şekil 6.2. İvmeölçer ve DCM algoritmasının karşılaştırılması .....	86
Şekil 6.3. Elde edilen yalpalama ve yunuslama açıları .....	87
Şekil 6.4. Pusula yön cetveli.....	87
Şekil 6.5. Kuzey, doğu, güney ve batı yönlerinde yapılan ölçümler .....	88
Şekil 6.6. GPS ölçüm değerleri .....	89
Şekil 6.7. Ölçüm sonuçlarının harita üzerindeki gösterimi .....	89
Şekil 6.8. Quadrotorun anlık konumları .....	90
Şekil 6.9. 0 metrede ölçülen yükseklik ve filtrelenmiş yükseklik değerleri.....	91
Şekil 6.10. 0-12 metre arası ölçülen yükseklik ve filtrelenmiş yükseklik değerleri..	91
Şekil 6.11. Konum değişim grafiği.....	92
Şekil 6.12. PID çıkış grafiği .....	92
Şekil 6.13. GPRS veri iletim hızı grafiği.....	93



## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 4.1. Arduino mega mikrodnetleyici kartı özellikleri.....	21
Çizelge 4.2. BMP085 özellikleri.....	28
Çizelge 4.3. KmlLookAtCoclass fonksiyonları.....	67
Çizelge 5.1. Hedef bilgileri.....	80

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

$\Phi$	: Yunuslama açısı
$\theta$	: Yalpalama açısı
$\psi$	: Sapma açısı
$F_1, F_2, F_3, F_4$	: Kollara etkiyen kuvvetler
V	: Volt
ms	: Milisaniye
C	: Batarya şarj/deşarj birimi
mA	: Miliamper
x,y,z	: Yeryüzü referans eksenleri
g	: Yerçekimi ivmesi
mmHg	: Basınç birimi
hPa	: Hektopaskal
$H_e$	: Manyetik kuvvet vektörü
$H_x, H_y, H_z$	: Manyetik kuvvet vektörünün x,y,z eksenindeki bileşenleri
$x_b, y_b, z_b$	: Gövde referans çerçevesi vektörleri
$x_e, y_e, z_e$	: Yeryüzü referans çerçevesi vektörleri
R	: Dönüşüm matrisi
Rpm	: Dakikadaki dönüş sayısı
$\omega_p$	: Oransal dönme vektörü
$\omega_i$	: İntegral dönme vektörü
$\omega_x, \omega_y, \omega_z$	: 3 eksenindeki dönme vektörü
$\omega$	: Açısal hız
$a_{xyz}$	: Bileşke ivme vektörü
$e_e$	: İvmeölçer etkisi
$V_x, V_y, V_z$	: Yalpalama, yunuslama ve sapma düzeltme vektörleri
$P_x, P_y, P_z$	: 3 eksende manyetik sensör ölçümleri

$P_{cx}, P_{cy}, P_{cz}$	: 3 ekseninde düzeltilmiş manyetik sensör değerleri
$K_p, K_i, K_d$	: PID katsayıları
$U$	: Çıkış sinyali
$e$	: Hata
$t$	: Zaman
$R_\psi$	: Referans sapma açısı
$CW$	: Dönme yönü
$D_\psi$	: Sapma açısına ait hesaplanan dönme miktarı
$X_1, Y_1, Z_1$	: Robotun ilk koordinatları
$X_2, Y_2, Z_2$	: Robotun hedef koordinatları
$M_{O1}, M_{O2}$	: Hareketi motorların çıkış oranlar
$P_{DX}, P_{DY}$	: X ve Y doğrultusunda hareketi sağlaya PID kontrolör çıkışları
$b$	: Pervane sabiti
$d$	: Sürüklenme sabiti
$I_x, I_y, I_z$	: x,y,z yönlerinde atalet momenti
$p$	: x yönündeki açısal hız
$r$	: y yönündeki açısal hız
$q$	: z yönündeki açısal hız
$u$	: x yönündeki doğrusal hız
$v$	: y yönündeki doğrusal hız
$w$	: z yönündeki doğrusal hız

## **KISALTMALAR**

<b>AT</b>	: Attention (GSM cihazları kontrolü için kullanılan kod sistemi)
<b>DC</b>	: Direct Current (Doğru Akım)
<b>DPS</b>	: Degree Per Second (Saniyedeki Dönüş Açısı)
<b>ESC</b>	: Electronic Speed Kontroller (Elektronik Hız Kontrolcüsü)
<b>FADM</b>	: Fırçasız Doğru Akım Motoru
<b>GSM</b>	: Global System for Mobile Communication (Küresel Mobil İletişim Sistemi)
<b>GPRS</b>	: General Packet Radio Service (Paket Aktarımına Göre Veri İletişimi Sağlayan, GSM Bandına Göre Çok Daha Hızlı Veri Aktarı Yöntemi)

GPS	: Global Positioning System (Küresel Yer Belirleme Sistemi)
IGBT	: Insulated, Gate, Bipolar, Transistor (Doğru Akım Devrelerinde Kullanılan Bir Transistör Türü)
IP	: Internet Protocol
KB	: Kilobyte
KHz	: Kilohertz
MHz	: Megahertz
PID	: Proportional-Integral-Derivative (Oransal-İntegral-Türev)
PWM	: Pulse Width Modulation (Darbe Genişlik Modülasyonu)
RPM	: Round Per Minutes (Dakikadaki Dönüş Sayısı)
TCP	: Transmission Control Protocol (İletim Denetim Protokolü)
TTL	: Transistor-Transistor Logic (Mikrodenetleyiciler Arası İletişim Türü)
UART	: Universal Asynchronous Receiver Transmitter (Evrensel Asenkron Alıcı Verici)
UAV	: Unmanned Aerial Vehicles (İnsansız Hava Araçları)
UDP	: User Datagram Protocol (Kullanıcı Veri Bloğu İletişim Kuralları)

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Birçok insan hayatının büyük bir bölümünü geniş alanlarda rutin işler yaparak geçirmektedir. Örneğin bir güvenlik görevlisi çalıştığı kurumun çevresinde gece gündüz defalarca kontroller gerçekleştirmek durumundadır. Yine aynı şekilde bir temizlik işçisi bina içlerinde ya da dış kısımlarda onlarca metre yol giderek temizlik yapmaktadır. Günlük hayatta buna benzer çok sayıda iş mevcut olmakta ve bu işlerin yapılması insanlar için büyük zahmetler oluşturmaktadır.

Benzer şekilde rutin olarak yapılan işlerin dışında anlık olarak da bazı görevlerin yapılması gerekebilmektedir. Örneğin bir yangın esnasında binaya girilmesi, ya da havadan belli koordinatların fotoğrafının çekilmesi gibi işleri insanların yapması bazen tehlikeli ya da imkânsız olabilmektedir. Bunun gibi hem rutin işlerde, hem de insanların yapmasının için uygun olmadığı görevlerde robotların kullanılması büyük önem arz etmektedir.

Robotların kontrolü ise otonom ve manüel olarak çeşitli şekillerde gerçekleştirilebilmektedir. Burada ideal olan robotların kendi kendine hareket etmesi ve karşılaştıkları durumlar karşısında kendi kararlarını kendilerinin verebilmesidir. Buna ek olarak istendiğinde bir operatör tarafından kontrolü manüel olarak gerçekleştirilebilmeli ve yeni görevler yüklenebilmelidir.

Bu durumda robotun görev bilgilerinin uzak bir noktadan robota aktarılması ve aktarılan bu bilgiler çerçevesinde robotun otonom olarak hareketinin sağlanması gerekmektedir. Uzak bir noktadan robot ile bağlantı kablosuz seri iletişim aygıtları, RF, WIFI, vb. sistemler kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir. Fakat alan genişledikçe kablosuz aygıtlarda iletişim sorunları meydana gelmektedir.

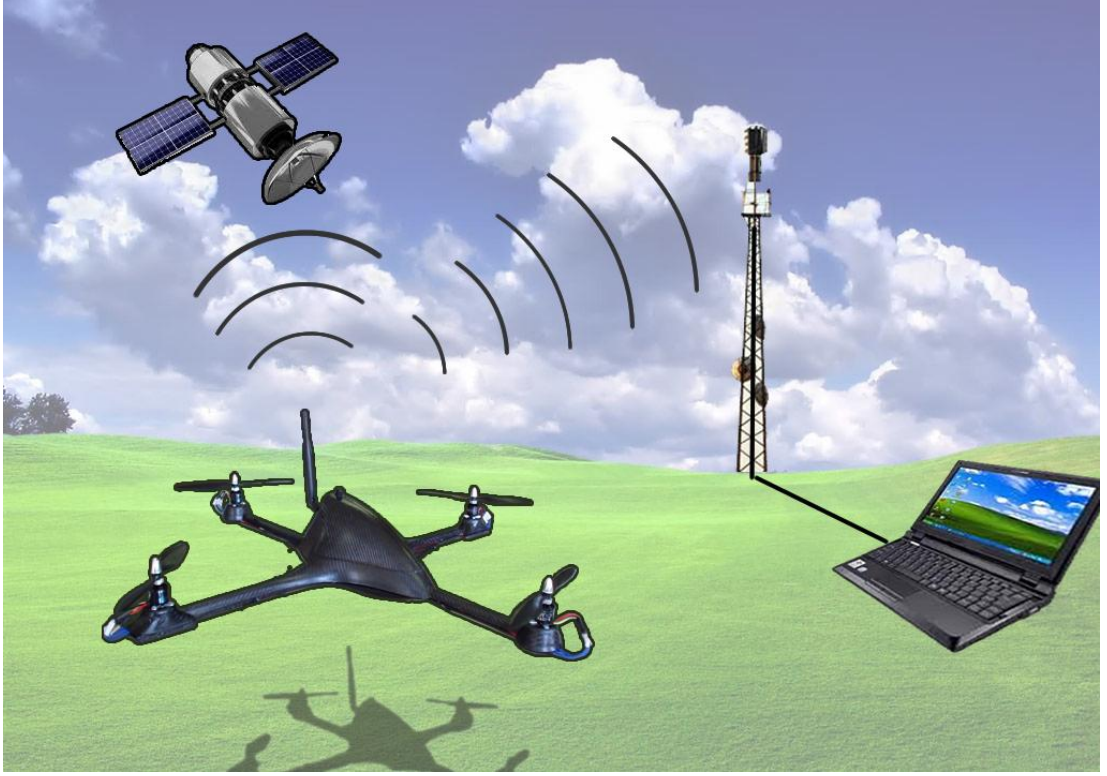
Günümüz teknolojisinde uzak bir noktaya veri göndermek için en yaygın ve en ekonomik çözümlerden biri internettir. GSM şebekelerinin yaygınlaşması ile internet açık alanlarda da kullanılabilir hale gelmiştir. GSM şebekeleri tarafından sunulan en yaygın internet altyapılarından birisi de GPRS dir.

Bu tez çalışmasında, uydudan GPS alıcısı sayesinde konum bilgisini alan, GPRS altyapısını kullanarak internet sunucusuna bağlanan, duruma göre yeni görevler yüklenebilen ve rotayı takip edilebilen bir otonom robot geliştirilmiştir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Geliştirilen otonom kontrollü quadrotor robot.

Robotun konum bilgisi GPS aracılığıyla alınmakta ve bu bilgi GPRS vasıtasıyla sunucuya gönderilmektedir. Sonucu program robottan gelen verileri kontrol programına iletmektedir. Kontrol programında bulunan Google Earth altyapısı üzerinde geliştirilen özel bir program kullanılarak, robotun rota takibi ve görev adresleri 3 boyutlu bir ortamda robota uzaktan yine GPRS vasıtasıyla yüklenmekte ve kontrol gerçekleştirilmektedir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Robotun kontrol sisteminin genel çalışma prensibi.

Yapılan bu tez çalışması içerik olarak aşağıdaki maddeleri kapsamaktadır;

- a) Açık alanda otonom olarak uçabilen bir robotun (quadrotor) tasarımı, imalatı ve kontrolü gerçekleştirilmiştir.
- b) Robot, üzerinde bulunan mikrodenetleyici ve terminal aracılığı ile GPRS alt yapısını kullanarak uzaktaki sunucuya bağlanabilmektedir.
- c) Robot üzerinde bulunan GPS alıcısı, dijital pusula, altimetre aracılığı ile konum ve yön bilgisini bulmakta ve bu bilgileri göre kendisine yüklenen görev rotasını takibini otonom olarak gerçekleştirmektedir.
- d) Robot havadaki uçuş denge kontrollerini kendisi gerçekleştirmekte ve bu işlem için üzerinde bulunan ivmeölçer ve Jiroskoplari kullanmaktadır.

- e) Kontrol programı üzerinde Google Earth eklentisi bulunmaktadır. Robotun hareket edeceği alanlar bu harita üzerinde işaretlenebilmekte ve robota aktarılabilmektedir. Robottan gelen veriler doğrultusunda robotun konumu harita üzerinden anlık olarak takip edilebilmektedir.
- f) Robot harita üzerinden yüklenen görev noktasına ulaşmak için hesaplanan yol doğrultusunda hareket edebilmektedir.



## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR TARAMASI

Otonom araçlar konusunda literatürde çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bunun sebebi otonom araçların teknolojik açıdan çok geniş bir alanı kapsaması ve otonom çalışmanın sınırının belli bir yerde bitmemesidir. Otonom araçlarda istenen ve beklenen ideal nokta, görevlerin insan yetenekleri ölçüsünde yapılabilmesidir. Bu sistemler zeki, karar veren ve çok fazla sayıda algıyı değerlendiren sistemlerdir.

Bu çalışma kapsamında incelenen literatür daha çok kontrolünü GPRS yoluyla sağlayan sistemler ve robotlar üzerine olmuştur.

Al-Bayari ve Sadoun GPS alıcısından edinilen konum verilerinin GPRS aracılığıyla sunucu bilgisayara aktardıkları bir araç takip sistemi gerçekleştirmişlerdir. Aktarılan konum bilgileri veritabanına kayıt edilmiş ve harita üzerinde gösterilmiştir (Al-Bayari and Sadoun, 2005).

Faucounau vd. Alzaymır hastaları için kişisel bir takip cihazı geliştirmişlerdir. Bu cihaz GPS ten alınan konum bilgilerinin anlık olarak GPRS üzerinden uzak bilgisayara aktarmaktadır. Konum verilerinin gösteriminde harita olarak google map kullanmışlardır (Faucounau et al. 2009).

Min vd. iç mekânlarda yangın gibi afet durumlarında gözlem amacıyla kullanmak üzere bir quadrotor geliştirmişlerdir. Quadrotor ile gözlem yapabilmek için kablosuz CCD kamera kullanmışlardır. İç mekânlarda çarpmayı önlemek ve yükseklik kontrolü için sekiz adet ultrasonik sensörler kullanmışlardır. Gözlem bozulmalarını önlemek için dinamik bir model sunmuşlardır. Bu model aynı zamanda güçlü havada dengede kalmayı da sağlamaktadır. Kullanılan modelde basit dinamik denklemlerini kullanmışlardır. Gelişmiş bir havada dengede kalma işlemi için Gözlem bozulması

olayı ile görsel tabanlı lokal konum bulma işlemleri sistemde kullanılmıştır (Min et al. 2009).

Mistler vd. dört rotorlu helikopterlerin dinamik modelini oluşturmuşlardır ve geri besleme kontrollerini geliştirmişlerdir (Mistler et al. 2001). McKerrow dragonflyer isimli aracın teorik analizi için dinamik modelini elde etmişlerdir (McKerrow, 2004). Mokhtari A. ve Benallegue A., Quadrotorların lineer olmayan dinamik modelini, durumu değişebilen kontroller için elde etmişlerdir. Bu kontroller Euler açısına (üç boyutlu uzayda katı bir cismin sabit noktaya herhangi bir şekilde konumlandırılması için yeterli açı) dayandırılmıştır (Mohtari and Benallegue 2004). Castilo vd. Quadrotorların otonom olarak kalkış, havada duruş ve iniş kontrollerini gerçekleştirmişlerdir. Bu işlemi Lyapunov analizlerine dayanan Lagrange modelini kullanarak yapmışlardır (Castilo et al. 2004).

Bouabdallah vd.. iç mekanda çalışan mikro bir Quadrotorun tasarım, dinamik modelleme, algılama ve kontrolünü gerçekleştirmişlerdir (Bouabdallah et al. 2004). Bouabdallah ve Siegwart iki tane lineer olmayan kontrol tekniği önermişlerdir. Biri geriadımleme diğeri kayma modu kontrolüdür (Bouabdallah and Siegwart 2005).

Uçuş kontrol metodu olarak görsel sistemler üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Altuğ ve arkadaşları quadrotor için görsel bir geri kontrol sistemi önermişlerdir. Bu sistem insansız hava aracına bağlanan bir kamera ve yükseklik tahmini sensöründen oluşmaktadır (Altuğ vd. 2002). Hamel. ve arkadaşları quadrotor gibi kontrol edilen sistemlerde yörünge takibi için, servo kontrolüne dayanan görsel bir sistem önermişlerdir (Hamel et al. 2002). Hamel ve Mahony kalkışlarda kamerayı sabit bir hedefe konumlayarak görsel olarak kalkış yapan bir sistem gerçekleştirmişlerdir (Hamel and Mahony 2004).

Kim vd. daha önceki yapılan birçok çalışmadaki hareket denklemlerindeki hatalara, tutarsızlıklara işaret etmişler bu sistemlerin hem dünya koordinat sistemini hem de gövde kontrol sistemini kullandığından bahsetmişler ve bu iki sistem arasında uygun dönüşümlere sahip olmadığı yönünde iddiada bulunup, bu problemin çözümü için yöntem sunmuşlardır (Kim et al. 2010).

Kıvrak yapmış olduğu master tezinde, dört motorlu uçuş aracının denetim sistemini incelemiştir. Denetim sistemi Matlab/Simulink ortamında geliştirilmiş ve gerçek zamanlı uygulaması yapılmıştır. Sistemin yönelim kararlılığının denetimi için Lineer Quadratik Regülatör tasarlanmış ve donanımla gerçek zamanlı çalışması gösterilmiştir. Donanım yapısı veri toplama kartı, algılayıcı seti, doğru akım motorları ve sürücü devresi ve DraganFlyer V Ti gövdesinden oluşmaktadır (Kıvrak, 2006).

Makaya ve arkadaşları GSM ve GPRS teknolojilerini kullanarak kablosuz kontrol edilebilen bir robotun tasarımını ve prototipini gerçekleştirmiştir (Makaya et al. 2004). Robotun kontrolü, üzerinde bulunan kişisel bilgisayar aracılığı ile internet vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Kontrol için cep telefonu kullanılmıştır.

Lopez ve arkadaşları ortam izleme amacı ile mikrobot ismini verdikleri, özürlü veya yaşlı insanlara yardımcı olması amacıyla GPRS üzerinden kontrol edilen bir robot geliştirmişlerdir (Lopez et al. 2005). Geliştirilen bu robot üzerinde bulunan Linux tabanlı OWA22A gömülü kablosuz iletişim sistemi ile GPRS üzerinden web sunucusuna bağlanmakta ve web sunucusundan gelen komutlar doğrultusunda hareket edebilmektedir. Robotun kontrolü gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir.

Velagic vd. Dış mekanlarda çalışan ve GPRS ile kontrol edilebilen bir robot geliştirmişlerdir. Robotun konum bilgilerini Google Earth Api'si kullanarak hazırladıkları program aracılığı ile takip edebilmişlerdir. Robot üzerinde bulunan kişisel bilgisayar ile GPRS üzerinden Sunucuya bağlanmakta ve konum bilgilerini iletmektedir. Ayrıca robot sunucu üzerinde seçilen bir noktaya gidebilmektedir (Velagic et al. 2011).

Cui vd. GPS'den bulunduğu konumun koordinatlarını okuyarak GPRS üzerinden gönderen ve GPRS üzerinden kontrol edilebilen bir robot tasarlamışlardır. Oluşturulan sayısal harita aracılığı ile tasarlanan robot için bir konumlandırılma sistemi geliştirilmiştir. Robot sayısal harita üzerindeki engellere çarpmadan bir noktadan başka bir noktaya gidebilecek şekilde tasarlanmıştır (Cui et al. 2006).

Muñoz vd. GPRS üzerinden gerçek zamanlı kontrol edilebilen bir robot geliştirmiş ve bu robotun kontrolü esnasındaki zaman gecikme analizlerini yapmışlardır. Robot kişisel bir bilgisayara bağlı GPRS modül aracılığı ile uzak sunucuya bağlanmaktadır. Robotun kontrolü cep telefonuna yüklenen bir program aracılığı ile gerçekleştirilmiştir (Muñoz et al. 2007).

Alahakone ve Ragavan GPRS sistemini kullanarak mobil obje takibi için bir navigasyon sistemi tasarlamışlardır. GPRS üzerinden gönderilen konum bilgileri Google Earth Apisi kullanarak oluşturulan harita üzerine işaretlenmiş ve bu bilgilerin kayıt altına alınması sağlanmıştır (Alahakone and Ragavan, 2009).

Li vd. GPRS tabanlı bir güvenlik sistemi geliştirmişlerdir. Güvenlik amacı ile otonom olarak hareket eden bir robot üzerinde bulunan sensörler aracılığı ile herhangi bir yangın ya da güvenlik ihlali durumunda karşılaşılan durumun fotoğrafını çekmektedir. Çekilen bu fotoğraf MMS olarak kullanıcının cep telefonuna mesaj atılmaktadır (Li et al. 2009).

Kai vd. mobil bir taşıma aracı tasarlamışlardır. Bu taşıma aracı belli bir rotada hareket etmektedir. Hareket esnasında herhangi bir engel ile karşılaşma durumunda GPRS altyapısını kullanarak kullanıcıya bilgi göndermektedir (Kai et al. 2011)

İnal ve Akçayol GSM altyapısını kullanarak bir akıllı ev sistemi uygulaması geliştirmişlerdir. Bu sistemde ev içinde bulunan sensörlerden gelen veriler mikrodenetleyici aracılığı ile kişisel bir bilgisayara aktarılmaktadır. Bilgisayara aktarılan bu veriler GSM modem aracılığı ile kullanıcının cep telefonuna aktarılmaktadır. Kullanıcı isterse cep telefonu aracılığı ile evinde bulunan elektrikli aygıtları çalıştırabilmektedir (İnal ve Akçayol, 2009).

## BÖLÜM 3

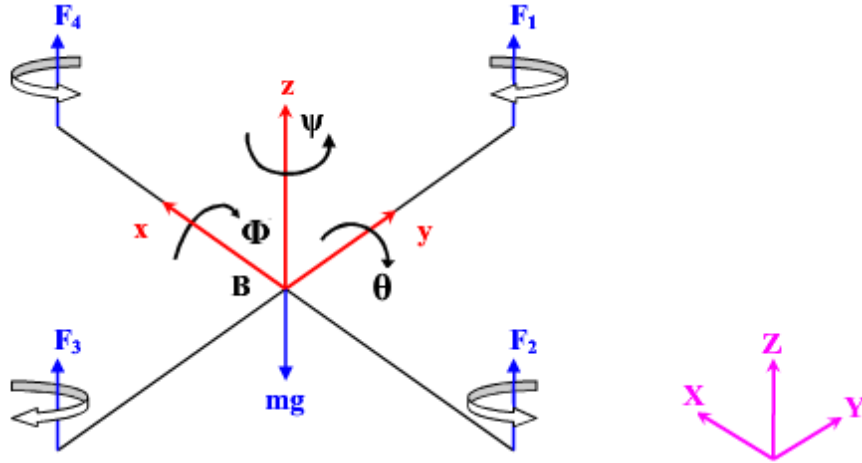
### QUADROTOR HAKKINDA GENEL BİLGİLER

#### 3.1. TANIM

Dört rotorlu dikey kalkış yapabilen hava araçlarına genellikle quadrotor adı verilir. Yüksek manevra kabiliyetine sahiptir. Hareket için rotarlardan elde edilen itki kuvvetleri kullanılmaktadır. Birbirine dik iki shaft üzerine yerleştirilmiş dört rotor bulunmaktadır. Rotorlar elektrik motorları aracılığı ile döndürülmektedir

#### 3.2. QUADROTORUN HAREKETİ

Quadrotor yeryüzü doğrusal eksenlerinde (x,y,z) 3 boyutta hareket edebilmektedir. Bu hareketini yeryüzü koordinat düzlemine göre 3 eksendeki açılarını değiştirerek gerçekleştirmektedir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Araç üzerine etki eden kuvvetler ve 3 eksen de açılar.

### 3.2.1. Yunuslama ( $\emptyset$ ) Açısı

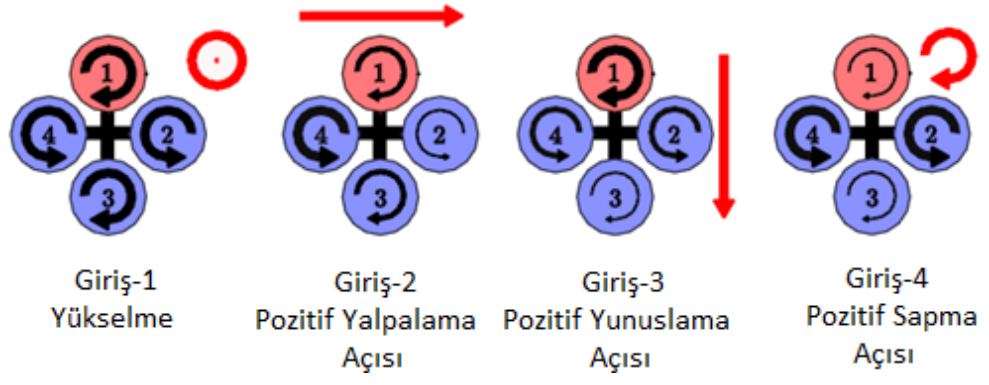
Quadrotor yapısal olarak simetrik bir araçtır. Bu nedenle açısal kontrolün sağlanması için quadrotorun burun kısmının referans olarak belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada quadrotorun burun kısmı 1 numaralı rotorun bulunduğu kısımdır. Yunuslama açısı ise quadrotorun burun doğrultusuna dik olan yanal eksen etrafındaki harekettir. Bu hareket 1 ve 3 numaralı rotor hızlarının eşit miktarda ve zıt işaretli olarak değiştirilmesi ile sağlanır. Bu sayede meydana gelen  $\emptyset$  açısı quadrotorun y ekseninde hareket etmesini sağlayacaktır (Şekil 3.2).  $\emptyset$  açısının değişmesiyle toplam itki kuvveti azalacağından  $-z$  yönünde bir hareket de gerçekleşecektir.

### 3.2.2. Yalpalama ( $\theta$ ) Açısı

Quadrotorun burun doğrultusundaki dikey eksen etrafındaki hareketidir. 2 ve 4 numaralı motorların hızlarındaki değişim ile x ekseninde bir hareket sağlanmaktadır (Şekil 3.2). Yunuslama açısında olduğu gibi toplam itki kuvveti azalacağından  $-z$  yönünde bir hareket de gerçekleşecektir.

### 3.2.3. Sapma ( $\psi$ ) Açısı

Quadrotorun birbirine dik olan rotorları zıt yönde dönmektedir. Toplam açısal moment sıfır olduğundan quadrotor sabit bir yön doğrultusunda kalabilmektedir. Karşılıklı motorların hızlarının eşit miktarda ve zıt işaretli olarak değiştirildiğinde toplam moment değişeceğinden quadrotor düşey eksen etrafında hareket edecektir. Bu sayede sapma açısı meydana gelmektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Motor hızlarına göre hareket yönleri.

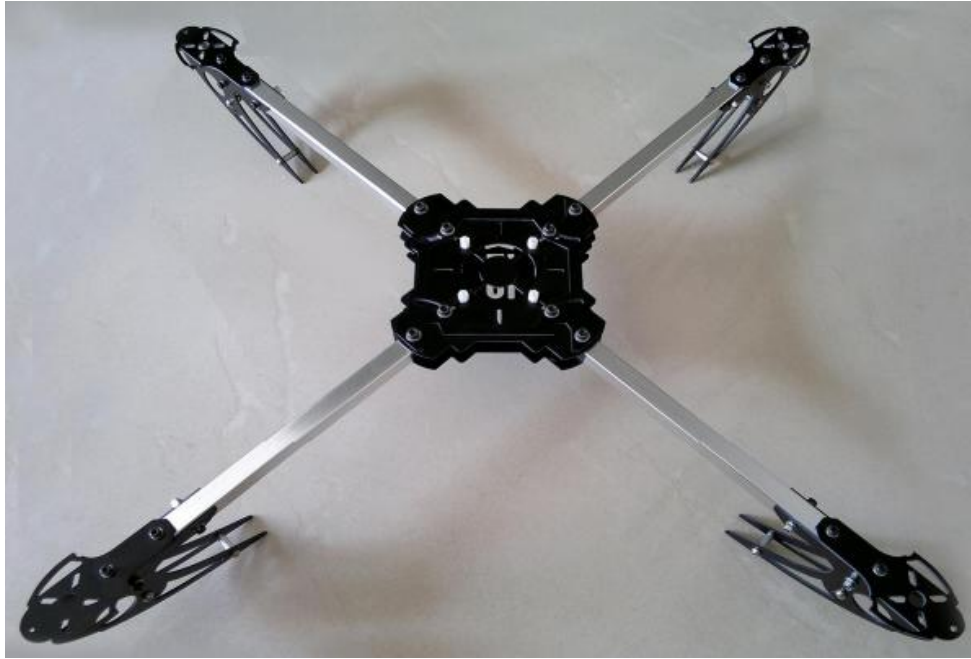
## BÖLÜM 4

### ROBOTUN TASARIMI

#### 4.1. ROBOTUN MEKANİK TASARIMI

##### 4.1.1. Gövde

Quadrotor gövdesi olarak quadrotorlar için üretilmiş X525 quadrotor gövdesi kullanılmıştır. Gövdenin çapı 60 cm dir. Kollar 13mm kalınlığında içi boş alüminyum kare profilden imal edilmiştir. Ağırlığı 380 gramdır. İniş takımları ve bağlantı aparatları karbon fiber malzemeden üretilmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Gövdenin genel görünümü.

Her bir kol boyu 250 mm dir. Kollar gövde levhasına üstten ve alttan vidalanarak sabitlenmiştir. Üst ve alt gövde levhaları arasındaki boşluk güç dağıtım kartı monte



edilerek değerlendirilmiştir. İniş anında esnekliği sağlamak için iniş takımları ile kollar arasında yay mevcuttur (şekil 4.2). Gövdenin alt kısmına batarya montajı için ek bir karbon fiber parça eklenmiştir.



şekil 4.2. İniş takımları.

#### 4.1.2. Motorlar

Quadrotor hareketini 4 kola bağlı olan motorlar aracılığı ile sağlamaktadır. Bu amaçla kullanılabilen farklı motor türleri mevcuttur. Bu çalışmada ise yüksek hız ve performanslarından ötürü Fırçasız doğru akım motorlar kullanılmıştır.

Fırçasız doğru akım motorları çoğunlukla geniş manyetik kutuplardan oluşan yüzey mıknatısları kullanılan konsantre stator sargıları olan makinelerdir. Motor tasarımı otomatik kontrollü inverter karakteristiğini karşılayabilmek için stator fazlarının sargı yoğunluğunda olduğu gibi hava aralığı akı yoğunluğu dalga formunun bir kare dalga form dağılımı olması üzerine kuruludur (Ooi, 1981).

Fırçasız doğru akım motorları rotor yüzeyine sabit mıknatıslar sayesinde uzun ömürlü bir manyetik alan sağlanması özelliğine sahiptir. Bu motorlar genel olarak üç fazlı olarak kabul edilirler ancak bu her zaman geçerli değildir. Özellikle düşük güç seviyeleri gerektiren soğutma uygulamaları gibi ucuz maliyetli olması beklenen uygulamalarda iki yada tek fazlı olarak da kullanılmaktadırlar. Diğer yandan yüksek

güçlü uygulamalarda da üçten fazla kutuplu olarak uygulanmaktadırlar. Fırçasız doğru akım motorlarının farklı türleri mevcuttur.

#### **4.1.2.1. Dış Rotorlu Fırçasız Doğru Akım Motorları**

Dış rotorlu fırçasız doğru akım motor tipinde mıknatıslar stator sargısının dışında bulunan rotor yuvarlağının içine yerleştirilir (Şekil 4.3). Bu durum döner kısmın kütlelerinin artmasına ve atalet momentinin yüksek olmasına sebep olur. Örneğin floppy disk sürücülerinde hızın değişim göstermeden sabit kalması için yüksek ataletli rotor gereği dış rotorla karşılanabilir.



Şekil 4.3. Dış rotorlu fırçasız doğru akım motorları.

#### **4.1.2.2. Disk Tipi Fırçasız Doğru Akım Motoru**

Bir yüzeyinde mıknatıslar yerleştirilmiş çelikten yapılmış disk rotoruna sahiptir. Statorunda ise buna karşılık düşen uyarma sargıları bulunur. Sargıları baskılı devre şeklinde imal etmek de mümkündür. Bu tür motorlarda hız geri beslemeli kapalı çevrim kontrollü bir sistemle düşük hızlarda çok yumuşak performans sağlanabilir. 1000 rpm üzerindeki uygulamalarda 6 stator veya rotor disk çeliğinde ısı problemleri

ortaya çıkabilmektedir. Bunu gidermek için yüksek hızlarda çalışması istenen makinelerde ek maliyetler söz konusu olacaktır. Motorun görünüşü Şekil 4.4’de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Disk tipi fırçasız doğru akım motoru.

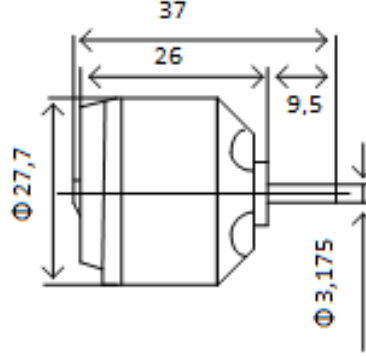
#### 4.1.2.3. İç rotorlu Fırçasız Doğru Akım Motoru

Bu motorlar yüksek güç ve moment gerektiren durumlarda tercih edilmektedir. Yüksek hızlarda mıknatısları ekstra bağlantı elemanları ve bilezikler ile rotora sabitleme ihtiyacının ortaya çıkması üretim maliyetlerini arttırmaktadır. (Gödekoğlu, 2007) Bu motorlarda rotor iç kısımda, stator ise dış kısımda yer almaktadır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. İç rotorlu fırçasız doğru akım motoru.

Fırçasız motorların devir birimi 1 volt için dakikadaki devir sayısı değeri yani RPM/V dur. Örneğin 1000 RPM/V değerine sahip bir motor 12 Volt ile beslendiğin 12000 RPM hızında dönmektedir. Bu uygulamada daha düşük hızda çalışmalarına karşı daha yüksek torka sahip olmaları nedeniyle Dış Rotorlu Fırçasız Motorlar kullanılmıştır. Kullanılan motor 1000 RPM/V değerindedir (Şekil 4.6).



Motor Boyutları	Motor Şaft Boyutları	Ağırlık	Güç	Çalışma Gerilimi
28 x 26 mm	3,175 x 37 mm	50 g	150 W	7,4 - 12,6 V

Şekil 4.6. Motor özellikleri ve teknik çizimi.

#### 4.1.3. Motor Sürücüsü

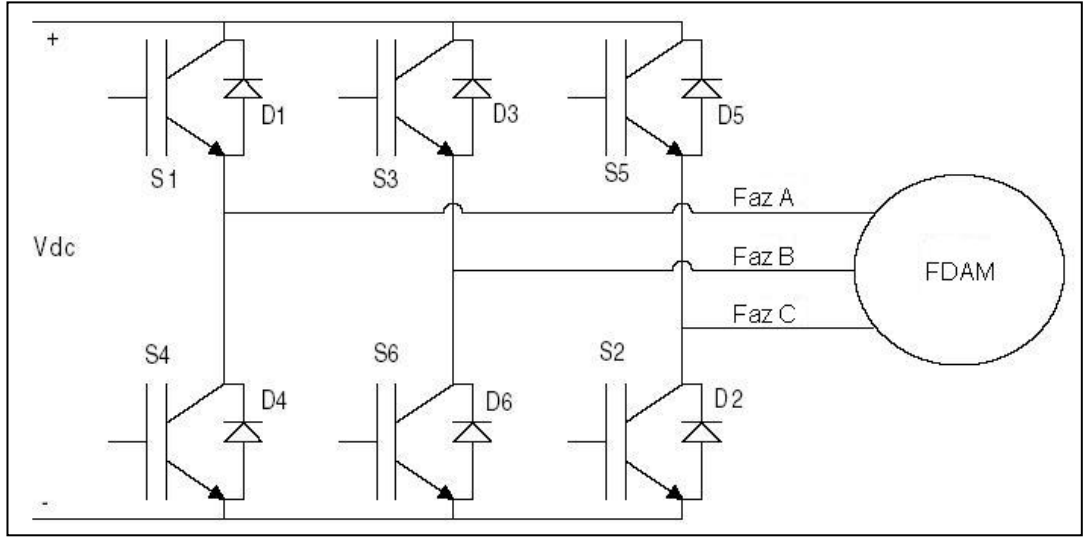
Quadrotor her bir motorun farklı hızlarda dönmesi ile farklı manevralar yapabilmektedir. Bu nedenle her bir motorun dönüş hızının hassas bir şekilde ayarlanabilmesi gerekmektedir. Bu amaç ile ESC (Electronic Speed Controller) adı verilen elektronik cihazlar kullanılmaktadır.

Fırçalı motorlar da fazlar arası geçişler fırça aracılığı ile sağlanırken fırçasız motorlarda fazlar arası geçişlerin elektronik olarak sağlanması gerekmektedir. Bu da motorun daha uzun ömürlü daha sessiz ve daha verimli çalışmasını sağlamaktadır. ESC Bataryadan aldığı gerilimi giriş sinyali doğrultusunda 3 faza gönderen devredir. Fazlardaki frekans değiştirerek hız denetimi sağlanır.

ESC temel olarak iki bileşenden oluşur. Bunlar evirici ve kontrolör (Mikrodenetleyici) dür.

#### 4.1.3.1. Evirici

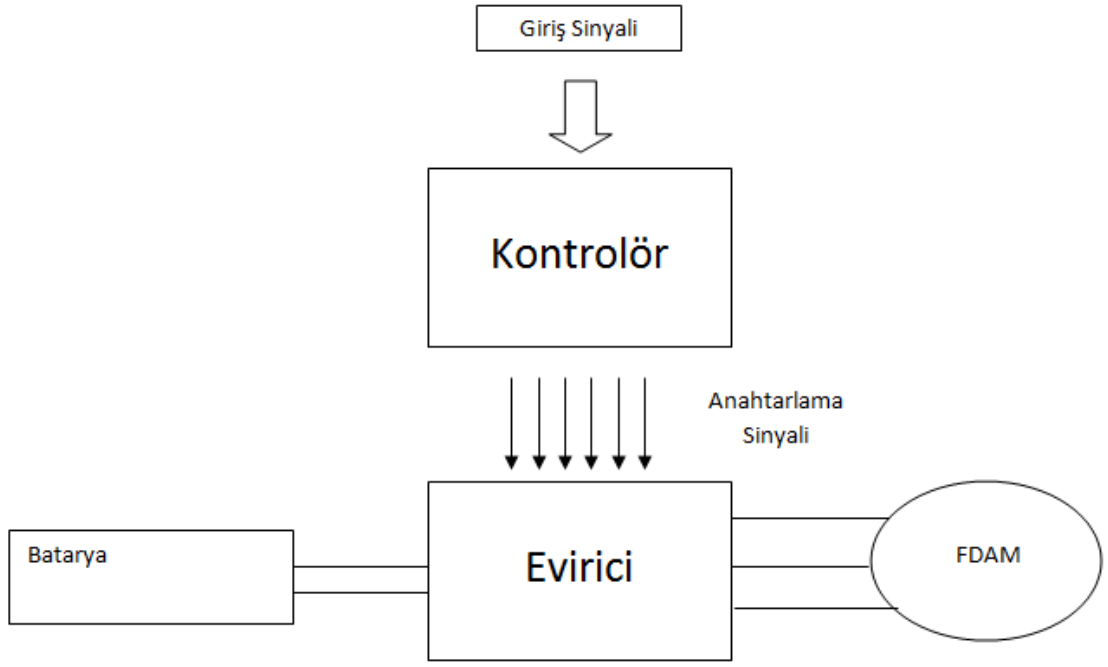
DC gerilimi 3 faza dönüştürmek için IGBT tabanlı bir devreye ihtiyaç vardır. Bu devre bataryadan alınan DC gerilimi 3 fazlı fırçasız motorun kullanabileceği şekle dönüştürmektedir. Bu işlem ilgili IGBT lerin doğru şekilde anahtarlanması ile gerçekleşmektedir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Üç faz FADM için IGBT tabanlı evirici devre şeması (Gödekoğlu, 2007).

#### 4.1.3.2. Kontrolör (Mikrodenetleyici)

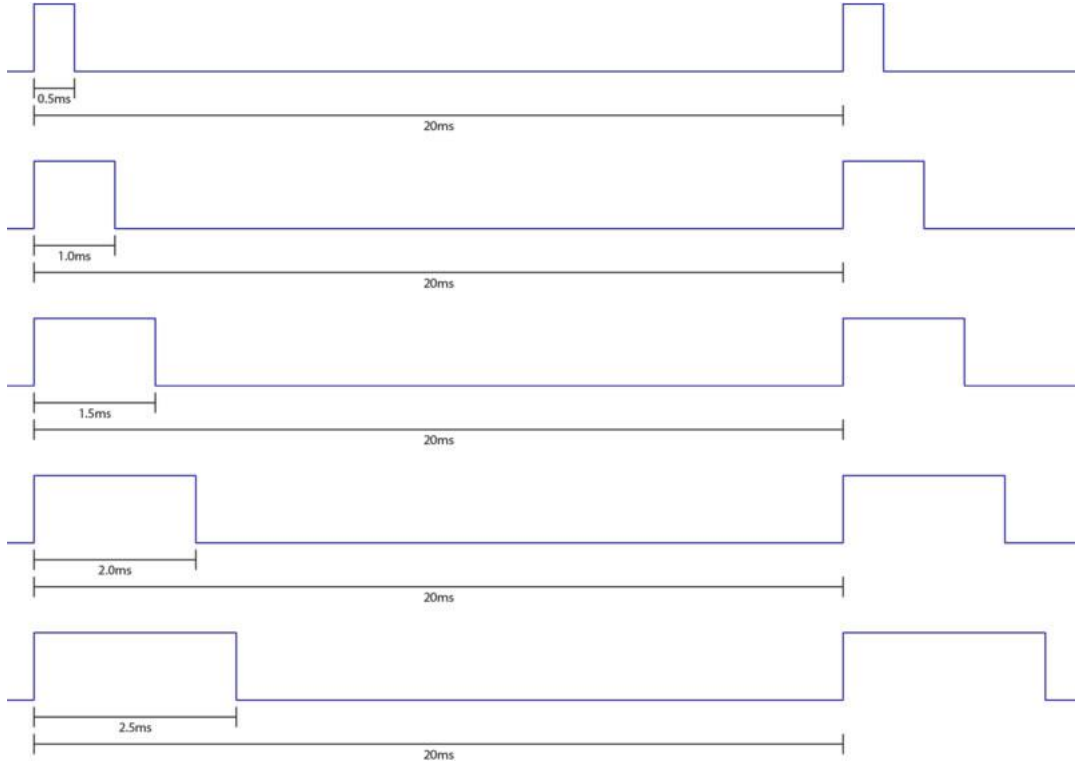
IGBT'lerin anahtarlanma hızı fazlardaki gerilimin frekansını dolayısıyla motor dönüş hızını belirlemektedir. Anahtarlama işlemi mikrodenetleyici tarafından gerçekleştirilmektedir. Amaç motorun istenilen hızda dönmesini sağlamak olduğundan istenilen hız bir şekilde mikrodenetleyiciye anlık olarak girilmelidir. Mikrodenetleyicinin bir diğer görevi de kullanıcı tarafından gönderilen sinyallerin algılanması ve yorumlanmasıdır. Bu sinyaller doğrultusunda frekans belirlenerek gerekli anahtarlama işlemi yapılmaktadır (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Hız sürücüsü çalışma şeması.

Quadrotorun tasarımında radyo kontrollü cihazlar için üretilen ESC ler kullanılmıştır. Bu tür ESC lerin sinyal giriş ucu kablosuz alıcıya bağlanmaktadır. Kablosuz vericiden gelen sinyaller doğrultusunda alıcı, bir PWM sinyali üreterek ESC ye giriş sinyali olarak aktarmaktadır.

Üretilen sinyallerin periyodu 20 ms dir. Mikrodenetleyici 20 milisaniyelik sinyalin doluluk oranı süresini ölçer. Doluluk oranı 1 ms ile 2 ms arasında değişim gösterir (Şekil 4.9). Eğer doluluk oranı 1ms ise motor hızı 0 olmaktadır. Eğer doluluk oranı 1,5 ms ise motor maksimum hızının yarısında dönmektedir. Eğer doluluk oranı süresi 2 ms ise motor en yüksek hızda çalışmaktadır.



Şekil 4.9. ESC giriş sinyalleri.

#### 4.1.4. Lityum Polimer Batarya

Bataryalar elektrik enerjisini kimyasal ortamda depolama amacı ile kullanılmaktadır. Birçok farklı batarya çeşidi bulunmaktadır. Her batarya türünün avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Lityum polimer bataryalarda diğer şarj edilebilir lityum bataryalara nazaran kullanılan elektrolit madde daha farklıdır. Elektrolit; iletkenliği olmayan fakat iyonların geçişine elverişli plastik türü bir maddeden yapılmıştır. Bu nedenle elektrolit maddesine batırılmış gözenekli bir separatör maddesi polimer türde bir elektrolit ile değiştirilmiştir. Batarya içerisinde sıvı elektrolit kullanımı ortadan kalktığı için metalden yapılmış bir dış kaba ihtiyaç duymamaktadır. Bu da batarya ağırlığını büyük oranda azaltmaktadır. Ayrıca dış kabın olmaması nedeniyle piller tasarımlara uygun şekilde ince yapılı olarak ta üretilebilmektedir. Üretilen hücreler paralel ve seri bağlanarak ihtiyaç duyulan batarya elde edilmektedir. Piyasada seri bağlı hücre sayısına göre 1S,2S,3S,4S,6S gibi bataryalar hazır olarak satılmaktadır.

Bu bataryaların en büyük özelliklerinden biri diğer batarya türlerine göre yüksek kapasiteli olmalarıdır. Daha az ağırlıkta daha fazla enerji depolayabilirler. Ayrıca diğer batarya türlerine göre çok daha fazla akım anlık verebilmektedirler.

Quadrotor uygulamasında 3 hücreli 2200 mah kapasiteli ve 20C deşarj değeri olan bir lityum polimer batarya kullanılmıştır (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Lithium polimer batarya.

Şarj işlemi bu bataryalar için üretilmiş olan şarj aletleri ile yapılmalıdır. Şarj yapılırken batarya üzerinde bulunan soket aracılığı ile her bir hücrenin gerilimi kontrol edilir ve her bir hücre gerilimi eşit olarak arttırılacak şekilde şarj edilir. Bu işleme balans şarj denir (Hsieh et al, 2002).

Uygun olmayan şarj cihazları kullanımında kapasitesinin üzerinde şarj edildiğinde batarya alev alarak tehlikeli sonuçlar doğurabilmektedir.

Bu bataryalar diğer bataryalara oranla daha yüksek kapasitelidir. Hafif olmaları ve istenilen şekillerde üretilebilmeleri nedeni ile özellikle mobil cihazlarda, taşınabilir bilgisayarlarda uçan elektrikli araçlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

#### **4.1.5. Mikrodenetleyici**

Arduino MEGA 2560 Atmega2560 tabanlı bir mikrodenetleyici kartıdır (Şekil 4.11). 54 adet dijital giriş ve çıkışı mevcuttur. Bu giriş ve çıkışlardan 14 tanesi PWM çıkışı olarak kullanılabilir. 16 adet analog girişi ve 4 adet UART (Donanımsal Seri



Çıkış)'a sahiptir. Mikrodenetleyici 16 MHZ hıza sahiptir. USB kablosu ile bilgisayara bağlanarak harici bir programlayıcı devre gereksinimi olmadan programlanabilmektedir. Ayrıca programlamanın yapıldığı USB girişi üzerinden de veri alışverişi gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 4.11. Atmega 2560 denetleyicisi ve arduino mega denetleyici kartı.

Mikrodenetleyiciye ait özellikler aşağıdaki gibidir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Arduino mega mikrodenetleyici kartı özellikleri.

Çalışma Gerilimi (V)	5
Besleme Gerilim Aralığı (V)	7-12
Besleme Gerilim Limitleri (V)	6-20
Dijital Giriş Çıkış Pinleri	54 (15 adet PWM Çıkışı)
Analog Giriş Pinleri	16
Giriş – Çıkış Pin Akım Değeri (mA)	40
3.3V Çıkış Pin Akım Değeri (mA)	50
Program Hafızası (KB)	256
SRAM (KB)	8
EEPROM (KB)	4
İşlemci Hızı (MHz)	16

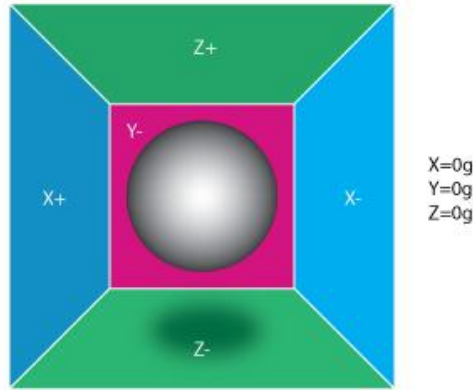
GPS Modül ve GPRS Terminal seri iletişim noktası üzerinden iletişim sağlamaktadır. Mikrodenetleyici üzerinde 4 adet donanımsal seri iletişim noktası bulunduğundan amaç için oldukça uygundur.

## 4.1.6. Sensörler

### 4.1.6.1. İvmeölçer

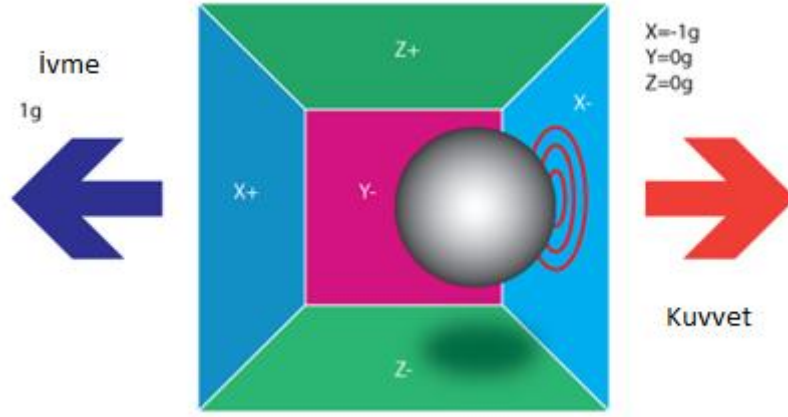
İvmeölçer, içerisinde mikro mekanik ölçüm sistemi bulunan ve x,y,z eksenlerinde oluşan ivmelerin durumuna göre gerilim üreten elektronik birimdir (Sezer, 2011). Eğer sensör hareketsiz ise sensör çıkışı yerçekimi ivmesi yani  $1g$  olmaktadır. Bu özelliği ile günümüzde hareket algılayıcı ve eğim sensörü olarak kullanılmaktadır. Günümüzde üretilen cep telefonlarının ekranın telefonun pozisyonuna göre dönmesi bu sensör ile sağlanmaktadır.

İvmeölçer 6 yüzünde basınca duyarlı piezoelektrik madde olan bir küpün içerisindeki küre şeklinde düşünülebilir (İnternet, 2012). Bu kürenin yerçekimi olmayan bir ortamda olduğu varsayılırsa küre resimdeki gibi askıda kalacaktır (Şekil 4.12).



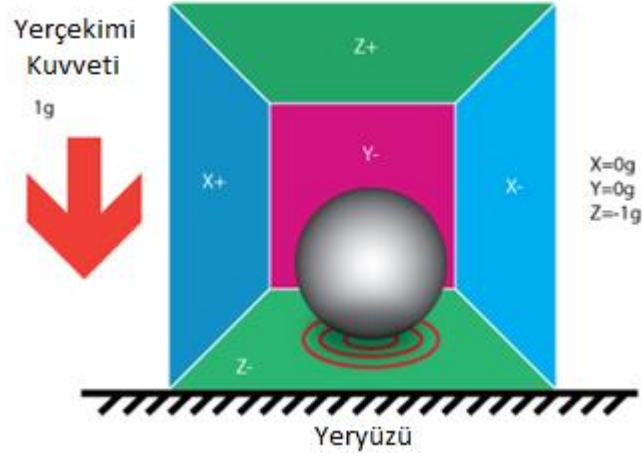
Şekil 4.12. Yerçekimsiz ortamda ivmeölçerin çalışması.

Kutuyu  $1g$  kuvvet ile  $+X$  yönünde hızlandırdığımızda küre  $-X$  yönünde  $1g$  kuvvet meydana getirecektir (Şekil 4.13).



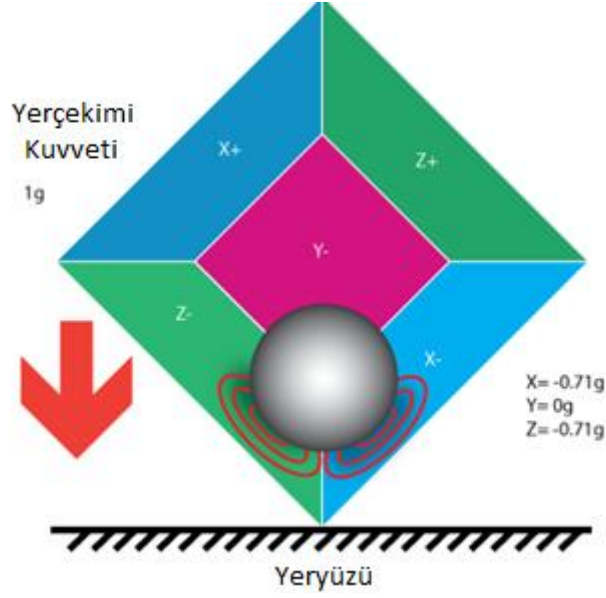
Şekil 4.13. Hareket anında ivmeölçerin çalışması.

Bu kutunun dünyada olduğu varsayılırsa dünyanın 1g yer çekimi kuvveti nedeniyle küre  $-Z$  yönüne 1g kuvvet uygulayacaktır (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Yer çekimli bir ortamda ivmeölçerin çalışması.

Kutuyu 45 derece çevirdiğimizde  $-X$  ve  $-Z$  yüzeylerine  $\frac{\sqrt{2}}{2}$  g kuvvet uygulamaktadır. Bu da yaklaşık olarak 0,71g olmaktadır (Şekil 4.15).



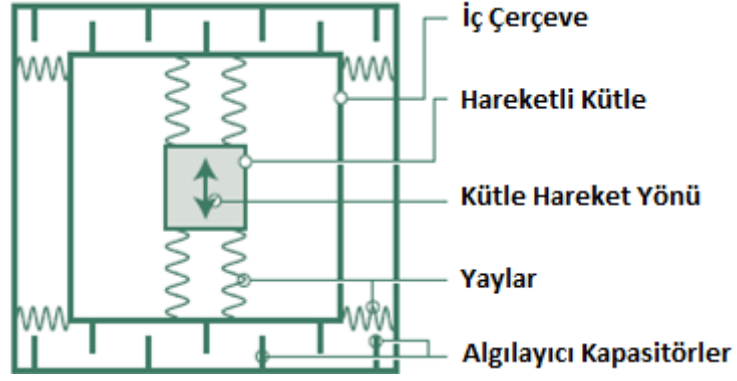
Şekil 4.15. Yer çekimli ortamda 45 derece açı ile ivmeölçerin çalışması.

Açıklamalar eşiğinde R bileşke vektörünün karesi her 3 yüzeye uygulanan kuvvetlerin karelerinin toplamının kareköküne eşit olmaktadır.

Bu çalışmada LSM303DLH ivmeölçer kullanılmıştır. Bu sensör,  $\pm 8g$  ye kadar 3 eksen de ölçüm yapabilmektedir. 16 bit veri çıkışı mevcuttur. Mikrodenetleyici ile I<sup>2</sup>C seri arabirimini kullanarak standart modda 100 KHZ saat hızı ile haberleşebilmektedir.

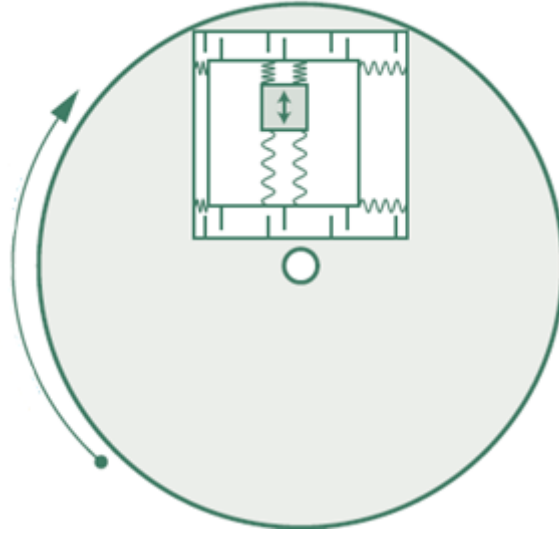
#### 4.1.6.2. Jiroskop

Jiroskop bir nesnenin açısal hızını ölçmekte kullanılır. Elektronik jiroskoplar bir eksen etrafında döndürüldüğünde dönüş hızı ile orantılı olarak gerilim üretmektedir. Jiroskop hassasiyeti saniyede bir derece hızla döndüğünde sensörün verdiği çıkıştır. Dönme hızını doğru şekilde gerilime çevirmek için Jiroskop hassasiyetinin bilinmesi gerekmektedir. Jiroskop hassasiyetleri kullanılan Jiroskop modeline göre değişiklikler göstermektedir. Jiroskop'un mekanik yapısı aşağıdaki gibidir (Şekil 4.16).



Şekil 4.16. Jiroskop'un iç yapısı.

Aşağıdaki şekilde dönme yönü saat yönünde belirlenmiştir. Dönme gerçekleştiğinde merkezkaç kuvveti rezonans kütesini dışa doğru itmektedir. Ayrıca dönüş yönüne göre iç çerçeve sola kaymaktadır. Bu sayede hem açısal hız hem de dönüş yönü saptanabilmektedir (Şekil 4.17).

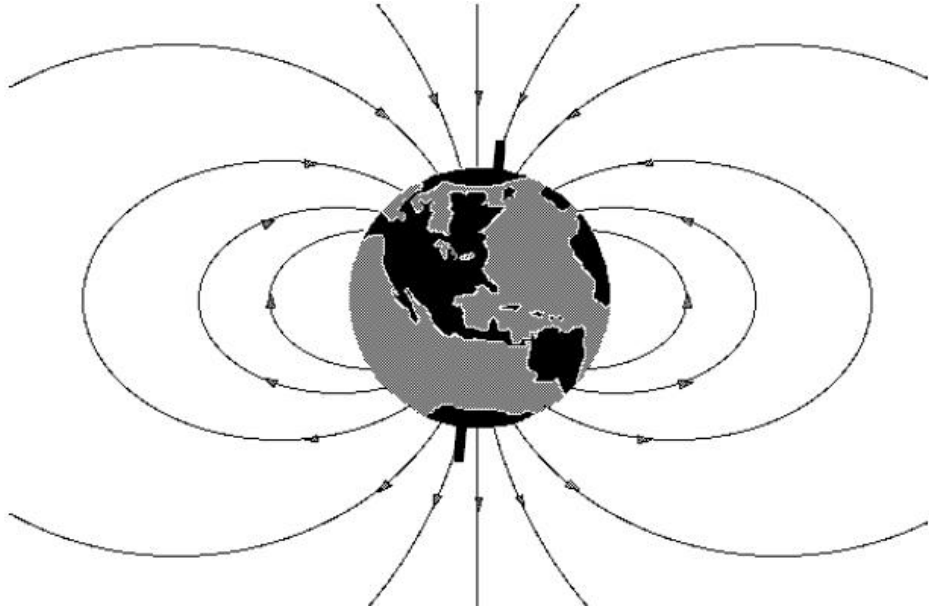


Şekil 4.17. Hareket anında jiroskopun çalışması.

Bu çalışmada kullanılan jiroskop L3G4200D dir. Bu jiroskop I<sup>2</sup>C seri bağlantı noktasını kullanarak mikrodenetleyici ile haberleşmektedir. Saniyede 2000 dereceye kadar ölçüm yapabilmekte ve 800 Hz çıkış verebilmektedir.

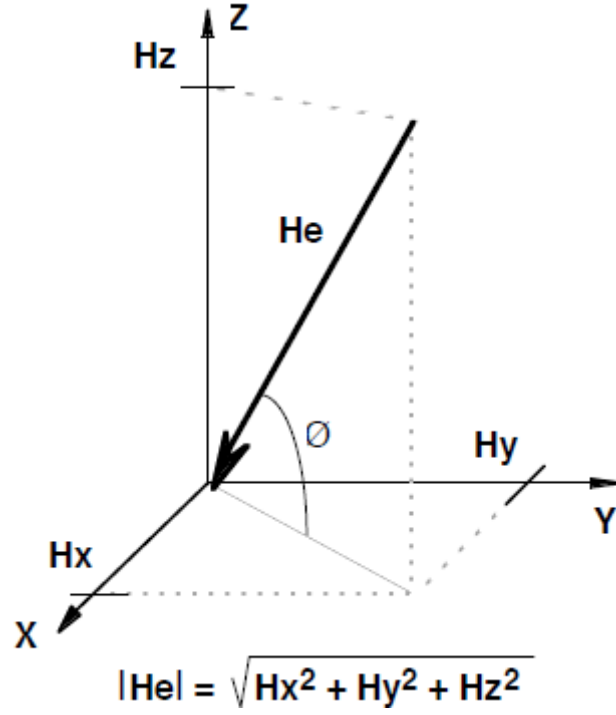
### 4.1.6.3. Manyetik Sensor

Dünyanın manyetik alanı bir çubuk mıknatısın manyetik alanına benzemektedir. Güney kutbundan başlayarak kuzey kutbuna ulaşan manyetik bir alan mevcuttur (Şekil 4.18). Kuzey ve güney kutupları dünyanın manyetik kutup noktaları olarak ifade edilmektedir.



Şekil 4.18. Yeryüzü manyetik alan çizgileri.

Manyetik Sensör ise dünyanın manyetik alan şiddetini ölçen araçtır. 3 eksene etki eden manyetik alanın şiddetini ayrı ayrı göstermektedir. Aşağıdaki şekilde  $H_e$  yeryüzünün manyetik alan kuvvetini ifade etmektedir.  $H_x, H_y, H_z$  ise bu kuvvetin 3 eksenindeki bileşenleridir (Şekil 4.19).



Şekil 4.19. 3 eksenindeki manyetik alan vektörleri.

Bu çalışmada kullanılan manyetik sensör LSM303DLH dir. 3 ekseninde manyetik alan şiddetini ölçebilmektedir. 8,1 gauss'a kadar ölçüm yapabilmektedir.

#### 4.1.6.4. Altimetre

Atmosferi oluşturan her bir gazın bir ağırlığı vardır ve bu ağırlık atmosferin altındaki ve içindeki cisimler üzerine bir baskı yapmaktadır.

Hava basıncı, atmosfer içindeki havanın, ağırlığı nedeniyle yeryüzünde birim alana yapmış olduğu basınçtır. Bu değer normal olarak deniz seviyesinden yükseldikçe azalmaktadır. Çünkü basıncı yapan hava tabakasının kalınlığı ve ayrıca hava içindeki gaz moleküllerinin yoğunluğu yukarıya doğru azalmaktadır. Bu azalma yüksekliğe ve sıcaklığa bağlı olarak yaklaşık 10 metre de 1 hPa dır (1 hPa ~ 0,75mmHg).

Barometrik basınç sensörü atmosfer basınç değişimini ölçerek yükseklik değişimini hesaplama amacıyla kullanılan sensördür. Bu çalışma da BMP085 barometrik basınç sensörü kullanılmıştır (Şekil 4.20).



Şekil 4.20. Altimetre.

Bu sensöre ait ölçüm aralığı, çözünürlük, doğruluk ve iletim hızı Çizelge 4.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.2. BMP085 özellikleri.

Ölçüm Aralığı (hPa)	300 - 1100
Max. Çözünürlük (hPa)	0.01
Bağıl Doğruluk (hPa)	$\pm 0.2$
Max. İletim Hızı (Hz)	222

#### 4.1.6.5. GPS

GPS uydulardan yayınlanan radyo sinyalleri yardımıyla her türlü hava koşullarında, gece ve gündüz, süratli, doğru ve ekonomik olarak, noktalar arası görüş gereği olmaksızın üç boyutta konum belirleme sistemidir (Karalı. ve Yıldırım 1996).

GPS sistemi yüksek yörüngede bulunan en az 24 uydudan oluşmaktadır. Bu kadar fazla yükseklikte bulunan uydular oldukça geniş bir görüş alanına sahiptirler ve dünya üzerindeki bir GPS alıcısının her zaman iki boyutlu belirleme için en az 3, üç boyutlu belirleme için en az 4 adet uyduyu görebileceği şekilde yerleştirilmişlerdir.

Uyduların her biri, iki değişik frekansta ve düşük güçlü radyo sinyalleri yayınlamaktadır. (L1, L2) Sivil GPS alıcıları L1 (UHF bandında 1575,42 Mhz) ve L2 (1227,60 Mhz) frekanslarını dinlemektedirler. Birden fazla sinyalin kullanılması hem iyonosferden dolayı gerçekleşen kırılmayı engellemek hem de sinyal bozma durumlarına karşı güvenlik olarak uygulanmaktadır. Bu sinyaller bulutlardan, camdan ve plastikten geçebilir ancak duvar ve dağ gibi katı cisimlerden geçemez.



GPS sinyalleri binalardan yansıdığı için şehir içlerinde araziye oranla hassasiyeti azalır. Yeraltına kazılan tünellerde ise sinyal elde edilemez. GPS uydularından temiz sinyal alabilmek için açık bir görüş alanı gereklidir.

GPS uyduları tarafından gönderilen elektromanyetik dalgalar atmosferden geçerken bükülmeye uğrarlar. L1 ve L2 bantları farklı dalga boylarına sahip olduğundan farklı oranda bükülmeye uğradığından aradaki farklılık hesaplanarak atmosferik bozulma engellenerek çok daha hassas bir yer bilgisi hesaplanabilir. Sadece L1 bandı kullanılarak (diferansiyel GPS ile dahi) 98 m. hassasiyet elde edilebilirken, L1 ve L2 bantlarının ortak kullanımı ile 1 metrenin altında hassasiyete ulaşmak mümkün olmaktadır.

Bu sinyallerin ana amacı yerdeki alıcının, sinyalin geliş süresini ölçerek, uyduya olan mesafesini hesaplamayı mümkün kılmasıdır. Uyduya olan mesafe, sinyalin geliş süresi ile hızının çarpımına eşittir. Sinyallerin kabul edilen hızı ışık hızıdır. Gelen bu sinyal, uydunun yörünge bilgileri ve saat bilgisini içerir. Uydu sinyalleri çok güvenilir atom saatleri kullanılarak zamanlanır.

Bu çalışmada SKYlab GPS alıcısı kullanılmıştır (Şekil 4.21). Kullanılan alıcı UART iletişim noktası ile mikrodenetleyiciyle haberleşir haberleşme hızı 9600 bps dir. Saniyede 1 kere konum güncellemesi yapmaktadır.



Şekil 4.21. GPS alıcısı.

#### **4.1.7. Kontrol Kartları**

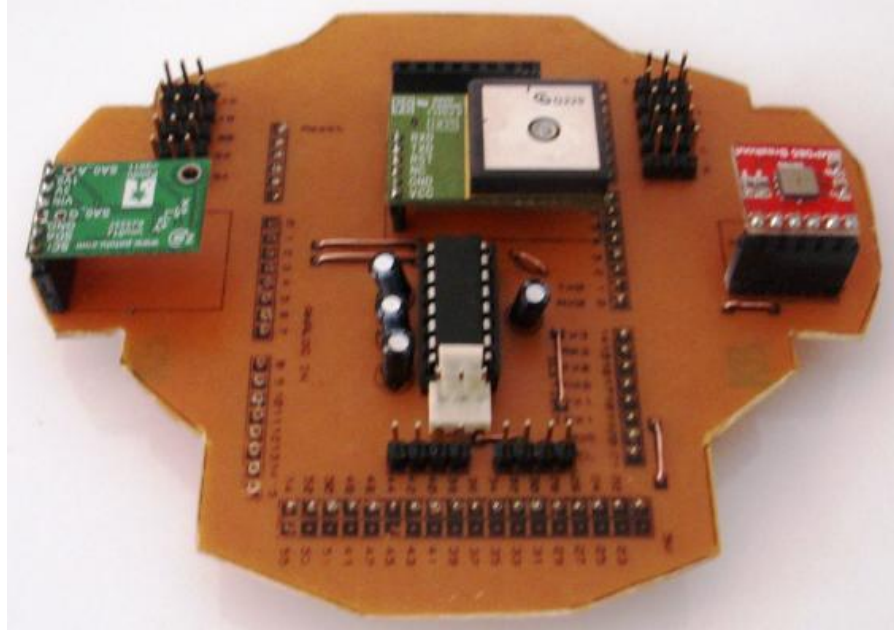
##### **4.1.7.1. Yardımcı Kontrol Kartı**

Quadrotorun yalpalama ve yunuslama açılarını ana kontrol kartından gelen sinyaller doğrultusunda PID kontrolör kullanarak istenilen referans değerinde tutan karttır. Deneysel çalışmalarda sistemin daha istikrarlı çalışmasını sağlamaktadır. Ayrıca konum hareketini saplayan PID kontrolör çıkış sinyalleri ile motorlar arasında köprü vazifesi görmektedir. Örneğin Z eksenin yönündeki kontrolün sağlanmasından sorumlu PID kontrolör çıkışı tek bir PWM sinyali olarak yardımcı kontrol kartına gönderilmekte, yardımcı kontrol kartı bu sinyali 4 motora dağıtmaktadır. Bu da kontrolü kolaylaştırmaktadır.

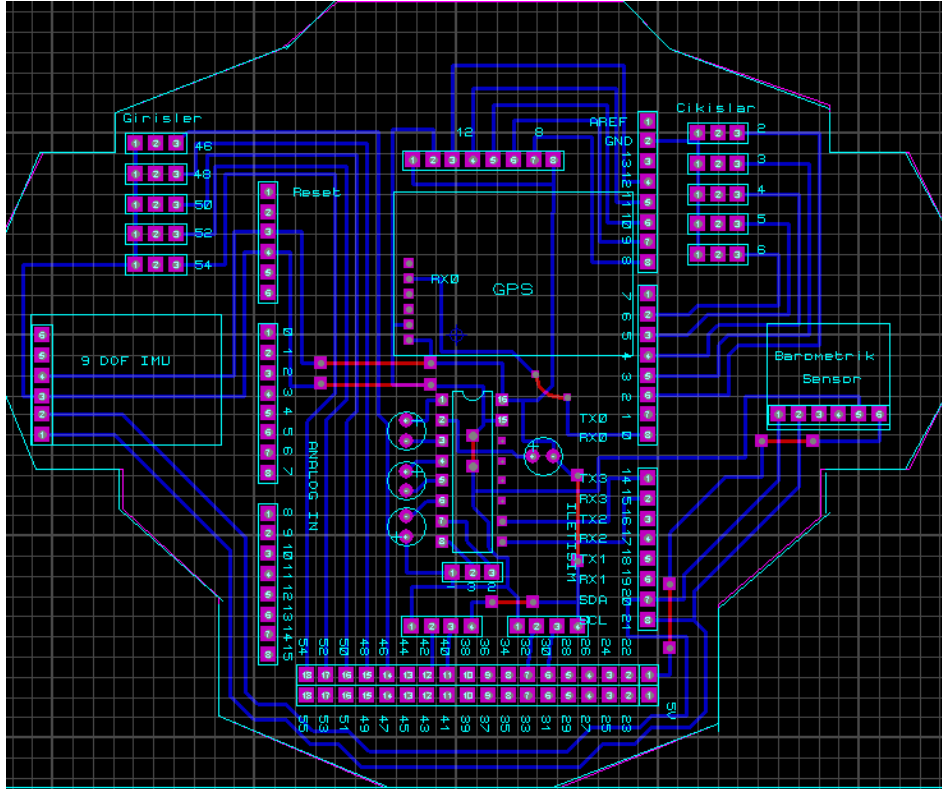
##### **4.1.7.2. Ana Kontrol Kartı**

Quadrotorun konumunun ve durumunun algılanması için gereken tüm sensörleri üzerinde bulunduran ve konum değişikliği için gereken durum değişikliklerini hesaplayarak çıkış sinyallerini üreterek yardımcı kontrol kartına ileten devre kartıdır (Şekil 4.22, 4.23). Ana kontrol kartı aynı zamanda GPRS terminal aracılığıyla sunucu program ile sürekli iletişim halindedir. Quadrotorun konum bilgilerini sunucu programa iletir ve görev bilgilerini sunucu bilgisayardan alır. Bu kart aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır.

- a) Arduino Mega mikrodenetleyici kartı
- b) BMP085 Altimetre
- c) LSM303DLH İvmeölçer ve manyetik sensör
- d) L3G4200D Jiroskop
- e) Skylab SLM53 GPS modül
- f) Nokia 5110 LCD ekran
- g) Max232 entegresi ile TTL – RS232 çevirici devre
- h) Harici kumanda girişleri
- i) Kontrol çıkışları



Şekil 4.22. Ana kontrol kartı.



Şekil 4.23. Ana kontrol kartı devre şeması.

#### 4.1.8. GPRS Terminal

Quadrotor bir noktadan başka bir noktaya yeryüzü koordinat sisteminde otonom olarak hareket edebilmektedir. Aracın takip edilebilmesi ve hedef koordinatlarının gönderilebilmesi için sürekli bir bağlantı gereksinimi vardır. Bu bağlantı konum ve hedef verilerini kısa sürede iletebilmeli ve kapsama alanı çok geniş olmalıdır. GSM alt yapısı en geniş kablosuz iletişim ağlarından birisidir (Şekil 4.24). Bu nedenle Quadrotor ile bağlantı GSM alt yapısı kullanılarak sağlanmıştır. GSM alt yapısı ses, metin ve veri iletişimine olanak sağlamaktadır. Ülkemizde en geniş kapsama alanına sahip, GSM üzerinden veri aktarımına olanak sağlayan iletişim sistemi GPRS dir. GPRS günümüzde mobil cihazların internete bağlanması için yoğun olarak kullanılmaktadır. Araç ile kullanıcı arasındaki iletişim GPRS üzerinden sağlanmaktadır.



Şekil 4.24. Vodafone 2012 yılı kapsama alanı haritası (İnternet, 2012).

GPRS modem özelliği olan cep telefonları ile bilgisayar aracılığı ile internete bağlanılabilmektedir. Bilgisayarın boyutlarının büyük olması ve nedeni ile uçan bir araç olan quadrotor uygulamasında kullanılması uygun olmamaktadır. Ayrıca uygulamada kişisel bilgisayar kullanılsa bile motor kontrolü için gereken sinyallerin üretilmesi için mikrodenetleyiciye gereksinim vardır. Bu çalışmada mikrodenetleyici ile GPRS terminal arasında seri iletişim noktası üzerinden bağlantı kurularak quadrotorun internet üzerinden sunucu bilgisayara bağlanması sağlanmıştır.

Bağlantının gerçekleşmesi için AT komutları adı verilen bir komut sistemi kullanılmaktadır. GSM/GPRS modem ile bilgisayar arasında bağlantı kurulduktan sonra yapılması gereken, komutlar göndererek bağlantının test edilmesidir. Bu komut topluluğuna AT komutları denir. GSM modemler, dial-up modemlerde olduğu gibi iletişim için AT komutlarını kullanır. Bazı GSM modemler, standart AT komutlarının yanında genişletilmiş AT komutlarını da destekler. Bu komutlar, GSM standardında tanımlanmıştır. Genişletilmiş AT komutları ile SMS mesajı okuma/yazma/silme, sinyal gücünü ölçme, adres defterinden okuma/yazma/silme gibi birçok işlem gerçekleştirilebilir.(Yüksel ve Zaim 2009)

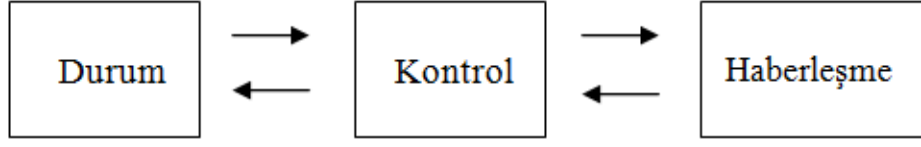
Bu uygulamada AT komutları Mikrodenetleyicinin GPRS terminal üzerinden sunucu bilgisayara bağlanması ve veri alışverişinde bulunması amacı ile kullanılmıştır. Birçok GSM modem genişletilmiş AT komutlarını desteklemediğinden bu komutları destekleyen TELIT GT863-PY GPRS terminal kullanılmıştır (Şekil 4.25).



Şekil 4.25. Telit GT863-PY terminal.

## 4.2. ROBOTUN KONTROL TASARIMI

Quadrotorun en temel çalışma şeması aşağıdaki gibidir (Şekil 4.26). Aracın kontrol edilebilmesi için yeryüzü düzlemindeki durumunun bilinmesi gerekmektedir. Bu amaçla öncelikle Euler açıları tespit edilmelidir. Euler açılarında meydana gelecek değişiklik konum değişikliğine de neden olacağından açı ve konum bilgisi sürekli olarak sistem tarafından denetlenmelidir.



Şekil 4.26. Aracın temel çalışma şeması.

Bu değerlerin istenilen referans değerinde tutulması ve dış etkenler nedeniyle meydana gelecek durum ve konum değişikliklerinin düzeltilmesi için bir kontrol mekanizması gerekmektedir. Bu kontrol mekanizması gerektiğinde konum da meydana gelebilecek sapmalara karşı durum değişikliği meydana getirerek aracın istenilen referans konumda kalmasını sağlamalıdır.

İstenilen referans konum, kullanıcı isteğine göre her an değiştirilebilmelidir. Bu nedenle yeni konum bilgilerinin araca ve aynı zamanda aracın mevcut konum bilgilerinin de kullanıcıya aktarılması gerekmektedir.

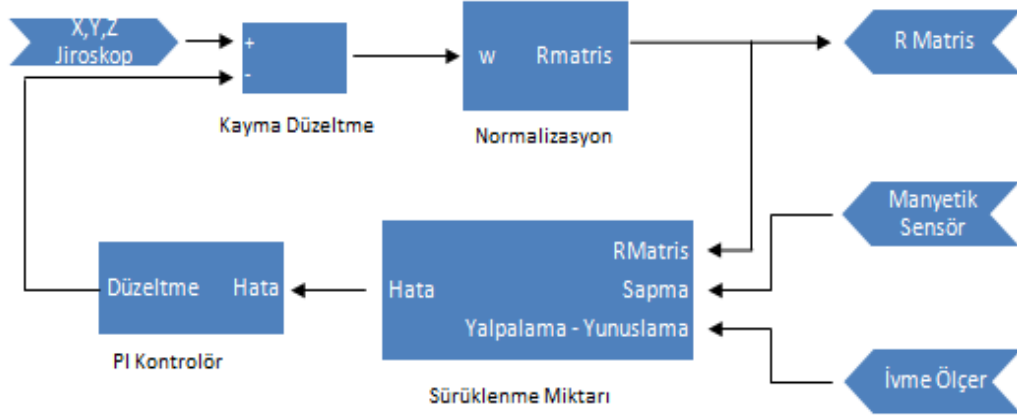
Bu çalışmada aracın durumunun belirlenmesi amacı ile Direction Cosine Matrix algoritması kullanılmıştır.

#### **4.2.1. DCM (Direction Cosine Matrix) Algoritması ile Açık Tespiti**

DCM bir hava aracının, ivmeölçer, jiroskop ve manyetik sensörden alınan değerlere göre havadaki durumunun saptanmasını sağlamaktadır. Özellikle dikey kalkış yapan hava araçlarında sensörlerden okunan verilerin daha doğru ve kararlı olması nedeniyle havadaki pozisyonunun tespiti için DCM kullanılmaktadır.

DCM uygulaması şu şekilde gerçekleştirilmektedir. Hesaplamalarda kullanılmak üzere öncelikli veriler jiroskoptan alınmaktadır. Aracın mevcut durumu, zamana bağlı olarak dönme miktarı saniyede 50 kez, gerekli PWM sinyallerinin üretilmesi amacıyla hesaplanmaktadır. Hesaplamalar esnasında oluşabilecek sayısal hataları düzeltmek için matriste düzenli olarak sayısal değişiklikler meydana getirilmektedir. Ayrıca jiroskop kayması birikimli olarak hatalara sebep olmaktadır. Bu hatalar referans vektörleri kullanılarak saptanmakta ve PI kontrolcüsü kullanılarak

dağıtılmaktadır. Sapma açısının düzeltilmesinde manyetik sensör, yalpalama ve yunuslama açılarının düzeltilmesinde ise ivmeölçer kullanılmaktadır. Aşağıda DCM algoritmasının şeması gösterilmiştir (Şekil 4.27).

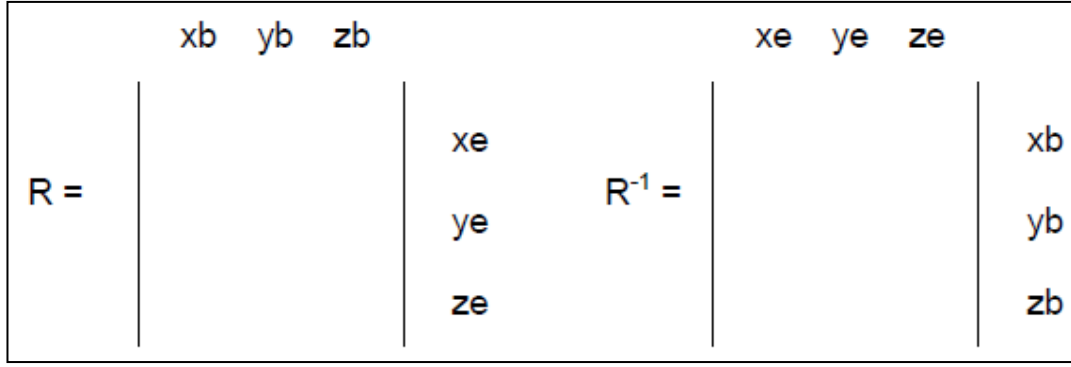


Şekil 4.27. DCM çalışma şeması (Premerlani and Bizard, 2009).

#### 4.2.1.1. Rotasyon Matrisi

Bir cismin yeryüzüne göre durumunu tanımlarken cismin koordinat sisteminin, yeryüzü koordinat sistemine göre tanımlanması gerekmektedir. Örneğin Quadrotor eksenini ile yeryüzü ekseninin başlangıçta çakışık olduğu varsayıldığında ve quadrotor, z ekseninde  $\alpha$  açısı kadar döndüğünde yeni birer x ve y eksenleri oluşur. Eksenler arası dönüşüm, Rotasyon Matrisi ile gerçekleşmektedir.

Rotasyon matrisi 9 elemanlıdır. Matrisin sütunları aracın gövde eksenine göre durum vektörlerini, satırları ise yeryüzü eksenini ifade etmektedir (Şekil 4.28). Bir sistemdeki vektör rotasyon matrisi ile çarpılarak diğer sisteme dönüştürülebilir.



Şekil 4.28. Koordinat sistemlerine ait matrisler.

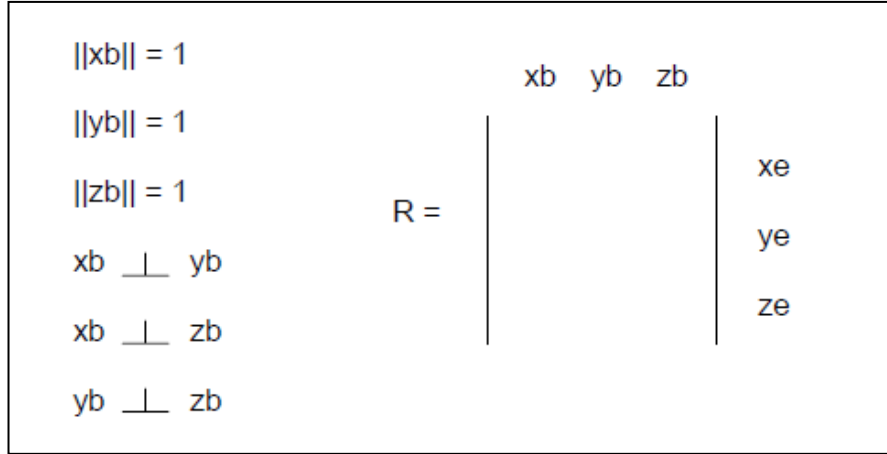
Jiroskop sinyalleri belirli zaman aralıkları ile örneklenmektedir. Örnekleme zamanının sınırlı olması örnekleme dışındaki zaman aralıklarındaki değer değişiminin algılanamaması manasına gelmektedir. Bu da sayısal hatalara sebep olabilmektedir. Rotasyon matrisinin özelliklerinden bir tanesi de ortogonal olmasıdır. Bu da aynı koordinat sistemine ait olan iki vektörün dik olduğu anlamına gelmektedir. Örneğin quadrotor sistemi ile yeryüzü sisteminin başlangıçta çakışık olduğu varsayılırsa rotasyon matrisi birim matrise eşit olacaktır. Ancak sayısal hatalar nedeniyle bu değerler giderek küçülecek ya da büyüyecektir. Bir süre sonra sıfır olacak ya da sonsuza gidecektir.

Rotasyon matrisinin 9 elemanı vardır. Bu elemanlardan 3 tanesi bağımsızdır. Matematiksel olarak rotasyon matrisinin ortogonal olması, matristeki bir satır ya da sütun çiftinin birbirine dik olması demektir (Şekil 4.29).

Rotasyon matrisinin diğer bir özelliği asimetrik matris olmasıdır. Bir asimetrik matriste bir elemanın değeri o elemanın satır ve sütuna göre simetriğinde bulunan değerlerin negatifine eşittir (Şekil 4.30).

Aracın havadaki durumu 3 adet açı ile tanımlanır (Bkz. Şekil 3.1). Bu açılara Euler açıları denir. Bu açılar aşağıdaki şekilde gösterilir.





Şekil 4.29. Vektör diklikleri.

$0$	$a$	$b$
$-a$	$0$	$c$
$-b$	$-c$	$0$

Şekil 4.30. Asimetrik matris.

- a) Gövde, z eksenini etrafında döndürüldüğünde sapma ( $\psi$ ) açısı meydana gelir
- b) Gövde, x eksenini etrafında döndürüldüğünde yunuslama ( $\emptyset$ ) açısı meydana gelir.
- c) Gövde, y eksenini etrafında döndürüldüğünde yalpalama ( $\theta$ ) açısı meydana gelir.

Aracın koordinat sistemindeki bir vektörün rotasyon matrisi ile çarpıldığında yeryüzü koordinat sistemindeki vektör bulunacaktır.  $Q$ . Yönü hızı ya da ivmesi olan bir vektör olsun

$$Q = \begin{bmatrix} Q_x \\ Q_y \\ Q_z \end{bmatrix} \tag{4.1}$$

$Q_P$ , Aracın referans sistemindeki bir vektör ve  $Q_G$ , yeryüzü referans sistemindeki bir vektör olsun. Rotasyon Matrisi Eşitlik 4.2 de belirtildiği gibi olmak üzere;

$$R = \begin{bmatrix} r_{xx} & r_{xy} & r_{xz} \\ r_{yx} & r_{yy} & r_{yz} \\ r_{zx} & r_{zy} & r_{zz} \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

$$Q_G = RQ_P \quad (4.3)$$

Direction Cosine Matris ve Euler açıları arasındaki ilişki aşağıdaki gibi gösterilmiştir.

$$R = \begin{bmatrix} \cos\theta\cos\psi & \sin\theta\sin\theta\cos\psi - \cos\theta\sin\psi & \cos\theta\sin\theta\cos\psi + \sin\theta\sin\psi \\ \cos\theta\sin\psi & \sin\theta\sin\theta\sin\psi + \cos\theta\cos\psi & \cos\theta\sin\theta\cos\psi - \sin\theta\cos\psi \\ -\sin\theta & \sin\theta\cos\theta & \cos\theta\cos\theta \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

Rotasyon matrisinin 3 sütunu 3 eksendeki vektörlerin aracın referans çerçevesinden yeryüzü referans çerçevesine dönüşümüdür. 3 satırı ise 3 eksendeki vektörlerin yeryüzü referans çerçevesinden aracın referans çerçevesine dönüşümüdür. Rotasyon matrisi aracın yeryüzüne göre yönelimini açıklamak için gerekli tüm içeriğe sahiptir. Rotasyon matrisi Direction Cosine Matris olarak ta ifade edilebilir çünkü her bir giriş araç ile yeryüzü referans sistemleri arasındaki açının kosinüsü şeklinde ifade edilir. Matrisin 3 elemanı bağımsızdır. Diğer 6'sı matrisin ortogonal olmasını sağlar. Her bir sütundaki vektörler karşılıklı olarak diktir ve her birinin şiddeti 1'e eşittir (Premerlani and Bizard – 2009).

#### 4.2.1.2. Jiroskop Değerleri

Elektronik jiroskoplar araçla birlikte dönmekte olduğundan dönüş hızı orantılı olarak çıkış üretmektedirler. Sayısal hatalar nedeni ile jiroskop hız değerinin integrali alınarak açı bilgisi doğru bir şekilde elde edilememektedir. x, y ve z eksenlerinde ölçülen jiroskop değerlerinden oluşan vektör, PI kontrolörden gelen düzeltme vektörü ( $\omega_p, \omega_i$ ) ile toplanır. Oluşan yeni vektör  $\omega$  olmak üzere bu vektörün t anındaki değişimi ile rotasyon matrisi çarpılır. Elde edilen matris ( $G_m$ ) tekrar

rotasyon matrisi ile çarpılır ve toplanır. Bu işlem “Kayma Düzeltme” aşamasında gerçekleştirilmektedir.

$$G_m(t) = \begin{bmatrix} 0 & \omega_z dt & -\omega_y dt \\ -\omega_z dt & 0 & \omega_x dt \\ \omega_y dt & -\omega_x dt & 0 \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

$$R(t) = R(t) + (R(t) \times G_m(t)) \quad (4.6)$$

#### 4.2.1.3. Normalizasyon

Jiroskoptan okunan değerler birikimli olarak sayısal hatalara sebep olmaktadır. Bu hatalar zamanla rotasyon matrisinin diklik koşulunu azaltacaktır. Matrisin diklik koşulunun yeniden sağlanması işlemi normalizasyon aşamasında gerçekleştirilmektedir.

Öncelikle matrisin x ve y satırları noktasal çarpılır. Diklik koşulunun sağlanması için bu işlemin sonucu 0 olmalıdır. Sonuca göre X ve Y nin birbirlerine ne kadar döndükleri hesaplanır. Bu dönüklük hatayı oluşturur.

$$X = \begin{bmatrix} r_{xx} \\ r_{xy} \\ r_{xz} \end{bmatrix} \quad Y = \begin{bmatrix} r_{yx} \\ r_{yy} \\ r_{yz} \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

$$hata = x \cdot y \quad (4.8)$$

Bulunan hata x ve y vektörlerine eşit olarak paylaşılır.

$$X_{ortagonal} = X - \frac{hata}{2} Y \quad (4.9)$$

$$Y_{ortagonal} = Y - \frac{hata}{2} X \quad (4.10)$$

z satırının diklik koşulunun sağlanması için ise x ve y satırları çapraz çarpılır.

$$Z_{ortagonal} = X_{ortagonal} \times Y_{ortagonal} \quad (4.11)$$

Normalizasyonun son aşaması ise her bir satırdaki vektörün şiddetini 1'e oranlamaktır. Bu işlem için ilgili satırdaki elemanların karelerinin toplamının karekökü ile her satırın her elemanı bölünmektedir. Ayrıca Taylor Açılımı da kullanılabilir.

Satır vektörleri için büyüklük denklemleri aşağıdaki gibidir.

$$X_{normalize} = \frac{1}{2} (3 - X_{ortagonal} \cdot X_{ortagonal}) X_{ortagonal} \quad (4.12)$$

$$Y_{normalize} = \frac{1}{2} (3 - Y_{ortagonal} \cdot Y_{ortagonal}) Y_{ortagonal} \quad (4.13)$$

$$Z_{normalize} = \frac{1}{2} (3 - Z_{ortagonal} \cdot Z_{ortagonal}) Z_{ortagonal} \quad (4.14)$$

#### 4.2.1.4. Yunuslama ve Yalpalama Düzeltmesi

Jiroskoplar her ne kadar açı değişim bilgisini verse de kayma nedeniyle zamanla yanlış değerler üretmektedirler. Buna karşın referans vektöründe kayma olmaması gerekmektedir. Bu nedenle referans vektörlerinin ivmeölçer ile ve ayrıca GPS veya manyetik sensör ile desteklenmesi gerekmektedir.

Dikey kalkış yapabilen araçlar uçakların aksine öne-arkaya ve sağa-sola da hareket edebilmektedir. Örneğin quadrotorun yönü kuzeyi gösterirken quadrotor güneye doğru da hareket edebilmektedir. Uçaklarda bu durum söz konusu değildir. Bu nedenle bu çalışmada sapma vektörünün düzeltilmesi GPS yerine manyetik sensör ile gerçekleştirilmiştir.

X ve Y vektörlerinin düzeltilmesinde kullanılacak vektörün hesaplanması amacıyla öncelikle ivmeölçerin şiddetinin hesaplanması gerekmektedir. İdeal şartlarda ivmeölçere etkiyen tek kuvvet yer çekimi kuvveti olduğundan ivmeölçerin farklı

pozisyonlardaki şiddeti 1 e eşittir. İvmeölçerin şiddeti ( $a_{xyz}$ ) 3 ekseninde etkiyen kuvvetlerin kareleri toplamının karekökü alınarak bulunur.

$$a_{xyz} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (4.15)$$

İvmeölçerin şiddeti sıfırdan farklı bir değer ise araca etkiyen dış kuvvetler söz konusudur. Bu durum ivmeölçerin ölçüm güvenilirliğini etkilemektedir. Bu nedenle düzeltme vektörü hesaplanırken ivmeölçerin etki oranının da hesaplanması gerekmektedir. Etki oranı hesaplanırken 0,5 g den küçük ve 1,5 g den büyük şiddetler için ivmeölçer etkisi sıfır olarak değerlendirilmektedir.

Belirtilen aralıktaki ivmeölçer etki ( $a_e$ ) değerlerin hesaplanması aşağıdaki şekilde gerçekleştirilir.

$$f: [\mathbb{R}] \rightarrow [0,1] \quad (4.16)$$

$$f(x) = \begin{cases} 1 - 2 |1 - x|, & \frac{1}{2} < x < \frac{3}{2} \\ 0, & x \leq 0,5 \\ 0, & x \geq 1,5 \end{cases} \quad (4.17)$$

$$a_e = f(a_{xyz}) \quad (4.18)$$

x,y eksenindeki düzeltme vektörü ( $V_{xy}$ ) rotasyon matrisinin z sütunu ile ivmeölçer vektörünün çapraz çarpılması ile elde edilir. Elde edilen vektör ivmeölçerin etkisi ile çarpılarak PI denetleyiciye girilmektedir.

$$V_{xy} = \begin{bmatrix} r_{zx} \\ r_{zy} \\ r_{zz} \end{bmatrix} \times a_{xyz} \quad (4.19)$$

PI denetleyici çıkışında  $\omega_p$  ve  $\omega_i$  vektörleri oluşacaktır.

$$\omega_p = K_{pxy} V_{xy} a_e \quad (4.20)$$

$$\omega_i = \omega_i + K_{ixy} V_{xy} a_e \quad (4.21)$$

Hesaplanan vektörler  $\omega_p$  ve  $\omega_i$  vektörlerine sapma düzeltme vektörü eklendikten sonra jiroskop değerleri toplanır ve döngü tekrar başa döner. Rotasyon matrisi güncellendikçe Euler açıları da yeniden hesaplanmaktadır.

$$\theta = \text{atan2}(r_{zy}, r_{zz}) \quad (4.22)$$

$$\emptyset = -\text{asin}(r_{zx}) \quad (4.23)$$

#### 4.2.1.5. Sapma Açısının Düzeltmesi

Bu işlem için manyetik sensör ile yönelme vektörü hesaplanır. Yönelme vektörünün hesaplanması için manyetik sensörün 3 ekseninde maksimum ve minimum ölçüm değerleri, yunuslama açısı ve yalpalama açısı kullanılmaktadır.

Bu işlem için öncelikle manyetik sensörden okunan değerler (P (x,y,z)), 0 – 0,5 aralığına oranlanır.  $P_c$  düzeltilmiş pusula vektörü olmak üzere

$$P_{cx} = \frac{(P_x - P_{xmin})}{(P_{xmax} - P_{xmin})} - 0,5 \quad (4.24)$$

$$P_{cy} = \frac{(P_y - P_{ymin})}{(P_{ymax} - P_{ymin})} - 0,5 \quad (4.25)$$

$$P_{cz} = \frac{(P_z - P_{zmin})}{(P_{zmax} - P_{zmin})} - 0,5 \quad (4.26)$$

Düzeltilmiş ölçüm değerlerin bulunduktan sonra  $\theta$  ve  $\emptyset$  açıları kullanılarak X ve Y yönündeki yönelme açıları bulunur.  $P_{yx}$  ve  $P_{yy}$  x ve y yönlerindeki yönelme şiddeti olmak üzere;

$$P_{yx} = P_{cx} \cos(\emptyset) + P_{cy} \sin(\theta) \sin(\emptyset) + P_{cz} \cos(\theta) \sin(\emptyset) \quad (4.27)$$

$$P_{yy} = P_{cy} \cos(\theta) - P_{cz} \sin(\theta) \quad (4.28)$$

$$P_y = \text{atan2}(-P_{yx}, P_{yy}) \quad (4.29)$$

Bulunan değer Z yönündeki düzeltme vektörü ( $V_z$ ) hesaplanmasında kullanılacaktır. Vektörün hesaplanması için hata değerinin hesaplanması gerekmektedir.

$$V_z = \begin{bmatrix} r_{zx} \\ r_{zy} \\ r_{zz} \end{bmatrix} (r_{xx} \text{Sin}(P_y) - r_{xy} \text{Cos}(P_x)) \quad (4.30)$$

Z düzeltme vektörünün bulunmasıyla  $\omega_p$  ve  $\omega_i$  vektörleri de tekrar güncellenir ve rotasyon matrisi güncellenerek program döngüsü yeniden başlar.

$$\omega_p = \omega_p + V_z K_{pz} \quad (4.31)$$

$$\omega_i = \omega_i + V_z K_{iz} \quad (4.32)$$

Rotasyon matrisinin güncellenmesi ile sapma açısı olan  $\psi$  hesaplanabilmektedir.

$$\psi = \text{atan2}(r_{xy}, r_{xx}) \quad (4.33)$$

#### 4.2.2. PID Kontrollör Tasarımı

PID Sıklıkla kullanılan geri beslemeli bir kontrol yöntemidir. Bir PID denetleyici belirli bir zaman içerisinde ölçülen değer ile hedeflenen değer arasındaki farkı alarak “hata” değerini hesaplar.

Denetleyici, sistemin ölçülen değerini verdiği çıkışlar ile değiştirerek ölçülen değeri istenilen değere yaklaştırmaya çalışır. PID algoritması üç ayrı sabit parametreyi içerir ve buna üç aşamalı kontrol denir.

“P” Oransal, “I” İntegral, “D” ise Türevsel terimi ifade etmektedir. Ölçülen hata değerleri P,I ve D katsayılarıyla ayrı ayrı çarpılır. Çıkan sonuçlar toplanarak bir çıkış elde edilir (Şekil 4.31). Bu çıkış sistemin durumunda değişiklik meydana getirir.

Yeni hata değeri tekrar ölçülerek aynı işlemler tekrarlanır ve hatanın 0'a yaklaşması sağlanır.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (4.34)$$

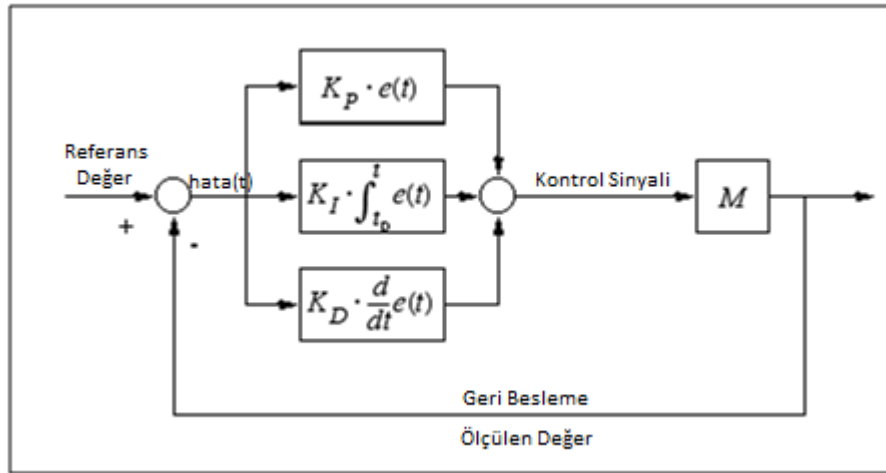
$K_p$ : Oransal Katsayı

$K_i$ : İntegral Katsayısı

$K_d$ : Türev Katsayısı

e: Hata = Referans Değer – Ölçülen Değer

t: Zaman



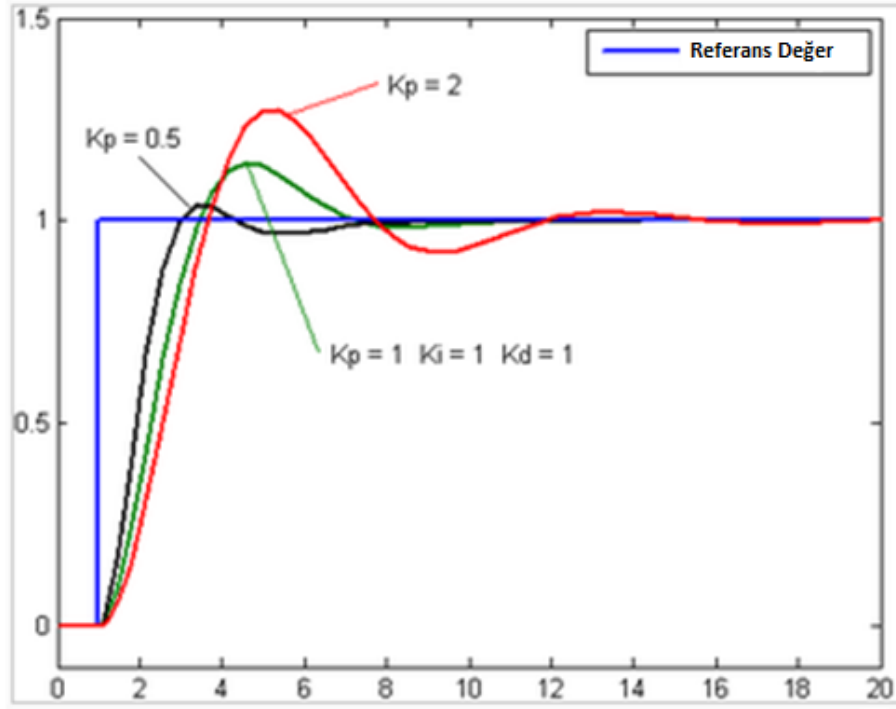
Şekil 4.31. PID çalışma şeması.

P (Oransal Terim) mevcut hata değeri ile orantılı bir çıkış üretir. Hata değeri sabit bir  $K_p$  katsayısı ile çarpılarak oransal çıkış ayarlanır.  $K_p$  katsayısına Oransal kazanç sabiti denir.

$$P_{out} = K_p e(t) \quad (4.35)$$

Yüksek  $K_p$  katsayısı sistemin çıkışının yüksek olmasına ve hatanın giderilme zamanının artmasına sebep olmaktadır (Şekil 4.32). Çok yüksek  $K_p$  katsayısı salınım ve sistemin kararsız bir hal almasına neden olmaktadır.



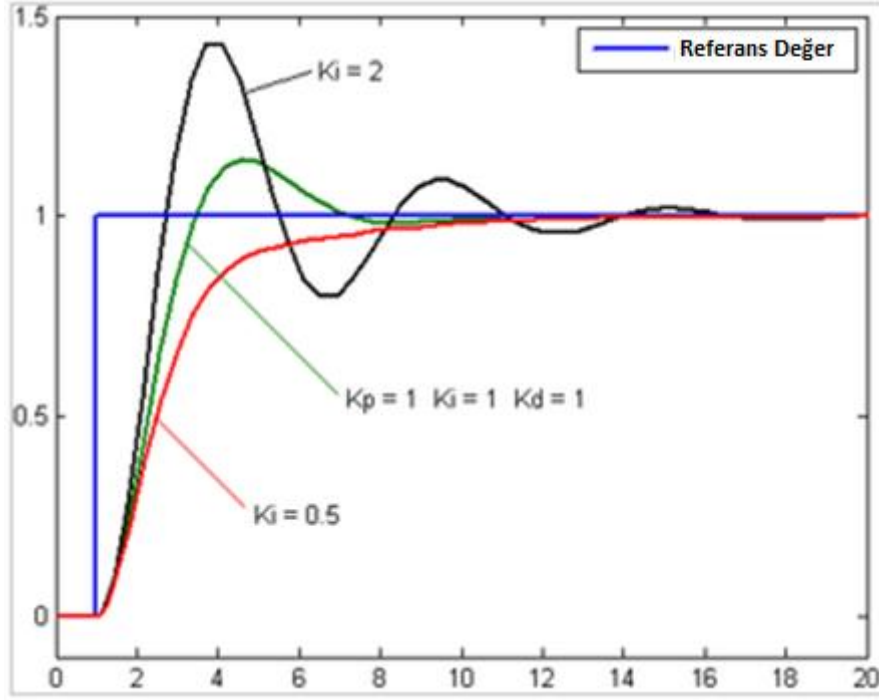


Şekil 4.32.  $K_p$  katsayısına göre çıkışlardaki değişim.

I (İntegral Terimi) hem hata büyüklüğü hem de hatanın süresi ile orantılı olarak çıkış üretir. Bu terim anlık hataların toplamıdır. Sabit bir  $K_i$  katsayısı ile çarpılarak sistem çıkışına eklenir.  $K_i$  katsayısına integral kazanç sabiti denir.

$$I_{out} = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau \quad (4.36)$$

Eğer  $K_i$  katsayısı çok yüksek olursa istenilen ayar noktasından taşmalar meydana gelir (Şekil 4.33).

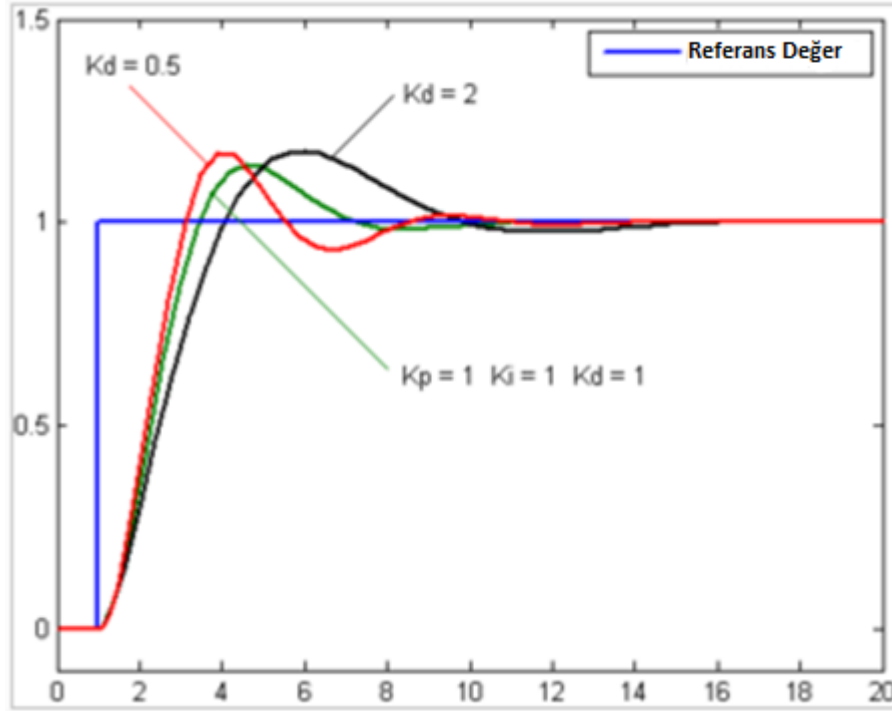


Şekil 4.33. Ki katsayısına göre çıkışlardaki değişim.

D (Türev terimi) hatadaki değişimi ifade etmektedir. Bu değişim Kd katsayısı ile çarpılarak sistemin çıkışına eklenir.

$$D_{out} = K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (4.37)$$

Türev terimi kontrolör çıkışının değişim hızını yavaşlatır. Ayrıca mevcut değer istenilen referans değerini aşma miktarını azaltarak sistemin daha kararlı çalışmasını sağlar (Şekil 4.34). Bu değer yüksek belirlendiğinde kontrolörün gürültülere karşı duyarlılığı artmaktadır. Bu da sistemin kararsız bir hal almasına sebep olabilmektedir.



Şekil 4.34. Kd katsayısına göre çıkışlardaki değişim.

Bazı uygulamalarda, uygun bir sistem kontrolü sağlamak için sadece bir veya iki işlem kullanmak gerekebilir. Bu, diğer parametrelere sıfır değeri vererek elde edilebilir. Bu durumda PID, ilgili denetim eylemlerinin yokluğuna göre PI, PD, P veya I olarak tanımlanır. Türevsel eylem, ölçüm gürültüsüne hassas olduğundan PI kontrolörleri, oldukça yaygındır.

Bu çalışmada PID öncelikle quadrotor simülasyonu gerçekleştirilirken kullanılmıştır. Simülasyonda yalpalama yunuslama ve sapma açıları motorların uyguladığı kuvvete göre değişmekte bu değişim de quadrotorun x,y,z eksenlerindeki konumunu değiştirmektedir.

Örneğin Quadrotorun yunuslama açısı pozitif yönde değiştiğinde quadrotor y yönünde pozitif yönde hareket etmektedir. Yunuslama açısının değişimi ise 3 numaralı motorun hızının artırılıp 1 numaralı motorun hızının aynı oranda azaltılması ile gerçekleştirilmektedir. Bu işlemin kontrollü bir biçimde gerçekleşmesi gerekmektedir. Bu nedenle yunuslama açısının istenilen referans değere gelene kadar motor hızlarının değiştirilip istenilen referans değere ulaşıldıktan sonra açının

korunması yunuslama kontrolünden sorumlu PID denetleyici ile gerçekleşmektedir. Yunuslama açısı değişiminde quadrotor ile yeryüzü eksenleri arasında referans açısı bulunduğu ve toplam itme kuvveti değişmediğinden quadroturun yüksekliği zamanla azalacaktır. Yüksekliğin istenilen referans değerinde kalması da yükseklik kontrolünden sorumlu PID tarafından gerçekleştirilmektedir. Açık kontrol için PID kullanımını aşağıdaki gibi olmaktadır.

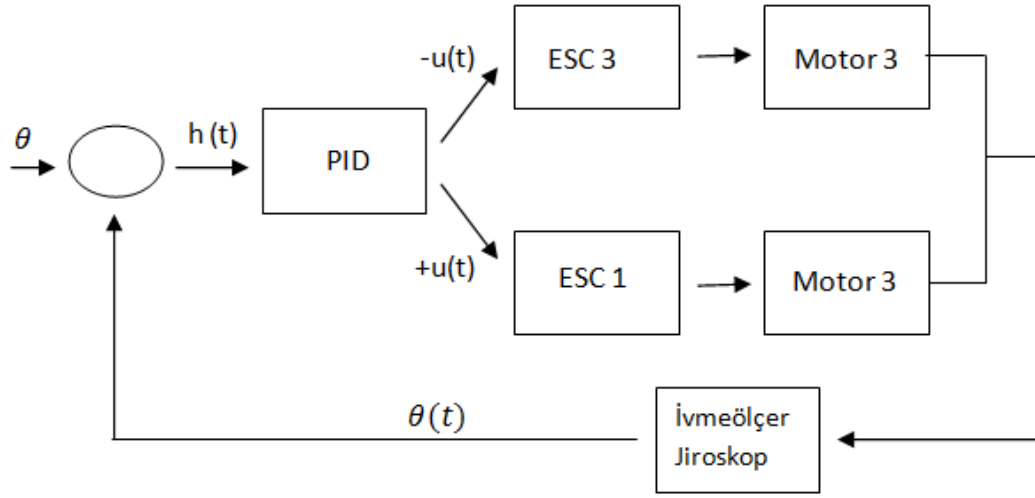
- a) Yunuslama açısının, referans değerinde sabit kalması
- b) Yalpalama açısının, referans değerinde sabit kalması
- c) Sapma açısının, referans değerinde sabit kalması

PID nin bu çalışmadaki diğer bir kullanımını ise quadrotorun konum kontrolünün gerçekleştirilmesidir. PID konum kontrolünü aşağıdaki alanlarda gerçekleştirir.

- a) X eksenindeki konumu (Boylam)
- b) Y eksenindeki konumu (Enlem)
- c) Z eksenindeki konumu (Yükseklik)

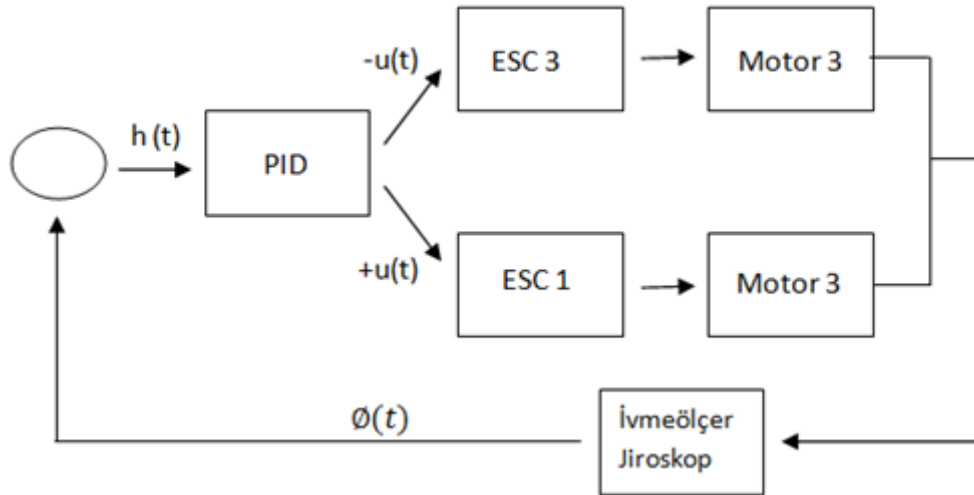
#### **4.2.2.1. Yunuslama ve Yalpalama Açılarının PID ile Kontrolü**

Aşağıda Yalpalama açısının kontrolünden sorumlu PID denetleyicisi şeması verilmiştir.  $R_\theta$  değeri quadrotorun referans yalpalama açısını temsil etmektedir. Bu giriş PWM kontrol sinyali olarak ana kontrol kartından yardımcı kontrol kartına aktarılmaktadır. Gönderilen PWM sinyali yardımcı kontrol kartı tarafından açı bilgisine çevrilmektedir. Ölçülen değerler ile referans değeri arasındaki fark alınarak t anında ki hata ( $h(t)$ ) değeri bulunmaktadır. Hata değeri PID denetleyicisinin girişini oluşturmaktadır. PID çıkışları ise PWM sinyali olarak motor sürücülerine iletilmektedir. Sistemin yeni durumu sensörler tarafından tekrar algılanarak işlemler tekrar yapılmaktadır. Kontrolörün şeması aşağıda verilmiştir (Şekil 4.35).



Şekil 4.35. Yalpalama kontrolünden sorumlu PID kontrolör şeması.

Yardımcı kontrol kartı farklı bir kanaldan gelen yunuslama referans açısını okumaktadır. Gelen PWM sinyali açı bilgisine dönüştürülmekte ve yalpalama açısı için yapılan işlemlerin aynısı yunuslama açısının kontrolü için de gerçekleştirilmektedir. Yunuslama açısının kontrolünden sorumlu PID şeması aşağıda verilmiştir (Şekil 4.36).



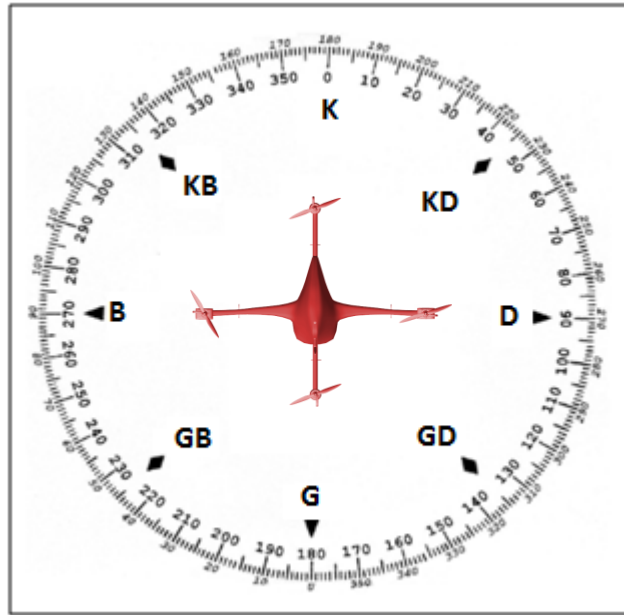
Şekil 4.36. Yunuslama kontrolünden sorumlu PID Şeması.

Yardımcı kontrol kartında sapma açısının kontrolü için de PID denetleyicisinin bulunmasına karşılık kart üzerinde manyetik sensör bulunmadığı için tam bir kontrol

söz konusu değildir. Sapma kontrolünden sorumlu PID denetleyici, sapma açısını bozucu dış etkenlere karşı zorlayıcı bir kuvvet uygulasa da değişim meydana geldiğinde tekrar istenilen referans konumuna gelememektedir. Bu nedenle yalpalama ve yunuslama açısının kontrolü dışındaki kontroller ana kontrol kartı tarafından gerçekleştirilmektedir.

#### 4.2.2.2. Sapma Açısının PID ile Kontrolü

Sapma açısı quadrotorun yönünü belirleyen açıdır. Quadrotor kendi eksenini etrafında tam bir tur atabildiğinden Sapma açısı da 0 – 359 derece arası değerler almaktadır. 0 derece kuzeyi, 90 derece doğuyu, 180 derece güneyi, 270 derece ise batıyı ifade etmektedir (Şekil 4.37).



Şekil 4.37. Yönlere göre açı değerleri.

Quadrotor, istenilen referans sapma açısına dönüşü gerçekleştirmek için en kısa yolu tercih etmelidir. Örneğin quadrotor açısı 350 derece olsun. 10 dereceye gelmek için saat yönünün tersine 340 derece dönmek yerine saat yönünde 20 derece dönerek istenilen referans değere ulaşmasının sağlanması gerekmektedir. PID denetleyicisindeki klasik hata hesaplama işlemi uygulandığında hata miktarı 340 derece olduğundan quadrotor saat yönünün tersine 340 derece dönecektir.

Bu nedenle quadrotorun sapma açısının kontrolünden sorumlu PID denetleyici için hata değeri farklı bir şekilde hesaplanmalıdır. Bu hesaplama sonucunda dönme yönü ve hatanın miktarı belirlenerek PID girişine verilmelidir.

### **Dönme Yönünün Belirlenmesi**

Quadrotor referans açıya ulaşmak için ya saat yönünde ya da saat yönünün tersi yönde dönmelidir. Bu tercihi yaparken en kısa yolu tercih etmelidir.  $R_\psi$  referans sapma değeri,  $\psi$  ise mevcut sapma değeri olmak üzere Dönme yönünün (CW) hesaplanması aşağıdaki gibi yapılmaktadır.

$$x = R_\psi - \psi \quad (4.33)$$

$$CW = f(x) = \begin{cases} 1, & 0 < x < 180 \\ 0, & x > 180 \\ 1, & 0 \leq -x \leq 180 \\ 0, & -x \geq 180 \end{cases} \quad (4.38)$$

Dönme yönü 1 için saat yönünde, 0 için saat yönünün tersi yönünde hareket gerçeklemektedir.

### **Dönme Miktarının Hesaplanması**

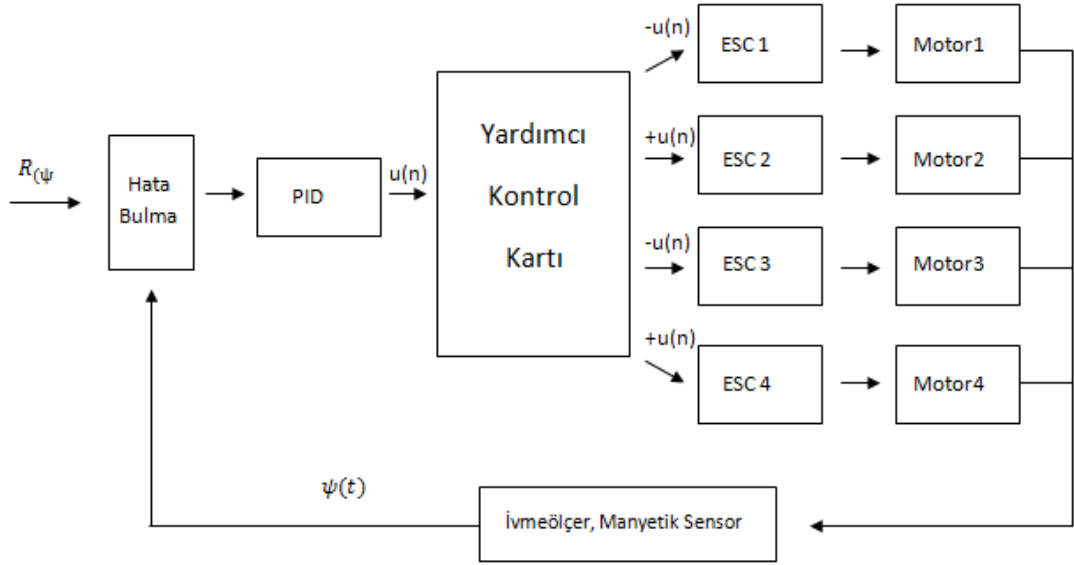
Dönme miktarı ( $D_\psi$ ) hesaplanırken sapma değeri ( $\psi$ ), referans sapma değerinden ( $R_\psi$ ) çıkarılarak mutlak değeri alınır.

$$h_\psi = |R_\psi - \psi| \quad (4.39)$$

$$D_\psi = f(h_\psi) = \begin{cases} 360 - h_\psi, & h_\psi > 180 \\ h_\psi, & h_\psi \leq 180 \end{cases} \quad (4.40)$$

Dönme miktarı hataya eşittir. Dönme yönü ise hatanın işaretini belirler. Eğer dönme yönü “0” ise hata negatif olarak PID girişine verilir.

PID çıkışı yardımcı kontrol kartına PWM sinyali olarak aktarılmaktadır. Bu sinyal doğrultusunda dönme yönüne göre karşılıklı motorların hızlarının artırılıp azaltılması ile quadrotorun kendi eksenini etrafında dönmesi sağlanmaktadır. Quadrotorun sapma açısını kontrol eden PID kontrolörü şeması aşağıdaki gibidir (Şekil 4.38).



Şekil 4.38. Sapma kontrolünden sorumlu PID şeması.

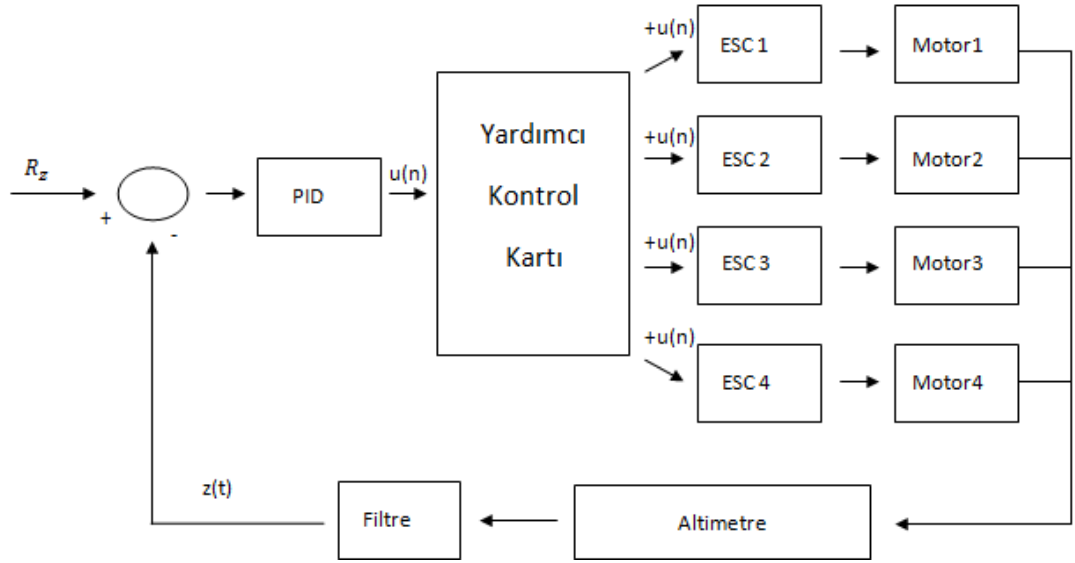
#### 4.2.2.3. Yükseklik Kontrolü İçin PID Kontrolör

Yükseklik ölçüm işlemi Barometrik basınç sensörü ile gerçekleştirilmektedir. Barometrik sensör çıkışları gürültülü olduğundan filtrelenmiştir. Elde edilen yükseklik bilgisi PID denetleyicisine giriş olarak verilmektedir. Aşağıda yükseklik kontrolünden sorumlu PID kontrolörün çalışma şeması verilmiştir (Şekil 4.39).

#### 4.2.2.4. Enlem ve Boylam Hareketi Kontrolü İçin PID Tasarımı

Quadrotor oldukça yüksek manevra kabiliyetine sahip bir hava aracıdır. Uçaklardan farklı olarak quadrotor, yönünü hareket doğrultusuna çevirmek zorunda değildir. Belirli bir yükseklikte quadrotor ileri – geri hareket edebildiği gibi yönünü değiştirmeden sağa – sola da hareket edebilmektedir.





Şekil 4.39. Yükseklikten sorumlu PID kontrol şeması.

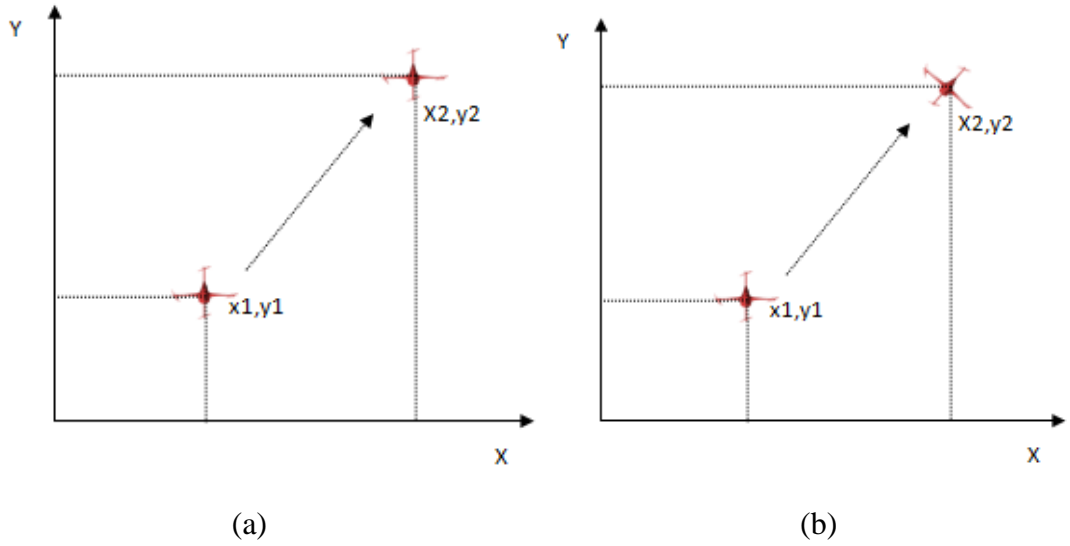
Örneğin quadrotorun yönü 0 derece yani kuzeye dönük olsun. 90 derece doğuya doğru hareket etmek için aşağıdaki seçeneklerden bir tanesi uygulanabilmektedir.

- Quadrotor öncelikle sapma açısını değiştirir. Sapma açısı istenilen referans değerine ulaştıktan sonra yalpalama açısını pozitif yönde artırır. Yalpalama açısı belirli bir değerde sabitlenerek quadrotorun ileri yönde hareketi sağlanır.
- Quadrotor sapma açısında bir değişiklik yapmaz. Quadrotorun doğrultusu her zaman kuzeydir. Yunuslama açısını pozitif yönde değiştirerek istenilen yönde ilerler.
- Quadrotor sapma açısını hareket ederken değiştirir. Hareket öncelikle yunuslama açısının değiştirilmesi ile başlar. Daha sonra sapma açısı ile orantılı şekilde yunuslama açısı azalarak 0 olur ve aynı anda yalpalama açısı artarak yunuslama açısının yerine geçer. Bu şekilde quadrotor akıcı bir harekete sahip olmaktadır.

Bu çalışmada tasarlanan quadrotor yeryüzü koordinat düzleminde bir noktadan başka bir noktaya hareket ederken 3 numaralı seçenekte de anlatıldığı gibi önce hedef yönünde harekete başlayacaktır. Eşzamanlı olarak quadrotor yavaşça yönünü

çevirecektir. Yön değişimi esnasında hedeften sapma meydana gelmemesi için motorlar üzerinde gerekli kontroller yapılacaktır.

Bazı durumlarda quadrotorun belirli bir koordinat ve yönde sabit kalması istenilebilmektedir. Bu durum bekleme modu olarak adlandırılabilir. Örneğin hareket rotasını tamamlayan quadrotor son hedef noktasında bekleme moduna geçmelidir. Ancak rüzgâr nedeniyle quadrotorun istenilen koordinatta sabit kalması mümkün değildir. Bu durumda aracın yönünü değiştirmeden eski konumuna gelmesi ve kaymaları engellemesi gerekmektedir. Bu durumda quadrotor kendi doğrultusunu bozmadan hedefe ilerlemek için ilgili motorlar üzerinde gerekli kontrolleri yapmaktadır (Şekil 4.40).



Şekil 4.40. a) Bekleme modunda hareket, b) Rota takip modunda hareket.

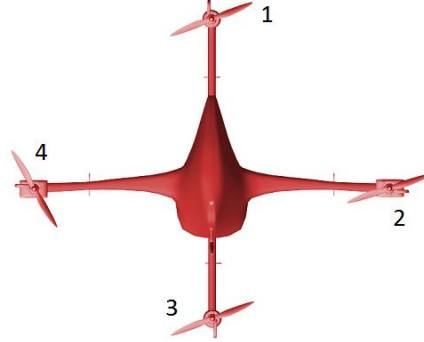
Tasarlanan PID kontrolör quadrotorun yönü ne olursa olsun aracın istenilen konuma ulaşmasını sağlamalıdır. Hareket kontrolünün sağlanması için öncelikle aşağıdaki bilgilerin bulunması gerekmektedir.

- Quadrotorun Yönü: Quadrotorun yönü DCM algoritması sonucunda derece cinsinden 0 derece kuzey referans alınarak hesaplanmaktadır.
- Quadrotorun Konumu: Konum bilgisi GPS alıcısı ile her saniye alınmaktadır.

c) Hedefin Konumu: Hedef bilgileri kontrol programı tarafından GPRS üzerinden quadrotora gönderilmektedir.

d) Hareketi Sağlayan Motorların Belirlenmesi: Quadrotor enlem ve boylamdaki hareketini yalpalama ve yunuslama açılarını değiştirerek gerçekleştirmektedir. Quadrotorun yönü 0 derece olduğunda yunuslama açısındaki pozitif değişim aracın kuzeye ilerlemesini sağlamaktadır. Aynı durumda yalpalama açısındaki pozitif değişim aracın batıya ilerlemesini sağlamaktadır. Ancak yunuslama açısındaki değişimin etkisi quadrotorun yönü ile ilişkilidir. Quadrotorun yönü 90 derece olduğunda yunuslama açısındaki pozitif değişim aracın doğu yönünde hareket etmesini yalpalama açısındaki pozitif değişim ise aracın güney yönünde hareket etmesini sağlayacaktır. Kontrolör tasarımında bu durum göz önünde bulundurulmuştur ve çıkışların istenilen yönde hareketi sağlayacak olan motorlara verilmesi sağlanmıştır.

Quadrotorun 1 numaralı motoru yön için referans kabul edilmektedir. Diğer motorlar saat yönünde ardışık olarak numaralandırılmıştır (Şekil 4.41).



Şekil 4.41. Quadrotorun motor numaraları.

X eksenindeki hareketin sağlanması genellikle birbirine dik iki motorun hızlarının artırılması ya da azaltılması ile gerçekleştirilir. Bu motorlar üzerindeki hız değişiklikleri yalpalama ve yunuslama açılarında değişikliğe sebep olmaktadır. Her bir motor, sabit bir yalpalama ya da yunuslama açısını değiştirir. Dolayısıyla hareketi sağlayan motor numaralarının bulunması

hareketi sağlayacak olan açıların hangileri olduğunun bulunmasını sağlar. Motorların bulunması amacıyla bir parçalı  $f(x)$  fonksiyonu tanımlanır.

$$f: [0,4] \rightarrow \{0,1,2,3\}$$

$$f(x) = \begin{cases} 0, & 0 < x \leq 1 \\ 1, & 1 < x \leq 2 \\ 2, & 2 < x \leq 3 \\ 3, & 3 < x \leq 4 \end{cases} \quad (4.41)$$

$M_{hx2}$  ve  $M_{hx1}$  hareketi sağlayan motorlar olmak üzere

$$M_{hx1} = 4 - F(\psi / 90) \quad (4.42)$$

$$M_{hx2} = M_{hx1} - 1 \quad (4.43)$$

$M_{hx2} = 0$  olduğu durumda  $M_{hx2} = 4$  olarak kabul edilir.

- e) Motor Oranlarının Belirlenmesi: X ve Y yönündeki hareketten sorumlu olan PID kontrolörler aradaki mesafe ve yaklaşım oranına göre bir çıkış üretir. Bu çıkışın hareketi gerçekleştirecek olan motorlara paylaşılması gerekmektedir. Bu nedenle motor çıkış oranlarının bulunmaktadıdır.  $M_{o1}$  ve  $M_{o2}$  motor çıkış oranlarını ifade etmektedir.

$$M_{o1} = \text{Cos}(\psi \text{ mod } 90) \quad (4.44)$$

$$M_{o2} = \text{Sin}(\psi \text{ mod } 90) \quad (4.45)$$

- f) Hareketi Sağlayan Açılarının Bulunması: PID kontrolör çıkışları  $M_{hx1}$  değerine göre yalpalama ve yunuslama açılarının bulunmasında ve hareketin gerçekleştirilmesinde kullanılmaktadır.

$P_{DX}$  x yönündeki PID kontrolör çıkışı,  $P_{DY}$  y yönündeki PID çıkışı olmak üzere yalpalama açısının tespiti için kullanılacak fonksiyon aşağıdaki gibidir.

$$f: [1,4] \rightarrow \{R\}$$

$$f(M_{hx1}) = \begin{cases} P_{DX} M_{o2} + P_{DY} M_{o1} & , M_{hx1} = 1 \\ -P_{DX} M_{o1} + P_{DY} M_{o2} & , M_{hx1} = 2 \\ -P_{DX} M_{o2} - P_{DY} M_{o1} & , M_{hx1} = 3 \\ P_{DX} M_{o1} - P_{DY} M_{o2} & , M_{hx1} = 4 \end{cases} \quad (4.46)$$

$$R_{\theta} = f(M_{hx1}) \quad (4.47)$$

Hareket için gerekli referans yunuslama açısının tespiti için kullanılacak fonksiyon aşağıdaki gibidir.

$$f: [1,4] \rightarrow \{R\}$$

$$f(M_{hx1}) = \begin{cases} -P_{DX} M_{o1} + P_{DY} M_{o2} & , M_{hx1} = 1 \\ -P_{DX} M_{o2} - P_{DY} M_{o1} & , M_{hx1} = 2 \\ P_{DX} M_{o1} - P_{DY} M_{o2} & , M_{hx1} = 3 \\ P_{DX} M_{o2} + P_{DY} M_{o1} & , M_{hx1} = 4 \end{cases} \quad (4.48)$$

$$R_{\emptyset} = f(M_{hx1}) \quad (4.49)$$

Bulunan yunuslama ve yalpalama açıları yunuslama ve yalpalama kontrolünden sorumlu kontrolöre referans olarak girilerek istenilen hareket gerçekleştirilmektedir.

### 4.2.3. Haberleşme Sistemi

Quadrotor hareket süresince hedef koordinatlarını üzerinde bulunan GPRS terminal aracılığıyla sunucu bilgisayardan almaktadır. Ayrıca konum bilgilerini de sunucu bilgisayara düzenli olarak göndermektedir. Veri transferini GSM şebekesinin GPRS altyapısını kullanarak gerçekleştirmektedir. GPRS aynı radyo kanalının birçok kullanıcıya paylaşılması esasına dayalı paket anahtarlamalı kablosuz bir iletişim teknolojisidir. Bir gezgin istasyon GPRS ağına paket veri gönderdiğinde, bu veri iletileceği adrese mümkün olan ilk kanaldan gönderilir. Bir Gezgin istasyon eş

zamanlı olarak 8 ayrı radyo kanalını aynı anda kullanabilir. Ancak devre anahtarlamalı sistemlerdeki gibi herhangi bir kullanıcıya bir kanal tahsis edilmez. Bu sayede radyo kaynaklarının verimli olarak kullanılması sağlanır. Kullanıcı veri hızı bir bağlantıda mümkün olan zaman dilimi sayısı ile sınırlıdır (Ericsson.com).

GPRS için “her zaman hatta” özelliği olarak adlandırılan bir kavram mevcuttur. Bu sayede veri haberleşmesi için her defasında yeniden kurulum işlemi ortadan kalkmaktadır. Kullanıcı istediği an kurulum prosedürleri için zaman harcamadan hızlı ve sabit bir bağlantı elde edebilir. GPRS de bir kez bağlantı kurulduktan sonra bu bağlantı ortadan kaldırılana kadar sürekli veri iletişimde bulunulabilir (Andersson, 2001)

Veriler mikrodenetleyici aracılığıyla gönderilir ve alınır. Mikrodenetleyici, Terminale RS232 seri iletişim noktasından bağlanır. Hız olarak 9600bps seçilmiştir. Mikrodenetleyici veri gönderme ve alma işlemini AT komutları aracılığıyla gerçekleştirmektedir ve sunucu ile soket bağlantısı kurulmaktadır.

Sunucu ile bağlantı kurulmasını sağlayan AT komutları aşağıdaki gibidir.

- a) AT+CREG?: Bu komut terminalin GSM şebekesine kayıt olup olmadığını göstermektedir. Eğer gelen değer “+CREG: 0,2” ise GSM modül şebekeyi taramaktadır. Eğer gelen değer “+CREG: 0,1” ise şebekeye kayıt yapılmıştır.
- b) AT&K<n> : Mikrodenetleyici ile terminal arasındaki seri iletişim bağlantısının akış denetimini ayarlamak için kullanılmaktadır. “n” değeri “0” olarak ayarlanarak akış denetimi iptal edilmektedir.
- c) AT#SCFG= <Soket No >, <Paket Data Protokol No>, <Paket Boyutu>, <Veri Zaman Aşımı>, <Bağlantı Zaman Aşımı>, <Paket Zaman Aşımı> : Soket bağlantısının ayarlamalarını sağlamak amacıyla kullanılan komuttur. Soket Numarası ve Paket Data Protokol Numarası bağlantı için gerekli oturum numaralarıdır. Aynı anda birden fazla soket bağlantısı kurulabileceğinden bu numaralar girilmektedir. Bu uygulama da tek soket bağlantısı kullanıldığından

soket numarası ve paket data protokol numaraları “1” olarak girilmiştir. Paket boyutu bir veri paketinin kaç byte olacağını belirtmektedir. Aracın kontrolü için gerekli komutlar 25 byte civarındadır. Veri zaman aşımı herhangi bir veri iletişimi olmadığı takdirde ne kadar zaman sonra bağlantının kesileceğini belirtir. Bağlantının kesilmemesi amaçlandığından bu değer “0” olarak belirlenmektedir. Bağlantı zaman aşımı ise sunucuya bağlanma işleminin zaman aşımını belirtir. Örneğin “90” saniye içinde sunucuya bağlanamazsa terminal artık bağlantı kurmayı denemez. Paket zaman aşımı ise paket boyutunu doldurmayan verilerin gönderileceği süreyi belirtir.

d) AT#SGACT= <Paket Data Protokol No>, <Durum>, <Kullanıcı Adı>, <Parola>: GPRS bağlantısını aktif hale getirmek ya da kapatmak için kullanılır. Durum değeri, “1” girilirse bağlantı kurulur. “0” girilirse bağlantı kesilir. GSM şirketleri GPRS bağlantısı için kullanıcı adı ve parola istememektedir. Bu nedenle bu kısımlar boş bırakılır.

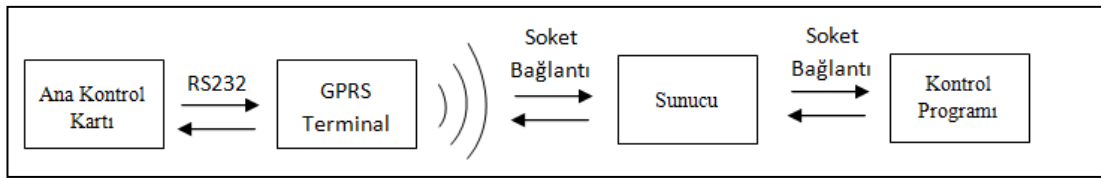
e) AT#SD= <Soket No>, <İletişim Protokolü>, <Port No>, <IP No>, <Bağlantı Tipi>: Bu komut bir soket aramasını gerçekleştirmek için kullanılmaktadır. İletişim protokolü UDP için “1”, TCP için “0” girilmektedir. Port numarası sunucu programın dinlemekte olduğu port olarak belirlenir. IP Numarası Sunucu programın çalıştığı bilgisayarın IP numarasıdır. Bağlantı tipi ise 2 çeşittir. Online Mode (0) veri gönderme ve alma işlemlerinin yapıldığı mod dur. Command Mode (1) ise soket değişimlerinin yapılabildiği ve diğer AT komutlarının girilebildiği mod dur. Tek soket üzerinden bağlantı kurulduğundan araç Online Mode da çalışacaktır.

Bu komutlar seri iletişim noktası aracılığıyla terminale aktarıldıktan sonra terminal ile sunucu arasında bir soket bağlantısı oluşmuş olur. Quadrotor ilk olarak sunucuya gönderdiği parola ile kendini tanıtır.

Sunucu program anahtar kelimeyi algılar ve aracın bağlantısını kabul eder. Kullanıcı internete bağlı bir bilgisayardan kontrol programını çalıştırır. Ve sunucuya bağlantı talebinde bulunur. Yine anahtar kelimeye göre bağlantı kabul edilir. Bu noktadan

İtibaren sunucunun görevi quadrotordan gelen tüm verileri kontrol programına, kontrol programından gelen tüm verileri ise quadrotora aktarmaktır.

Kontrol Programı üzerinde harita bulunan, konum kaydı ve rota planlaması gibi özelliklere sahip bir yazılımdır. Quadrotordan gelen konum bilgilerini harita üzerinde işaretlemekte ve quadrotorun uzaktan takibi sağlanmaktadır. Ayrıca rota planlama bölümünde seçilen hedefleri sırasıyla araca göndermektedir. Aracın haberleşmesine ilişkin şema aşağıda gösterilmiştir (Şekil 4.42).



Şekil 4.42. Haberleşme şeması.

### 4.3. ROBOTUN YAZILIM TASARIMI

#### 4.3.1. Mikrodenetleyici Programı

Aracın tüm hareket kontrollüleri ana kontrol kartı tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle gelen komutları alarak aracın durum verilerine göre gerekli kontrolleri hesaplayan bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılım Arduino platformunda hazırlanmıştır. Arduino yazılım dili oldukça esnek ve açık kaynak kodlu bir programlama dilidir. Arduino programlama dili ile hazırlanmış bir program 2 ana bloktan oluşur. Bu bloklardan birincisi **Setup** bloğudur. Setup bloğu program ile ilgili temel ayarların ve işlemlerin yapıldığı bloktur. Mikrodenetleyici aktif hale getirildiğinde 1 kere çalışır ve gerekli ayarlamaları gerçekleştirir. Diğer blok ise **loop** bloğudur. Bu blok mikrodenetleyici aktif olduğu müddetçe içerisindeki kodları sürekli olarak tekrar eder. Arduino programlama dili kütüphane kullanımını desteklemektedir. Ayrıca fonksiyon ve prosedür oluşturmaya olanak verir. Fonksiyonlar ve prosedürler Setup ve Loop blokları dışında yeni bloklar oluşturularak gerçekleştirilir. Kütüphaneler, nesnelere ve değişkenler programın en üst



kısımında tanımlanır. İstenildiğinde fonksiyon ve prosedür içerisinde de değişkenler tanımlanabilmektedir. Bu program aşağıdaki özelliklere sahiptir.

#### **4.3.1.1. GPRS Terminal ile İletişim**

Mikrodenetleyici GPRS terminal ile iletişim kurabilmekte ve sunucu ile bağlantı sağlamaktadır. Bu işlem 3 numaralı seri iletişim noktası aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Araç çalıştırdıktan sonra mikrodenetleyici, sunucuya bağlantı kurmak için gerekli AT komutlarını bu iletişim noktasından terminale gönderir. Terminal gelen komutlar doğrultusunda bağlantıyı kurar. Bağlantı kurulduktan sonra araç kendisini sunucuya tanıtmak için gereken parolayı gönderir. Bu uygulamada parola “QUADROTOR” olarak belirlenmiştir. Parolanın doğrulanmasıyla sunucu ile araç arasındaki bağlantı kurulmuş olur.

#### **4.3.1.2. Tüm Sensörlerden Veri Okuma**

Araç üzerinde 5 çeşit sensör bulunmaktadır. İvmeölçer, jiroskop, manyetik sensör ve altimetre SPI arabirimini kullanarak iletişimi sağlamaktadır. Bu sensörlerden veri okuma işlemi sensörlere ait kütüphaneler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İvmeölçer ve jiroskoptan saniyede 50, manyetik sensör ve barometrik basınç sensöründen ise saniyede 10 kez ölçüm alınmıştır. GPS ise 1 numaralı seri iletişim noktasına bağlıdır ve saniyede 1 kez ölçüm alınmıştır. GPS ten gelen verilerin ayrıştırılmasında TinyGPS kütüphanesi kullanılmıştır.

#### **4.3.1.3. Euler Açılarının Tespiti**

İvmeölçer, jiroskop, manyetik sensör den gelen veriler DCM algoritması aracılığıyla Euler açılarının tespit edilmesinde kullanılmaktadır. Öncelikle jiroskoptan gelen veriler aracılığıyla rotasyon matrisi güncellenir. Güncellenen matris normalize edilir. Bu işlem matrisin dikliğinde bozulma varsa bu bozulmayı gidermeyi sağlar. Ardından jiroskoptaki kaymanın düzeltilmesi için ivmeölçer verileri ile kayma düzeltme işlemi gerçekleştirilir. Manyetik sensör verileri, yalpalama ve yunuslama açıları kullanılarak yönelme açısı hesaplanır.

Yönelme açısı sapma açısının düzeltme işleminde kullanılmaktadır. Bu işlemler sonucunda rotasyon matrisinden Euler açıları hesaplanabilmektedir.

#### **4.3.1.4. Altimetre Verilerinin Filtrelenmesi**

Barometrik basınç sensör hava basıncı değişimine göre yükseklik bilgisini vermektedir. Sensör çıkışı oldukça gürültülü olduğundan filtrelenmesi gerekmektedir. Filtre işlemi yeni değer ile eski değerlerin belirli bir oranda toplanması ile gerçekleştirilir.

#### **4.3.1.5. Konum Bilgilerinin Sunucuya Aktarılması**

Sunucu bağlantısı kurulduktan sonra araç GPS koordinatlarını Terminal üzerinden belirli aralıklarla sunucuya aktarmaktadır. Aktarma periyodu 2 saniye olarak belirlenmiştir. Aktarılan veri “KONUM-ENLEM-BOYLAM-YUKSEKLİK-YÖN” şeklindedir. Veri türlerini ayırmak için “-“ işareti kullanılmıştır.

#### **4.3.1.6. Sunucudan Gelen Verilerin Ayrıştırılması**

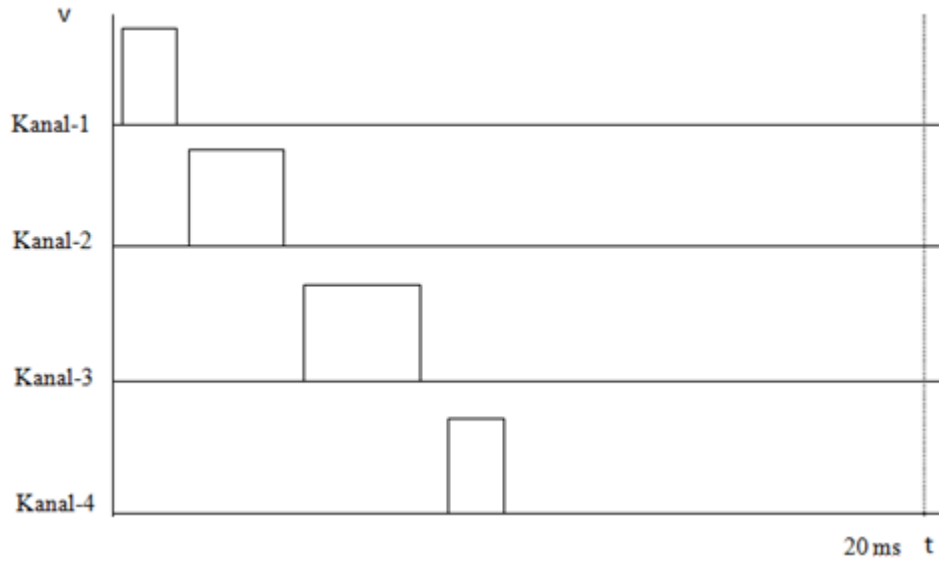
Aracın belirli bir hedefe doğru hareket etmesi istenildiğinde kontrol programından belirtilen konum, kurulmuş olan soket bağlantısı aracılığıyla araca aktarılmaktadır. Aktarılan veri “HEDEF/BEKLE-ENLEM-BOYLAM-YUKSEKLİK-YÖN” şeklindedir. Mikrodenetleyici aradaki işarete göre komut türünü ve referans değerlerinin ayırır. Gelen komut türü ve koordinatlar belirlenmekte ve referans değerler olarak, ilgili PID kontrolöre iletmektedir.

#### **4.3.1.7. Kumanda Sinyallerinin Okunması**

Araç gerektiğinde bir uzaktan kumanda aracılığıyla da manuel olarak kontrol edilebilmektedir. Alıcıdan gelen kontrol sinyalleri PWM sinyali olarak mikrodenetleyiciye aktarılmaktadır. Aracın gerçek zamanlı kontrolü için yalpalama, yunuslama, sapma ve yükseklik değerlerini değiştirecek 4 kanal gerekmektedir. PWM sinyalleri 20 milisaniyelik periyotlar halinde ardışık olarak gelmektedir. Her

bir sinyalin doluluk oranı 1-2 milisaniye arasında değişmektedir. Bu süre kontrol sinyali ile orantılı olarak artmaktadır. Aşağıdaki şekilde farklı kanallardan gelen PWM sinyalleri gösterilmiştir (Şekil 4.43).

Arduino programlama dili PWM sinyallerinin doluluk oranlarını dijital girişlerinden “Pulse In” fonksiyonu aracılığıyla okuyabilmektedir. Bu fonksiyon doluluk oranını mikro saniye olarak sayısal değere çevirerek bir değişkene aktarabilmektedir. Fakat işlem süresi sinyalin periyodu kadar sürmektedir. Bu süre aracın tüm kontrollerini gerçekleştirmesi gereken en fazla süredir. Bu nedenle kumanda sinyallerinin doluluk oranlarının sayısal değere çevrilme işlemi için “Pulse In” komutu kullanılmamıştır.



Şekil 4.43. Farklı kumanda kanallarından okunan PWM sinyalleri.

Amaç 4 farklı sinyalin doluluk oranlarını en kısa sürede ölçmek ve mikrodenetleyicinin diğer işlemleri yapmasını engellemektir. Bu nedenle 4 farklı kesme kullanılmıştır. Program normal akışında devam ederken kumanda kanallarından her hangi birinde yükselen kenar algılanırsa mikrodenetleyicinin dâhili sayacının değeri mikro saniye olarak kanal ile ilgili bir değişkene aktarılmaktadır. İşlem yapıldıktan sonra program kaldığı yerden devam etmektedir. Yine kanallardan herhangi birinde düşen kenar algılanırsa tekrar mikrodenetleyicinin sayacına bakılmaktadır. Yükselen kenar oluştuğunda değişkende saklanan sayaç değeri ile sayacın son değeri arasındaki fark ilgili kanalın doluluk oranını vermektedir.

Kesmeler meydana geldiğinde yapılan işlemler çok kısa sürdüğünden kumanda sinyallerinin bu şekilde okunması ana program akışını etkilememektedir. Okunan sayısal değerler yardımcı kontrol kartına doğrudan aktarılarak manuel kontrol gerçekleştirilir.

#### **4.3.1.8. Konum Değişimi için PID Hesaplamalarının Yapılması**

Aracın bulunduğu noktadan hedef noktaya ulaşması için öncelikle aracın ve hedefi yönüne göre hareketi sağlayacak olan motorlar belirlenmektedir. Belirlenen motorların etki oranları hesaplanmaktadır. PID kontrolörler boylam ve enlem yönünde hareketler için ayrı ayrı çıkış üretmektedir. Aracın konumu ile hedefin enlemi ve boylamı arasındaki mesafeler kontrolörlere hata olarak girilmektedir. PID kontrolörler belirlenen katsayılara göre çıkış üretmekte ve üretilen bu çıkışlar etki oranları ile çarpılarak yunuslama ve yalpalama hareketlerini gerçekleştirmek üzere yardımcı kontrol kartına iletilmektedir. PID çıkışları aracın sert hareketler yapmasını engellemek için filtrelenmiştir. Ayrıca çıkışlar yunuslama ve yalpalama açılarının çok büyük değerlere ulaşmasını engellemek için sınırlandırılmıştır.

#### **4.3.2. Sunucu Yazılımı**

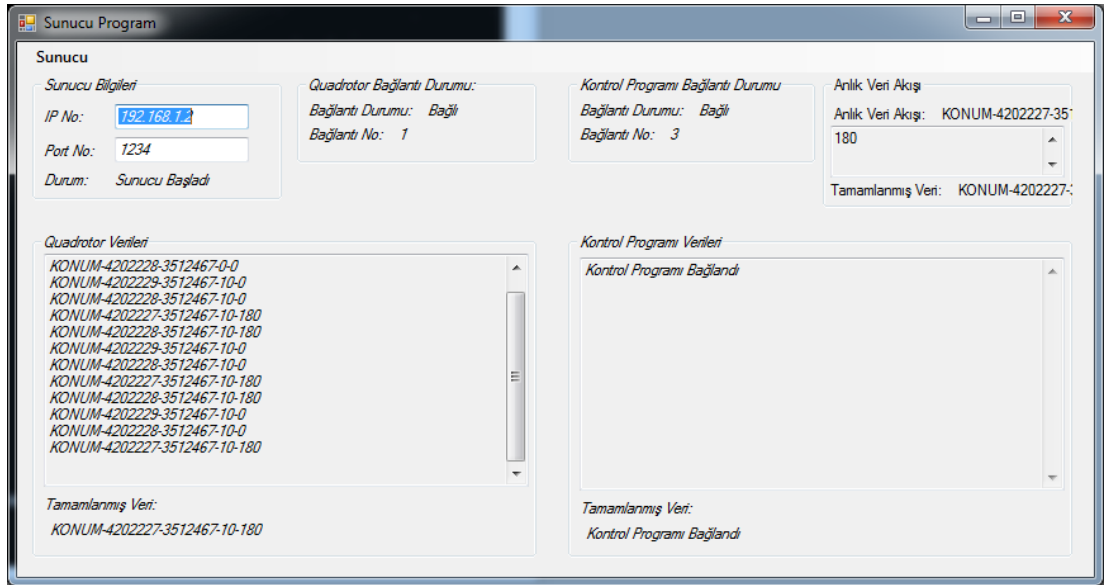
Aracın kontrolünün sağlanması için aracın konum bilgilerinin bilinmesi ve hedef bilgilerinin araca gönderilmesi gerekmektedir. Ayrıca aracın harita üzerinde gözlenmesini ve rota planlamasını sağlayan kontrol programının taşınabilir olması istenmektedir. Bu nedenle bir sunucu program gereksinimi duyulmuştur.

Hem quadrotor hem de kontrol programı sunucuya bağlanarak veri alışverişinde bulunmaktadırlar. Sunucunun görevi quadrotordan gelen verileri kontrol programına, kontrol programından gelen verileri ise quadrotora aktarmaktır.

Sunucu program C# programlama dili ile hazırlanmıştır. Soket sınıfı kullanılmış protokol türü TCP seçilmiştir. Program statik IP adresi bulunan bir bilgisayar üzerinde çalışmaktadır. Belirli bir IP adresi ve port üzerinde dinleme yaparak

istemcilerden gelen bağlantıları kabul eder. Eğer bu bağlantılar quadrotor ve kontrol programı ise birbiriyle ilişkilendirir.

Quadrotordan gelen veri paketleri GPRS üzerinden her zaman tek parça halinde gelemez. Tek konum bilgisine ait 2 ya da daha fazla veri paketi kontrol programına ayrı ayrı ulaşacağından harita üzerinde konumlama düzgün yapılamaz. Sunucu programın diğer bir görevi ise tek veri bloğuna ait farklı veri paketlerini birleştirerek kontrol programına aktarmaktır. Böylece kontrol programı gelen konum bilgisini harita üzerinde gösterebilmektedir. Sunucu programın görüntüsü aşağıdaki gibidir (Şekil 4.44).



Şekil 4.44. Sunucu programı.

### 4.3.3. Kontrol Yazılımı

Kontrol yazılımı sunucu programa yine socket sınıfını kullanarak bağlanan ve veri alışverişini sağlayan, C# programlama dili kullanılarak hazırlanmış bir programdır. Bu program quadrotorun mevcut konumunu yüksekliğini ve yönünü gözlemlemek ve ayrıca aracın planlanan bir rota doğrultusunda hareket etmesini sağlamak amacıyla hazırlanmıştır. Program aşağıdaki özelliklere sahiptir.

#### 4.3.3.1. Sunucu Program ile Bağlantı Kurma

Bağlantı TcpClient nesnesi aracılığı ile gerçekleştirilir. Nesnenin parametrelerine IP Adresi ve port numarası girilir. Gelen verileri sürekli olarak kontrol etmek için yeni bir iş parçacığı oluşturulur.

```
baglantikur = new TcpClient(textBox1.Text, Convert.ToInt16(textBox2.Text));  
t = new Thread(new ThreadStart(okumayabasla));  
t.Start();
```

Bu iş parçacığı sunucudan gelen veri akışını dinler. Eğer veri akışı olursa veri satırını bir değişkene aktarır. Bu amaçla kullanılan iş parçacığının çalıştırdığı kodlar aşağıdaki gibidir.

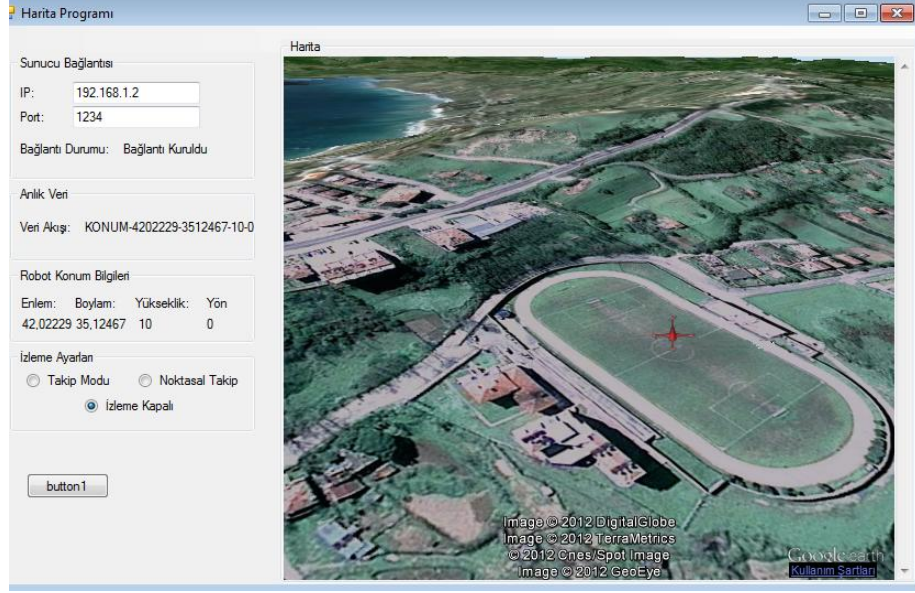
```
public void okumayabasla()  
{  
  
    ag = baglantikur.GetStream();  
    oku = new StreamReader(ag);  
    while (true)  
    {  
        try  
        {  
            string yazi = oku.ReadLine();  
            ekranayaz(yazi);  
            veri_analiz(yazi);  
        }  
        catch  
        {  
            return;  
        }  
    }  
}
```

Gelen veri satırı, aralarındaki “-“ işaretlerine göre ayrıştırılarak konum, yükseklik ve yön bilgileri elde edilir.

#### 4.3.3.2. Harita Üzerinden Takip ve Rota Planlama

Quadrotordan gelen veriler doğrultusunda harita üzerinde takip işlemi yapılmaktadır (Şekil 4.45). Seçilen izleme ayarına göre haritanın kuş bakışı olarak araçla birlikte kayması, aracın arkasından takip etmesi ya da haritanın sabit kalması

sağlanabilmektedir. Aşağıdaki şekilde kontrol programının harita ve bağlantı formu görülmektedir.



Şekil 4.45. Kontrol programı üzerinden quadrotor takibi.

Harita olarak Google Earth eklentisi kullanılmıştır. Eklentiye ait kullanılan sınıflar şu şekildedir.

- a) KmlLookAtCoClass: Bu sınıf harita üzerindeki görüntünün bakış açısını ve konumunu değiştirmek için kullanılmaktadır. Bu sınıfa ait kullanılan olan metod ve fonksiyonlar çizelgede belirtilmiştir (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. KmlLookAtCoclass fonksiyonları.

<b>Kullanılan Metot</b>	<b>Görevi</b>
setLatitude (double)	Haritayı istenilen enleme konumlandırır.
setLongitude (double)	Haritayı istenilen boylama konumlandırır.
setRange (double)	Haritanın yüksekliğini değiştirir.
setHeading (double)	Haritanın yönünü değiştirir.
setTilt (double)	Haritaya bakış açısını değiştirir.
getLatitude ()	Haritanın o anki enlemini verir.

getLongitude ()	Haritanın o anki boylamını verir.
getRange ();	Haritanın o anki yüksekliğini verir.
getHeading ();	Haritanın o anki yönünü verir.
getTilt ()	Haritanın o anki eğimini verir.

- b) KmlIconCoClass: Haritanın üzerinde işaret olarak kullanılacak bir resim eklemek için kullanılır. “setHref” Metodu ile eklenecek resmin adresi belirtilir.
- c) KmlPointCoClass: Harita üzerinde bir nokta belirlemek amacıyla kullanılan sınıftır. setLatitude (double) metodu noktayı enlemini setLongitude (double) metodu ise boylamını belirler.
- d) KmlPlacemarkCoClass: Ekranı bir yer işareti eklemek için kullanılır. Bu işaret KmlIconCoClass sınıfından tanımlanan nesnenin “setHref” metodunda belirtilen resmin, KmlPointCoClass sınıfından tanımlanan noktaya yerleştirilmesini sağlar. Kontrol programında harita üzerindeki quadrotor simgesi ve hedef simgeleri bu sınıflar kullanılarak gerçekleştirilmiştir.
- e) KmlScreenOverlayCoClass: Harita ekranına sabit bir resim eklenmesini sağlayan sınıftır. Bu uygulamada bu sınıf hedef işaretçisinin eklenmesinde kullanılmıştır.

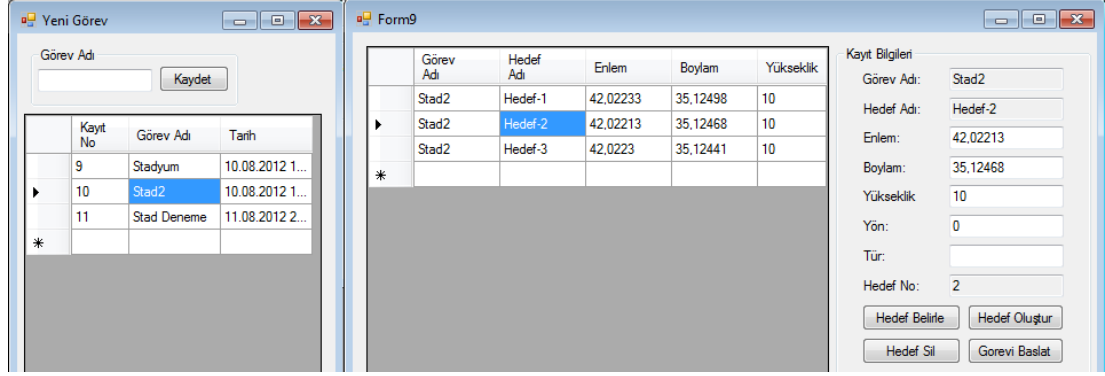
Kontrol programı istenilen konumu, bakış açısıyla beraber veritabanına kayıt etmektedir. Bu kayıtlar aracılığıyla haritada istenilen konuma kolaylıkla erişilebilmektedir.

Aracın uçuş güzergâhı da harita üzerinde belirlenmektedir. Yeni bir görev oluşturulup harita üzerindeki konumlar seçili görev adı altında kayıt edilir. Görev listesi ve seçili görev altındaki kayıtlı hedef listeleri aşağıda gösterilmiştir (Şekil 4.46).

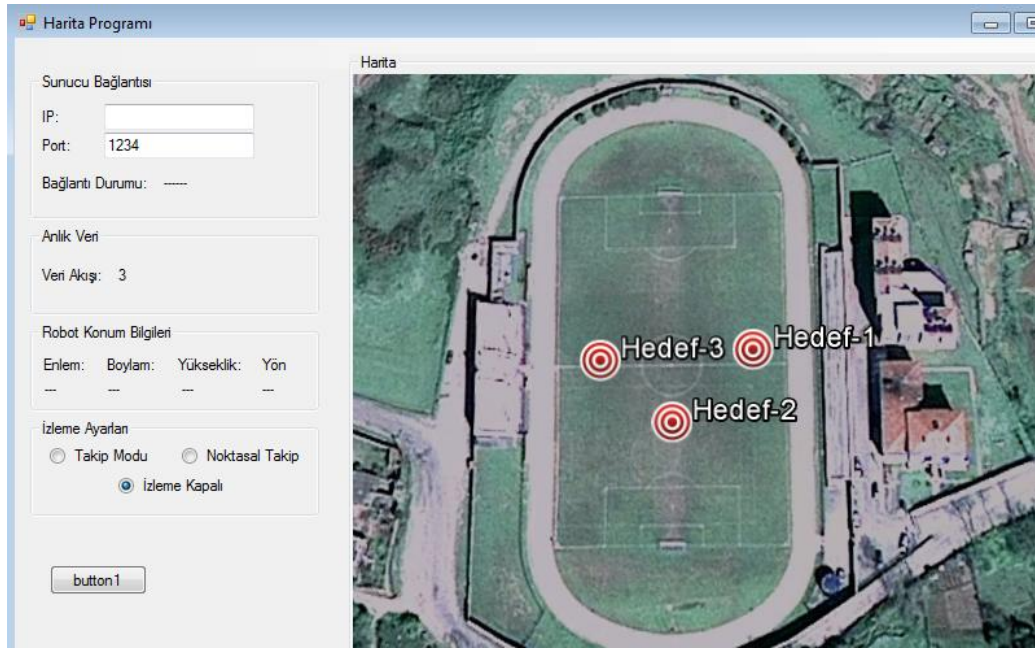
Görev menüsü aktif olduğunda harita ekranının görüntüsü aşağıdaki gibidir (Şekil 4.47).



Görev başlangıç talimatı verildiğinde program hedefleri sırasıyla sunucuya gönderecektir.



Şekil 4.46. Görevler ve uçuş rota bilgileri.



Şekil 4.47. Hedef koordinatları ve sırası.

## BÖLÜM 5

### ROBOTUN SİMULASYONU

#### 5.1. MATEMATİKSEL MODEL

Sistem öncelikle simülasyon düzeyinde gerçekleştirilmiştir. Simülasyon programı hazırlanma amacı bir quadrotorun konum kontrolünün gerçekleştirilmesi için gerekli denemelerin yapılabileceği bir sanal ortam oluşturmaktır. Bu programı gerçeğe uygun olarak hazırlamak için quadrotorun matematiksel modeline ihtiyaç vardır. Matematiksel model ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmada Menno Wierema'nın "Design, implementation and flight test of indoor navigation and control system for a quadrotor UAV" adlı master tezinde anlatılan quadrotor modeli kullanılmıştır. Bu modelin denklemleri aşağıdaki gibidir.

$$m\dot{u} = -m(g\sin\theta - qw + rv) \quad (5.1)$$

$$m\dot{v} = m(g\cos\theta\sin\phi - ru + pw) \quad (5.2)$$

$$m\dot{w} = m(g\cos\theta\sin\phi - pv + qu) - U_1 \quad (5.3)$$

$$I_{xx}\dot{p} = (I_{yy} - I_{zz})qr + lU_2 \quad (5.4)$$

$$I_{yy}\dot{q} = (I_{zz} - I_{xx})rp + lU_3 \quad (5.5)$$

$$I_{zz}\dot{r} = (I_{xx} - I_{yy})pq + U_4 \quad (5.6)$$

Bu denklemler doğrultusunda hazırlanan simülasyon programı, uygulanan kuvvete göre yalpalama, yunuslama ve sapma açılarını hesaplanmaktadır. Bu hesaplama

sonucunda yeryüzü eksenine göre x,y ve z doğrultularında ne kadar mesafe kat edildiği belirlenmektedir. Denklemlerin çözümünde Euler Yöntemi kullanılmıştır.

## 5.2. EULER YÖNTEMİ

Euler Yöntemi başlangıç değeri verilmiş olan adi diferansiyel denklemlerin birinci dereceden sayısal çözümlene yöntemlerinden birisidir. Bu yöntem birinci dereceden bir yöntem olup her bir adımdaki ve genel toplamdaki hata miktarı, hesaplama adımının karesi ile orantılıdır. Bu yöntem karmaşık hesapları oldukça basitleştirmektedir.

Bu çalışmada Euler Yöntemi, quadrotorun matematiksel modeline dayalı bir simülasyon gerçekleştirilmesinde kullanılmıştır. Model denklemleri çözümlenerek yalpalama, yunuslama ve sapma açılarının anlık değerleri ve yeryüzü eksenindeki x,y,z konumlarının değişimleri hesaplanmıştır. Yöntemin genel biçimi şu şekildedir.

$$y'(t) = f(t, y(t)) \quad (5.7)$$

Biçimindeki bir birinci dereceden adi diferansiyel denklemi alalım. y'nin  $t_0$  noktası civarındaki Taylor Serisi açılımı yazılırsa

$$y(t_0 + h) = y(t_0) + hy'(t_0) + \frac{1}{2}h^2 y''(t_0) + O(h^3) \quad (5.8)$$

Bu açılımın ilk iki terimi dışındaki terimler 0'a yakın olduğundan ihmal edilir. İlk iki terim alındığında ifade aşağıdaki gibi olur.

$$y(t_0 + h) = y(t_0) + hy'(t_0) \quad (5.9)$$

Bu denklem aracılığıyla y'nin yeni değeri hesaplanabilmektedir.

### 5.3. SİMULASYON PROGRAMI

Simülasyon programı quadrotorun matematiksel modelinin Euler Metodu ile çözümlenerek, PID kontrolörü aracılığıyla yunuslama, yalpalama, sapma açılarının değiştirilmesi ve buna bağlı olarak X,Y,Z konumlarının istenilen referans değerlere getirilmesini kapsamaktadır. Gerçek sistemde simülasyondan farklı olarak yardımcı kontrol kartı kullanılmış, yunuslama ve yalpalama açılarının korunması için gerekli hesaplamalar yapılmamıştır.

Program C# programlama dili kullanılarak hazırlanmıştır. Programın birinci bölümü Euler Yöntemi ile matematiksel modelin çözülmesidir.

Öncelikle Model içerisindeki sabitler belirlenir. Bunlar b,d,Ix,Iy ve Iz dir. Ardından Model girişleri belirlenir yapılan programda bu girişler  $U_1, U_2, U_3, U_4$  dür. Bu 4 giriş aracın hareketi için 4 farklı kuvveti temsil etmektedir.  $U_1$  Yükselmeyi,  $U_2$  yalpalama açısını,  $U_3$  yunuslama açısını,  $U_4$  ise sapma açısının değişimini sağlayan kuvvetlerdir. Bu girişler PID çıkışları ile ilişkilendirilmekte ve modelin çıkışları kontrol edilmektedir.

Girilen kuvvetler aracılığıyla her bir motorun uyguladığı kuvvet hesaplanır.  $F_{m1}, F_{m2}, F_{m3}, F_{m4}$  motorlara uygulanan kuvvetler olmak üzere Bu işlem aşağıdaki gibi gerçekleştirilir.

$$F_{m1} = \frac{U_1 + 2U_3 - U_4}{4} \quad (5.10)$$

$$F_{m2} = \frac{U_1 - 2U_2 - U_4}{4} \quad (5.11)$$

$$F_{m3} = \frac{U_1 - 2U_3 - U_4}{4} \quad (5.12)$$

$$F_{m4} = \frac{U_1 + 2U_2 - U_4}{4} \quad (5.13)$$

Hesaplama sonunda her bir motor kuvvetinin karekökü alınarak motor hızları da bulunabilir. Motor hızları  $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$ , olmak üzere;  $\omega$

$$\omega_1 = \sqrt{F_{m1}} \quad (5.14)$$

$$\omega_2 = \sqrt{F_{m2}} \quad (5.15)$$

$$\omega_3 = \sqrt{F_{m3}} \quad (5.16)$$

$$\omega_4 = \sqrt{F_{m4}} \quad (5.17)$$

Z, Yükselmeyi sağlayan kuvvet, L, yalpalama momenti, M, yunuslama momenti, N, sapma momenti olsun Z,L,M,N kuvvetleri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$Z = -b (\omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2 + \omega_4^2) \quad (5.18)$$

$$L = b (\omega_4^2 - \omega_2^2) \quad (5.19)$$

$$M = b (\omega_1^2 - \omega_3^2) \quad (5.20)$$

$$N = d (\omega_2^2 + \omega_4^2 - \omega_1^2 - \omega_3^2) \quad (5.21)$$

Model denklemlerinden 5.5 - 5.6 mevcut değerler ile çözülür

$$d_p = (L + qr (I_y - I_z)) / I_x \quad (5.22)$$

$$d_q = (M + pr (I_z - I_x)) / I_{xy} \quad (5.23)$$

$$d_r = (N + qp (I_x - I_y)) / I_z \quad (5.24)$$

Bu şekilde açısal hızlar bulunmuş olur. Açısal hızlar dönüşüm matrisi ile çarpılarak yeryüzü eksenine göre açısal değişim elde edilir. Denklem 5.25 de  $\omega$  değeri p,r ve q değerlerinden oluşan 3 elemanlı bir matris olarak kabul edilir.

$$[\dot{\psi} \quad \dot{\theta} \quad \dot{\phi}]^T = N(\psi, \theta, \phi)\omega \quad (5.25)$$

Dönüşüm matrisi ise aşağıda belirtilmiştir.

$$N(\psi, \theta, \phi) = \begin{bmatrix} 0 & \sin\phi \sec\theta & \cos\phi \sec\theta \\ 0 & \cos\phi & -\sin\phi \\ 1 & \sin\phi \tan\theta & \cos\phi \tan\theta \end{bmatrix} \quad (5.26)$$

Rotasyon matrisi ile çarpım işlemini gerçekleştiren komutlar aşağıdaki gibidir.

$$d_{\phi} = p + (q \sin(\phi) + r \cos(\phi)) * \tan(\theta) \quad (5.27)$$

$$d_{\theta} = q \cos(\phi) - r \sin(\phi) \quad (5.28)$$

$$d_{\psi} = \frac{(q \sin(\phi) + r \cos(\phi))}{\cos(\theta)} \quad (5.29)$$

Sonuçlar Euler Yöntemi ile güncellenir.

$$p = p + d_p * dt \quad (5.30)$$

$$r = r + d_r * dt \quad (5.31)$$

$$q = q + d_q * dt \quad (5.32)$$

İşlem sonucunda yalpalama yunuslama ve sapma açılarındaki değişim bulunur. Bu değişim değerleri üzerinde tekrar Euler Yöntemi uygulanarak yalpalama, yunuslama ve sapma açılarının bir sonraki değeri elde edilmiş olur.

Bu işlemler tamamlandıktan sonra denklemin 2. kısmına geçilerek konum hesaplamaları gerçekleştirilir.

$$d_u = \frac{x}{m} - g \sin(\theta) - qwrv \quad (5.33)$$

$$d_v = \frac{y}{m} + g \cos(\theta) \sin(\phi) - rupw \quad (5.34)$$

$$d_w = \frac{z}{m} + g \cos(\theta) \cos(\phi) - pvqu \quad (5.35)$$

Sonuçlar Euler Yöntemi ile güncellenir ve u,v,w doğrusal hızlar bulunmuş olur. Bulunan değerler Rotasyon Matrisi ile çarpılarak yeryüzü koordinat sistemine göre x,y,z değişimleri hesaplanır.

$$V_0 = R(\psi, \theta, \phi)V \quad (5.36)$$

Burada kullanılan rotasyon matrisi DCM algoritmasında kullanılan rotasyon matrisidir.

$$R(\psi, \theta, \phi) = \begin{bmatrix} \cos\theta \cos\psi & \sin\phi \sin\theta \cos\psi - \cos\phi \sin\psi & \cos\phi \sin\theta \cos\psi + \sin\phi \sin\psi \\ \cos\theta \sin\psi & \sin\phi \sin\theta \sin\psi + \cos\phi \cos\psi & \cos\phi \sin\theta \sin\psi - \sin\phi \cos\psi \\ -\sin\theta & \sin\phi \cos\theta & \cos\phi \cos\theta \end{bmatrix} \quad (5.37)$$

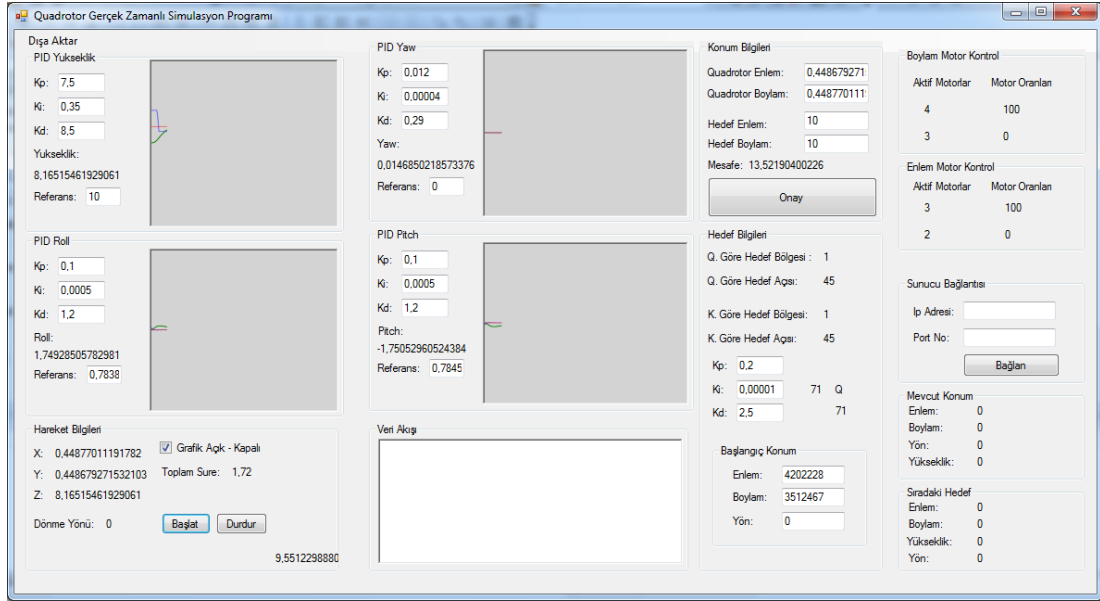
$$d_x = u \cos(\theta) \cos(\psi) + v (\sin(\phi) \sin(\theta) \cos(\psi) - \cos(\phi) \sin(\psi)) + w (\cos(\phi) \sin(\theta) \cos(\psi) + \sin(\phi) \sin(\psi)) \quad (5.38)$$

$$d_y = u \cos(\theta) \sin(\psi) + v \sin(\phi) \sin(\theta) \sin(\psi) + \cos(\phi) \cos(\psi) + w (\cos(\phi) \sin(\theta) \sin(\psi) - \sin(\phi) \cos(\psi)) \quad (5.39)$$

$$d_z = -u \sin(\theta) + v \sin\phi \cos(\theta) + w \cos(\phi) \cos(\theta) \quad (5.40)$$

Çarpım sonucunda elde edilen değerler üzerinde tekrar Euler Yöntemi uygulanarak x,y,z konumlar hesaplanır.

Elde edilen 6 çıkış PID kontrolörlere giriş olarak verilmektedir. PID kontrolörler giriş değerleri ile referans değerlerini karşılaştırarak belirtilmiş olan kat sayılar doğrultusunda yeni çıkışlar üretirler bu çıkışlar da tekrar model denklemlerine girerek yeni açı ve konum değerlerinin oluşmasını sağlar bu döngü bu şekilde devam eder. Aşağıda programın görüntüsü yer almaktadır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Simülasyon programının genel görünümü.

## 5.4. SİMÜLASYON SONUÇLARI

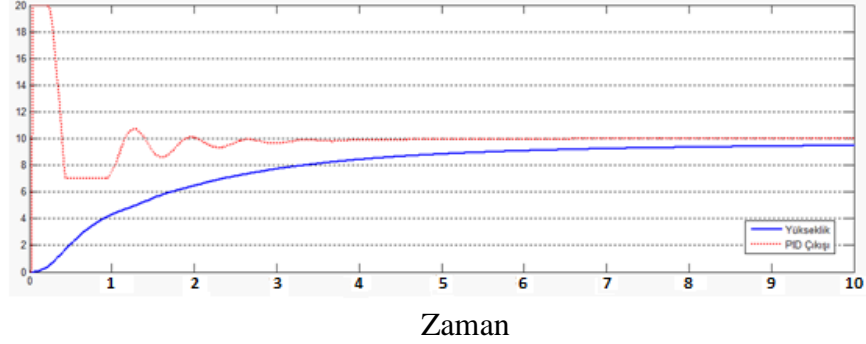
Simülasyon quadrotorun istenilen konum ve duruma gelmesi amacıyla oluşturulmuş PID kontrolör sistemi ile hesaplanan kontrol çıkışlarının matematiksel modele girilerek quadrotorun yeni durum ve konumunu göstermektedir. Farklı senaryolarda farklı durumlar grafiklerle gösterilmiştir.

### 5.4.1. Quadrotorun Yükseklik Değişimi

Simülasyon üzerinde quadrotorun farklı yükseklik değişimlerine karşılık motorların uyguladığı kuvvet incelenmiştir. Öncelikle ilk yükseklik 0 metre ve referans yükseklik ise 10 metre olarak belirlenmiştir.  $K_p = 5$ ,  $K_i = 0.35$ ,  $K_d = 7.5$  olarak

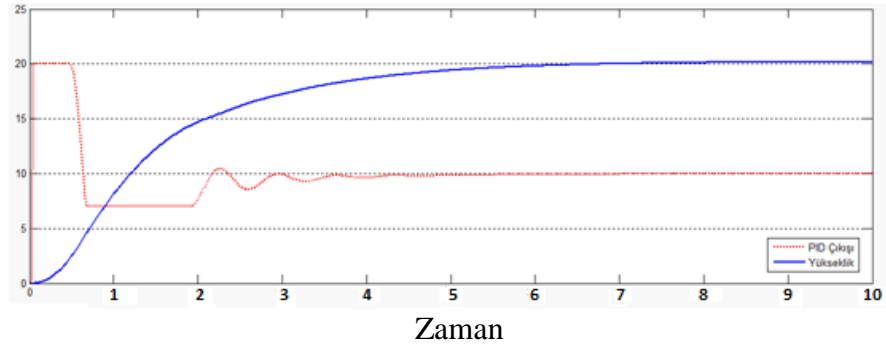


belirlenmiştir. Simülasyon süresi 10 saniye olarak belirlenmiştir. 0-10 metre arası yükseklik değişim grafiği aşağıdaki gibidir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. 0 - 10 Metre arası yükseklik ve PID değişim grafiği.

Kat sayılar değiştirilmeden referans değeri 20 metreye çıkartıldığında yükseklik ve PID çıkış değişimleri aşağıdaki gibidir (Şekil 5.3).



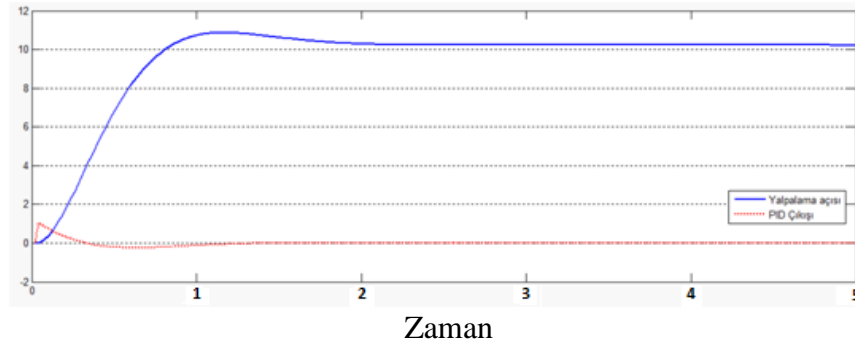
Şekil 5.3. 0-20 Metre arası yükseklik ve PID değişim grafiği.

Quadrotorun yükseklik değişiminin azalarak artması ve istenilen referans değerinde sabit kalması istenmektedir. Belirlenen katsayılar ile bu durum gözlenmiştir. Farklı yükseklik değişim simülasyonları yapıldığında referans farkı arttığında taşma miktarının da arttığı gözlemlenmiştir. Katsayılar deneysel olarak bulunmuştur.

#### 5.4.2. Yunuslama ve Yalpalama Açıları Değişimleri

Araç istenilen koordinata ulaşmak için yunuslama, yalpalama ve sapma açılarını değiştirmektedir. Konum kontrolünden sorumlu PD kontrolörün çıkışı olan yunuslama, yalpalama ve sapma açıları, açı kontrolünden sorumlu PID kontrolörlere referans olarak girilmektedir. Quadrotor yeryüzü eksenine göre açılarını kontrollü bir şekilde değiştirerek istenilen konuma ulaşmaktadır.

Açının büyüklüğü aracın hızı ile orantılıdır. Ancak açının çok yüksek olması aracın irtifa kaybetmesine ve düşmesine sebep olacaktır. Bu nedenle yunuslama ve yalpalama açılarındaki değişimler 10 derece ile sınırlandırılmıştır. Katsayılar bu aralıkta optimum çıkış verecek şekilde deneysel olarak belirlenmiştir. yalpalama açısının değişimini gözlemlemek için gerçekleştirilen simülasyonda başlangıç değeri 0, referans değeri ise 10 derece olarak belirlenmiştir. PID kontrolörün katsayıları ise  $K_p=0,1$   $K_i=0,0005$ ,  $K_d=1,2$  olarak belirlenmiştir. Katsayılar deneysel olarak bulunmuştur. Simülasyon süresi 5 saniyedir. Simülasyona ait açı değişim grafiği aşağıdaki gibidir (Şekil 5.4).

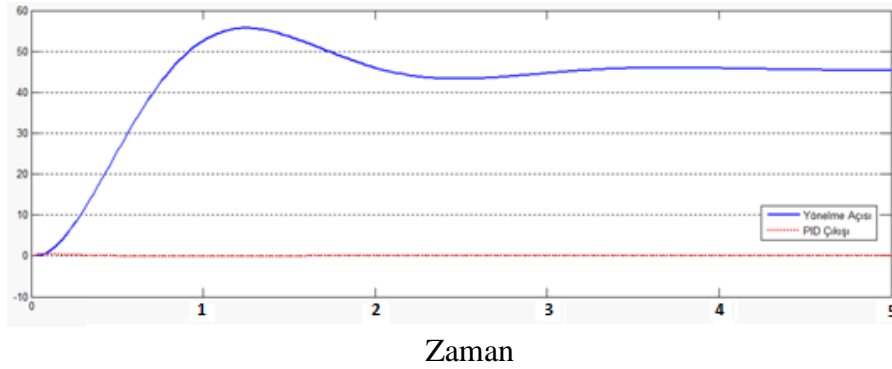


Şekil 5.4. 0–10 Derece arası yalpalama açı değişimi.

Grafik değerlendirildiğinde quadrotor yaklaşık 1 saniye içerisinde istenilen referans açıya ulaşmaktadır. 0,4 derecelik bir taşmanın ardından 2. Saniyede istenilen değere ulaşmaktadır.

### 5.4.3. Sapma Açısı Değişimi

Yönelme açısı quadrotorun burun kısmı olarak kabul edilen bölümünün kuzeye göre açısını ifade etmektedir. Ancak quadrotor yönelme açısını değiştirmeden de yeryüzü eksenine göre x,y,z eksenlerinde hareket edebilen bir hava aracıdır. Bu çalışmada yönelme açısının değişken olma durumu göz önünde bulundurularak konum kontrolü gerçekleştirilmiştir. Yönelme açısındaki dış etkenlere bağlı değişimler rota takibini etkilemediği gibi istenildiğinde bu açı kullanıcı tarafından değiştirilebilmektedir. Yönelme açısının PID kontrolör ile kontrolü simülasyon programı aracılığıyla incelenmiştir. Simülasyon süresi 5 saniyedir. PID katsayıları  $K_p= 0,012$ ,  $K_i= 0,00004$  ve  $K_d= 0,29$  olarak belirlenmiştir. Yönelme açısının değişim grafiği aşağıdaki gibidir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. 0–45 Derece arası yönelme (sapma) açısı değişimi.

Grafik incelendiğinde istenilen referans noktasından maksimum 10 derecelik bir taşma meydana gelmiştir. Tam olarak 3. Saniyede istenilen referans değerine ulaşılmıştır.

### 5.4.4. Konum Değişimi

Quadrotor internet üzerinden iletişim sağlamaktadır. Bu nedenle simülasyon programının da sunucu programa bağlanması ve tasarlanan quadrotorda olduğu gibi konum parametrelerini kontrol programından alması ve konum verilerini sunucu kontrol programına göndermesi sağlanmıştır.

Kontrol programı üzerinde örnek bir görev rotası belirlenmiştir (Şekil5.6). Bu rota quadrotor simülasyonuna gönderilerek aracın istenilen konuma gelmesi sağlanmıştır.



Şekil 5.6. Quadrotorun hareket rotası.

Görev rotasında quadrotorun 4 hedefin merkezinde göreve başladığı varsayılmıştır. Hedefler ile ilgili bilgiler aşağıdaki gibidir (Çizelge 5.1).

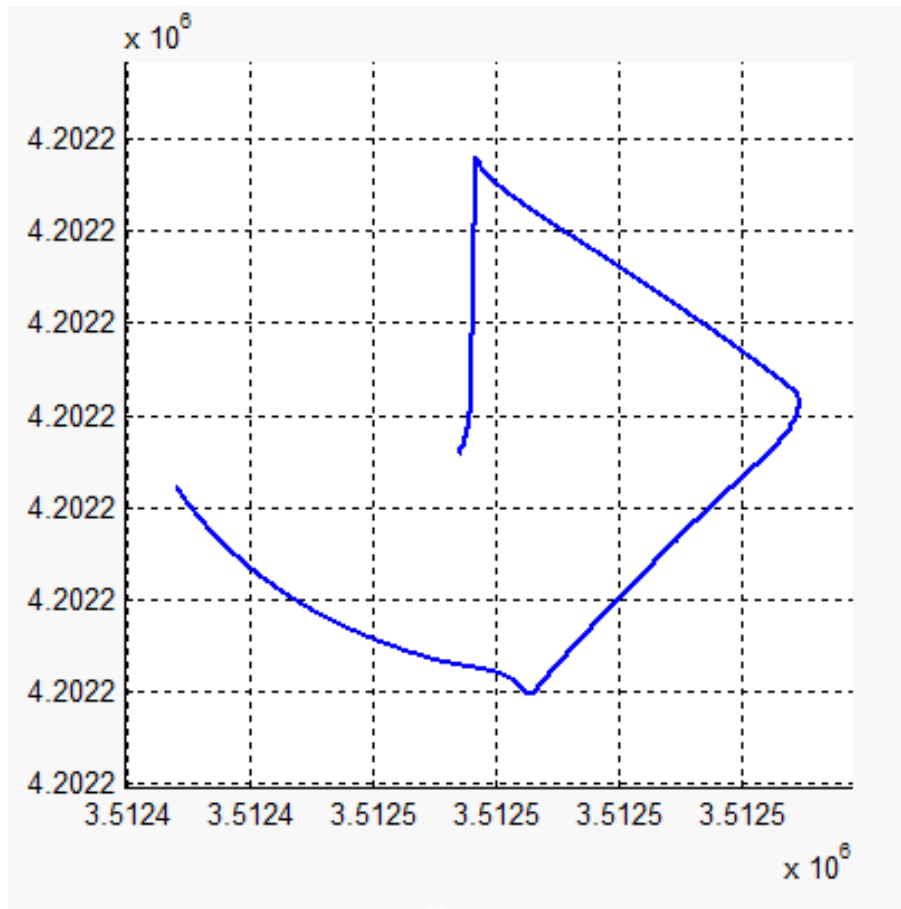
Çizelge 5.1. Hedef bilgileri.

Hedef No:	Enlem	Boylam	Yükseklik	Yön
1	42,02248	35,12468	10	0
2	42,02229	35,12498	10	0
3	42,02211	35,12469	5	3
4	42,02228	35,12443	5	90

Rota planlama aşamasında yön bilgisi “0” olarak girilirse quadrotor hedefe yönelerek hareket edecektir. Eğer yön bilgisi “0” dan farklı bir değer girilirse quadrotor hedefe hareket ederken istenilen yönelme açısında sabit kalacak şekilde hareket edecektir.

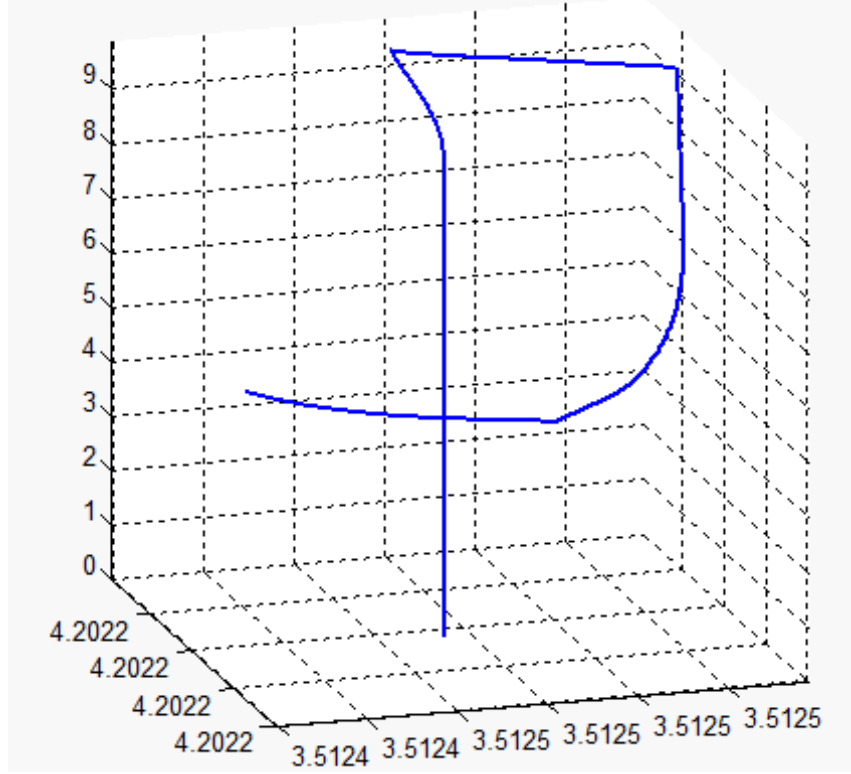
Hedef 1 ve Hedef 2 yön bilgisi 0 girildiğinden quadrotor hedefe yönelerek hareket etmiştir. Hedef 3'e hareket ederken quadrotor kuzey doğrultusunda Hedef 4'e hareket ederken ise quadrotor doğuya yönünü çevirerek hareketini sürdürecektir. Aynı durum yükseklik için de geçerlidir. Hedef 1 ve Hedef 2 ye hareket ederken araç 10 metre yüksekliğe çıkarken Hedef 3 ve Hedef 4 e hareket ederken yükseklik 5 metreye düşecektir.

Simülasyon çalıştırıldığında rota verilerine ait grafik aşağıdaki gibidir (Şekil 5.7).



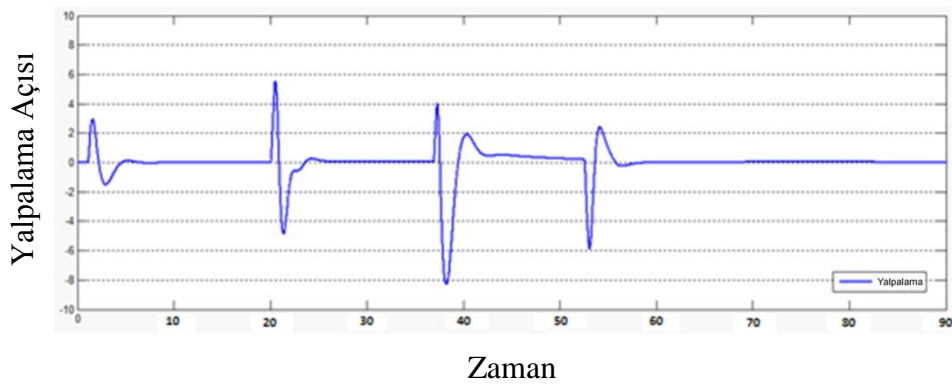
Şekil 5.7. Konum grafiği.

Grafik 3 boyutlu olarak çizildiğinde yükseklik değişimlerinin de zamana ve konuma göre değişimi gözlenebilmektedir (Şekil 5.8).

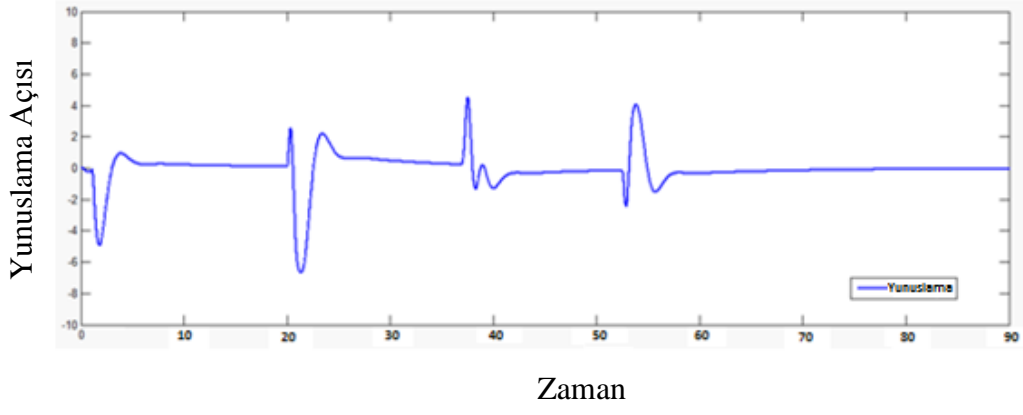


Şekil 5.8. Konum ve yükseklik grafiği.

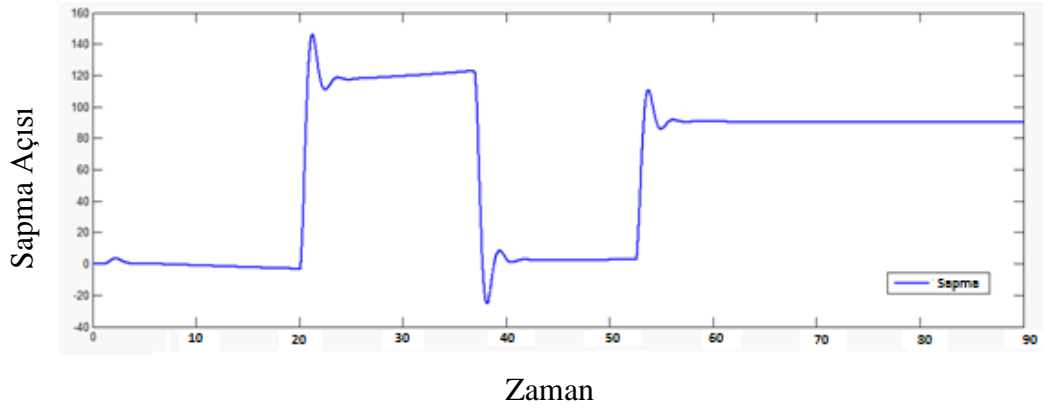
95 saniyelik simülasyon süresince quadrotor 105,5 metre yol kat etmiştir. Dönüşler ve hareket verileri incelendiğinde simülasyonun gerçeğe uygun olarak gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Hareket süresince yunuslama, yalpalama ve sapma Açılarındaki değişimler aşağıdaki gibidir (Şekil 5.9, 5.10, 5.11).



Şekil 5.9. Yalpalama açısı değişimi.



Şekil 5.10. Yunuslama açısı değişimi.



Şekil 5.11. Sapma açısı değişimi.

## BÖLÜM 6

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 6.1. AÇI TESPİT UYGULAMALARI

Ana kontrol kartının en önemli işlevlerinden birisi quadrotorun yere göre açılarının doğru olarak bulunmasıdır. İvmeölçer açı bilgisinin bulunması için tek başına yeterli olsa da vibrasyon nedeniyle açılarda bozulma meydana gelmekte en küçük bir titreşim birkaç derecelik hataya sebebiyet vermektedir. Hareketli bir araç olan quadrotorun yeryüzü referans sistemine göre açılarının bulunması amacıyla sadece ivmeölçerin kullanılması mümkün değildir. Bu nedenle titreşimden etkilenmeyen bir sensör olan ve açısal hızı ölçen jiroskop ile ivmeölçerin ölçümleri bazı algoritmalar ile işlenerek filtrelenmiş açı bilgisine ulaşılmıştır. DCM algoritması bu amaçla kullanılan algoritmalarından biridir.

Açıların filtrelenmesi işleminde öncelikle ivmeölçer çıkışları ölçülmüştür her bir ekseninde maksimum çıkış değerleri 256, minimum çıkış değerleri ise -256 olduğu görülmüştür. Tüm eksenlerdeki çıkışların aynı olması nedeniyle çıkış vektörleri üzerinde normalizasyon işleminin yapılmasına gerek kalmamıştır. İvme ölçer ile yalpalama ve yunuslama açılarının bulunması için öncelikle bileşke vektörün bulunması gerekmektedir.

$R_{acc}$  bileşke vektör,  $A_{cx}$ ,  $A_{cy}$ ,  $A_{cz}$  x,y,z eksenlerinde okunan ivmeölçer çıkışlarıdır.

$$R_{acc} = \sqrt{a_{cx}^2 + a_{cy}^2 + a_{cz}^2} \quad (6.1)$$

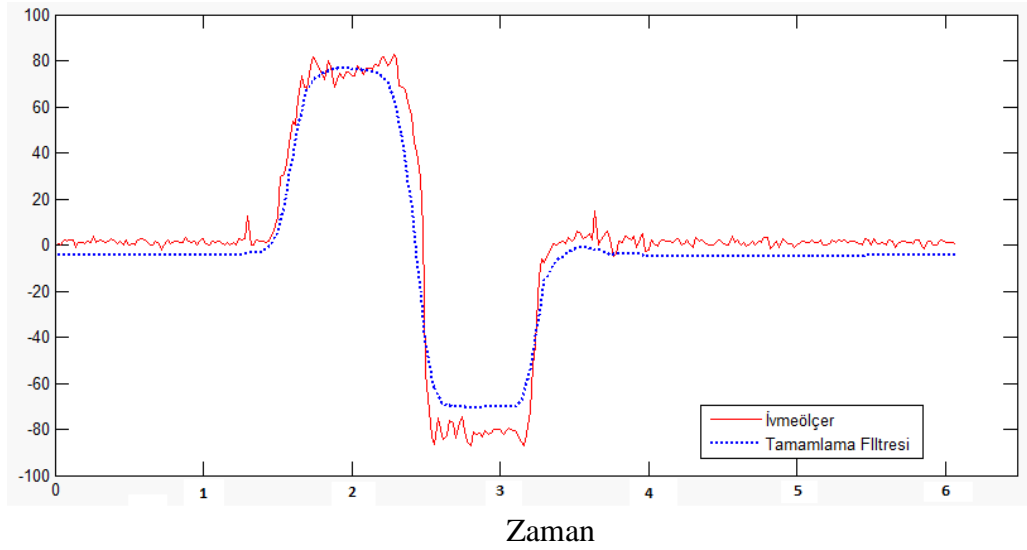
Bileşke vektör x eksenindeki açı değerinin bulunmasında kullanılmaktadır.



$$\theta_{acc} = \arccos \left( \frac{a_{cx}}{R_{acc}} \right) \quad (6.2)$$

$\theta_{acc}$  açısı aracın ivmeölçer tarafından ölçülen yere göre açısını vermektedir.

Elde edilen sonuçlar grafik haline getirilmiş önce açı tamamlama filtresi ile karşılaştırılmıştır (Şekil 6.1).



Şekil 6.1. İvmeölçer ve açı tamamlama filtresinin karşılaştırılması.

Açı tamamlama filtresi jiroskoptan bir döngü (1/50 sn) için verdiği çıkış alınır. Bu çıkış değeri jiroskopun hassasiyetiyle çarpılır. Jiroskopun hassasiyeti saniyede ölçebileceği minimum derece miktarıdır. Bu ölçüm sonucunda “1” değerini çıkış olarak verir. Quadrotor saniyede 50 kere işlem yaptığından çıkış değeri ayrıca 50 sayısına bölünür.

$$\theta_j = Jd * Jh * dt \quad (6.3)$$

JAçı: jiroskoptan ölçülen açı değeridir.

Jd: Jiroskoptan okunan değerdir.

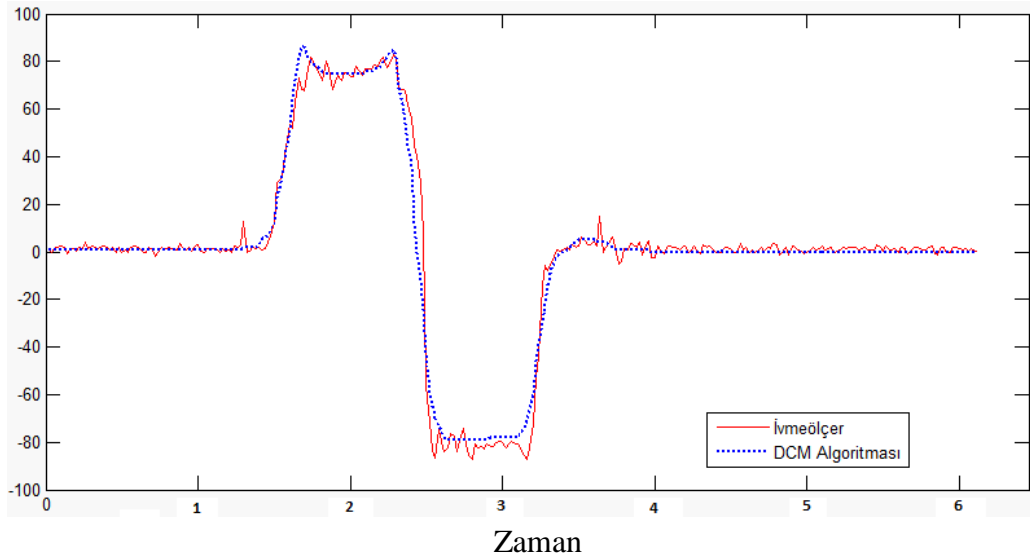
Jh: Jiroskopun hassasiyetidir. Kullanılan jiroskopun hassasiyeti 0.07 dir.

dt: İşlem süresidir. Bu uygulamada saniyede 50 kez işlem yapılmaktadır. Dolayısıyla dt değeri 0.02 olmaktadır.

Jiroskoptaki kaymanın düzeltilmesi için elde edilen açı değeri belirli oranda, ivmeölçerden elde edilen açı değeri ile çarpılarak düzeltilir.

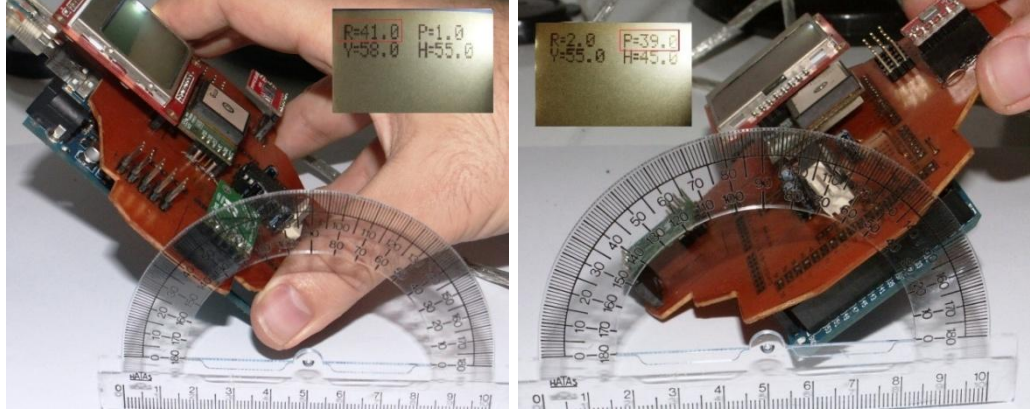
$$\theta = 0.975 * \theta_j + 0.025 * \theta_{acc} \quad (6.4)$$

aynı işlemler  $\phi$  açısının bulunması için de gerçekleştirilir. Filtreleme olarak uygun bir filtre olmasına karşın kayma meydana gelebilmektedir. Açı tamamlama filtresi yerine DCM algoritması kullanıldığında oluşan grafik aşağıdaki gibidir (Şekil 6.2). DCM algoritmasında gecikme olmamakla beraber filtreleme olarak ta başarılıdır.



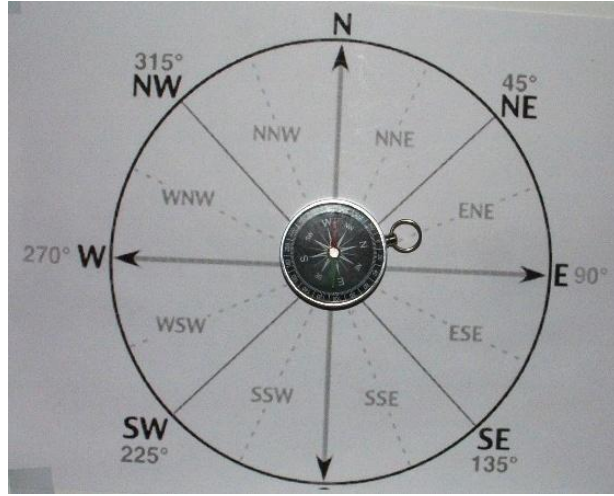
Şekil 6.2. İvmeölçer ve DCM algoritmasının karşılaştırılması.

Açı değerleri tespit edildikten sonra ana kontrol kartı üzerine lcd ekran takılmış ve DCM algoritması yüklenmiştir. Kartın yeryüzü eksenine göre durumu x ve y eksenlerinde 40 dereceye getirilmiştir. 40 derece referans alınarak elde edilen yalpalama ve yunuslama açıları aşağıdaki gibidir (Şekil 6.3).



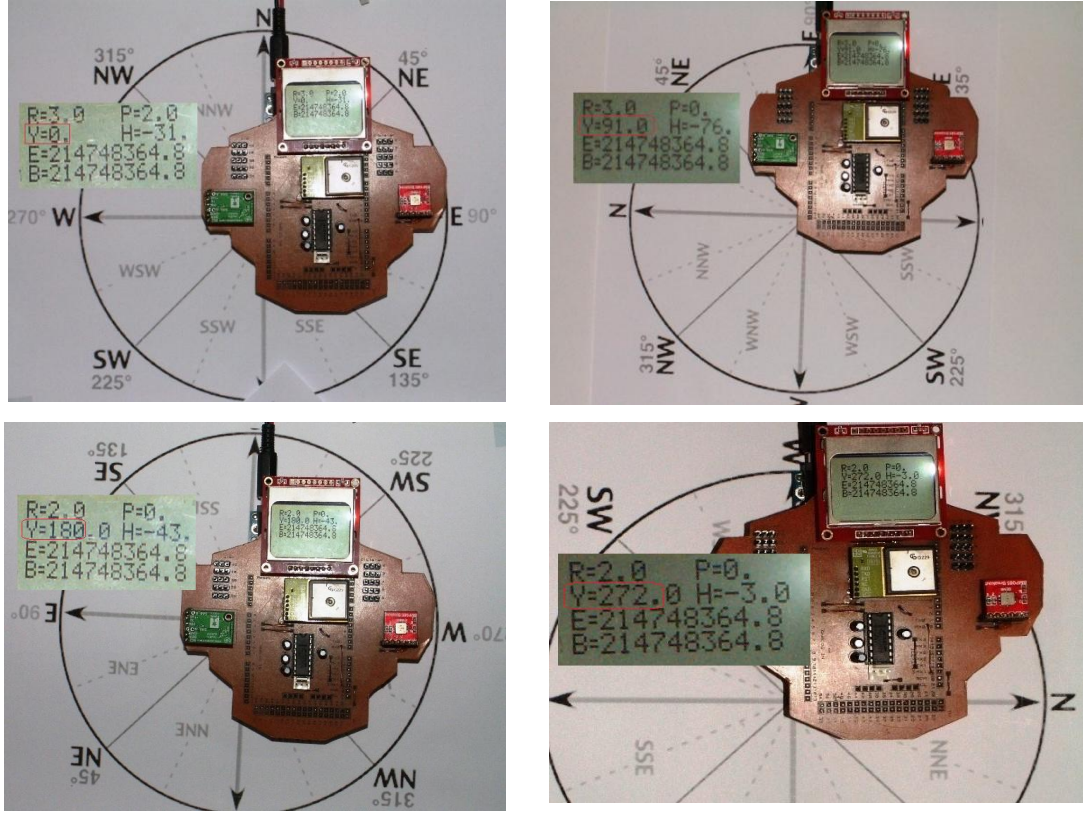
Şekil 6.3. Elde edilen yalpalama ve yunuslama açıları.

Sapma açısının doğruluğunun tespitinde gerçek pusula kullanılmıştır. Pusula altına bir yön cetveli yerleştirilmiş ve bu cetvel kuzeye göre ayarlanarak sabitlenmiştir (Şekil 6.4).



Şekil 6.4. Pusula yön cetveli.

Ardından manyetik objelerden uzak bir ortamda manyetik sensörün kalibrasyonu yapılmıştır. Kalibrasyon sensörün, 3 ekseninde elde ettiği minimum ve maksimum manyetik okumaların bulunması ile gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon tamamlandıktan sonra pusula ile ayarlanmış yön cetveli üzerine ana kontrol kartı yerleştirilerek yön ölçümleri alınmıştır (Şekil 6.5).



Şekil 6.5. Kuzey, doğu, güney ve batı yönlerinde yapılan ölçümler.

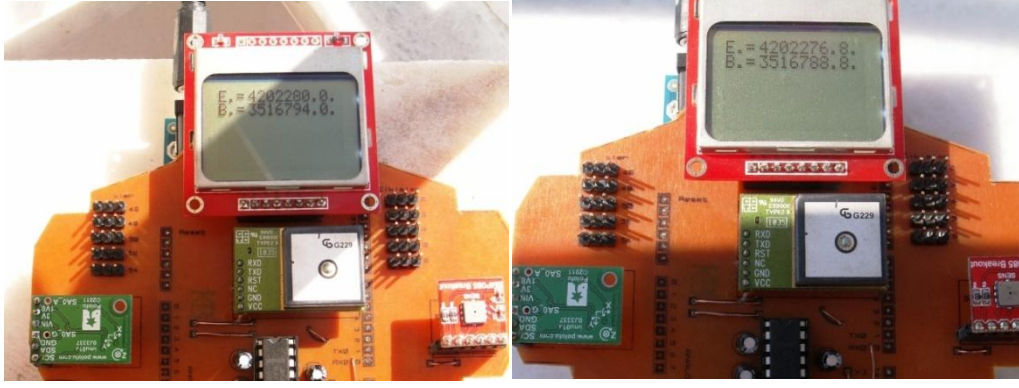
Ölçüm sonuçları aracın hedef yönüne doğru yönelmesi için gereken hesaplamaları yapmasına yeterlidir. Bazı ölçümlerde 1-2 derecelik hata meydana gelmiştir. Ancak araç hedefe yaklaştıkça hatalı ölçümden meydana gelen ufak sapma PID tarafından düzeltilerek aracın hedefe ulaşması sağlanacaktır.

## 6.2. KONUM HESAPLAMA UYGULAMALARI

### 6.2.1. Konum Ölçümü

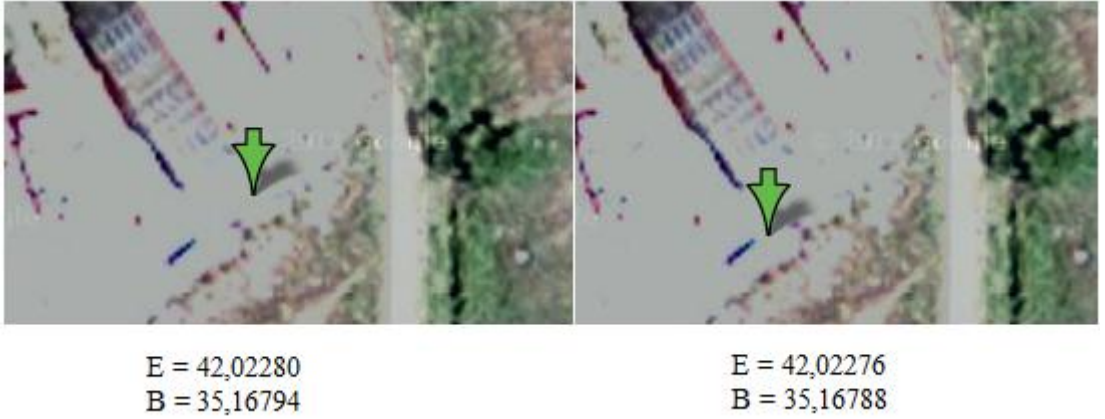
Quadrotorun yeryüzünde bir noktadan başka bir noktaya hareket edebilmesi için mevcut konumunun doğru olarak tespiti büyük önem taşımaktadır.

Ana kontrol kartı üzerinde bulunan GPS alıcısı 6 metre mesafe ara ile ölçümler alınmıştır ve aşağıdaki ölçümler elde edilmiştir (Şekil 6.6).



Şekil 6.6. GPS ölçüm değerleri.

Ölçülen değerler harita üzerinden işaretlendiğinde ölçüm alınan noktadan 1-2 metrelik bir kayma olduğu görülmektedir. Ölçülen mesafe ve yön ise doğru olarak bulunmuştur (Şekil 6.7).



Şekil 6.7. Ölçüm sonuçlarının harita üzerindeki gösterimi.

### 6.2.2. Takip Uygulaması

Quadrotor Ana kontrol kartı ve iletişim noktaları açık fakat uçuş özellikleri kapalı olarak bir araca yüklenmiş ve hareket ettirilmiştir. GPRS aracılığı ile Sunucu bağlantısı kurulmuş ve kontrol programı üzerindeki harita aracılığıyla quadrotorun hareketi takip edilmiştir. Takip işlemi “A” noktasında başlamış ve bitmiştir. Yaklaşık 500 metre taşınarak hareket ettirilen quadrotorun konumu yüksek doğrulukta tespit edilmiştir (Şekil 6.8).

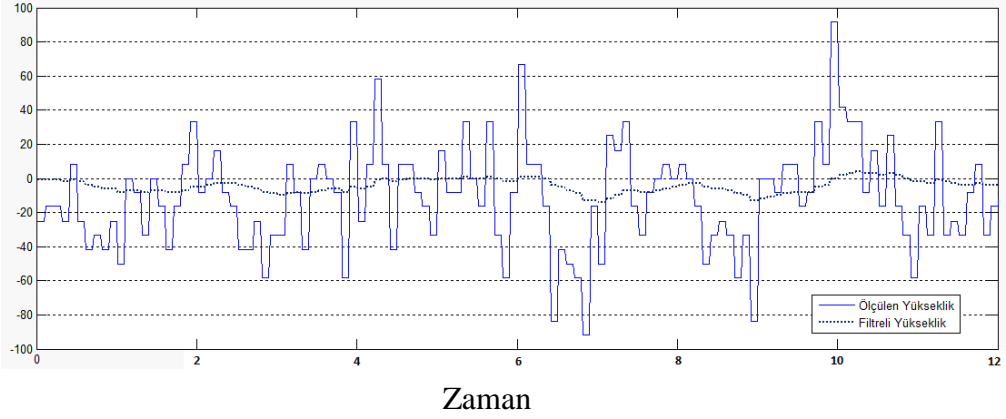




Şekil 6.8. Quadrotorun anlık konumları.

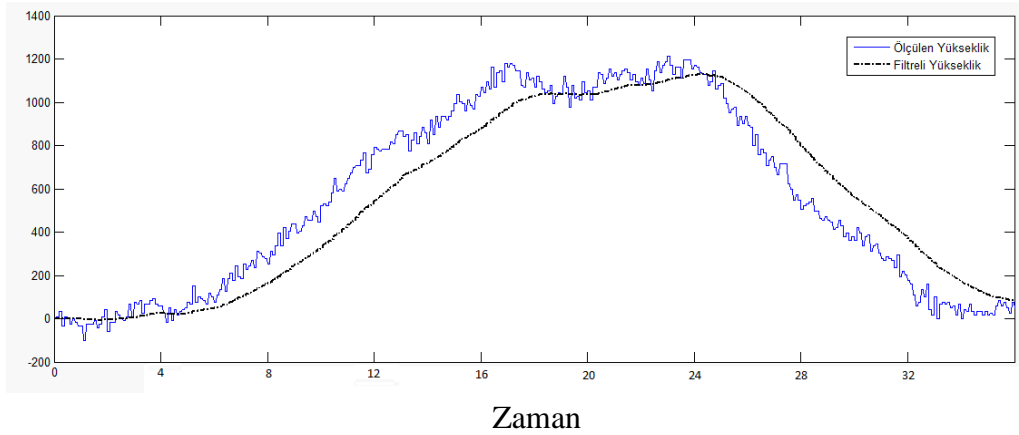
### 6.3. YÜKSEKLİK TESPİT UYGULAMALARI

Yükseklik ölçümünde kullanılan barometrik basınç sensörü gürültülü bir çıkış vermektedir. Bu nedenle sensor çıkışları bir filtreden geçirilerek PID girişine gönderilmelidir. Kullanılan Filtre ortalama değer filtresidir. Bu filtre son 20 değer ortalamasını alarak çıkış vermektedir. Bu filtreye ait çıkışlar grafikte verilmiştir (Şekil 6.9). Ölçüm süresince yükseklik değiştirilmemiştir.



Şekil 6.9. 0 metrede ölçülen yükseklik ve filtrelenmiş yükseklik değerleri.

0-12 metre arasındaki zamana bağlı yükseklik grafiği ise aşağıdaki gibidir (Şekil 6.10).



Şekil 6.10. 0-12 metre arası ölçülen yükseklik ve filtrelenmiş yükseklik değerleri.

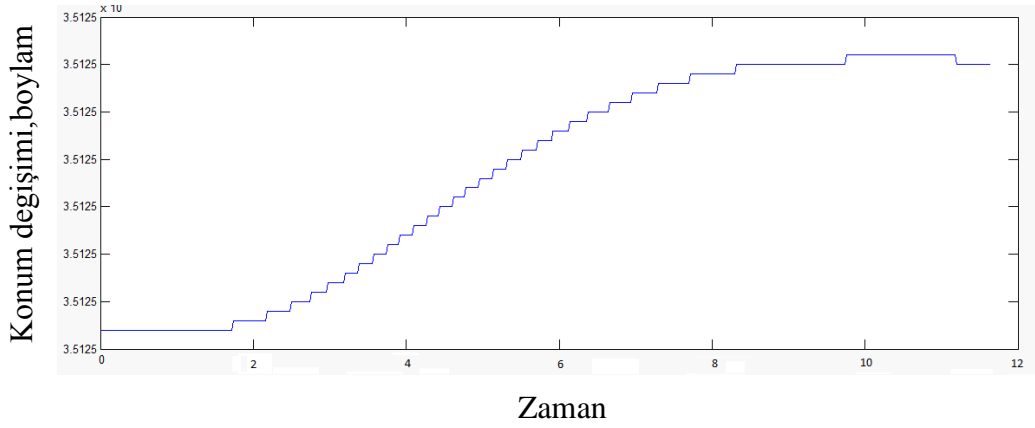
#### 6.4. TEST DÜZENİĞİ UYGULAMALARI

Oluşturulan deney düzeneği ile motorların çalışması için gerekli olan sinyaller tespit edilmiş ve denenmiştir. Motorların harekete geçmesi için gerekli olan PWM sinyalinin en az, 20 milisaniyede 1180 mikro saniye doluluk oranı ile elde edildiği saptanmıştır. Bu seviyedeki dönüş hızı 1500 rpm dir.

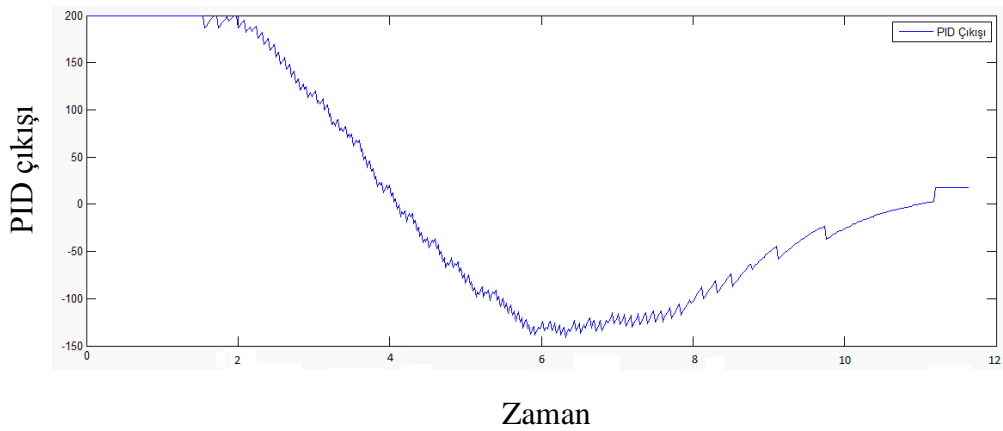
Maksimum hız için gerekli olan PWM sinyali ise 1820 milisaniye doluluk oranına sahiptir. Bu seviyedeki dönüş hızı 8000 rpm olmaktadır.

Her bir motor yaklaşık 600 gr itme kuvveti uygulayabilmektedir. Tam güçte quadrotor kendi ağırlığının 2 katını kaldırabilmektedir.

Matematiksel modelin konum değişimi hesaplamaları ile ilgili denklemleri mikrodenetleyiciye aktarılıp Anlık ölçülen euler açıları bu denklemlere giriş olarak verilmiştir. Bu sayede mikrodenetleyicinin, konum değişikliği için gerekli PID hesaplamalarını quadrotor hareket etmeden gerçekleştirmesi ve açı değişikliklerini meydana getirerek konum değişikliklerini hesaplaması sağlanmıştır. Quadrotorun başlangıç boylamı 35,12467 hedef boylam ise 35,12495 olarak belirlenmiştir. Aradaki mesafe 31 metreye eşittir. Zamana bağlı konum değişimi ve PID çıkışları aşağıdaki grafiklerde belirtilmiştir (Şekil 6.11, 6.12).



Şekil 6.11. Konum değişim grafiği.



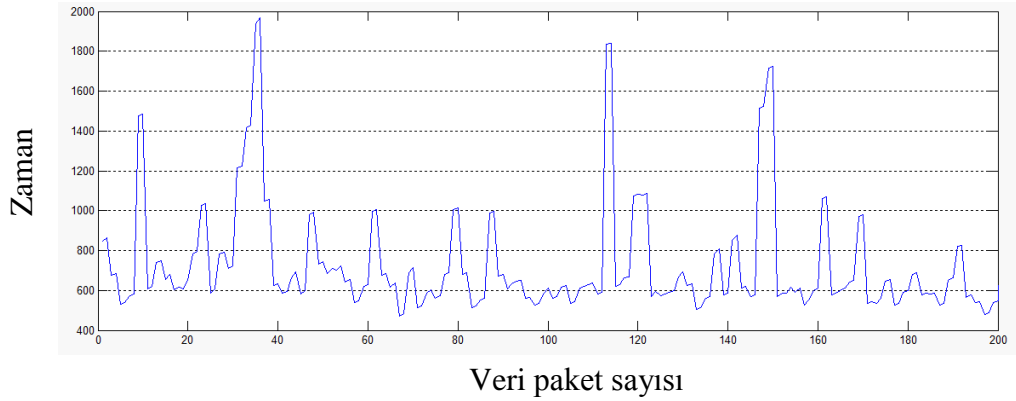
Şekil 6.12. PID çıkış grafiği.



## 6.5. İLETİŞİM HIZI ÖLÇÜMÜ

Quadrotor konum verisini belirli aralıklarla sunucuya göndermektedir. Kontrol programı da aynı şekilde hedef bilgilerini sunucuya göndermektedir. Sunucu program, quadrotorun GPRS aracılığıyla gönderdiği verileri kontrol programına kontrol programının gönderdiği verileri ise quadrotora iletmektedir. Konum bilgilerinin anlık olarak gözlemlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle kontrol programı ile quadrotor arasındaki iletişim süresi ölçülmüştür. Ölçüm işlemi ana kontrol kartının USB aracılığıyla kontrol programına ve aynı anda GPRS aracılığıyla sunucuya bağlanması ile gerçekleştirilmiştir. Kontrol kartı 25 byte'lık konum bilgisini GPRS terminale gönderdiği anda bir sayaç başlatır. Bu veri kontrol programına ulaştığında kontrol programı ana kontrol kartına USB üzerinden sayacı durdurmak için gerekli komutu gönderir. Böylece verinin hangi sürede kontrol programına ulaştığı milisaniye olarak gözlemlenmiş olur.

200 adet konum verisinin iletim süresi aşağıdaki grafikte gösterilmiştir (Şekil 6.13).



Şekil 6.13. GPRS veri iletim hızı grafiği.

Grafik incelendiğinde verinin iletim süresi genellikle 1 saniyenin altında olmaktadır. Verinin ortalama olarak iletim süresi 740 milisaniyedir. Bu değerler aracın anlık olarak konumunun izlenmesi ve hedef bilgilerinin gönderilmesi için yeterli olmaktadır.

## BÖLÜM 7

### SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen GPRS kontrollü otonom insansız hava aracı trafik gözlemlerinin gerçekleştirilmesi, geniş alanların güvenliğinin sağlanması amacıyla gezici kamera sistemi olarak ya da farklı noktalarda bilimsel ölçümler yapmak amacıyla kullanılabilir.

Bu çalışmada Jiroskop, ivmeölçer ve manyetik sensör den alınan ölçümlerden Direction Cosine Matris ile Euler açıları elde edilmiştir. Elde edilen bu açılar ile sensörün bağlı olduğu quadrotorun havadaki durumu yeryüzüne göre saptanabilmiştir. Kullanılan altimetre ile atmosfer basıncı ölçülerek aracın yüksekliği belirlenmiş ve bu değerlerin filtrelenmesi ile daha stabil yükseklik değerleri elde edilmiştir. Kullanılan GPS alıcısı ile aracın yeryüzünde hangi enlem ve boylamda olduğu belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında 3 adet bilgisayar yazılımı geliştirilmiştir. Bunlardan ilki sunucu yazılımıdır. Bu yazılım, quadrotorun ve kontrol yazılımının internet üzerinden bağlandığı yazılımdır. Kontrol yazılımı ile quadrotor arasında köprü görevi görmektedir. Diğer bir yazılım ise kontrol yazılımıdır. Kontrol yazılımı sunucuya bağlanmaktadır. Bu yazılımı üzerinde Google Earth eklentisi eklenmiştir. Bu eklenti aracılığıyla oluşturulan harita, aracın konumunun gözlenmesi ve aynı zaman aracın gideceği hedeflerin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Aracın konumu ve hedefler harita üzerinde simgeler halinde bulunmaktadır. Bu da büyük ölçüde kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Geliştirilen diğer yazılım ise simülasyon yazılımıdır. Simülasyon yazılımı quadrotorun matematiksel modeline göre tasarlanmıştır. Bu yazılım aracılığıyla quadrotora uygulanan kuvvetler sonucunda hareketi gözlenmiş ve bu gözlemler sonucunda durum ve konum kontrolörleri tasarlanmış ve test edilmiştir.

Üzerinde işletim sistemi yüklü herhangi bir bilgisayar kullanmadan mikrodenetleyici kontrolünde, GPRS üzerinden sunucu yazılım ile bağlantı kurulmuş ve çift yönlü olarak veri iletişimi sağlanmıştır. İletişim hızı test edilmiş ve ortalama 740 ms olduğu görülmüştür. Bu hız gerçek zamanlı kontrol için uygun olmamasına karşın otonom hareket eden bir aracın konumunun gözlenmesi ya da hedefinin gönderilmesi için yeterli bir hızdır.

Araç havada belirli bir yükseklikte dengede durabilmektedir. İstenildiğinde kumanda aracılığıyla manüel olarak ta uçurulabilmektedir. GPRS aracılığıyla aldığı hedef verisine göre hedefine yönelmekte ve hedef üzerine geldiğinde beklemektedir. Aracın yönü ne olursa olsun hedefe ulaşmak için gerekli hareketleri gerçekleştirmekte, istenildiğinde yönü sabit kalarak ta hedefine ulaşabilmektedir.

Robot üzerinde bilgisayar yerine mikrodenetleyici kullanılması, gövdenin hafif alüminyumdan ve fiber malzemedan yapılması ağırlık bakımından büyük avantaj sağlamasına karşılık günümüz batarya sistemlerinin depolayabileceği enerji kısıtlı olması nedeniyle uçuş süresi sınırlıdır.

Robot rota takip uygulamalarını gerçekleştirmekle birlikte bazı alanlarda sınırlı kalmaktadır.

- a) Robot üzerine kamera yerleştirilerek görüntü aktarımı sağlanabilir.
- b) Hız kontrolü için gerekli algoritmalar geliştirilerek robotun hızının değişken olması sağlanabilir.
- c) Otomatik kalkış ve iniş sistemleri eklenebilir.
- d) Şarj istasyonları kurularak bataryası azalan robotun kendisini şarj etmesi sağlanabilir.

## KAYNAKLAR

Al-Bayari, O. and Sadoun, B., “New centralized automatic vehicle location communications software system under GIS environment”, *Int. J. Commun. Syst.*, 18:833–846 (2005).

Alahakone, A. and Ragavan, V., “Geospatial information system for tracking and navigation of mobile objects”, *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics Suntec Convention and Exhibition Center*, Singapore, 875-882 (2009).

Altuğ, E., Ostrowski, J. and Mahony, R., “Control of a quadrotor helicopter using visual feedback”, *In Proc. IEEE, Int. Conf. on Robotics and Automation*, Washington D.C., 72-77 (2002).

Bouabdallah, S., Murrieri, P. and Siegwart, R. “Design and control of an indoor micro quadrotor”, *In Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, New Orleans, 4393-4398 (2004).

Bouabdallah, S. and Siegwart, R. “Backstepping and sliding-mode techniques applied to an indoor micro quadrotor”, *In Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, Barcelona, 2259-2264 (2005).

Cui, F., Zhang, M. and Sun, L., “Design of GPS/MM/GPRS integrated location system for the mobile robot”, *53. International Symposium*, Singapore, 1-6 (2006).

Castillo, P., Lozano, R. and Dzul, A. “Stabilization of a mini-rotorcraft having four rotors”, *In. Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, New Orleans, 2693-2698 (2004).

Faucounau, V., Riguet, M. and Orvoen, G., Lacombe, A., Rialle, V., Extra, J. and Rigaud, S., “Electronic tracking system and wandering in Alzheimer’s disease”, *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 52: 579–587 (2009).

Gödekoğlu, H., “Fırçasız doğru akım motoru konum kontrolörü tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul 5-16 (2007).

Hamel, T., Mahony, R. and Chriette, A., “Visual servo trajectory tracking for a four rotor vtol aerial vehicle”, *In Proc. IEEE, Int. Conf. on Robotics and Automation*, Washington D.C., 2781-2786 (2002).

Hamel, T. and Mahony, R. “Pure 2d visual servo control for a class of under-actuated dynamic system”, *In Proc. IEEE, Int. Conf. on Robotics and Automation*, New Orleans, 2229-2235 (2004).

Hsieh, Y. C., Moo, S. C. and Tsai, S., “Balance charging circuit for charge equalization”, *Power Conversion Conference*, Osaka, 1138-1143 (2002).

İnal K. ve Akçayol A., “GSM tabanlı akıllı ev uygulaması”, *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 2 (2): 39-45 (2009).

İnternet: Mobile Word Live, “Coverage and Network Information” [http://maps.mobileworldlive.com/network\\_info.php?nid=253&org\\_id=4095&cid=38416](http://maps.mobileworldlive.com/network_info.php?nid=253&org_id=4095&cid=38416) (2012).

İnternet: Premerlani, W. and Bizard, P., “Direction Cosine Matrix IMU: Theory.” <http://gentlenav.googlecode.com/files/DCMDraft2.pdf> (2009).

İnternet: Google Developers, “KML Documentation Introduction” <http://developers.google.com/kml/documentation> (2012).

İnternet: Starlino “A Guide to Using IMU” [http://www.starlino.com/imu\\_guide.html](http://www.starlino.com/imu_guide.html) (2012).

Kai, Y., Junmei Z., Wenbin, L., Liu, Y., Lin, G. and Huixia, X., “Design of ultrasonic obstacle avoidance system of fruit-transportation gyrocar based on ARM”, *3. International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*, Beijing, 1010-1013 (2011).

Karalı, C. ve Yıldırım, Ö., “Global konum belirleme sistemi”, *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2 (2): 103-108 (1996).

Kıvrak, A. Ö., “Ataletsel algılayıcılara sahip dört motorlu uçuş aracı için denetim sistemleri tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Atılım Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 17-50 (2006).

Kim, J., Kang, M. S. and Park, S., “Accurate modeling and robust hovering control for a Quad-rotor VTOL aircraft”, *J. Intell. Robot Syst.*, 57: 9-26 (2010).

Lopez, D., Vaizquez, J., Ruiz, J. and Saint, D., “An architecture for sentient GPRS-enabled MicroBots”, *IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation*, Finland, 145-150 (2005).

Li, M., Sun, L., Huang, Q., Cai, Z. and Piao, S., “GPRS based guard robot alarm system design”, *4. International Conference on Internet Computing for Science and Engineering*, Harbin, 211-216 (2009).

Makaya, F. D., Chatelain, D. and Snyman L. W., “Design and performance assessment of a prototype wireless controlled robot”, *International Symposium on*

*Electron Devices for Microwave and Optoelectronic Applications*, South Africa, 23-34 (2004).

McKerrow, P. "Modeling the dragonflyer for-robot helicopter", *In Proc., IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, New Orleans, 3596-3601 (2004).

Min, B. C., Cho, C. H., Choi, K. M. and Kim, D. H., "Development of a micro quadrotor UAV for monitoring an indoor environment", *Advances in Robotics*, Incheon, 262-271 (2009).

Mistler, V., Benallegue, A. and M'Sirdi, N. "Exact linearization and noninteracting control of a 4 rotors helicopter via dynamic feedback", *In Proceedings of IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication*, New York, 586-593 (2001).

Mokhtari, A. and Benallegue, A. "Dynamic feedback controller of eule angles and wind parameters estimation for a quadrotor unmanned aerial vehicle", *In Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, New Orleans, 2359-2366 (2004).

Muñoz, N., Eusse, j. and Cruz, E., "Robot teleoperation system based on GPRS", *4. Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference*, Cerma, 74-79 (2007).

Ooi, B. T., Brissoneau, P. and Bruggel, L., "Optimal winding design of permanent magnet motor for self-controlled inverter operations," *Electric Mach. Electromech.*, 6: 381-389 (1981).

Sezer, B., "İvme sensör tabanlı laboratuar acil destek uyarı sistemi", Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 17-19 (2011).

Velagic, J., Osmic, N., Hodsic, F. and Siljak, H., "Outdoor navigation of a mobile robot using GPS and GPRS communication system", *53. International Symposium*, Zadar, 173-177 (2011).

Wierema, M., "Design, implementation and flight test of indoor navigation and control system for a quadrotor UAV", *M.S. thesis, Delft University*, Holland, 19-30 (2008).

Yüksel, M. E. ve Zaim, H. A., "GSM/GPRS aygıtları üzerinden çok dilli SMS gönderme", *Akademik Bilişim'09 - XI. Akademik Bilişim Konferans*, Şanlıurfa, 229-238 (2009).

## ÖZGEÇMİŞ

İsmail Umut DURAN 1982 yılında Kahramanmaraş da doğdu. İlköğretimini Van, Karaman ve Gümüşhane ve Adana da tamamladı. Merzifon Anadolu Lisesinden mezun oldu. 2001 Yılında Ondokuzmayıs Üniversitesi Eğitim Fakültesi Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Eğitimi Bölümünden iyi derece ile mezun oldu. 2005 yılında Sinop-Ayancık Ticaret Meslek Lisesinde öğretmen olarak göreve başladı. 2009 yılında Sinop Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu Bilgisayar Programcılığı Programı'na Öğretim Görevlisi olarak atandı. 2009 yılında Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı'nda başladığı yüksek lisans eğitimini yine aynı üniversitede tamamladı. Halen Sinop Üniversitesinde Öğretim Görevlisi olarak görevine devam etmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimler Enstitüsü  
Balıklarkayası Mevkii / KARABÜK

Tel : (555) 3939493

E-posta : umtdrn@gmail.com