



**BAŞ/BOYUN HAREKETLERİNİN ALGILANMASI İÇİN
BİR KONTROL KARTI TASARIMI**

Nazime Seda ŞAŞMAZ

**Yüksek Lisans Tezi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Mustafa TÜRK
TEMMUZ-2016**

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

**BAŞ/BOYUN HAREKETLERİNİN ALGILANMASI İÇİN BİR KONTROL KARTI
TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Nazime Seda ŞAŞMAZ
(141113104)**

Anabilim Dalı: Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Programı: Elektronik

Danışman: Doç. Dr. Mustafa TÜRK

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 20 Haziran 2016

TEMMUZ-2016

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BAŞ/BOYUN HAREKETLERİNİN ALGILANMASI İÇİN BİR KONTROL KARTI
TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nazime Seda ŞAŞMAZ

(141113104)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20 Haziran 2016
Tezin Savunulduğu Tarih : 13 Temmuz 2016

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mustafa TÜRK (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÜSTÜNDAĞ (B.Ü.)

Yrd. Doç. Dr. Vedat ÇELİK (F.Ü.)



TEMMUZ-2016

ÖNSÖZ

Günümüzde, çeşitli sebeplerle konuşamayan, baş/boyun bölgesinden sonrasını kullanamayan, bu şekilde yaşamına devam etmek zorunda olan pek çok insan bulunmaktadır. Bu insanların başlarına kolayca takılabilecek bir entegre ile gerçek zamanlı konum bilgisi alınabilmektedir. Alınan konum bilgisi 3 ekseninde olup, gerçek zamanlı yön tayini yapmayı sağlayacaktır. Bu konum bilgisine göre kişiye özel hareket seçenekleri ile tekerlekli sandalyenin hareketi gerçekleştirilebilir.

Bu çalışma boyunca desteğini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen danışmanım Sayın Doç. Dr. Mustafa TÜRK'e teşekkür eder, saygılarımı sunarım. Her türlü desteğinden, motive edici olmasından ve değerli katkılarından dolayı Merter KARACAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Her an desteklerini yanımda hissettiğim, haklarımı ödeyemeceğim aileme sonsuz sevgilerimi sunarım.

Bu tez çalışmasında, akselerometre, jiroskop ve manyetometrenin tek bir entegrede bulunduğu Pololu firmasının ürettiği minImu adlı ataletsel ölçüm ünitesi üzerinde Arduino Nano yardımı ile x, y, z yönünde konum bilgisi alma işlemi simülize edilmiş ve 4 motorun bu konum bilgisine göre sağa dönüş, sola dönüş, ileri, geri, sola/sağa eğimli ileri geri hareketleri gerçekleştirilmiştir.

Seda ŞAŞMAZ

ELAZIĞ-2016

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLolar LİSTESİ	IX
KISALTMALAR LİSTESİ	X

1.	GİRİŞ	1
2.	AKSELEROMETRE	3
2.1.	İvme Tanımı	4
2.2.	Akselerometre Çalışma Mantığı	4
2.3.	Akselerometre Çalışma Yöntemleri	5
2.3.1.	Mekanik Akselerometre	5
2.3.2.	Kapasitif Akselerometre	5
2.3.3.	Piezoelektrik Akselerometre	6
2.4.	Akselerometre Parametreleri	6
2.4.1.	Çıkış Türü	6
2.4.2.	Eksen Sayısı.....	7
2.4.3.	Eğim Açısı	7
2.4.4.	Hassasiyet	8
2.4.5.	Bant Geniliği	8
2.5.	Farklı Tipteki Akselerometrelerin Parametrelerinin Karşılaştırılması	8
2.6.	Mikro Elektromekanik Sistemler ve MEMS Akselerometreler	8
3.	JİROSKOP	10
3.1.	Jiroskop Çalışma Mantığı	10
3.2.	Jiroskop Çalışma Yöntemleri	11
3.3.	Jiroskop Çeşitleri	11
3.3.1.	Mekanik Jiroskoplar	12
3.3.1.1.	Dönen Yapılı Jiroskoplar	12
3.3.1.2.	Titreşen Yapılı Jiroskoplar	13
3.3.2.	Optik Jiroskoplar	14
3.3.2.1.	Lazer Jiroskoplar	15
3.3.2.2.	Fiber Optik Jiroskoplar	15
3.3.2.2.1.	Resonans Fiber Optik Jiroskop.....	15
3.3.2.2.2.	İnterferometrik Fiber Optik Jiroskop.....	16
3.4.	MEMS Jiroskoplar.....	17
3.5.	Farklı Tipteki Jiroskopların Parametrelerinin Karşılaştırılması.....	17
4.	MANYETOMETRE	19
4.1.	Dünya'nın Manyetik Alan Modeli	19

	<u>Sayfa No</u>
4.2.	Manyetometre Çalışma Mantığı 20
4.3.	Manyetometre Kullanım Alanları..... 21
4.4.	Manyetometre Çeşitleri 21
4.4.1.	Proton Manyetometresi..... 22
4.4.2.	Fluxgate Manyetometresi 22
4.4.3.	Hall Etkili Manyetometre 23
4.5.	MEMS Manyetometreler 24
4.6.	Farklı Tipteki Manyetometrelerin Parametrelerinin Karşılaştırılması 24
5.	BAŞ/BOYUN HAREKETLERİNİN ARDUINO VE IMU İLE ALINMASI 26
5.1.	Arduino'ya Giriş..... 26
5.2.	Arduino Nano 28
5.2.1	Arduino Nano'da Haberleşme 28
5.3.	IMU (Ataletsel Ölçüm Ünitesi) 30
5.4.	Pololu IMU ve Arduino Nano Bağlantısı ve Programlanması 31
5.5.	Processing..... 36
5.5.1.	Processing Geliştirme Ortamı (PDE)..... 37
5.5.2.	Processing-Arduino-IMU Haberleşmesi..... 38
5.6.	Baş/Boyun Hareketlerini Algılayan Kontrol Kartı Prototipi Hazırlanması..... 39
5.6.1.	Kontrol Kartı Devre Şeması ve Arduino Programı..... 40
5.6.2.	Unity 3D ile Kontrol Kartı Entegrasyonu..... 41
6.	SONUÇLAR 43
	KAYNAKLAR 45
	EKLER
	ÖZGEÇMİŞ

ÖZET

Bu çalışmada, Arduino ve IMU kullanılarak gerçek zamanlı konum bilgisinin elde edilmesi ve izlenmesi için bir kontrol kartı tasarlanmıştır. Öncelikle bu sistem içerisinde, Arduino yardımı ile IMU'dan 3 eksen x, y ve z konum bilgilerinin alınması amaçlanmıştır. Arduino ve IMU bağlantısı yapıldıktan sonra Arduino Nano'nun programlanması ile IMU'dan gelen konum bilgileri Arduino'daki Serial Monitor'e aktarılmıştır. Alınan konum bilgisi ile 4 motorun hareketi L293D entegresi ile gerçekleştirilmiştir. Bu 3 eksen konum bilgisi görselleştirmek amacı ile de eş zamanlı olarak Processing'e gönderilmiştir. Arduino-Processing haberleşmesi, Processing'de bulunan "Serial" kütüphanesi yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Processing'e alınan anlık eksen bilgisi yine Processing'de bulunan "OpenGL" kütüphanesi ile oluşturulan 3 boyutlu küp hareketiyle görselleştirilmiştir. Bu sayede, IMU hareketi ile küp hareketi özdeşleşmiştir.

Tez çalışması olarak hazırlanan baş/boyun hareketlerinin algılanması için kontrol kartı tasarımında yapılan testler sonucunda, IMU-Arduino haberleşmesi sayesinde anlık konum bilgisinin doğru bir şekilde alınabildiği, IMU'dan alınan konum bilgileri ile Arduino yardımı ile motorların birbirinden bağımsız PWM ile sürülebildiği, Processing ile Arduino'nun eş zamanlı çalışabildiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: IMU, Akselerometre, Jiroskop, Manyetometre, Arduino, Processing, PWM

SUMMARY

Design of A Control Board For Detection Movement of Head/Neck

In this study, control card is designed to get and follow real-time location information through the instruments of Arduino and IMU. Firstly, 3 axis x, y, z location information are intended to get from IMU by means of Arduino in this system. After Arduino and IMU connection had been made, location information from IMU was transferred to the Arduino Serial Monitor with Arduino Nano programming. According to the location information received, 4 motor movement was carried out with L293D integrated. In order to visualize, this 3 axis location information was sent to Processing simultaneously. Arduino-Processing communication was realized with the help of "Serial" library in the Processing. The received axis information to Processing was visualized by 3-dimensional cube movement created help of library "OpenGL" in Processing. Thus, IMU and cube movement has become identical.

In thesis study, according to the test results they were observed that instant location information can be received correctly thanks to IMU-Arduino communication and motors can be driven independently of each other by PWM, Arduino can work simultaneously with the Processing.

Key Words: IMU, Accelerometer, Gyroscope, Magnetometer, Arduino, Processing, PWM

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Cisim pozisyon bilgisi.....	1
Şekil 2.1. Birleştirilmiş 3 eksenli akselerometre.....	3
Şekil 2.2. Hız-zaman grafiği	4
Şekil 2.3. Kuvvet-ivme grafiği.....	5
Şekil 2.4. Mekanik akselerometre yapısı.....	5
Şekil 2.5. Kapasitif akselerometre yapısı	6
Şekil 2.6. Piezoelektrik akselerometre yapısı.....	6
Şekil 2.7. Eğim açıları gösterilen üç eksenli akselerometre.....	7
Şekil 3.1. Jiroskop eksenleri.....	10
Şekil 3.2. Presesyon ve nutasyon hareketi	11
Şekil 3.3. Dönen yapılı jiroskop prensibi	12
Şekil 3.4. Coriolis etkisi	13
Şekil 3.5. Halkada Sagnac etkisi	14
Şekil 3.6. Lazer jiroskop yapısı	15
Şekil 3.7. RFOG çalışma yapısı	16
Şekil 3.8. IFOG çalışma yapısı.....	16
Şekil 3.9. Jiroskop z eksenine açısal hız gösterimi	17
Şekil 3.10. MEMS jiroskop iç işlemsel görünümü.	18
Şekil 4.1. Dünya'nın manyetik alan çizgileri	20
Şekil 4.2. Dünya'nın manyetik alanının yatay bileşenleri	20
Şekil 4.3. Manyetometrede akı taşınması.....	21
Şekil 4.4. Proton manyetometresinin fonksiyonel blok şeması.	22
Şekil 4.5. Hall etkisi prensibi.	24
Şekil 5.1. Arduino Nano görünüşü.....	28
Şekil 5.2. I ² C Master-Slave bağlantı şeması	29
Şekil 5.3. SPI haberleşmede Master-Slave bağlantı şeması.....	30
Şekil 5.4. Sparkfun MPU 9150 IMU.....	30
Şekil 5.5. Pololu marka minImu.....	31
Şekil 5.6. L3GD20H elektronik bağlantısı ve bileşenlerin değerleri.	32

Sayfa No

Şekil 5.7. LSM303DLHC elektronik bağlantısı ve bileşenlerin değerleri	33
Şekil 5.8. Arduino Nano ve minIMU bağlantısı.	34
Şekil 5.9. Arduino kütüphane ekleme ekranı	35
Şekil 5.10. Serial monitörde elde edilen bazı değerler.....	36
Şekil 5.11. Processing ekranı görüntüsü	37
Şekil 5.12. Processing çalışma modu değiştirme ekranı.....	38
Şekil 5.13. IMU takibi için oluşturulan küp görseli.....	39
Şekil 5.14. L293D entegre yapısı.....	40
Şekil 5.15. Baş/boyun hareketlerinin algılandığı kontrol kartı devre şeması.....	41
Şekil 5.16. Baş/boyun hareketlerinin algılandığı kontrol kartına ait blok diyagram.....	41
Şekil 5.17. Unity 3D ekran görüntüsü.....	42

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Farklı tipteki akselerometrelerin parametreleri	8
Tablo 3.1. Farklı tipteki jiroskopların parametreleri.....	18
Tablo 4.1. Farklı tipteki manyetometrelerin parametreleri	25
Tablo 5.1. Piyasadaki Arduino boardlarının karşılaştırmalı karakteristik özellikleri....	27
Tablo 5.2. IMU-Arduino pin bağlantısı.....	33

KISALTMALAR LİSTESİ

IMU	: Atalet Ölçüm Ünitesi (Inertial Measurement Unit)
MEMS	: Mikro Elektromekanik Sistem (Micro Electromechanical Systems)
%s	: Derece/Saniye
%sa	: Derece/Saat
V	: Volt
A	: Amper
DOF	: Serbestlik Derecesi (Degrees of Freedom)
CW	: Saat Yönü (Clockwise)
CCW	: Saat Yönünün Tersisi (Counterclockwise)
RFOG	: Rezonant Fiber Optik Jiroskop (Resonant Fiber Optic Gyroscope)
IFOG	: İnterferometrik Fiber Optik Jiroskop (Interferometric Fiber Optic Gyroscope)
PZT	: Piezoelektrik Transformatör (Piezoelectric Transducer)
DC	: Doğru Akım (Direct Current)
LED	: Işık Yayan Diyot (Light Emitting Diode)
LCD	: Sıvı Kristal Ekranı (Liquid Crystal Display)
IDE	: Tümüleşik Geliştirme Ortamı (Integrated Development Environment)
CPU	: Merkezi İşlem Birimi (Central Processing Unit)
EEPROM	: Elektronik Olarak Silinebilir Programlanabilir Hafıza (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory)
SRAM	: Static Random-Access Memory
PWM	: Pulse-Width Modulation
TX	: Verici Uç

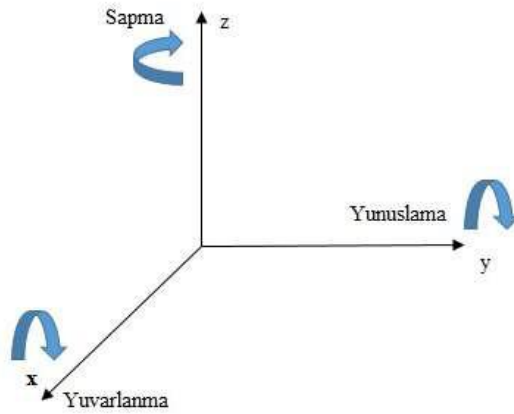
RX	: Alıcı Uç
TTL	: Transistör Transistör Lojik
USB	: Evrensel Seri Veri Yolu (Universal Serial Bus)
SPI	: Seri Çevresel Arayüz (Serial Peripheral Interface)
MOSI	: Efendi Çıkış Köle Giriş (Master Out Slave In)
MISO	: Efendi Giriş Köle Çıkış (Master In Slave Out)
IRBM	: Orta Mesafeli Balistik Füze (Intermediate Range Ballistic Missile)
MMI	: İnsan-Makine Arayüzü (Man-Machine Interface)
COM	: Haberleşme Bağlantı Noktası (Communication Port)

1.GİRİŞ

Günümüzde nörolojik ve fizyolojik sebeplerden dolayı hareket kabiliyetini kaybedip tekerlekli sandalye ile yaşayan birçok insan bulunmaktadır. Baş/boyun bölgesi dışında hareket kabiliyeti olmayan bireyler için tasarlanan bu sistem, kişilerin yardım almaksızın tekerlekli bir sandalyeyi kontrol etmesine imkan sağlamıştır.

Literatür taraması yapıldığında elde edilen çalışmalar şu şekilde sıralanabilir: Christian Mandel ve arkadaşları, elektrikli tekerlekli sandalyeler için üç serbestlik derecesinde hareketin kontrolü tasarımını gerçekleştirmişlerdir. Bu tasarımı gerçekleştirirken, kişinin başının arkasına taktıkları IMU ile konum bilgisini almışlardır [1]. Zohreh Salimi ve arkadaşları 2013 yılında IMU'dan alınan konum bilgilerinin filtreleyerek tekerlekli sandalyenin hareketini sağlamışlardır [2]. Bu tez çalışmasında ise, boynundan aşağısını kullanamayan bireyler için baş ve boyun hareketlerine göre gerçek zamanlı konum bilgisi alabilen bir sistem tasarlamak ve alınan konum bilgisi yardımı ile motorların hareketinin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

Ataletsel ölçüm ünitesi olarak adlandırılan IMU (Inertial Measurement Unit) boardlar, akselerometre, jiroskop ve magnetometrelerin birleşiminden oluşmuştur. Çıkışında roll, pitch, yaw cinsinden değerler üretir. Pitch, cismin burnunun aşağı yukarı hareketi; yaw, cisim burnunun sola sağa dönüşü, roll ise sağa sola yuvarlanma hareketi olarak ifade edilir. Şekil 1'de hareketli cismin pozisyon bilgileri gösterilmiştir [3].



Şekil 1.1. Cisim Pozisyon Bilgisi

Çalışmada, akselerometre, jiroskop ve magnetometrenin birleşik halde bulunduğu IMU'lardan elde edilen konum değerleri Arduino IDE'si aracılığı ile gerçekleştirilmiştir. Alınan konum bilgisi ile L293D entegresi ve Arduino yardımıyla tekerlekli sandalye prototipindeki motorların birbirinden bağımsız olarak hareketi sağlanmıştır. Hareketleri kısıtlı olan bireyler için, tekerlekli sandalyelerine kolayca entegre edilebilecek baş/boyun hareketleri ile yönetebilecek yardımcı bir sistem geliştirmek amaçlanmıştır. Geliştirilen sistem, sadece tekerlekli sandalye için konum bilgisi almada değil, aynı zamanda motor kontrolünde, uzaktan araç kontrolünde ve benzer sistemlerde de kullanılabilme yi de amaçlamaktadır.

Tez çalışması kapsamında oluşturulan prototip devredeki motor sürücü kartı ve motorlar değiştirilerek, IMU için alınan konum bilgileri kişinin hareket kabiliyetine göre belirlenerek daha güçlü motorları olan tekerlekli sandalyelere kolayca entegre edilebilir.

Tez çalışmasının devam eden kısımları 4 ana bölümden oluşmaktadır. Bu bölümlerde incelenen konu kapsamı aşağıda verilmiştir:

Bölüm 2'de, akselerometreler hakkında genel bilgiler ve uygulamalar verilmiştir. Farklı tipteki akselerometrelerin temel özellikleri karşılaştırılmıştır.

Bölüm 3'te, jiroskop yapısı ve çalışma mantığı hakkında genel bilgiler verilmiştir. Hali hazırda bulunan jiroskopların özellikleri tanıtılmış olup, önemli parametreler karşılaştırılmıştır.

Bölüm 4'te, manyetometre yapısı ve Dünya'nın manyetik alanı hakkında bilgiler verilmiştir. Piyasada en sık kullanılan manyetometrelerin önemli parametreleri karşılaştırılmıştır.

Bölüm 5'te, Arduino çeşitleri hakkında bilgi verilip tez çalışmasında kullanılan Arduino Nano açıklanmıştır. Kullanılan IMU ile Arduino haberleşmesi aktarılmıştır. Arduino COM portundan gelen konum bilgilerinin Processing'e aktarılması ve görselleştirilmesi verilmiştir. Arduino Nano ve Processing kodları eklenmiştir. Ayrıca tekerlekli sandalye prototipindeki motorların hareketi sağlanmış olup devre şeması eklenmiştir. Son olarak Sonuçlar kısmında, tez çalışmasında elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

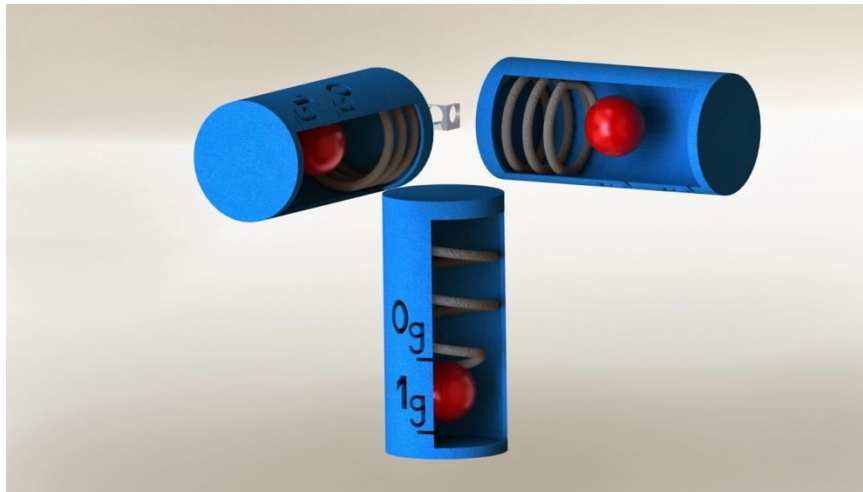
2. AKSELEROMETRE

İvmeölçer olarak da adlandırılan akselerometreler, bir kütleye uygulanan statik veya dinamik ivmeyi ölçmede kullanılır.

Gelişen teknoloji ile beraber akselerometre kullanım alanları da artmıştır. Günümüzde, akselerometreler sanayide ve bilimsel çalışmalarda kullanılmaktadır. Kullanım alanlarından bazıları şunlardır:

1. Füze, uçak ve gemi navigasyon sistemleri
2. Kameralar
3. Bilgisayarlar
4. Cep telefonları
5. Görüntü netleştirme
6. Otomotiv konfor testleri

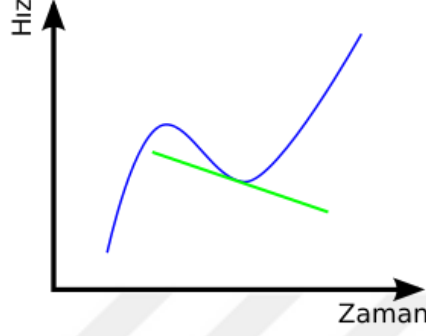
Akselerometreler, ölçüm yaparken içerisinde konumlandırılmış kütleyi referans olarak alır. Kütlein konumundaki değişimden faydalanarak, referans noktaya göre kıyaslama yapar ve ölçümü sonuçlandırır. Şekil 2.1'de, x, y ve z eksenleri için 3 boyutlu ölçüm yapabilen akselerometre yapısı gösterilmiştir. Kütle 0 g'de yatay olarak konumlandırılmıştır. Yataydan dikey pozisyona geçişte kütlein konumu 1 g olacaktır.



Şekil 2.1. Birleştirilmiş üç eksenli akselerometre

2.1. İvme Tanımı

İvme, hızın zamana göre değişimi olarak tanımlanır. Şekil 2.2’de gösterilen Hız-Zaman grafiğine göre, eğrinin teğetinin eğimi ivmeyi vermektedir. İvmeölçer (akselerometre) yardımıyla ölçülen ivmenin birimi metre/saniye² dir.



Şekil 2.2. Hız-Zaman grafiği

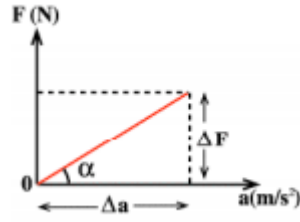
Statik ve dinamik olmak üzere iki tür ivme vardır. Statik ivme, yer çekimi ivmesi iken dinamik ivme aniden durma veya hızlanma olarak tanımlanır.

2.2. Akselerometre Çalışma Mantığı

Akselerometreler, ivmelenmeyi hızdaki değişimin nasıl olduğunu hesaplayarak değil, kuvvete göre ölçerler. Cisme kuvvet uygulandığında, akselerometrede konumlandırılmış cismin üzerine uygulanan kuvveti algılama prensibi ile çalışır. Denklem (2.1)’de verilmiş olan Newton’un 2. Hareket Kanunu’na göre, bir cisim üzerine sabit bir F kuvveti etki ederse, cisim etkiyen kuvvet yönünde ivme kazanır. Şekil 2.3’te Newton’un 2. Hareket Kanunu’nun grafiksel gösterimi verilmiştir.

Akselerometreler, girdi olarak g veya m/s² alırlar, çıkışlarında elektriksel birimlerden V ya da A üretirler.

$$F = m \times a \quad (2.1)$$



Şekil 2.3. Kuvvet-İvme grafiği

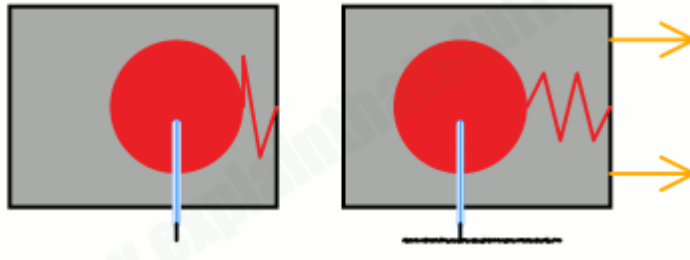
2.3. Akselerometre Çalışma Yöntemleri

Akselerometrelerin farklı çalışma yöntemleri vardır [4]. Bunlar:

1. Mekanik Akselerometre
2. Kapasitif Akselerometre
3. Piezoelektrik Akselerometre

2.3.1.Mekanik Akselerometre

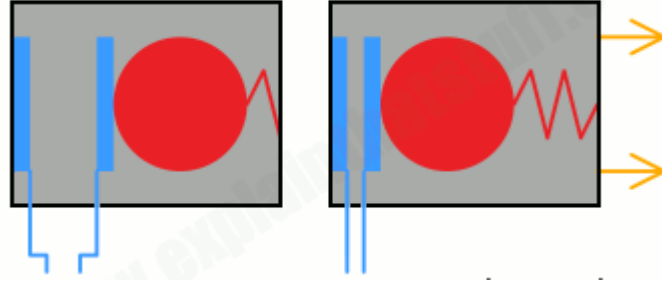
Mekanik akselerometreler, içerisinde ileri-geri hareket edebilen yay bulunmaktadır. Yayın ucuna bağlı kütle, hareket sırasında yer değiştirirken yay uzar. Yayda oluşan bu uzama miktarı ile kuvvet ve cismin ivmesi bulunmuş olur. Şekil 2.4'te mekanik akselerometrenin yapısı verilmiştir.



Şekil 2.4. Mekanik akselerometre yapısı

2.3.2. Kapasitif Akselerometre

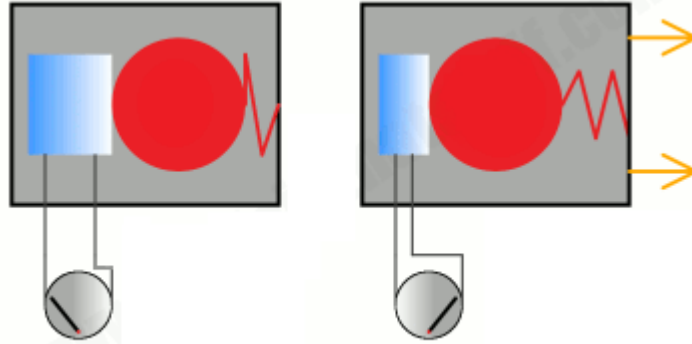
Kapasitif akselerometrelerin içinde yaya bağlı hareketli bir kütle ve kapasitör bulunur. Yaydaki uzama miktarı değiştikçe kapasitörün plakları arasındaki mesafe dolayısı ile kapasitans değişmiş olur. Değişen kapasitans, voltaj değerine dönüştürüldüğünde ivme elde edilmiş olacaktır. Şekil 2.5'te kapasitif akselerometrenin yapısı verilmiştir.



Şekil 2.5. Kapasitif akselerometre yapısı

2.3.3. Piezoelektrik Akselerometre

Şekil 2.6’da yapısı gösterilen piezoelektrik akselerometreler, mekanik ve kapasitif akselerometrelerden farklı olarak, içerisinde bulunan mikro kristallere göre bir gerilim değeri üretir. Akselerometredeki kütle, yayı sıkıştırdığı zaman kristallere bağlı bir gerilim oluşur. Oluşan gerilim ile cismin ivmesi belirlenir.



Şekil 2.6. Piezoelektrik akselerometre yapısı

2.4. Akselerometre Parametreleri

Akselerometreler, çıkış türlerine, ölçüm yapabildiği eksen sayısına, maksimum salınma oranına, eğim açısına, hassasiyetine, bant genişliğine, empedansına göre sınıflandırılırlar [5]. Kullanılacak akselerometre seçilirken açıklanan bu parametrelere dikkat edilmelidir.

2.4.1. Çıkış Türü

İvmeölçer çıkışları analog ve sayısal olmak üzere iki çeşittir. Analog çıkışlı akselerometreler, ivmenin değişmesine göre sürekli gerilim üretirken, dijital çıkışlı akselerometreler, uygulama alanına göre modüleli çıkış gerilimi üretir.

2.4.2. Eksen Sayısı

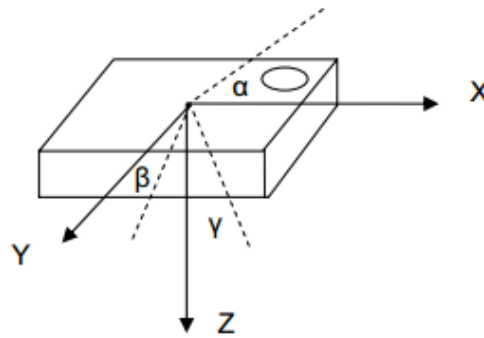
Akselerometreler, ölçüm yapabildiği eksene göre tek veya çok eksenli olarak sınıflandırılır [6]. Piyasada bulunan akselerometrelerin birçoğu üç eksende (x, y, z) ölçüm yapabilmektedir. Tek eksende ölçüm yapabilen ivmeölçerin, çoklu eksende ölçümü isteniyorsa, birden fazla akselerometre dik eksenlerde birleştirilerek ölçüm gerçekleştirilebilir.

2.4.3. Eğim Açısı

Akselerometrelerin eksenlerine göre yaptığı roll, pitch açılarıdır [7]. Şekil 2.7’de verilen 3 eksenli bir akselerometre ele alınırsa, eğim açıları aşağıda verilen formüllerle bulunabilir. Akselerometrenin ölçtüğü kalibreli değerler A_x , A_y , A_z kabul edilirse, Eşitlik (2.2) ve Eşitlik (2.3)’teki ifadeler elde edilir.

$$a = \text{Pitch} = \arctan\left(\frac{A_x}{\sqrt{(A_y)^2 + (A_z)^2}}\right) \quad (2.2)$$

$$\beta = \text{Roll} = \arctan\left(\frac{A_y}{\sqrt{(A_x)^2 + (A_z)^2}}\right) \quad (2.3)$$



Şekil 2.7. Eğim açıları gösterilen üç eksenli akselerometre

2.4.4. Hassasiyet

Akselerometredeki hassasiyet, ölçümde doğrulukla orantılıdır. Hassasiyet arttıkça, ivme ölçümünün doğruluğu artar.

2.4.5. Bant Genişliği

Titreşim ölçümü yapılan ve hızlı hareket eden makine kontrollerinde önemli bir parametredir. Yavaş hareket eden bir cisim için akselerometre bant genişliğinin 50 Hz olması yeterli iken, yüksek hızda hareket eden bir cisim için 100 Hz üzerinde olması gerekir.

2.5. Farklı Tipteki Akselerometrelerin Parametrelerinin Karşılaştırılması

Piyasada bulunan bazı akselerometrelerin önemli parametreleri Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Farklı tipteki akselerometrelerin parametreleri

Akselerometre Adı	Besleme Gerilimi	Çıkış Türü	Eksen Sayısı	Akım Tüketimi (Standby/Ölçüm Modu)	Hassasiyet Aralığı	Ağırlık
LSM303D	2.16V-3.6V	Dijital	3	1uA/0.3 mA	±2g, ±4g, ±6g, ±8g, ±16 g	
MMA 7361L	2.2V-3.6V	Analog	3	<3 uA/0.5 mA	± 1.5 g, ± 6 g	0.35 g
ADXL 345	2.0V-3.6V	Dijital	3	0.1 uA/0.14 mA	±2 g, ±4 g, ±8 g, ±16 g	0.3 g
ADXL 377	1.8V-3.6V	Analog	3	60uA/0.3mA	±200g	1.27 g
MMA 8452Q	1.95V-3.6V	Dijital	3	5uA/0.16 mA	±2 g, ±4 g, ±8 g	
ADXL 362	1.6V-3.5V	Dijital	3	0.07uA/0.03mA	±2 g, ±4 g, ±8 g	0.18 g
LIS331DL	2.16V-3.16V	Dijital	3	1uA/0.3mA	±100g, ±200g, ±400g	0.02 g
LIS331HH	2.16V-3.6V	Dijital	3	1uA/0.25mA	±6g, ±12g, ±24g	0.02g

2.6. Mikro Elektromekanik Sistemler ve MEMS Akselerometreler

Mikro-elektro-mekanik sistemler (MEMS), tümdevre üretim tekniklerine benzer mikrofabrikasyon teknikleriyle üretilen, mekanik ve elektro-mekanik elemanlar olarak tanımlanabilmektedir. MEMS elemanlarının fiziksel boyutları bir mikron ile birkaç milimetre aralığında değişebilmektedir. MEMS elemanları herhangi bir hareketli parçanın olmadığı basit yapılardan, tümleşik mikroelektronik kontrol altındaki çok sayıda hareketli parçanın olduğu kompleks elektro-mekanik sistemlere kadar değişebilmektedir [8].

MEMS’lerin avantajları şu şekilde sıralanabilir [9]:

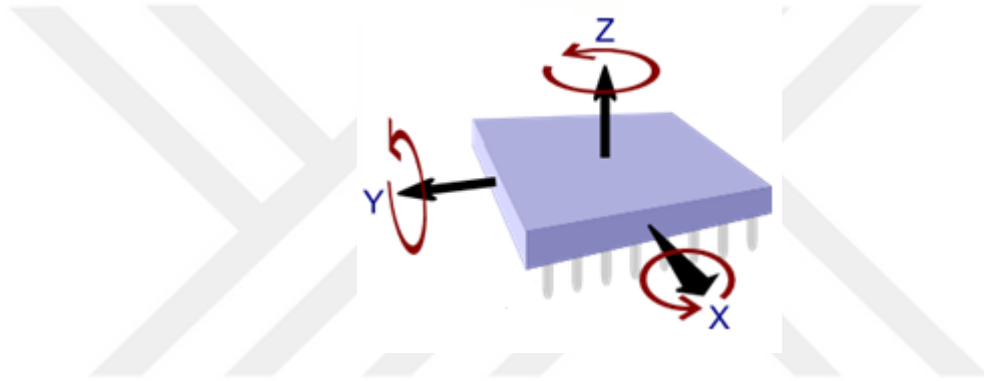
1. MEMS'ler tümdevre üretim sürecine benzer bir süreçle elde edildiğinden çok sayıda fonksiyonu bir çip üzerinde gerçekleştirilebilmektedir.
2. MEMS'ler birçok üretim tekniğini tümdevre seri üretim endüstrisinden aldıklarından kompleks minyatür elektro-mekanik sistemlerin birim eleman veya çip başına maliyeti düşmektedir.
3. Tümdevre fabrikasyonunda kullanılan silikon ve diğer ince film malzemelerin karakteristik özellikleri iyi bilindiğinden bu malzemelerin mekanik uygulamalarda kullanılması minyatür elektro-mekanik sistemlerin güvenilirliğini artırmaktadır.
4. MEMS'ler boyutlarının küçük olmasından dolayı taşınabilirlik, daha az güç tüketimi, daha küçük çip alanında daha fazla fonksiyonellik sağlamaktadırlar.
5. Haberleşme yollarının küçülmesi ve kısılmasıyla genel sistem performansları artmaktadır.
6. Uygulama alanları çok çeşitlilik göstermektedir: Otomotiv, endüstriyel kontrol, medikal, havacılık, telekomünikasyon, beyaz eşya sektörü.

MEMS teknolojisi ile üretilen akselerometreler, sahip olduğu avantajları sayesinde oldukça revaçtadır. Tek eksenle ölçüm yapabildiği gibi birden fazla eksenle de ölçüm yapabilirler.

3. JİROSKOP

Bir cismin pozisyonunun bulunmasında jiroskoplar, önemli rol oynar. Genellikle tek başlarına kullanılmayan jiroskoplar, akselerometreler ile beraber kullanıldıklarında üç ekseninde altı serbestlik derecesinde (DOF) yön tayini yapabilirler. Şekil 3.1’de Parallax firmasının üretmiş olduğu bir jiroskopun eksenleri örnek olarak gösterilmiştir.

3 eksenli jiroskoplar, kütle merkezi sabit olmak üzere, her yönde dönebilme yeteneğine sahiptir. Bir dönen silindir, eksen ve rotordan meydana gelmiştir.



Şekil 3.1. Jiroskop eksenleri

İlk olarak 1817’de J.Bohnenberger tarafından keşfedilen jiroskop, 1852’de Dünya’nın dönüşünü kanıtlama deneyi yapan J. Foucault tarafından adını almıştır. Kullanım alanlarından bazıları şunlardır:

1. Gemi ve uçaklarda yön tayini
2. Uzay teleskoplarında yörünge kararlılığının sağlanması
3. Otomobillerde bulunan navigasyon cihazları
4. Robotlar
5. Uzay mekikleri ve teleskopları
6. Cep telefonları oyunları
7. Kameralarda çekim kalitesinin artırılması

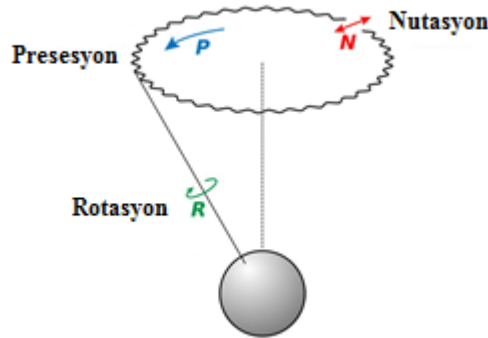
3.1. Jiroskop Çalışma Mantığı

Jiroskopun çalışması, açısal momentumun korunumu prensibine dayanır. Açısal momentum, cismin sahip olduğu dönüş miktarıdır. Momentum, cismin şekline, kütlesine

ve hızına bağlıdır. Bir sistemin momentumu, içerisindeki ufak parçaların sahip olduğu momentumların toplamına eşittir. Sisteme dışarıdan herhangi bir kuvvet uygulanmadığı sürece, cisim sahip olduğu momentumu korur. Jiroskoplar, $^{\circ}/s$ veya $^{\circ}/sa$ olarak aldıkları girdiyi, çıkış olarak elektriksel büyüklük olan V ya da A ile gösterirler. Genellikle akselerometre ile birlikte kullanılan jiroskoplarda, yer çekiminin etkisi göz ardı edilir.

3.2. Jiroskop Çalışma Yöntemleri

Yön tayini yapmaya yarayan jiroskop, çalışma yöntemi ile pusuladan ayrılır. Pusula, 2 boyutta manyetik alana göre ölçüm yaparken, jiroskop açısal momentumun korunması ilkesi ile çalışır. Üç ekseninde (x, y, z) ölçüm yapabilir. Jiroskoplar, presesyon ve nutasyon hareketleri yapar. Presesyon, jiroskopun tam dönüşü sırasında yapmış olduğu yalpalama hareketidir. Nutasyon ise, dönüş sırasında presesyon üzerine binen dalgalanma olarak tanımlanır. Şekil 3.2’de bir cismin presesyon ve nutasyon hareketi verilmiştir.



Şekil 3.2. Presesyon ve nutasyon hareketi

3.3. Jiroskop Çeşitleri

Jiroskoplar, türlerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

1.Mekanik Jiroskoplar

- Dönen Yapılı Jiroskoplar
- Titreşen Yapılı Jiroskoplar

2.Optik Jiroskoplar

- Lazer Jiroskoplar

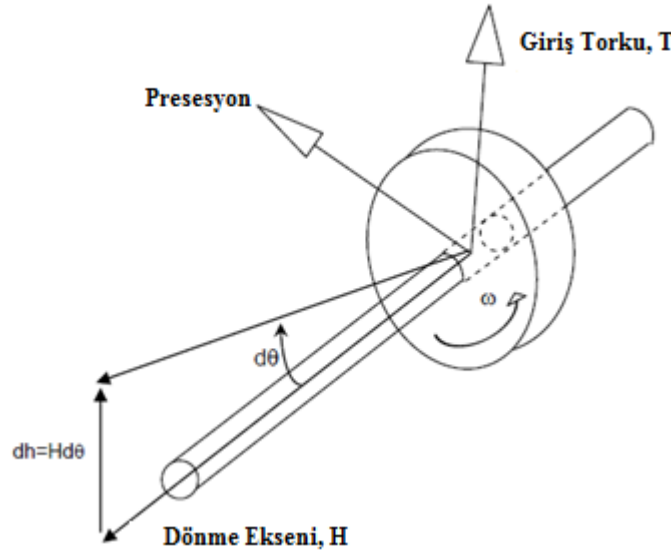
- Fiber Optik Jiroskoplar

3.3.1. Mekanik Jiroskoplar

Açısal momentumun korunumu ilkesi ile çalışır. Newton'un 2. Hareket Kanunu'na göre, bir kütlenin açısal momentumu üzerine tork uygulanmadığı sürece sabit kalır.

3.3.1.1. Dönen Yapılı Jiroskoplar

Dönen yapılu bir cisimde açısal momentumun değişme oranı, üzerine uygulanan torka eşit olur. Şekil 3.3'te mekanik jiroskoplardan dönen yapılu jiroskopun çalışma prensibi gösterilmiştir [10]. Cisme uygulanan tork, parçanın dönme eksenine dik ise, açısal hız vektörünün değeri değişmezken yönü değişir.



Şekil 3.3. Dönen yapılu jiroskop prensibi

Açısal momentum, Denklem (3.1), (3.2), (3.3) ve (3.4)'teki gibi açıklanabilir.

$$H=I\omega \quad (3.1)$$

$$T = \frac{dH}{dt} \quad (3.2)$$

$$T = C \frac{d\omega}{dt} = Ca \quad (3.3)$$

$$dh=Hd\theta \quad (3.4)$$

Bulunan denklemler birleştirilirse, Jiroskop Kanunu Denklem (3.5)'deki gibi elde edilmiş olur.

$$T = \frac{dH}{dt} = H \frac{d\theta}{dt} = H\Omega \quad (3.5)$$

H=Açısal momentum

I=Eylemsizlik momenti

ω =Açısal hız

a =Açısal ivme

C=Atalet momenti

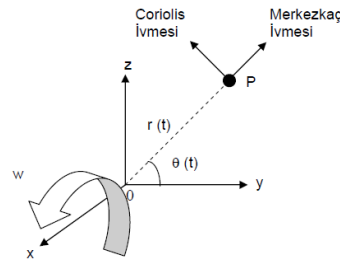
$d\theta$ =Döndürülen açı

dh =Açısal momentum değişimi

Ω =Preseşyon oranı

3.3.1.2. Titreşen Yapılı Jiroskoplar

Titreşen yapılı jiroskoplar, Coriolis etkisine göre çalışırlar [11]. 1835 yılında ileri sürülen Coriolis ivmesi, bir noktada sabit hızla radyal hareket eden bir cisim üzerine etki eder. Titreşen yapılı jiroskoplar da açısal hızı ölçebilmek için titreşen bir kütleyi kullanırlar. Coriolis etkisi ile, dönerek yapılan her hareket DC bir voltaj değeri üretir.



Şekil 3.4. Coriolis etkisi

Şekil 3.4'te titreşim hareketi yapan cisme ait Coriolis etkisi gösterilmiştir. m kütleli bir cisim için Coriolis kuvveti ve Coriolis ivmesi Denklem (3.6) ve (3.7)'deki gibi ifade edilebilir.

$$F = 2m\Omega V \quad (3.6)$$

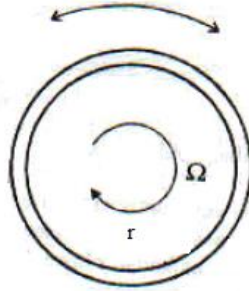
$$a = 2\Omega V \quad (3.7)$$

V= Anlık açısal hız

Ω = Dönü girdisi

3.3.2. Optik Jiroskoplar

Optik jiroskoplar, Sagnac Etkisinin kullanılması prensibiyle çalışır. Sagnac etkisi açıklanacak olursa, optik bir halka içinden geçirilen ışık, iki farklı yöne (CW,CCW) ayrılarak dağılır [12]. Şekil 3.5'te verilen şekilde Sagnac etkisi gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Halkada Sagnac etkisi

Işığın halkayı dolaştığı zaman, Eşitlik (3.8)'deki gibi elde edilebilir.

$$\Delta t = \frac{2\pi r}{nc} \quad (3.8)$$

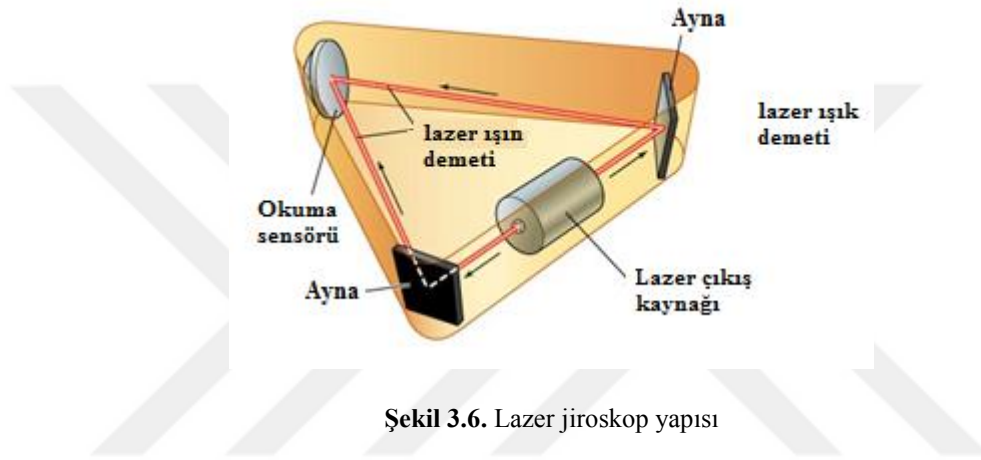
r=Halkanın yarıçapı

c=Işık hızı

n=Kırılma indisi

3.3.2.1. Lazer Jiroskoplar

İçlerinde mekanik parçalar bulundurmayan Şekil 3.6'da yapısı gösterilen lazer jiroskoplar, içlerindeki boşlukta bulunan gaz, ters yönde aynı frekansta iki ışık dalgası gönderir [13]. Jiroskop, bir dış kuvvet tarafından döndürülürse, dalgaların uzandığı mesafe farklılaşır. Bir dedektör yardımı ile bu farklılık tespit edilir. Bu da dönme hızını gösterir. Dedektöre giren ışık dalgaları dağınık bir yapı sergiler. Dağınıklığın şekli dönmenin yönünü gösterir.



3.3.2.2. Fiber Optik Jiroskoplar

Fiber optik jiroskoplar kendi arasında iki temel başlıkta toplanabilir [14]:

1. Resonans Fiber Optik Jiroskop (RFOG)
2. İnterferometrik Fiber Optik Jiroskop (IFOG)

3.3.2.2.1. Resonans Fiber Optik Jiroskop

RFOG cihazlar, prensip olarak lazer jiroskoplara benzerler ve dar bant ışık kaynağına ve optik boşluğa gereksinim duyarlar. Boşluk, optik fiberden meydana gelmiştir. Şekil 3.7'de RFOG çalışma yapısı verilmiştir [15].

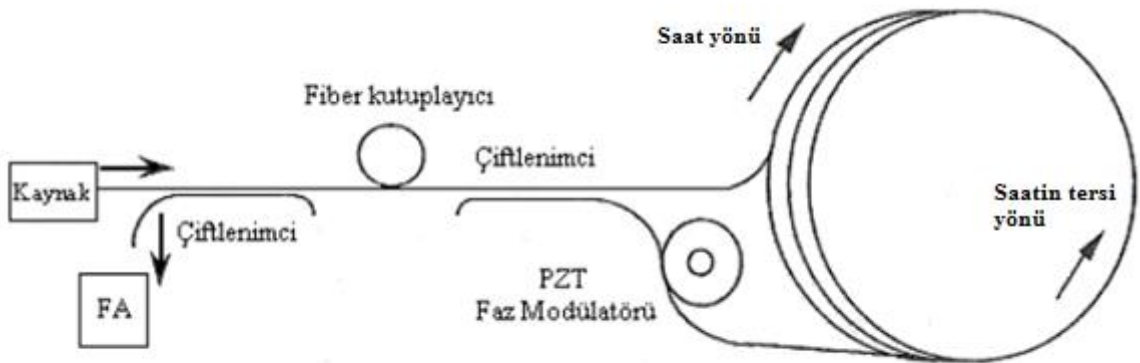


Şekil 3.7. RFOG çalışma yapısı

3.3.2.2. İnterferometrik Fiber Optik Jiroskop

IFOG cihazlarında, kaynak olarak lazer ya da parlak ışıklı LED kullanılır. Bu kaynaklar Rayleigh saçılmasının azalmasını sağlar. Fiber kutuplayıcı tarafından kutuplanan ışık, saat yönünde belirli bir açısal hız ile dönen N sarımlı fiber kablolu girişindeki çiftlenimci tarafından eşit güçlü iki demete ayrılır. Böylece, ışın demetlerinin fiber kablolu karşıt yönlere yayılması garantilenir. Modülatör, karşıt yönde yayılan iki ışın demeti arasındaki zaman farkını dengeler ve optimize demodülasyon işaretinin elde edilebilmesini mümkün kılar.

IFOG’larda yaygın olarak bir piezoelektrik halka üzerine sarılan optik fiberden oluşan PZT faz modülatörü kullanılır. Halkaya uygulanan gerilim, halka çevresini ve fiber uzunluğunu değiştirir. Faz değişimi, boyuna kuvvet uygulanmasıyla, sıcaklıkla fiberin boyunun değiştirilmesiyle veya radyal kuvvet uygulanmasıyla sağlanabilir. Şekil 3.8’de çalışma yapısı verilmiştir [16].

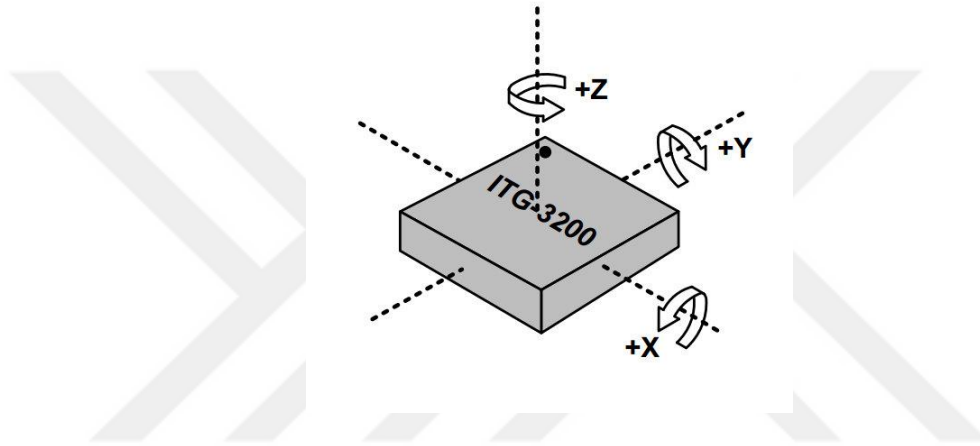


Şekil 3.8. IFOG çalışma yapısı

3.4. MEMS Jiroskoplar

Bölüm 2’de bahsedilen Mikro-elektro-mekanik sistemler kullanılarak üretilen jiroskoplar, sağladığı avantajlar ile günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bir eksen etrafında dönen nesnelere açısal hızı sahip olur. Döner cismin hızı %/s (derece/saniye) ya da rps (revolutions per second) olarak ifade edilir. Şekil 3.9’da gösterilen Sparkfun ITG-3200 jiroskopta sadece z eksenine ait açısal hız ölçülebilir. Diğer eksenler herhangi bir rotasyon bilgisi vermez.



Şekil 3.9. Jiroskop z eksenine açısal hız gösterimi

Yukarıda verilen ITG-3200 3 eksen jiroskopta x, y ve z eksenlerinde ölçüm yapılabilir. Günümüzde tek eksenle ölçüm yapan jiroskoplar olmasına rağmen, ucuz, tek bir entegre olması sebebiyle 3 eksenli MEMS jiroskoplar daha popülerdir.

Bir MEMS içindeki jiroskop sensörü 1-100 mikrometre arası boyutlardadır. Cayro döndürüldüğünde, küçük rezonanslı kütle açısal hız değiştiği kaydırılır. Bu kaydırma hareketi, bir mikrodenetleyici tarafından yükseltilebilir ve okunabilir, çok düşük akımlı elektrik sinyaline çevrilir.

3.5. Farklı Tipteki Jiroskopların Parametrelerinin Karşılaştırılması

Piyasada en yaygın bulunan bazı jiroskopların önemli parametreleri Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Farklı tipteki jiroskopların parametreleri

Jiroskop Adı	Besleme Gerilimi	Çıkış Türü	Eksen Sayısı	Akım Tüketimi (Standby/Ölçüm Modu)	Hassasiyet Aralığı	Bant Genişliği
L3GD20H	2.2V-3.6V	Dijital	3	1 uA/5 mA	± 250, ± 500, ± 2000 °/s	50 Hz
LPR550AL	2.7V-3.6V	Analog	2	5 uA/6.8 mA	± 500 °/s, ± 2000 °/s	140 Hz
LPR510AL	2.7V-3.6V	Analog	2	60uA/0.3mA	± 100 °/s, ± 400°/s	140 Hz
L3GD200D	2.4V-3.6V	Dijital	3	5uA/6.1 mA	±250,±500, ±2000 °/s	40 Hz
ITG3200	2.1V-3.6V	Dijital	3	5uA/3mA	± 2000 °/s	
LPY503AL	2.7V/3.6V	Analog	2	5uA/6.8mA	±30 °/s	140 Hz
ENC03R	2.7V-5.25V	Analog	2		±300 °/s	
ADXRS610	4.75V-5.25V	Analog	1	/4.5mA	±300 °/s	2500 Hz

4. MANYETOMETRE

Manyetometreler, Dünya'nın manyetik alanını ölçmek için kullanılırlar. Aynı zamanda pusula görevi görmektedirler [17]. Manyetik alanın şiddetinin ölçülmesine duyulan ihtiyaç sonucu manyetometreler geliştirilmiştir. İlk manyetometre, Carl Friedrich Gauss tarafından 1833 yılında keşfedilmiştir ve hala yaygın olarak kullanılan "Hall Effect" ile ilgili önemli gelişmeler elde edilmiştir. Hall etkisi ölçüm tekniği, belli bir manyetik alan içerisinde bulunan iletkenin akım geçmesiyle oluşan gerilim indüklenmesidir [18].

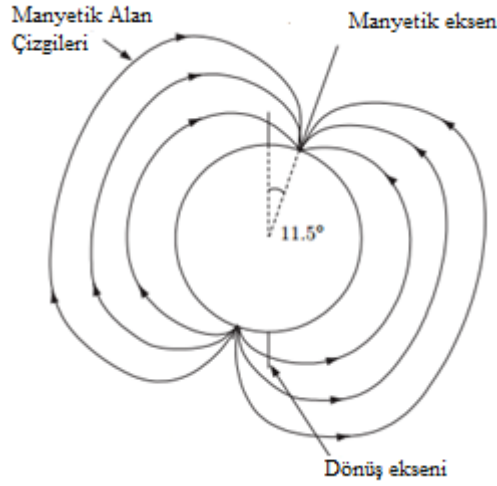
İlk manyetometreler, yaya bağlı bir mıknatıstan oluşmuştur ve manyetik alan şiddeti yayda meydana gelen uzama miktarı ile belirlenmiştir ancak daha sonra bu sistemler yerini elektronik manyetometrelere bırakmıştır. Elektronik manyetometrelerin ölçüm hassasiyeti birkaç Gauss aralığında değişmektedir.

Sıklıkla, Dünya'nın manyetik alanını belirlemek için kullanılsa da çeşitli manyetik anomalilerin tespit edildiği jeofizik araştırmaları için de kullanılmaktadır. Ayrıca, metal dedektörleri kadar derinlerde bulunan metallerin tespitini yapamasa da metal dedektörleri olarak kullanılabilir.

4.1. Dünya'nın Manyetik Alan Modeli

Dünya'nın merkezi, Dünya'yı mıknatısa dönüştüren bir manyetik alan üretir. Bu manyetik alan, Dünya'nın manyetik güney kutbundan kuzey kutbuna doğrudur. Dünya'nın manyetik kutup noktaları ile coğrafi kutup noktaları farklılık gösterir. Manyetik güney kutbu coğrafi kuzey kutupla, manyetik kuzey kutup coğrafi güney kutupla eşleşir. Manyetik kutupları birleştiren eksenle, coğrafi kutupları birleştiren eksen arasında yaklaşık 11.5° fark vardır.

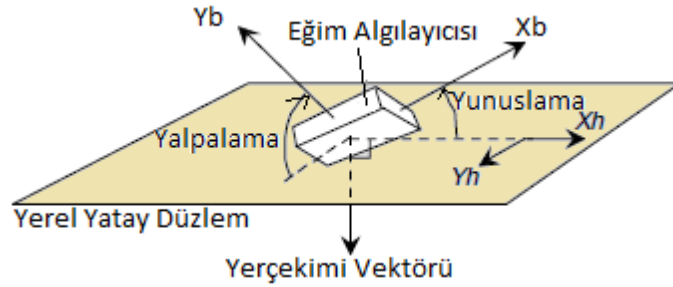
Dünya'nın manyetik alan şiddeti, Dünya üzerindeki konuma göre değişiklik göstermektedir. Dünya'nın manyetik alanı, manyetize edilmiş eğimli bir küreyle gösterilen Şekil 4.1'deki çizgilere benzemektedir [19].



Şekil 4.1. Dünya'nın manyetik alan çizgileri

Dünya üzerinde manyetometre yerleştirilmiş bir cisim için Şekil 4.2'de yunuslama (pitch) θ , yalpalama (roll) ϕ açısı gösterilmiştir [20]. Kuzey açısı Eşitlik (4.1) ile bulunur.

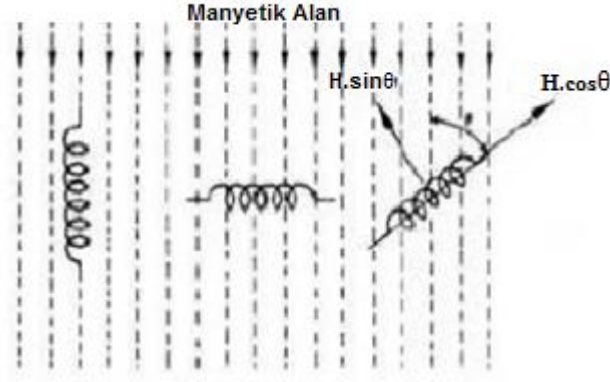
$$\phi = -\arctan\left(\frac{Y_h}{X_h}\right) \quad (4.1)$$



Şekil 4.2. Dünya'nın manyetik alanının yatay bileşenleri

4.2. Manyetometre Çalışma Mantığı

Manyetometre çalışma prensibi, Şekil 4.3'te verildiği gibi bir bobin üzerinden geçen manyetik akının taşınmasına dayanır. Tek bir ikaz bobinini paylaşan 3 telden oluşur. Temelinde, ikaz bobininin hem alt hem üst bacağına alternatif akım ile indüklenmesi vardır. Kutuplaşma yönü değiştiği için, dışarıdan uygulanan manyetik alan olmadıkça toplam akı sıfır olacaktır .



Şekil 4.3. Manyetometrede akı taşınması

4.3. Manyetometre Kullanım Alanları

Manyetometrelerin manyetik alanın büyüklüğünü ve yönünü belirleme dışında pek çok kullanım alanı vardır:

1. Dünya'nın manyetik alanındaki düzensizliklerin tespiti,
2. Havaalanları vb. önemli giriş yerlerinde güvenlik amaçlı metal tespitinde,
3. Mayın algılamada,
4. Cep telefonları ve tabletlerde,
5. Arkeolojik sahaların tespitinde,
6. Denizaltı faaliyetleri savunma ve donanmasında,
7. Uzay uygulamalarında,
8. Kuyu sondajı keşiflerinde yön ve yol algılamada,
9. Hastaya zarar vermeden kalp fonksiyonu ölçümü yapan kardiyak uygulamaları gerçekleştirmede,
10. Yer altı sistemi boru hatlarında korozyon incelenmesinde,
11. Pusulalarda kullanılmaktadır.

4.4. Manyetometre Çeşitleri

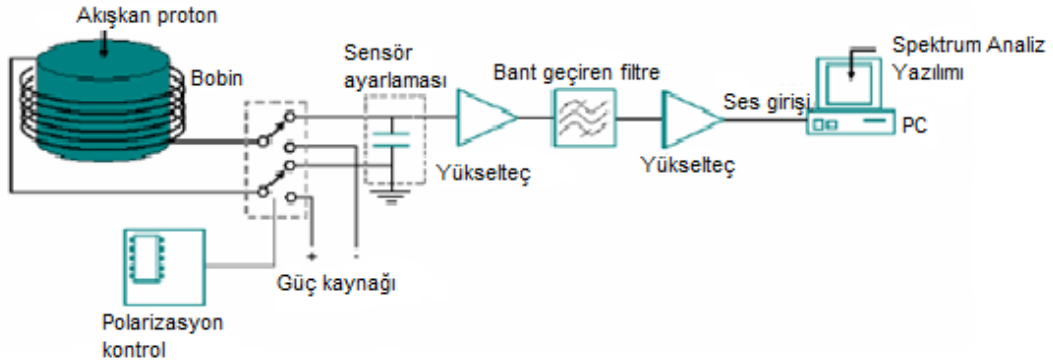
Günümüzde en yaygın kullanılan manyetometreler;

1. Proton manyetometresi
2. Akı geçidi manyetometresi
3. Hall etkili manyetometre

olarak sınıflandırılabilir.

4.4.1. Proton Manyetometresi

Mevcut manyetometreler arasında en hassas olanı proton manyetometrelerdir. Çalışma prensibi, pozitif yüklü protonların manyetik alana göre sıralanmasına dayanır [21]. Hidrokarbon veya su içeren bir numunede bulunan protonun manyetik dipolleri (Hidrojen çekirdekleri), bobin telinden geçen akım ile oluşan manyetik alanın uygulanması ile geçici olarak hizalanır. Akım aniden kesildiğinde, protonlar Dünya'nın manyetik alanına bağlı olarak presesyon yaparak eski konumlarına dönerler. Protonlardaki bu presesyon, polarize edilmiş bobinde küçük bir sinyale sebep olur. Sinyalin frekansı toplam manyetik alan yoğunluğu ile orantılıdır. Şekil 4.4'te blok şeması verilen proton manyetometresi şemasına göre; ana işlevsel elemanlar, sensör, polarizasyon ve enerji söndürme devresi, amplifikatör zincirdir [22]. Tespit edilen sinyalin frekansı, bilgisayar ses kartı ile dijitalleştirildikten sonra Fourier analizi ile belirlenir. Proton manyetometresinin temel elemanı, proton gibi zengin malzeme ile doldurulmuş bir kabın etrafına sarılmış, bakır bir tel bobin içeren sensördür.



Şekil 4.4. Proton manyetometresinin fonksiyonel blok şeması

4.4.2. Fluxgate Manyetometresi

Geçirgenliği yüksek çekirdek çiftlerinin alternatif akım ile mıknatıslanması prensibine dayanır. Fluxgate manyetometrelerde, okuma işlemi elektronik formda yapılabilir, dijitale çevrilebilir, kolaylıkla iletilebilir, uzaktan görüntülenebilir. Fluxgate manyetometresi, bobin tarafından üretilen elektromotor kuvvetini kullanır. Bu elektromotor kuvveti Eşitlik (4.2)'de verildiği gibi, devreden geçen manyetik akının zamana göre türevi ile orantılıdır.

$$\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt} \quad (4.2)$$

Fluxgate manyetometresi, yüksek geçirgenlikli bir ferromanyetik çekirdeğin etrafına sarılmış iki bobin içerir. Ferromanyetik çekirdeği çevreleyen bobinin iki temel görevi vardır:

1. Önceki bobin tarafından üretilmiş olan elektrik akımını ölçmek
2. İkaz bobini olmak

İkaz ile ferromanyetik malzeme saturasyona uğrar. Değişen manyetik alan, ikaz bobinine karşı indüklenen gerilim ile ölçülür. Daha sonra, yeni bir ikaz çekirdeğe aksi yönde uygulanır [23].

4.4.3. Hall Etkili Manyetometre

Hall Etkisi, günümüzde yaygın olarak kullanılır. Hall etkisi, manyetik alan içindeki iletkenin kenarlarındaki potansiyel farklılığa dayanır. Bu gerilim Hall Voltajı olarak adlandırılır. Hareket yönlerine paralel olmayan bir manyetik alan içinde hareket eden yükler üzerine Lorentz kuvveti adı verilen bir kuvvet etki eder. Şekil 4.5'te Hall etkisi çalışma prensibi verilmiştir [24]. Denklem (4.3)'te Lorentz kuvveti verilmiştir.

$$\vec{F}_L = q\vec{v} \times \vec{B} \quad (4.3)$$

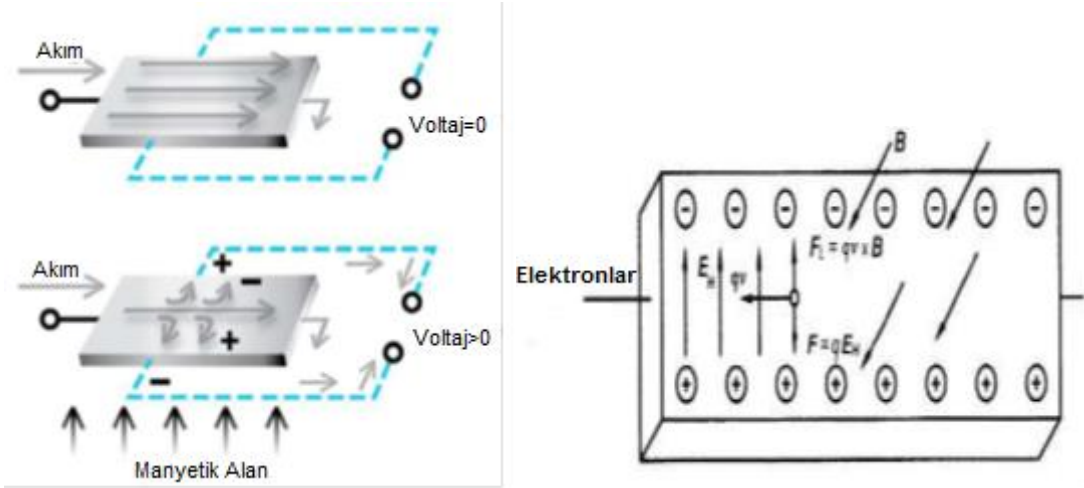
Lorentz kuvveti= F_L ,

İletkendeki serbest elektronların hızı= v ,

Manyetik alan= B

Ters yönde uygulanan F kuvveti, Denklem (4.4)'te verildiği gibi Hall voltajının sebep olduğu elektrik alan E_{Hall} ile yükün çarpımına eşittir.

$$\vec{F} = q\vec{E}_{Hall} = -q\vec{v} \times \vec{B} \quad (4.4)$$



Şekil 4.5. Hall etkisi prensibi

4.5. MEMS Manyetometreler

MEMS tabanlı manyetometreler, sahip olduğu iki özellik ile birbirlerinden ayrılır:

1. Lorentz kuvveti prensibi ile çalışanlar
2. Kalıcı mıknatıs ya da ferromanyetik element tabanlı olanlar

Lorentz kuvveti prensibi ile çalışan manyetometreler, optik ölçüm, piezorezistif ve kapasitif olarak üç kategoriye ayrılır.

MEMS manyetometreler, titreşim modu adlı frekanslarda titreşim yapabilen sonsuz sayıda rezonans frekansına sahiptir.

MEMS manyetometreler küçük boyutlu olduğundan devrelere kolayca entegre edilebilir ve bu sayede daha yüksek uzaysal çözünürlük elde edilebilir. Ayrıca, MEMS manyetometreler, diğer manyetometrelere göre maliyet açısından daha avantajlıdır.

4.6. Farklı Tipteki Manyetometrelerin Parametrelerinin Karşılaştırılması

Piyasada en yaygın bulunan bazı jiroskopların önemli parametreleri Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Farklı tipteki manyetometrelerin parametreleri

Manyetometre Adı	Besleme Gerilimi	Çıkış Türü	Eksen Sayısı	Akım Tüketimi (Standby/Ölçüm Modu)	Ölçüm Aralığı
HMC5883L	2.16 V-3.6 V	Dijital	3	2 uA/100 uA	±8G
LIS3MDL	1.9 V- 3.6 V	Dijital	3	1 uA/270 uA	±4G, ±8G, ±12G, ±16G
MAG3110	1.95V- 3.6V	Dijital	3	2 uA/900 uA	
MikroMAG2	3 V- 5.25 V	Dijital	2	< 0.1 mA/500 uA	±11G
MikroMAG3	3 V- 5.25 V	Dijital	3	< 0.1 mA/500 uA	±11G
HMC5843	2.5 V- 3.3 V	Dijital	3	2.5 uA/0.8 mA	±4G
HMR2300	6.5 V-15 V	Dijital	3	-/35mA	±1G, ±2G

5. BAŞ/BOYUN HAREKETLERİNİN ARDUINO VE IMU İLE ALINMASI

Bu tez çalışmasında baş/boyun hareketleri ile konum algılanması amaçlanmıştır. Gerçekleştirilen sistemde, Pololu firmasının ürettiği dokuz serbestlik dereceli (her sensör için üç ayrı eksenle konum alınabilen) minImu adlı sensör kullanılmıştır. Programlama Arduino platformunda gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Arduino kullanılma sebepleri:

1. Tez hazırlanırken kullanılan IMU ile uyumlu olması.
2. Kullanımının pratik olması.
3. Diğer mikrodenetleyicilere göre fiyat-performans oranının daha iyi olması.
4. Mac, Linux ve Windows'ta Arduino IDE'sinin kullanılabilir olması.
5. Açık kaynak oluşu ve günümüzde popüler olmasından dolayı birçok belge, döküman ve uygulamaya rahat erişilebilir olması.

5.1. Arduino'ya Giriş

Arduino elektronik programlama yapmak için kullanılan açık kaynak bir platformdur [25]. Birçok elektronik cihaza bilgi gönderip, cihazlardan bilgi alabilme yeteneğine sahiptir. Günümüzde Arduinolar, kurulumunun kolay olması; çoklu çalışabilme; sensör, anten, potansiyometre gibi input cihazlardan bilgi okuyabilme; DC motor, LED, LCD ekran gibi output cihazlara bilgi gönderebilmesinden dolayı sıklıkla kullanılır [26]. Arduino, Java ile yazılmıştır ve Processing tabanlıdır. "Sketch" adı verilen ekranda C ve C++ içeren gerekli program yazıldıktan sonra, USB kablosu yardımı ile ekstra cihaza gerek duymadan Arduino'ya bilgisayardan direkt yükleme yapılabilir.

Arduino'nun piyasaya sürdüğü 16 tane board mevcuttur. Bu boardlar, işlemci türüne, CPU hızına, çalışma voltaj aralığına, analog giriş/çıkış sayısına, dijital ve PWM çıkış sayısına, EEPROM, SRAM ve FLASH hafızasına göre farklılık göstermektedirler. Hali hazırda bulunan Arduino türlerinin karşılaştırması Tablo 5.1'de verilmiştir [27].

Tablo 5.1. Piyasadaki Arduino boardlarının karşılaştırmalı karakteristik özellikleri

Board Türü	İşlemci	Çalışma/Giriş Voltajı	CPU Hızı [MHz]	Analog Giriş/Çıkış Sayısı	Dijital Giriş/PWM Sayısı	EEPROM [KB]	SRAM [KB]	FLASH [KB]
101	Intel® Curie	3.3 V / 7-12V	32	6/0	14/4	-	24	196
Due	ATSAM3X8E	3.3 V / 7-12V	84	12/2	54/12	-	96	512
Gemma	Attiny85	3.3 V / 4-16 V	8	1/0	3/2	0.5	0.5	8
LilyPad	ATmega168V ATmega328P	2.7-5.5 V / 2.7-5.5 V	8	6/0	14/6	0.512	1	16
LilyPad SimpleSnap	ATmega328P	2.7-5.5 V / 2.7-5.5 V	8	4/0	9/4	1	2	32
LilyPad USB	ATmega32U4	3.3 V / 3.8-5V	8	4/0	9/4	1	2.5	32
Mega 2560	Atmega2560	5 V / 7-12 V	16	16/0	54/15	4	8	256
Mega ADK	Atmega2560	5 V / 7-12 V	16	16/0	54/15	4	8	256
Micro	ATmega32U4	5 V / 7-12 V	16	12/0	20/7	1	2.5	32
MKR1000	SAMD21 Cortex-M0+	3.3 V / 5 V	48	7/1	8/4	-	32	256
Nano	ATmega168 ATmega328P	5 V / 7-9 V	16	8/0	14/6	0.512 1	1 2	16 32
Pro	ATmega168 ATmega328P	3.3 V / 3.35- 12 V 5 V / 5-12 V	8 16	6/0	14/6	0.512 1	1 2	16 32
Pro Mini	ATmega328P	3.3 V / 3.35- 12 V 5 V / 5-12 V	8 16	6/0	14/6	1	1	32
Uno	ATmega328P	5 V / 7-12 V	16	6/0	14/6	1	2	32
Yün	ATmega32U4 AR9331Linux	5 V	16 400	12/0	20/7	1	2.5 16 MB	32 64 MB
Zero	ATSAMD21G18	3.3 V / 7-12 V	48	6/1	14/10	-	32	256

5.2. Arduino Nano

Arduino Nano'da, ATmega168 ve ATmega328P işlemci olmak üzere iki farklı ürün olarak bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında EEPROM kapasitesi daha yüksek olduğu için ATmega328P işlemcili Nano kullanılmıştır. Arduino Nano, giriş veya çıkış pini olarak kullanılabilir 14 pine sahiptir. Her pin maksimum 40 mA akım sağlayıp alabilir ve her pinde 20-50 k Ω 'luk iç pull-up direnci vardır. TTL seri veri almak ve iletmek için birer adet TX, RX pinleri vardır. Bu pinler USB-TTL seri çipe karşılık gelen dönüştürücü pinlerine bağlanmıştır. 2. ve 3. pinler olmak üzere iki adet harici kesme pini bulunur. Bu pinler; yükselen kenar, düşen kenar, değer değişen kenarda kesme tetiklemek için ayarlanabilir. 3., 5., 6., 9., 10. ve 11. pinler PWM çıkışı sağlar. 10., 11., 12. ve 13. pinler SPI haberleşmesi için; A4 ve A5 pinleri ise, I²C haberleşmesi için ayrılmıştır. REF pini, analog girişler için referans voltajı ayarlama; RST pini, Arduino'yu resetlemek için yapılmıştır. Bu RST pini haricinde, Arduino Nano üzerinde ayrıca bir reset butonu yapılmıştır. Arduino Nano'nun iki yönden görünüşü Şekil 5.1'de verilmiştir.



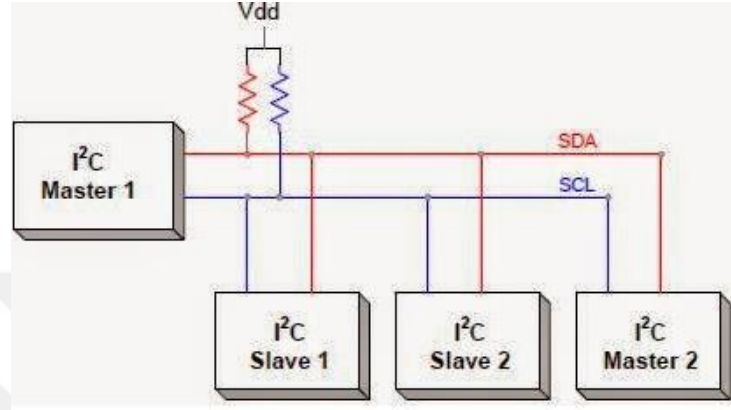
Şekil 5.1. Arduino Nano görünüşü

5.2.1. Arduino Nano'da Haberleşme

Arduino Nano'da bilgisayarla, başka bir Arduino ile ya da başka bir mikrodenetleyici ile haberleşme imkanı vardır. TX ve RX pinleri kullanılarak TTL seri haberleşme sağlanabilir. USB yardımı ile bilgisayar-Arduino haberleşmesi Arduino yazılımı ile yüklenen FTDI driverlar sayesinde gerçekleşir. FTDI driver bilgisayarda sanal COM portu oluşturur, haberleşme esnasında data alış-verişinde Nano üzerinde bulunan TX, RX pinlerinin LED'leri yanar.

Nano ile Arduino yazılımının Wire isimli kütüphanesi ile I²C haberleşmesi de yapılabilir. Bu haberleşme için SDA ve SCL pinleri kullanılır. SCL pini veri senkronizasyonunu sağlayan Clock sinyalinin iletildiği, SDA pini ise datanın iletildiği

hattır. I²C protokolünde “Master” ve “Slave” olmak üzere iki cihaz bulunur. “Master” denilen cihaz ana kontrol birimidir. “Slave” ise sadece veri alış-verişi yapan cihazdır. Veri alış-verişi sırasında yazma işlemi “Master”dan “Slave”e doğru, okuma ise “Slave”den “Master”a doğru gerçekleşir. Şekil 5.2’de I²C Master-Slave bağlantı şeması verilmiştir. SDA ve SCL hatlarına pull-up direnci eklenmelidir.



Şekil 5.2. I²C Master-Slave bağlantı şeması

“Slave” cihazın 7 bitlik kendine ait bir adresi vardır. I²C haberleşmesi sırası ile şu şekilde gerçekleşir:

1. Arduino’nun SDA hattından “Start” biti gönderilir.
2. “Slave” cihazlar adres bilgisi için hazırlanır.
3. Arduino, haberleşmek istediği “Slave”in adresini ve yapılacak işlemin yazma veya okuma olup olmadığını 8 bit halinde SDA hattından aktarır.
4. “Slave”ler SDA hattından gelen adres bilgisini alırlar ve kendi adresleri olup olmadığını kararlaştırırlar.
5. Master’ın gönderdiği adrese sahip “Slave” kendisinin veri yolunda olduğunu ve haberleşmeye hazır olduğunu bildirmek üzere SDA hattına sinyal gönderir. Böylece veri alış-verişi gerçekleşmiş olur.

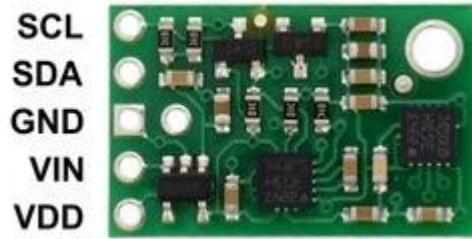
SPI haberleşmede ise, veri alma ve gönderme işlemi eş zamanlı gerçekleşmektedir. Haberleşmenin gerçekleştiği cihazlar I²C haberleşmesinde olduğu gibi Master ve Slave olarak adlandırılır. Master cihaz haberleşeceği Slave cihazı seçer ve iletişime geçer. Seçme işlemini Slave Select (SS) hattı ile yapar.

MEMS IMU’larda çıkış parametreleri dijital olarak alınabilmektedir. Bu sayede donanımın I²C/SPI gibi seri iletişim birimi içeren modüllerden herhangi biri ile kolaylıkla kullanılabilir [28].

Atalet ölçüm ünitesi kullanılarak gerçekleştirilen çalışmaların büyük bir kısmı hava/kara/deniz araçları için ataletsel seyir sistemleri tasarlama hedefine yöneliktir. Son yıllarda akselerometre, jiroskop ve manyetometrelerin boyutları küçülüp, fiyatları ucuzlamıştır, böylece IMU’lar birçok alanda yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır [29].

5.4. Pololu IMU ve Arduino Nano Bağlantısı ve Programlanması

Baş/boyun hareketlerinin algılandığı tez çalışmasında x,y ve z eksenlerinde ölçüm yapabilmek için Pololu firmasının ürettiği minImu adlı board kullanılmıştır. Bu board içinde üç eksen LSM303D akselerometre ve manyetometre, üç eksen L3GD20H jiroskop bulunmaktadır. Şekil 5.5’te Pololu minImu boardu gösterilmiştir.

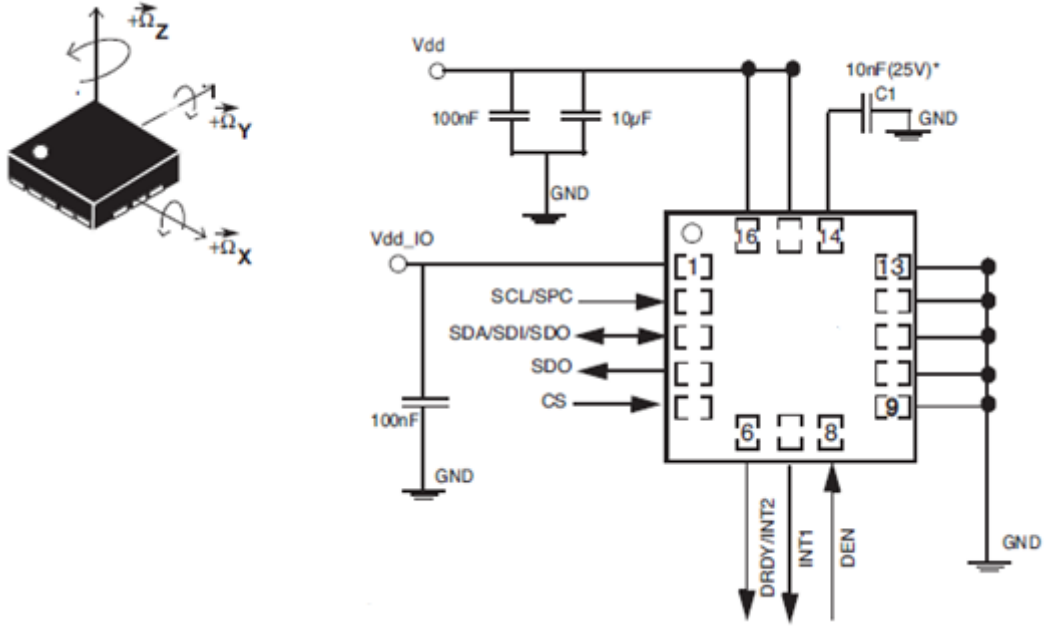


Şekil 5.5. Pololu marka minImu

Bu tez çalışmasında kullanılan IMU’daki üç eksen L3GD20H jiroskobunun özellikleri:

1. 2.2 V ile 3.6 V arasında çalışır.
2. I²C ve SPI haberleşmesi yapılabilir.
3. Oyun ve sanal gerçeklik aygıtlarında, GPS navigasyon sistemlerinde, MMI ile makine kontrolünde, beyaz eşya ve robotikte kullanılır.
4. $\pm 245/\pm 500/\pm 2000$ dps aralığında ölçüm yapılabilir.

L3GD20H jiroskobunun elektronik bağlantıları ve bileşenlerinin değerleri Şekil 5.6’da verilmiştir [30].

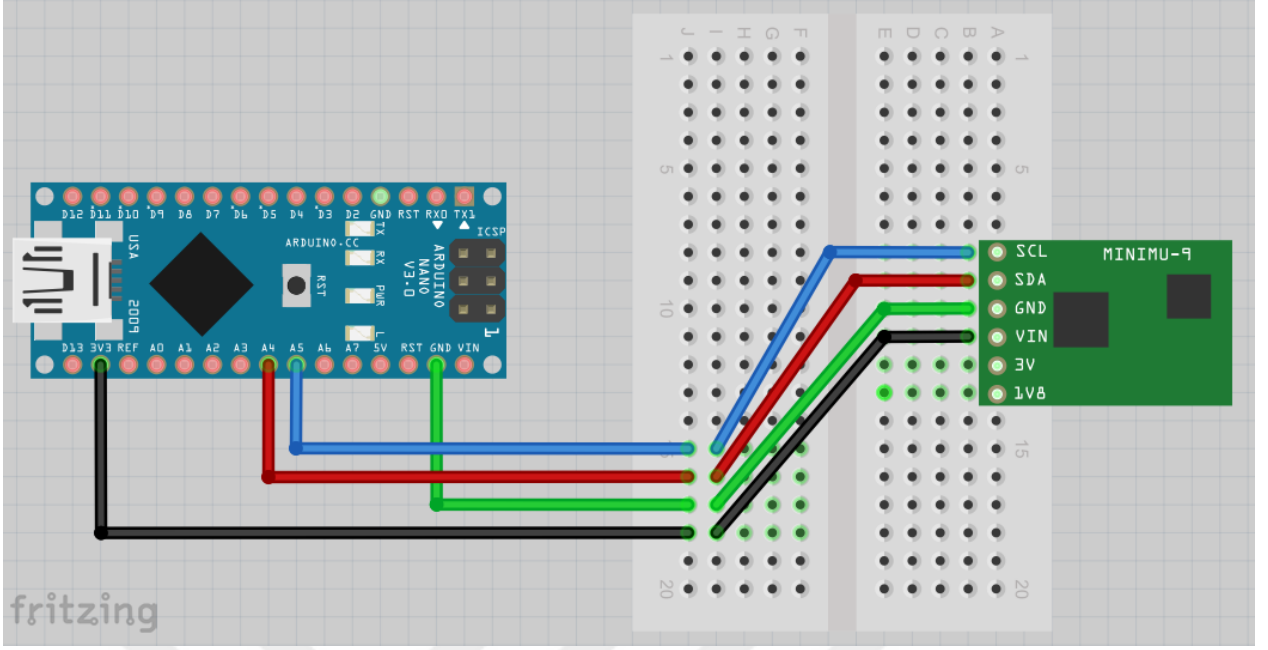


Şekil 5.6. L3GD20H elektronik bağlantısı ve bileşenlerin değerleri

Tez çalışmasında kullanılan IMU boardundaki üç eksen LSM303DLHC akserometre ve manyetometrenin özellikleri ise;

1. 2.16 V ile 3.6 V arasında çalışabilir.
2. İçerisindeki manyetometre ± 1.3 Gauss ile ± 8.1 Gauss arasında çalışabilme skalasına sahiptir.
3. İçerisindeki akselerometre ± 2 g, ± 4 g, ± 8 g, ± 16 g arasında çalışabilir.
4. I²C haberleşme özelliğine sahiptir.
5. Pusulalarda, harita rotasyonunda, pozisyon tespitinde, adımölçerlerde, serbest düşme algılamada, taşınabilir cihazlarda kullanılır.

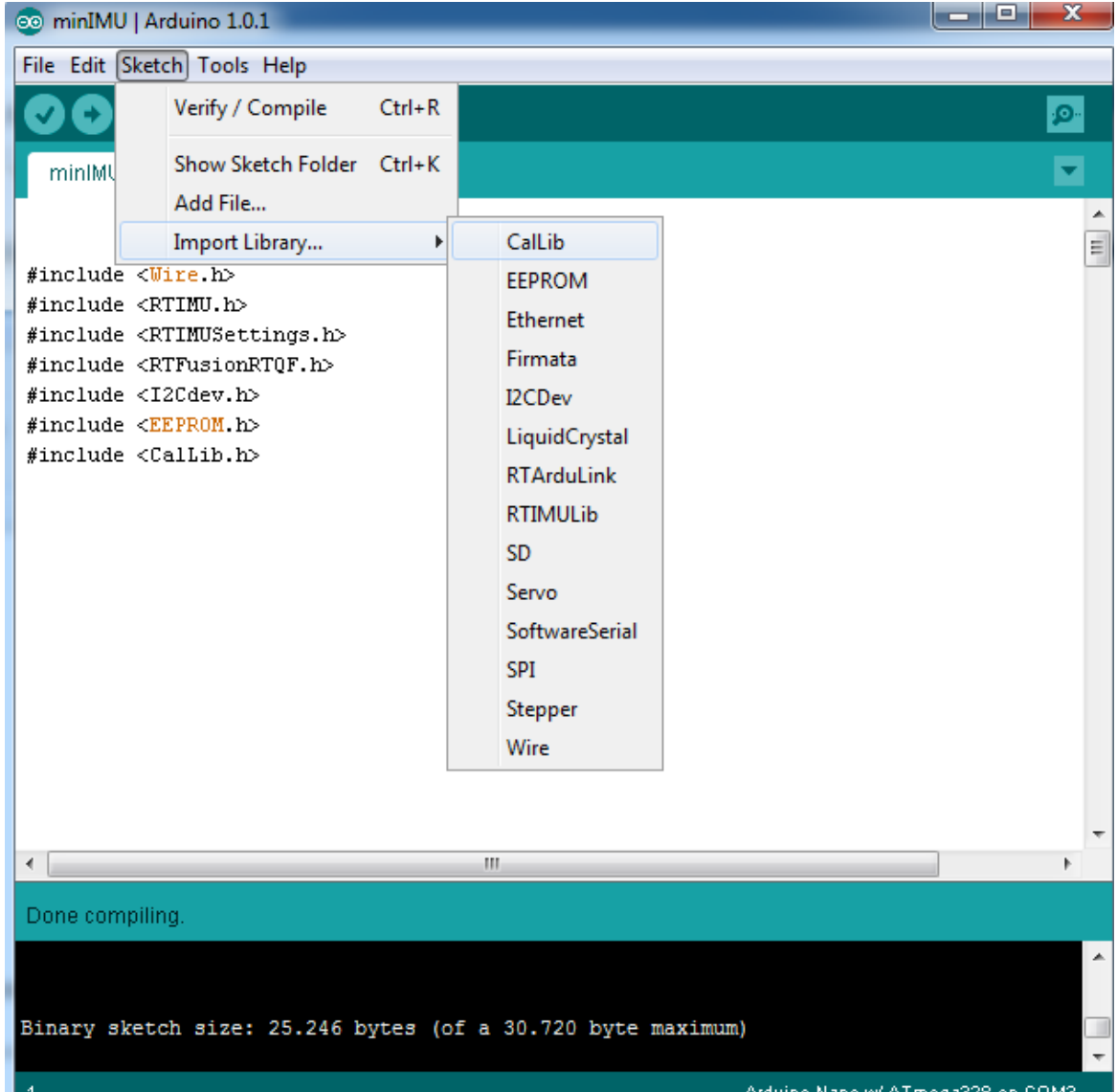
LSM303DLHC manyetometre ve akselerometresinin elektronik bağlantıları ve bileşenlerinin değerleri Şekil 5.7’de verilmiştir [31].



Şekil 5.8. Arduino Nano ve minIMU bağlantısı

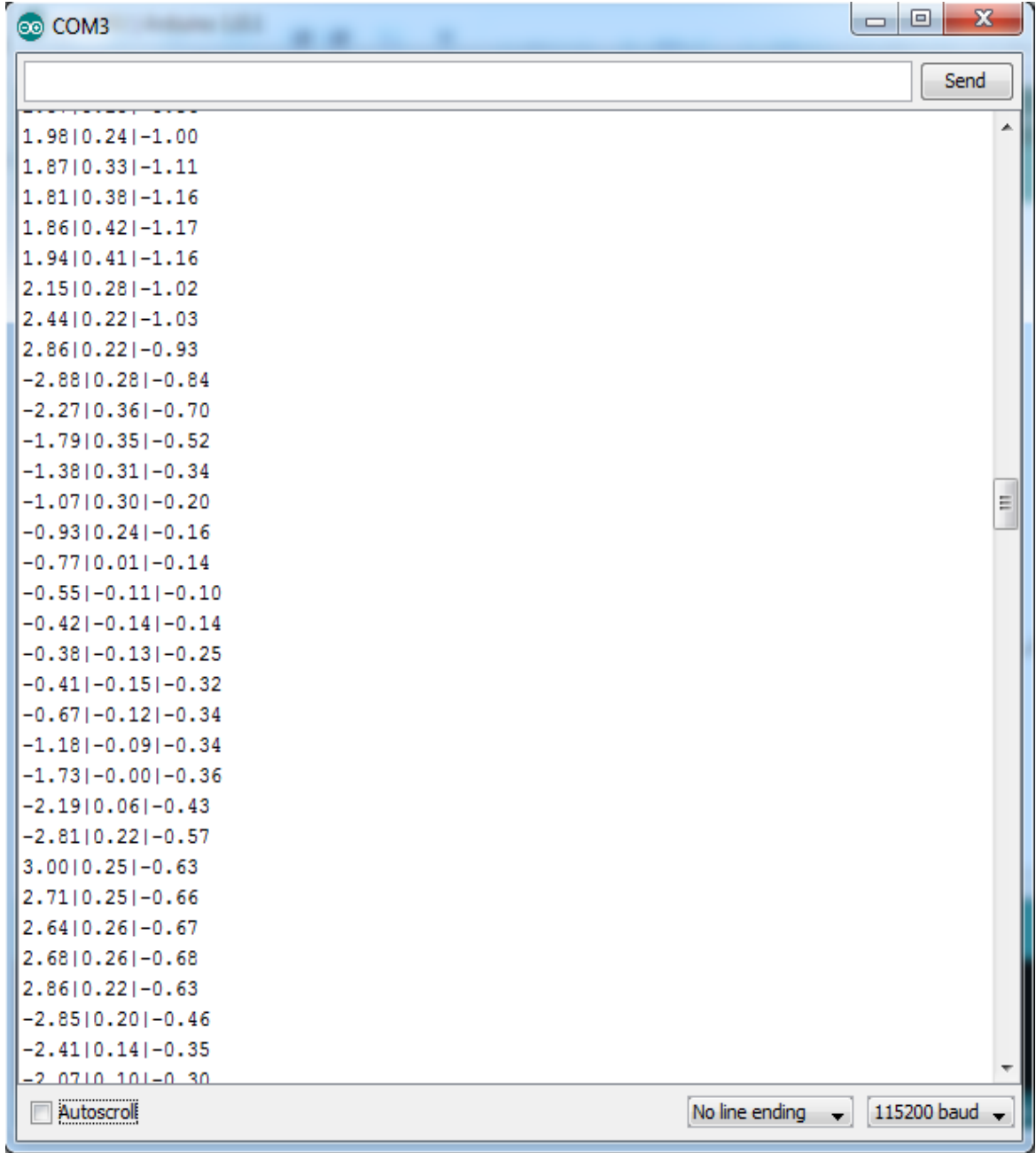
IMU ile Arduino bağlantısı Şekil 5.8’de gösterildiği gibi yapıldıktan sonra Arduino IDE’si yardımı ile programlama işlemi yapılır. Kullanılan kütüphaneler Şekil 5.9’da gösterildiği gibi Arduino’ya eklenir. Wire.h ve I2Cdev.h kütüphanesi, SDA ve SCL pinleri aracılığı ile I²C haberleşmesini sağlar. RTIMU.h, RTIMUSettings.h, RTFusionRTQF.h kütüphanesi, IMU’dan okuma yapıp sonraki pozisyonun tahmini ve yön bilgisi için kullanılmıştır. CalLib.h kütüphanesi, kullanılan IMU’nun kalibrasyon ayarları için, EEPROM.h ise manyetometre kalibrasyon ayarlarının saklanması için kullanılmıştır.

Kütüphaneler eklendikten sonra, RTIMU.h kütüphanesinin sağladığı kolaylıkla IMU’da kullanılacak olan sensörler aktif hale getirilir. Bu çalışmada, baş/boyun hareketinin konumu alınmak istendiğinden üç sensör de aktif hale getirilmiştir. Çalışmanın program kodları EK 1’de verilmiştir.



Şekil 5.9. Arduino kütüphane ekleme ekranı

Programlama aşaması bittikten sonra Şekil 5.10’de gösterildiği gibi Arduino Serial Monitor yardımı ile x, y, z değerleri alınabilmektedir. Bilgisayar ile Arduino haberleşmesi için baudrate 115200 olarak ayarlanmıştır. x,y ve z koordinat değerleri daha sonra Processing’de görselleştirebilmek için “|” simgesi ile ayrılmıştır.



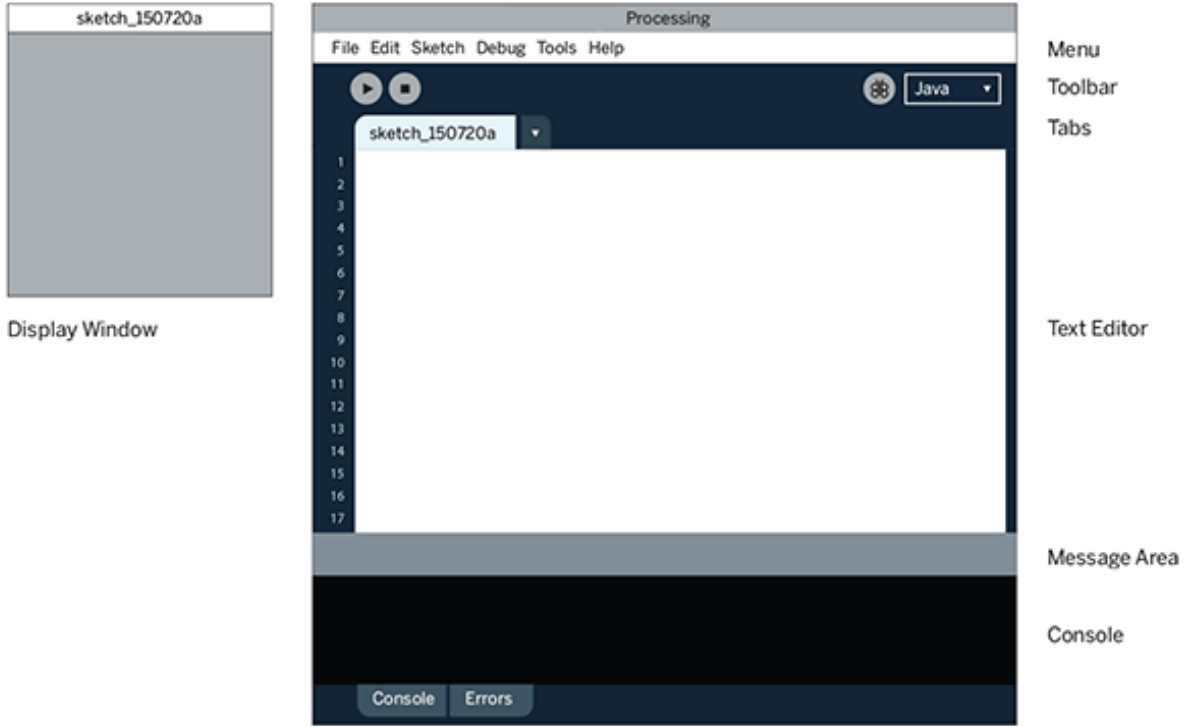
Şekil 5.10. Serial monitorde elde edilen bazı değerler

5.5. Processing

Processing, esnek bir yazılım fırsatı sunarak kodlamayı görselleştiren 2001 yılından beri kullanılan bir dildir. Logo va Basic dillerinden esinlenilerek oluşturulmuştur. Processing geliştirme ekranı Şekil 5.11’de verilmiştir. Bu tez çalışmasında IMU’dan gelen verileri görselleştirmek için Processing kullanılma nedenleri:

1. Arduino ile benzer yapıda olması.
2. Arduino Serial Port’undan gelen dataları okuyabilen kütüphanesinin olması.

3. Ücretsiz ve açık kaynak oluşu.
4. 3 boyutlu cisimler oluşturularak, mevcut 3D vektör çizimleri eklenerek görselleştirme yapılabilmesi.
5. OPENGL entegrasyonu olması.
6. Linux, Windows ve MAC OS X ile uyumlu olması.

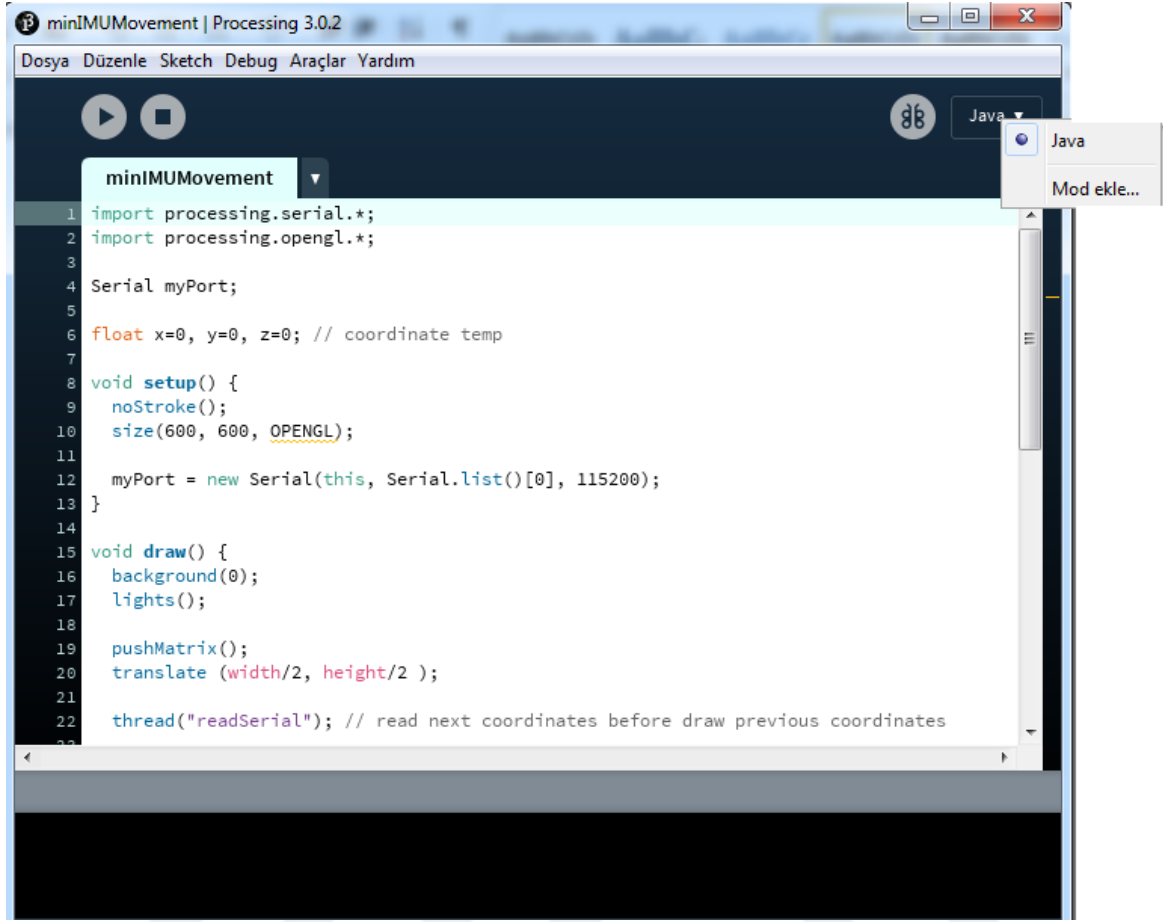


Şekil 5.11. Processing ekranı görüntüsü

5.5.1. Processing Geliştirme Ortamı (PDE)

Processing geliştirme ortamı kodlama için metin editörü, bir mesaj alanı, metin konsolu, dosyaları yönetmek için sekmeler, bir araç çubuğu ve menüler dizisinden oluşmaktadır.

Araç çubuğu üzerinde bulunan “Çalıştır” ve “Durdur” butonları programlanan taslağı çalıştırmaya yarar. Processing Şekil 5.12’de gösterildiği gibi Java, Python, Android ve kullanıcının eklemek istediği modlarda çalışma fırsatı sunmaktadır. Bu tez çalışmasında görselleştirme Java modunda gerçekleştirilmiştir.

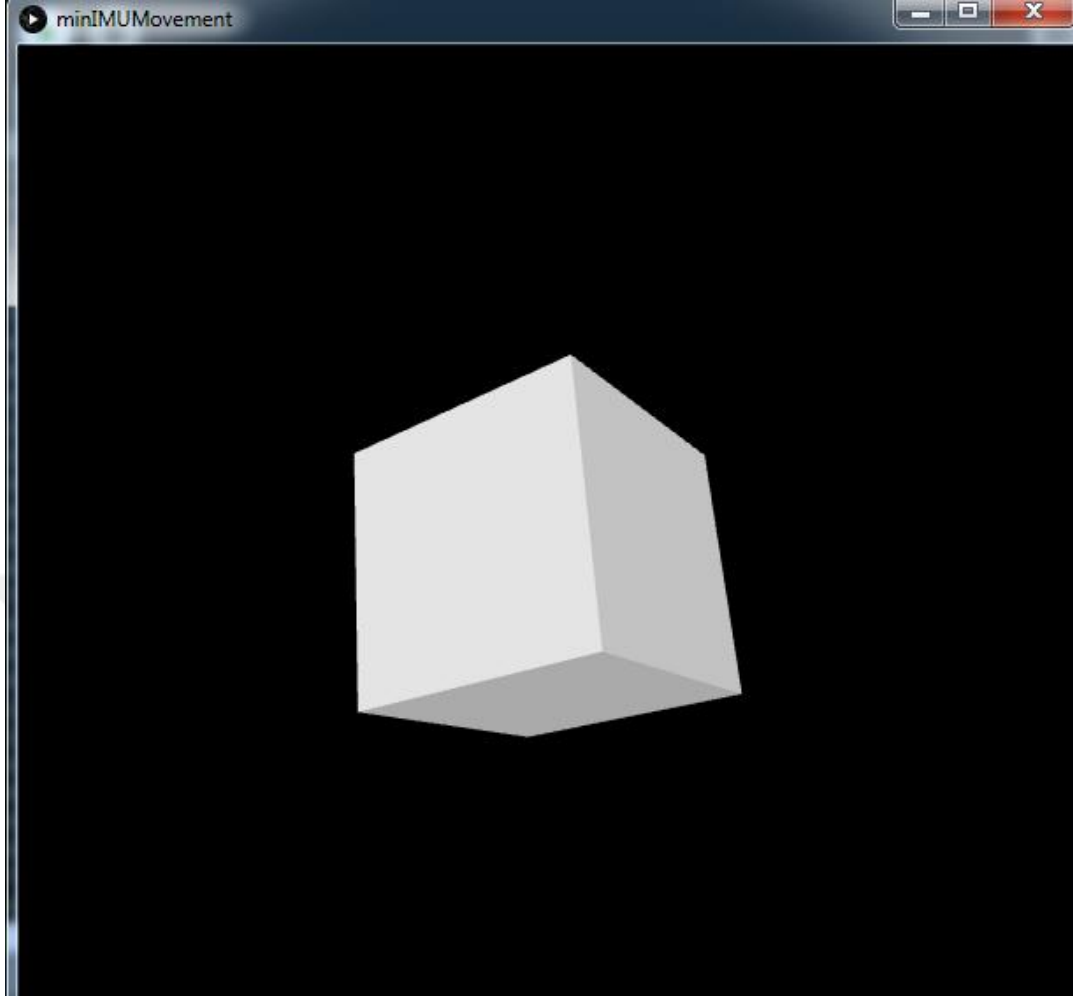


Şekil 5.12. Processing çalışma modu değiştirme ekranı

5.5.2. Processing-Arduino-IMU Haberleşmesi

Arduino ile Processing'in haberleşebilmesi için Processing'de bulunan "Serial" kütüphanesi kullanılmıştır. Bu sayede, Arduino'nun bağlı olduğu COM portundan x, y ve z konum bilgileri eş zamanlı olarak alınabilmektedir. Baudrate'leri aynı olan Processing ve Arduino bu sayede haberleşebilmektedir.

Görsel öge olarak konum takibi için "Opengl" kütüphanesi ile Şekil 5.13'te de verilen üç boyutlu küp oluşturulmuştur. Bu kütüphane sayesinde, istenen 3D cisim oluşturulup, boyutları, sınırları ve rengi RGB değerleri ile ayarlanabilmektedir. Aynı zamanda Processing, Display penceresinin de rengini değiştirme imkanı sunmaktadır.



Şekil 5.13. IMU takibi için oluşturulan küp görseli

Processing geliştirme ortamında kod yazıldıktan sonra “Çalıştır” butonu ile Arduino Serial Port’undan alınan değerlere göre oluşturulan üç boyutlu küp, IMU’nun x, y ve z konumuna göre şekil almaktadır. Processing programına ait kodlar Ek 2’de verilmiştir.

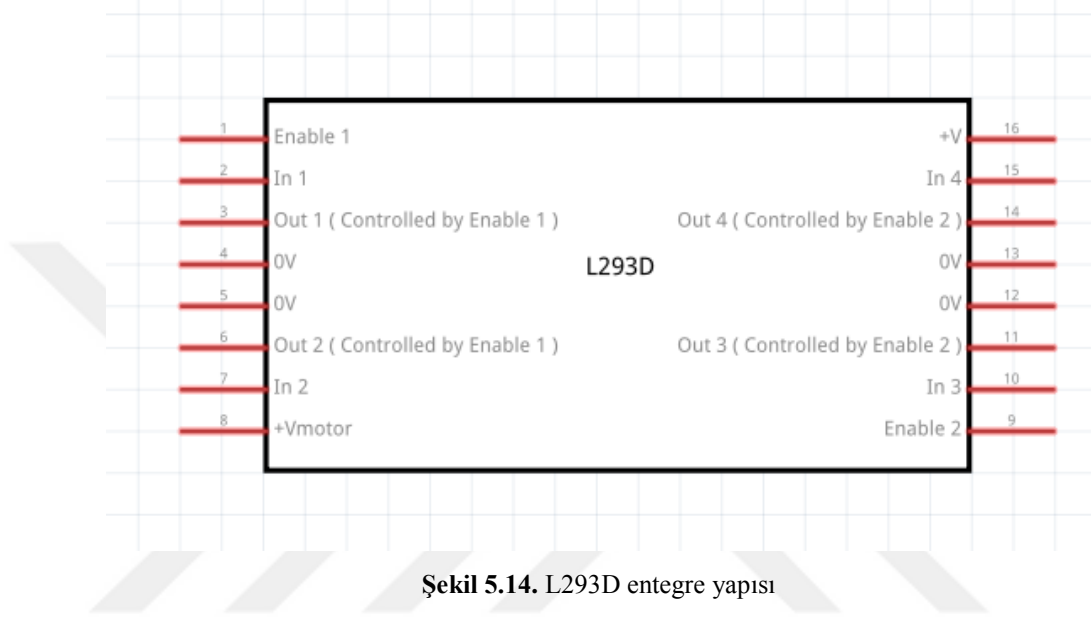
5.6. Baş/Boyun Hareketlerini Algılayan Kontrol Kartı Prototipi Hazırlanması

Arduino, DC motor ve IMU ile baş/boyun hareketine göre hareket edebilecek bir araba tasarlanmıştır. Kullanılan motorların özellikleri:

1. 3-12 V aralığında çalışabilme özelliğine sahiptir.
2. 100-300 rpm aralığında hızlanabilmektedir.
3. Tez çalışmasında 9V batarya ile çalıştırılmıştır.
4. Hareket esnasında her motorun 0.24 A akım çektiği gözlemlenmiştir.
5. L293D motor sürücü entegresi ile iki motorun çift yönlü kontrolü sağlanabilmektedir.

Kullanılan L293D entegresinin özellikleri ise:

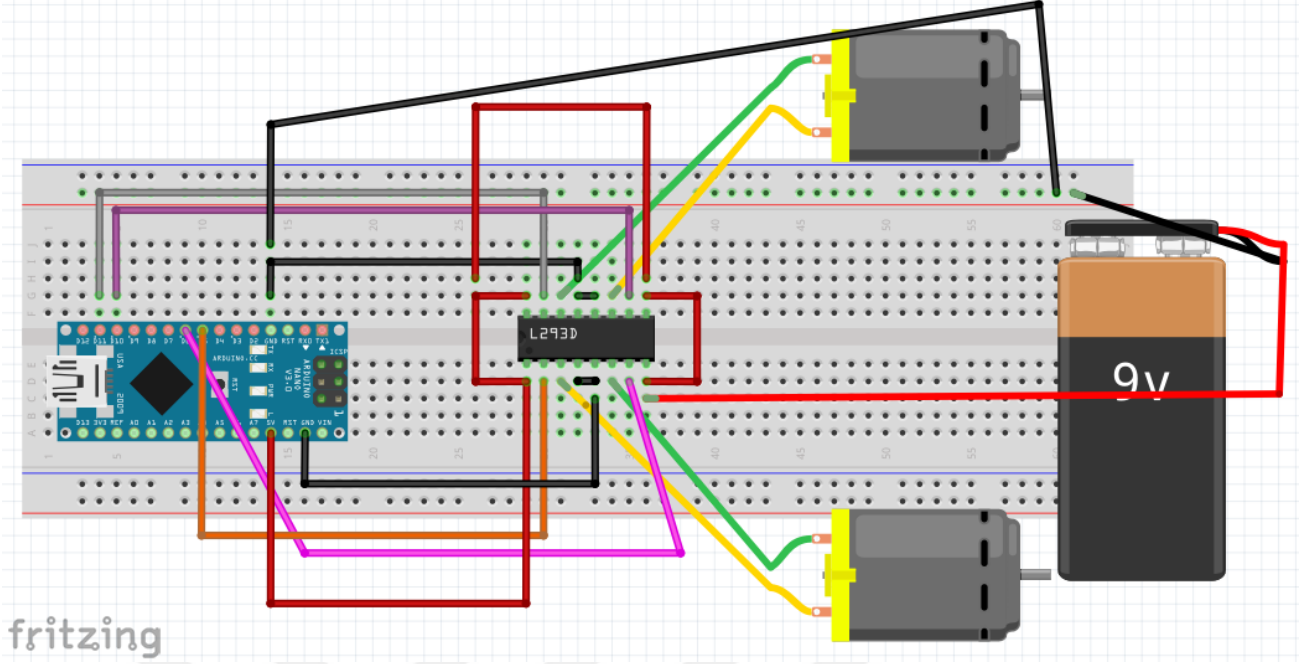
1. İçerisinde iki adet H Köprüsü bulundurmaktadır. Bu sayede iki motor birbirinden bağımsız olarak saat yönü ve saatin tersi yönünde hareket ettirilebilmektedir.
2. Entegrede bulunan iki farklı “Enable” pini sayesinde PWM ile hız kontrolü de yapılmaktadır.
3. Maksimum 1 A akım çeken, 4.5 V’tan 36 V’a kadar olan motorlar sürülebilir.
4. Entegre yapısı Şekil 5.14’te verilmiştir.



Şekil 5.14. L293D entegre yapısı

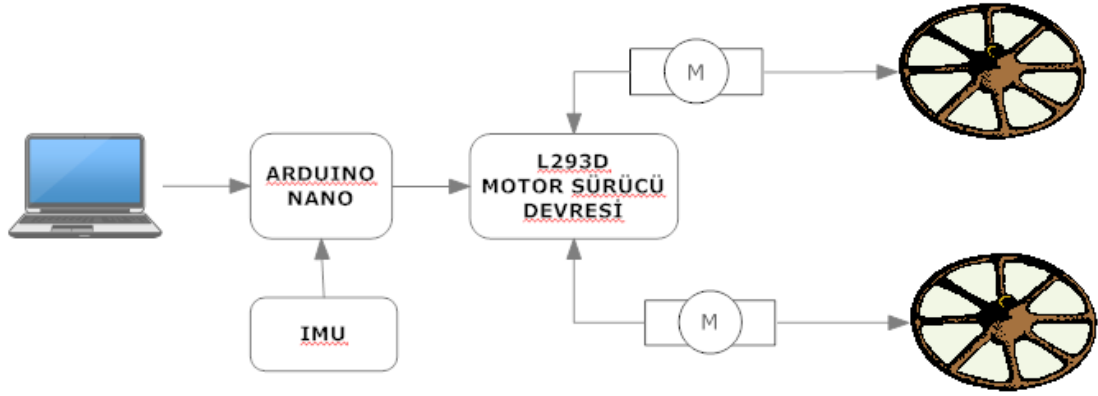
5.6.1. Kontrol Kartı Devre Şeması ve Arduino Programı

Tez çalışması olarak hazırlanan baş/boyun hareketlerinin algılandığı kontrol kartı Fritzing devre şeması Şekil 5.15’te, blok hali ise Şekil 5.16’da verilmiştir.



Şekil 5.15. Baş/boyun hareketlerinin algılandığı kontrol kartı devre şeması

Tasarlanan devrenin Arduino kodları ise Ek 3'te verilmiştir.



Şekil 5.16. Baş/boyun hareketlerinin algılandığı kontrol kartına ait blok diyagram

5.6.2. Unity 3D ile Devre Kartı Entegrasyonu

Üç boyutlu oyun oluşturma programı olan Unity üzerinde baş modeli oluşturulmuş olup IMU ile hareketin kontrolü sağlanmaya çalışılmıştır. Unity'de programlama dili olarak C# kullanılmaktadır. Herhangi bir kurulumla ihtiyaç duymadan .exe uzantılı dosya ile çalışmaktadır. Üç boyutlu model geliştirici alanına aktarıldıktan sonra program kodu

yazılır. Şekil 5.17’de verildiği gibi kamera açısının değişmesi ile hareket sağlanmış olur. Unity’e ait program kodları ise, Ek 4’te verilmiştir.



Şekil 5.17. Unity 3D ekran görüntüsü

6. SONUÇLAR

Günümüzde Arduino üzerinde gerçekleştirilen uygulamalar, Arduino'nun diğer mikrodenetleyicilere göre daha pratik, daha işlevli olması sebebiyle oldukça yaygınlaşmıştır. Hem programlama dilinin kolay olması, hem de Processing geliştirme ortamı ile uyumlu olup kolayca haberleşebilmesi nedeniyle bu tez çalışmasında da Arduino Nano kullanılarak IMU(ataletsel ölçüm ünitesi) üzerinden üç eksenli konum bilgisi alınmıştır.

Arduino Nano Atmega328P işlemcili board üzerinde "RTIMU" kütüphanesi yardımı ile programlama yapıp Arduino Serial Monitor üzerinde üç eksen konum bilgisi anlık olarak alınabilmektedir. Daha sonra, Processing geliştirme ortamında "Serial" kütüphane yardımı ile IMU'dan Arduino COM portuna gelen anlık konum bilgileri Processing'e eş zamanlı olarak aktarılabilmektedir. Processing'e aktarılan konum bilgileri, yine Processing üzerinde "Opengl" kütüphanesi sayesinde oluşturulan küp ile Display penceresinde küp-IMU hareket takibi yapılabilmektedir.

Kontrol kartının prototipi oluşturularak L293D motor sürücü devresi, dokuz eksen IMU ve iki DC motor ile hareketin kontrolü sağlanmıştır. Görselleştirmek amacı ile Unity 3D programı ile baş/boyun hareketi takibi yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlara ve oluşturulan karta göre gerçekleştirilen baş/boyun hareketlerinin algılanması tez çalışmasının üstünlükleri şu şekilde özetlenebilir:

- Tasarımının pratik, ekonomik ve kişiye özel hareket bilgisi ile entegrasyonunun kolay olması,
- Anlık konum bilgisinin hızlı bir şekilde alınabilmesi ve görsel olarak takip edilebilmesi,
- Tasarımın geliştirmeye açık olması,
- Linux, Windows veya MAC OS üzerinde müdahale edilebilir olması.

Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında:

- IMU ve Arduino Nano'nun birlikte uyumlu bir şekilde çalışıp, doğru konum bilgisinin alınabildiği,

- Processing üzerinde görsel olarak başarılı bir şekilde IMU-küp takibi yapılabildiği,
- Motor sürücü devresi ve motorlar değiştirildiği takdirde entegrasyonun kolay bir şekilde yeniden yapılabileceği gözlemlenmiştir.



KAYNAKLAR

- [1] **Mandel, C., Frese U. and Röfer T.**, (2007), “Applying a 3DOF Orientation Tracker as a Human-Robot Interface for Autonomous Wheelchairs”, IEEE 10th International Conference on Rehabilitation Robotics, Noordwijk, The Netherlands, June 12-15.
- [2] **Salimi Z., Ferguson-Pell, M.W.**, (2013), “A Simple 2D Wheelchair Positioning: Correcting Imu’s Data Using One Encoder And Applying Kalman Filtering”, ASME 2013 International Mechanical Engineering Congress & Exposition, November 15-21, San Diego, California, USA.
- [3] **Kocadağ, F.**, (2015), “Hareketli Araçlarda Kalman Filtresi Yardımıyla Uydu Takibi gerçektelemesi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- [4] **Erişmiş, M.A.**, (2004), “MEMS Accelerometer and Gyroscopes for Inertial Measurement Units”, M.S. Thesis, Electrical and Electronics Engineering, METU.
- [5] **Tetik Y., Köybaşı E., Bıçakçı S., Candan C. ve Akdaş D.**, (2012) “İvmeölçer İle Alınan Yolun Hesaplanması ve Aracın Başlangıç Konumuna Dönmesi” , 3.Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, Balıkesir, 29-30 Kasım 2012, S:223-230
- [6] **Özkan E.**, (2010), “Üç Boyutlu Uzayda Hareket Algılama, Tespit Ve Kestirimi İçin Genişletilebilir Bir Donanım Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, Bilişim Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [7] **Łuczak S., Oleksiuk W. and Bodnicki M.**, (2006). “Sensing Tilt With MEMS Accelerometers” IEEE Sensors Journal, Vol 6(6).
- [8] **Saçu İ.E.**, (2012), “MEMS’lerin Biyomedikal Alanındaki Uygulamalarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
- [9] **Geng, H.**, (2005), Semiconductor Manufacturing Handbook, McGraw-Hill, USA, 913.
- [10] **Akgül, M.**, (2005), “Tek Serbestlik Dereceli Mekanik Bir Jiroskobun Çıkış Voltajı Ve Çıkış Hassasiyetinin Yapay Sinir Ağları İle Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale.
- [11] **Singh A.K.**, (2005), “Vibrating Structure Piezoelectric Hollow Cylinder Gyroscope”, Indian Journal of Engineering and Material Science, Vol 12. pp.7-11.
- [12] **Post, E.J.**, (1967), “Sagnac Effect”, Air Force Cambridge Research Laboratories, Bedford, Massachusetts, Vol 39(2).
- [13] **Siuru, C.W.D., Shaw G.L.**, (1985), “Laser Gyroscopes-The Revolution in Guidance and Control”, Air University Review, Islamabad.

- [14] **Juang, J.N., Radharamanan R.**, “Evaluation Of Ring Laser And Fiber Optic Gyroscope Technology”, School of Engineering, Mercer University, Macon, USA.
- [15] **Kersey, A.D.**, Fiber Optic Gyroscope Technology, Optics News, November 1989, pp.12-19.
- [16] **Horozođlu, G., Karlık, S.E.**, (2010), “İnterferometrik Optik Fiberli Jiroskoplarda Açık ve Kapalı Çevrim Yapılarının Analizi”, Uludađ Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 15, Sayı 2.
- [17] **Yüksek, M.C.**, (2011), “A Comparative Study On Human Activity Classification With Miniature Inertial And Magnetic Sensors”, M.S. Thesis, Electrical and Electronics Engineering, Bilkent University.
- [18] **Cai, W., Chan, J. and Garmire, D.**, (2011), 3-Axes MEMS Hall-effect sensor, SAS 2011 - IEEE Sensors Applications Symposium, Proceedings, 141–144.
- [19] **Davis, J.**, (2004), “Mathematical Modeling of Earth’s Magnetic Field”, Technical Note, Virginia Tech, Blacksburg.
- [20] **Gönül, E.**, (2011), “İnsansız Hava Araçları İçin Bütünleşik Seyir Sisteminin Geliştirilmesi ve Gerçekleştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- [21] **Tecimer, A.A.**, (2012), “Akıllı Telefonlar Yardımıyla Yer ve Sürüş Kalitesinin Deđerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [22] **Ruhunusiri, W. D. S. and Jayananda M. K.**, (2008), “Construction of a Proton Magnetometer”, Department of Physics, University of Colombo.
- [23] **Ghalebeygi, O.**, (2012), “MEMS Based Clamped-Clamped Resonant Magnetometer”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [24] **Korvink, J.G, Paul O.**, (2005), “MEMS: A Practical Guide to Design, Analysis and Applications”, Vol. 28, ISBN 0-8155-1497-2. pp. 463-471.
- [25] **Banzi M.**, (2009), Getting Started with arduino. " O'Reilly Media, Inc."
- [26] **Badamasi, Y. A.**, (2014), “The Working Principle Of An Arduino”, Nigerian Turkish Nile University, Abuja, Nigeria.
- [27] <https://www.arduino.cc/en/Products/Compare>, (9 Nisan 2016)
- [28] **Ross, L.**, (2009), “Obtaining Commercialization of MEMS Technology: Current Trends”, poster session presented at the The Audacity Of Imagination, Microelectronics’ New Millenium, Kitchener Waterloo, Ontario, Canada, April 14-15, 2009

[29] **Küççük, C.**, (2010), “Hareket Algılayan Duyargalar İle Üç Boyutlu Uzayda Hareket Kestirimi”, Yüksek Lisans Tezi, Bilişim Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

[30]http://www2.st.com/content/st_com/en/products/mems-and-sensors/gyroscopes/l3gd20h.html (29 Nisan 2016)

[31]http://www2.st.com/content/st_com/en/products/mems-and-sensors/e-compasses/lsm303dlhc.html (29 Nisan 2016)



EK-1

3 Eksen Konum Bilgisi Almayı Sağlayan Arduino Programı

```
#include <Wire.h>
#include <RTIMU.h>
#include <RTIMUSettings.h>
#include <RTFusionRTQF.h>
#include <I2Cdev.h>
#include <EEPROM.h>
#include <CalLib.h>

//RTIMU kütüphanesinden gelen IMU, fusion ve settings nesneleri

RTIMU *imu;
RTFusionRTQF fusion;
RTIMUSettings settings;

#define pose_interval 50

unsigned long time;

double x;
double y;
double z;

unsigned long lastDisplay;
unsigned long lastRate;
int sampleCount;
void setup() {
  Serial.begin(115200);
```

```
Wire.begin();

imu = RTIMU::createIMU(&settings);

if (imu->getCalibrationValid());

lastDisplay = lastRate = millis();
sampleCount = 0;

//SlerpPower, sensör birleşmesini kontrol eden değerdir. 0 ile 1 arasında olabilir. 0,
sadece jiroskobun aktif olduğunu; 1 ise manyetometre ve akselerometrenin aktif olduğunu
gösterir.

fusion.setSlerpPower(0.02);

// kullanılmak istenen sensörü aktifleştirmek için boolean ayarı yapılır.
fusion.setGyroEnable(true);
fusion.setAccelEnable(true);
fusion.setCompassEnable(true);
}
}
void loop() {
    unsigned long now = millis();
    int loopCount = 1;
    //en son gelen sensör datası alınır.
    while (imu->IMURead()) {
        //sensör datası alınırken geride kalırsa önceki verileri temizler.
        if (++loopCount >= 10)
            continue;

        fusion.newIMUData(imu->getGyro(), imu->getAccel(), imu-
>getCompass(),imu->getTimestamp());

        if ((now - lastDisplay) >= pose_interval) {
```

```
lastDisplay = now;

RTVector3& vec = (RTVector3&) fusion.getFusionPose();
Serial.print(vec.x());
Serial.print("|");
Serial.print(vec.y());
Serial.print("|");
Serial.print(vec.z());
    Serial.println();
    delay(1);
}
}
}
```

EK-2

Processig Programına Ait Kodlar

```
import processing.serial.*;
import processing.opengl.*;

Serial myPort;
float x=0, y=0, z=0; // coordinate temp

void setup() {
  noStroke();
  size(600, 600, OPENGL);
  myPort = new Serial(this, Serial.list()[0], 115200);
}

void draw() {
  background(0);
  lights();
  pushMatrix();
  translate (width/2, height/2 );
  thread("readSerial"); // read next coordinates before draw previous coordinates
  // draw current coordinates
  rotateX(x);
  rotateY(y);
  rotateZ(z);
  box(150);
  popMatrix();
}

void readSerial() {
  // Arduino Output or Serial Input: x|y|z
```

```
if (myPort.available() > 0) {  
  
    String inBuffer = myPort.readString();  
    if (inBuffer != null) {  
        String[] q = splitTokens(inBuffer, "|");  
        if (q.length > 2) {  
            x=(Float.valueOf(q[0])).floatValue()*-1;  
            y=(Float.valueOf(q[1])).floatValue()*-1;  
            z=(Float.valueOf(q[2])).floatValue();  
        }  
    }  
}  
}
```

EK-3

Tasarlanan Devreye Ait Arduino Kodları

```
#include <Wire.h>
#include <RTIMU.h>
#include <RTIMUSettings.h>
#include <RTFusionRTQF.h>
#include <I2Cdev.h>
#include <EEPROM.h>
#include <CalLib.h>

//RTIMU kütüphanesinden gelen IMU, fusion ve settings nesneleri

RTIMU *imu;
RTFusionRTQF fusion;
RTIMUSettings settings;
#define pose_interval 50

unsigned long time;

double x;

double y;

double z;

unsigned long lastDisplay;

unsigned long lastRate;

int sampleCount;

//motorlar için tanımlamalar

#define I1 5 // Sol ileri

#define I2 6 // Sol geri

#define I3 10 // Sağ ileri

#define I4 11 // Sağ geri

double mappedX;

void setup() {

  Serial.begin(115200);

  int errorcode;

  pinMode(I1, OUTPUT);

  pinMode(I2, OUTPUT);
```

```
pinMode(I3, OUTPUT);
pinMode(I4, OUTPUT);

Wire.begin();
imu = RTIMU::createIMU(&settings);
if((errorcode=imu->IMUInit(<0))){
}
if (imu->getCalibrationValid()){
}
lastDisplay = lastRate = millis();
sampleCount = 0;
//SlerpPower, sensör birleşmesini kontrol eden değerdir. 0 ile 1 arasında olabilir. 0,sadece
jiroskobun aktif olduğunu; 1 ise manyet
//metre ve akselerometrenin aktif olduğunu gösterir.
fusion.setSlerpPower(0.02);
// kullanılmak istenen sensörü aktifleştirmek için boolean ayarı yapılır.
fusion.setGyroEnable(true);
fusion.setAccelEnable(true);
fusion.setCompassEnable(true);
}

void loop() {
  unsigned long now = millis();
  int loopCount = 1;
  int pwmRight=255, pwmLeft=255;
  //en son gelen sensör datası alınır.
  while (imu->IMURead()) {
    if (++loopCount >= 10)
```

```

        continue;

fusion.newIMUData(imu->getGyro(), imu->getAccel(), imu->getCompass(),imu-
>getTimestamp());

if ((now - lastDisplay) >= pose_interval) {
    lastDisplay = now;
    RTVector3& vec = (RTVector3&) fusion.getFusionPose();
Serial.print(vec.y());
    Serial.print("|");
    Serial.print((vec.x()));
    Serial.print("|");
    Serial.print(vec.z());
    Serial.println();
mappedX= (vec.x())*850;
if(mappedX < 0){
    pwmRight = 255;
    pwmLeft = 255-(-1*mappedX);
    if(mappedX<=-255){
        pwmLeft=0;
    }
}
else {
    pwmLeft = 255;
    pwmRight = 255-mappedX;
    if(mappedX>=255){
        pwmRight=0;
    }
}

// sola meyl x max:-0.50

```

```
// sağa meyil x max:0.50
// ileri y>+0.30
// geri y<-0.30

if(vec.y()<-0.40){ //ileri (dönmeli)
    digitalWrite(I3, LOW);
    digitalWrite(I2, LOW);
    analogWrite(I4,pwmRight);
    analogWrite(I1,pwmLeft);
}
else if(vec.y()>0.20){ // geri (dönmeli)
    digitalWrite(I1, LOW);
    digitalWrite(I4, LOW);
    analogWrite(I3,pwmLeft);
    analogWrite(I2,pwmRight);
}
else if(vec.z()<0.50){ // tam sola dön
    digitalWrite(I2, LOW);
    digitalWrite(I1, LOW);
    digitalWrite(I3, LOW);
    digitalWrite(I4, HIGH);
}
else if(vec.z())>1.80){ // tam sağa dön
    digitalWrite(I4, LOW);
    digitalWrite(I3, LOW);
    digitalWrite(I2, LOW);
    digitalWrite(I1, HIGH);
}
else{ // stop
```

```
digitalWrite(I2, LOW);
```

```
digitalWrite(I4, LOW);
```

```
digitalWrite(I1, LOW);
```

```
digitalWrite(I3, LOW);
```

```
}
```

```
}
```

```
}
```

```
}
```



EK-4

Unity'e Ait Program Kodları

```
using UnityEngine;
using System.Collections;
using System.IO.Ports;
using System;
using System.Threading;

public class Hareket : MonoBehaviour {
    SerialPort port=null;
    float x = 0, y = 0, z = 0;
    float tempX = 0, tempY = 0, tempZ = 0;
    Queue qX = new Queue(), qY = new Queue(), qZ = new Queue();
    bool first = true;

    void Start () {
        port = new SerialPort("com3",115200);
        port.Open();

        new Thread(() =>
        {
            String line;
            Thread.CurrentThread.IsBackground = true;
            while (true)
            {
                line = port.ReadLine();
                string[] xyz = line.Split('|');
```

```
float readX = float.Parse(xyz[0]) * (float)57.295779513;
float readY = float.Parse(xyz[1]) * (float)57.295779513;
float readZ = float.Parse(xyz[2]) * (float)57.295779513;

if (!first)
{
    qY.Enqueue(this.tempY - readY);
    qZ.Enqueue(this.tempZ - readZ);

    if (qY.Count > 1000)
    {
        qY.Dequeue();
    }

    if (qZ.Count > 1000)
    {
        qZ.Dequeue();
    }

}

tempX = readX;
tempY = readY;
tempZ = readZ;
first = false;
}

}).Start();
}

void Update () {
```

```
if (qY.Count > 0) {  
    transform.RotateAround(Vector3.zero, Vector3.right, (float)qY.Peek());  
    qY.Dequeue();  
}  
  
if (qZ.Count > 0)  
{  
    transform.RotateAround(Vector3.zero, Vector3.back, (float)qZ.Peek());  
    qZ.Dequeue();  
}  
  
if (Input.GetKey("escape")) {  
    port.Close();  
    Application.Quit();  
}  
}  
}
```

ÖZGEÇMİŞ

1992 Malatya/Merkez doğumlu olan Seda ŞAŞMAZ, ilk ve orta öğrenimini Elazığ'da tamamlamıştır. 2010 yılında Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümüne kayıt yaptırmış, 2014 yılında mezun olmuştur. 2014 yılında Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği anabilim dalında Yüksek Lisans eğitimine başlamıştır.

İletişim Bilgileri:

sd.sasmaz@gmail.com

