

Demiryolu Araçları İçin Bir Titreşim Ölçüm Uygulaması

Serkan Erdem

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Mart 2019

A Vibration Measurement Application For The Railway Vehicles

Serkan Erdem

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Electrical Electronics Engineering

March 2019

Demiryolu Araçları İçin Bir Titreşim Ölçüm Uygulaması

Serkan Erdem

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Kontrol ve Kumanda Sistemleri Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Abdurrahman Karamancıoğlu

Mart 2019

ONAY

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Serkan Erdem'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Demiryolu Araçları İçin Bir Titreşim Ölçüm Uygulaması" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Abdurrahman Karamancıoğlu

İkinci Danışman : -

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Prof. Dr. Abdurrahman Karamancıoğlu

Üye : Dr. Öğretim Üyesi Gökhan Dındış

Üye : Dr. Öğretim Üyesi Muammer Akçay

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. Abdurrahman Karamancıoğlu danışmanlığında hazırlamış olduğum “Demiryolu Araçları İçin Bir Titreşim Ölçüm Uygulaması” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 12/03/2019

Serkan Erdem

İmza

ÖZET

Demiryolu araçları için bir titreşim ölçüm uygulaması konulu tez çalışmasında, ivmeölçer sensörü ile titreşim esnasında oluşan 3 eksendeki ivme değerleri ölçülmüş, elde edilen ivme değerleri veri kayıt dosyalarına kaydedilmiştir. Ayrıca ölçülen ivme değerleri kullanılarak gerçek zamanlı olarak ivme-zaman grafikleri çizdirilmiştir. İvmeölçer sensöründen elde edilen ivme değerleri kablosuz haberleşme ile internet üzerinden hedef bilgisayara aktarılmıştır.

Bu çalışmada ivmeölçer olarak MPU6050 ivme sensörü kullanılmıştır. MPU6050 ivme sensörü tercih edilmesinin sebebi; MPU6050'nin yaygın olarak kullanılıyor olması ve işlemciler ile haberleşme arayüzüne sahip olmasıdır. MPU6050 ivme sensöründen gelen verilerin okunmasında Arduino Mega2560 İşlemcisi kullanılmıştır. Ölçülen ivme değerlerinin kablosuz olarak hedef bilgisayara aktarımı için ESP32 İşlemcisi kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Titreşim ölçümü, MPU6050, ESP32, ivmeölçer, ivme sensörü

SUMMARY

Acceleration values at 3 axes are measured and these acceleration values are saved to data files in a vibration measurement application for the railway vehicles subjected thesis. Also, real time acceleration-time graphics are drawn by using measured acceleration values. Acceleration values, which are obtained by accelerometer sensor, are sent to target computer by using wireless communication via internet.

MPU6050 acceleration sensor is used as accelerometer in this study. The purposes of choosing MPU6050 acceleration sensor are MPU6050 is commonly used and has communication interface with processors. Arduino Mega2560 processor is used in data reading which comes from MPU6050 acceleration sensor. ESP32 processor is used for sending measured acceleration values to target computer as wireless.

Keywords: Vibration measurement, MPU6050, ESP32, accelerometer, acceleration sensor

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının hazırlanmasında en başından sonuna kadar yol gösterici olan kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Abdurrahman Karamancıoğlu'na Őükranlarımı sunmak isterim.

Ayrıca eğitim sürecim de dahil olmak üzere bana her konuda tam destek veren aileme saygı ve sevgilerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ VE AMAÇ	14
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM	20
3.1 MPU6050 İvme ve Jiroskop Sensör Kartı Genel Özellikleri	21
3.2 ESP32 İşlemci Kartı Genel Özellikleri	28
3.3 Arduino Mega 2560 İşlemci Kartı Genel Özellikleri.....	34
3.4 Lojik Gerilim Seviye Dönüştürücü Kartı Genel Özellikleri	40
4. YAZILIM ÖZELLİKLERİ	43
4.1 Arduino İşlemciler İçin CH340 Sürücü Yazılımı	43
4.2 ESP32 Geliştirme Kartı İçin CP210 Sürücü Yazılımı	45
4.3 Arduino IDE 1.8.3 Yazılımı.....	47
4.4 Hercules Yazılımı	51
4.5 Microsoft Office Excel Programı.....	52
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	54
5.1 MPU6050 ve ESP32 Geliştirme Kartı Ölçümleri	54
5.2 MPU6050 ve Arduino Mega2560 İşlemci Kartı Ölçümleri.....	58
5.2.1 MPU6050 ve Arduino Mega2560 İşlemci Kartı X Ekseni Ölçümleri	60
5.2.2 MPU6050 ve Arduino Mega2560 İşlemci Kartı Y Ekseni Ölçümleri.....	63
5.2.3 MPU6050 ve Arduino Mega2560 İşlemci Kartı Z Ekseni Ölçümleri	64
5.3 MPU6050 ve Arduino Mega2560 Bağlantı Doğrulama Ölçümleri	66
5.4 İki Adet MPU6050 ve Arduino Mega2560 İşlemci Kartı Ölçümleri.....	67
5.5 MPU6050, ESP32 ve Arduino Mega2560 İşlemci Kartı Ölçümleri.....	72
5.6 Bileşke İvme ve Bileşke Konum Ölçüm Deneyleri	76
5.7 İvme ve Gryo Grafik Çizimi Deneyleri.....	80
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	83
KAYNAKLAR DİZİNİ	84

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Üç eksen üzerindeki yönelimler	15
3.1 MPU6050 Ön Görünümü	23
3.2 MPU6050 Arka Görünümü	24
3.3 Kart üzerindeki MPU6050 Entegresi	26
3.4 ESP32 Geliştirme Kartı Ön Görünümü	29
3.5 ESP32 Fonksiyonel Şema.....	30
3.6 ESP32 Geliştirme Kartı Arka Görünümü	31
3.7 Arduino Mega 2560 Kartı Ön Görünümü	36
3.8 Arduino Mega2560 Fonksiyonel Şema	37
3.9 Lojik Gerilim Seviye Dönüştürücü Kartı Ön Görünümü	41
3.10 Lojik Gerilim Seviye Dönüştürücü Kartı Arka Görünümü	42
4.1 Arduino Sürücü (Driver) Hata Ekranı	44
4.2 Arduino Sürücü (Driver) Yükleme Başarılı Ekranı	45
4.3 ESP32 Sürücü (Driver) Hata Ekranı.....	46
4.4 ESP32 Geliştirme Kartı Sürücü (Driver) Yükleme Başarılı Ekranı	47
4.5 Arduino IDE – Arduino Mega2560 İşlemci Seçim Ekranı	48
4.6 Arduino Com Port Seçim Ekranı.....	49
4.7 Arduino IDE - ESP32 İşlemci Seçim Ekranı	50
4.8 ESP32 Com Port Seçim Ekranı	51
4.9 Hercules Yazılımı Açılış Ekranı Görünümü	52
4.10 Microsoft Office Excel İvme Ölçüm Grafik Örneği	53
5.1 ESP32 & MPU6050 Blok Şema-1	55
5.2 ESP32 & MPU6050 Blok Şema-2	56
5.3 ESP32 & MPU6050 Gerçek Bağlantı	56
5.4 ESP32 – MPU6050 Ölçüm Grafiği	57
5.5 Arduino Mega2560 & MPU6050 Blok Şema-1	59
5.6 Arduino Mega2560 & MPU6050 Blok Şema-2.....	59
5.7 MPU6050 X Ekseni Ölçüm Gösterimi.....	61
5.8 Arduino Mega2560 - MPU6050 X Ekseni Ölçümü	62
5.9 MPU6050 Y Ekseni Ölçüm Gösterimi.....	63
5.10 Arduino Mega2560 - MPU6050 Y Ekseni Ölçümü	64
5.11 MPU6050 Z Ekseni Ölçüm Gösterimi	65
5.12 Arduino Mega2560 - MPU6050 Z Ekseni Ölçümü.....	65
5.13 Arduino Mega2560 ile MPU6050 Bağlantısı Normal.....	66
5.14 Arduino Mega2560 ile MPU6050 Bağlantı Hatası	67
5.15 Arduino Mega2560 & 2 Adet MPU6050 Blok Şema-1	68
5.16 Arduino Mega2560 & 2 Adet MPU6050 Blok Şema-2	69
5.17 Arduino & 2 adet MPU6050 Gerçek Bağlantı	70

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.18 İvme ve Gyro Ölçümü Blok Şema-1	73
5.19 İvme ve Gyro Ölçümü Blok Şema-2	74
5.20 İvme ve Gyro Ölçümü Gerçek Bağlantı	75
5.21 Hercules Yazılımı ile Ölçüm Sonuçları	76
5.22 Üç Eksendeki Açı Yönelimleri	77
5.23 Bileşke İvme Büyüklüğü Ölçümü	78
5.24 Bileşke İvme Açı Ölçümü	78
5.25 Bileşke Konum Büyüklüğü Ölçümü	79
5.26 Bileşke Konum Açı Ölçümü	80
5.27 İvme ve Gyro Ölçüm Sonuçları Excel Veri ve Grafik Gösterimi	82

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Tez Donanımı Teknik Özellikleri.....	20
3.2 MPU6050 Pin Arayüzü	23
3.3 MPU6050 Teknik Özellikleri	24
3.4 Arduino I2C Pin Arayüzü.....	25
3.5 MPU6050 İşlemci Pin Arayüzü.....	27
3.6 ESP32 Teknik Özellikleri.....	32
3.7 ESP32 Pin Arayüzü	33
3.8 Arduino Mega 2650 Teknik Özellikleri	38
3.9 Arduino Mega 2560 Pin Arayüzü.....	39
3.10 Lojik Gerilim Seviye Dönüştürücü Kartı Pin Arayüzü	42
5.1 ESP32 & MPU6050 Bağlantı Listesi	57
5.2 Arduino Mega2560 & MPU6050 Bağlantı Listesi.....	60
5.3 Arduino Mega2560 & 2 Adet MPU6050 Bağlantı Listesi	69
5.4 Arduino Mega2560, MPU6050 & ESP32 Bağlantı Listesi.....	75

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**Simgeler**

T	Periyot
V	Volt
A	Amper
mA	Miliamper
ms	Milisaniye
cm	Santimetre
DC	Direct Current (Doğru Akım)
I/O	Input / Output (Giriş / Çıkış)

Açıklama**Kısaltmalar**

Vb.	Ve benzeri
Mb	Mega Byte
Kb	Kilo Byte
I2C	Inter-Integrated Circuit (Bütünleşik Devre)
SCL	Serial Clock (Seri Saat)
SDA	Serial Data (Seri Veri)
IMU	Inertial Measurement Unit (Atalet Ölçüm Birimi)
DOF	Degrees of Freedom (Serbestlik Derecesi)
MEMS	Mikroelektromekanik Sistem
DMP	Digital Motion Processor (Dijital Hareket İşlemcisi)
IoT	Internet of Things (Nesnelerin İnterneti)
g	Gravity (Yer Çekimi İvmesi)

Açıklama

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Bu tez; Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Kontrol ve Kumanda Sistemleri Bilim Dalında, ivmeölçerden elde edilen titreşim verilerin okunması, yorumlanması ve takip edilmesi üzerine yapılan bir yüksek lisans tez çalışmasıdır.

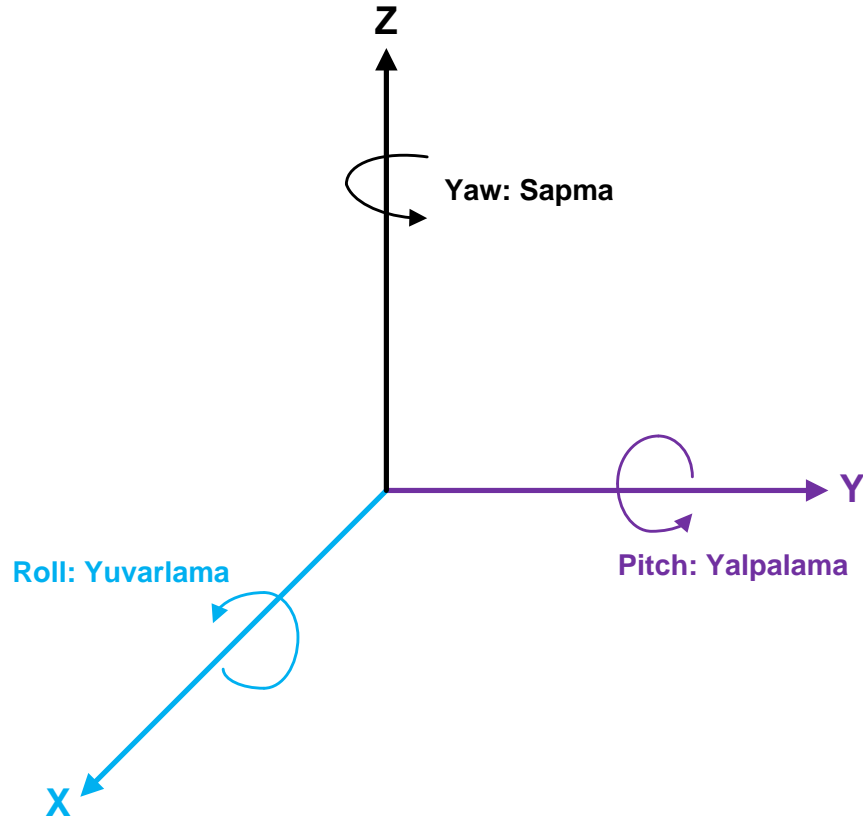
Titreşim; bir sistemin, birimin veya kütlenin denge konumu etrafında yapmış olduğu salınım hareketi olarak tanımlanmaktadır. İlgili salınım hareketi belirli süreler boyunca (T sürede) aynı şekilde tekrarlanıyorsa bu şekildeki hareketler periyodik hareket olarak tanımlanmaktadır. Harmonik hareket; periyodik hareketin en temel şeklidir. Sistemlerdeki, cihazlardaki veya kütlelerdeki titreşimlerin nedenleri; dış kuvvetler ve temel olarak sistemin, cihazın veya birimin bu dış kuvvetlere verdiği tepkiden kaynaklanmaktadır (Demir, 2004).

Dış Kuvvetler;

- Sistemin, birimin veya kütlenin bağlı olduğu temelden gelen kuvvet,
- Döner sistemlerde hareket halindeki kütleler,
- Motorlarda gidip gelen kütleler,
- Darbe, deprem, vb. dış etkenlerle oluşabilen herhangi bir kuvvet olabilir (Demir, 2004).

Sanayide kullanılan çeşitli endüstriyel makineler, hava, karayolu, deniz ve raylı ulaşım araçları, inşaatlarda, evlerde kullanılan çeşitli makine ve cihazlar, vb. hareketli sistemler gibi çok çeşitli araçlar, makineler veya cihazlar titreşim kaynakları olarak değerlendirilmelidir. Gürültü, yüksek gerilmeler, cihazın performansının azalması veya arızalanması, aşınma, malzeme yorulması gibi durumlar incelendiğinde bu durumların aslında titreşimden kaynaklandığı tespit edilebilir (Demir, 2004).

Demiryolu araçlarındaki titreşimler oldukça karmaşıktır. Demiryolu (raylar) üzerinde hareket edilmesi, tekerlek ile ray arasındaki etkileşim, titreşim analizini karmaşıklştırmaktadır. Demiryolu üzerinde hareket halindeki bir araçta titreşimler 3 eksendeki yönelme hareketleri (roll, pitch ve yaw; yuvarlama, yalpalama ve sapma) olarak ortaya çıkmaktadır.



Şekil 1.1 Üç eksen üzerindeki yönelimler

Eksenler ve yönelme hareketleri Şekil 1.1'de gösterilmektedir. Demiryolu araçlarında titreşime neden olan en önemli 2 faktör; demiryolunun olduğu yerlerde zamanla yolda oluşan düzensizlikler ve bu düzensizlikler sebebiyle raylar üzerinde hareket eden tekerleklere iletilen darbelerdir. Demiryolu üzerinde ilerleyen bir araçta oluşan titreşim hareketinin frekansı; ray uzunluğu ve aracın hızıyla orantılıdır. Zamana ya da frekansa bağlı olarak değişen titreşimin elde edildiği 3 parametre; yer değiştirme, hız ve ivmedir. Yer değiştirme zamana bağlı bir fonksiyon olarak tanımlandığında, yer değiştirme denkleminin türevi ile hız elde edilir. Aynı şekilde hız zamana bağlı bir fonksiyon olarak

tanımlandığında, hız denkleminin türevi ile ivme elde edilir. Türevin matematiksel tam tersi işlem olarak integral işlemi ile de ivme denkleminin integrali ile hız, hız denkleminin integrali ile yer değiştirme elde edilir.

Titreşimin hız veya yer değiştirme bilgisindense ivme ile tanımlanmasının nedenleri:

- İvme biliniyor ise, hız ve yer değiştirme de kolaylıkla bulunabilir.
- İvmeölçer kullanımı ve teknolojisi zamanla sürekli olarak ilerlemekte ve yaygınlaşmaktadır.
- Yüksek frekanslardaki ivme genliğinin ölçülmesi; hız ve yer değiştirmeye nazaran daha kolaydır.

İvmeölçer sensörü için çok çeşitli tanımlamalar yapılabilir ancak en yaygın kullanılan tanımı mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren sensörler ivmeölçer olarak adlandırılmaktadır. İvmeölçerlerin temel çalışma prensipleri; Newton yasalarından faydalanılan mekanik modeli incelenerek daha kolay açıklanabilmektedir. Algılayan parça temel olarak bir merkez (sismik) kütleden (proof mass – deney kütlesi) oluşur. Merkez kütle yaylarla kılıfa tutturulmuştur. Ayrıca sistemin doğal frekansında salınmaması için, bir sönümleyici (amörtisör) eklenerek sönümlenme etkisi sağlanmıştır. Sönümleyici de seri ya da paralel olarak ana kütle ve kılıf arasındadır. Tüm bu sistem kalıp halinde ivmesi ölçülmek istenen gövdeye yerleştirilir. Yer değiştirme ve ivme, temel ölçekleme yasalarıyla bağlantılıdır. Daha yüksek rezonans frekansı, daha düşük yer değiştirme ya da daha düşük hassasiyet anlamına gelir (Anonim, 2015).

İvmeölçerler akademik çalışmalarda, sanayi ve endüstriyel alanlarda giderek çok kullanılmaktadır. İvmeölçerler; Hava yastığı sensörü, motor sürme ve kontrolü çalışmaları, hava, kara, deniz ve raylı ulaşım araçları, çok çeşitli sivil ve askeri uygulamalarda kullanılmaktadır. Statik ivme olarak tanımlanan yer çekimi de uygun ölçüm aralıklarına sahip ivmeölçer ile kolaylıkla ölçülebilmektedir. Yine uygun teknik özelliklere sahip ivmeölçerler ile cihaz veya birimlerin eğimi, değişken ivmeleri, birime veya cihaza uygulanan şok veya ivmeden elde edilebilecek hız veya konum ivmeölçerlerle ölçülebilir. İvmeölçerler günlük hayatta sıkça kullandığımız cep telefonlarında, çamaşır makinelerinde

ve bilgisayarlarda da yeni teknolojilerle birlikte kullanılmaya başlanmaktadır. (Anonim, 2015).

“Demiryolu Araçları İçin Bir Titreşim Ölçüm Uygulaması” tez çalışmasında, ivmeölçer kullanılarak ölçülen ivme değerlerinden faydalanılmıştır. İvmeölçerden alınan veriler işlemci ile yorumlanarak dış dünya ile paylaşılmaktadır. İvme verileri bilgisayarda kayıt altına alınarak kullanıcının istediği zaman, ivme ölçer çalışır durumdayken elde edilen verilere ulaşması hedeflenmiştir. Aynı şekilde elde edilen 3 eksendeki ivme değerleri eş zamanlı olarak tek bir grafik içinde çizdirilerek görsel olarak da kullanıcı ile paylaşılmaktadır. Bilgisayar ile sürekli olarak kablo bağlantısı kurulmasının pratikte sistemi kısıtlayıcı bir etkisi olacağından, elde edilen ivme değerleri kablosuz olarak internet üzerinden hedef bilgisayara aktarılmaktadır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

İvme ölçer seçimi yapılırken dikkat edilecek bir çok parametre bulunmaktadır. Bu parametreler ivme ölçer ile yapılacak uygulamaya göre değişiklik göstermektedir. Seçilen ivme ölçer öncelikle ölçülecek titreşim genliğini etkilememesine dikkat edilmelidir. Belirli ağırlık veya ölçülerden daha büyük ivme ölçerler, eklendikleri yüzeyde kütle yüklenmesine sebep olabilirler. İvme ölçerin ağırlığının ivme ölçerin eklendiği sisteme oranla ivme ölçümünü etkileyecek kadar fazla olması kütle yüklenmesi olarak tanımlanmaktadır. Değişkenlik göstermesine rağmen piyasada yaygın olarak kullanılan ivme ölçerlerin çoğunun ağırlığı 10 gramın altındadır. Yapılacak olan uygulama veya deney için yaklaşık olarak aynı özelliklere sahip 2 adet ivme ölçerden, daha küçük ve hafif olan ivme ölçer tercih edilmelidir.

Özel olarak tasarımı yapılmış üç eksenli ivme ölçerler ile üç eksendeki titreşimler kolaylıkla ölçülebilmektedir. Piyasada kullanım alanlarına göre çok fazla çeşit ivme ölçer bulunmaktadır. Kimi zaman ivme ölçer çeşitliliği uygulama için yapılacak seçimi zorlaştırmaktadır. Yüksek sıcaklıkta çalışabilme, tek eksende ölçüm, üç eksende aynı anda ölçüm yapabilme, şok altında çalışabilme, farklı ivme ölçerlerin doğruluğunu ölçme, farklı cihazların üzerinde oluşan titreşimin sürekli olarak ölçülmesi gibi farklı görevlerde kullanılan ivme ölçerler bulunmaktadır.

İvme ölçerden beklenen en temel özelliklerden birisi; titreşime maruz kaldığında davranışının lineer olmasıdır. İvme ölçerin tipine göre çıktısı; analog gerilim veya haberleşme üzerinden ham veri olarak düşünülebilir. Ölçülen ivme değeri üç katına çıktığında, ivme ölçer çıktısı analog gerilim ise analog gerilimin üç katına çıkması ya da haberleşme üzerinden gelen ham verinin üç katına çıkması; ivme ölçerin lineer olması anlamına gelmektedir. İvme ölçerler belirli bir frekans aralığında çalışmaktadırlar.

İvme ölçer seçiminin doğru yapılması kadar önemli olan bir diğer husus da ivme ölçerin sistemdeki ölçüm yapılması planlanan yere doğru bir şekilde entegrasyonunun

sağlanmasıdır. Sağlam olmayan ya da dikkatsiz bir şekilde yapılabilecek ivme ölçer yerleşimi, hem sistemdeki ivmenin yanlış ölçülmesine sebep olacak hem de yanlış ölçümlerden dolayı doğru bir ivme ölçer seçimi yapılamadığı kanısına ulaşılabilecektir. Yani ivme ölçer montajına oldukça özen gösterilmelidir.

İvme ölçerler tiplerine ve kullanım alanlarına göre farklı şekillerde sistemlere entegre edilebilirler. Sistem üzerinde kalıcı, yeri değiştirilmeyecek şekilde ölçüm alınması isteniyorsa; sistem üzerinde uygun delikler açılarak ivme ölçer vidalanarak sabitlenebilir. İvme ölçer ile aynı sistemde farklı yerlerden ölçüm alınacak ya da sistem üzerinde vida deliği istenmiyor ise ivme ölçer uygun yapıştırıcı malzeme ile istenilen yerlere monte edilebilir. Bu durumda ivme ölçer farklı bir noktaya taşınırken yapıştırıcı malzemeden temizlenmesi düşünülerek yapıştırıcı malzemenin seçimine dikkat edilmelidir.

İvme ölçer entegre edileceği sistemden elektriksel olarak izole olması isteniyorsa, sistem ile montajı arasında izole cıvata ya da plastik malzeme kullanılabilir. İvme ölçer entegre edileceği sistemin şasesine elektriksel olarak doğrudan temas etmesi isteniyorsa montaj malzemesi olarak metal, bakır cıvata ve malzemeler kullanılabilir.

İvme ölçerler, kullanım kılavuzları veya teknik veri paketlerinde yer alan çevre koşullarına uygun olarak çalıştırılmakta veya muhafaza edilmelidirler. Bu çevre koşullarından bazıları; belirli yüksek sıcaklık altında çalışma, belirli yüksek sıcaklık altında depolama, belirli düşük sıcaklık altında çalışma, belirli düşük sıcaklıkta depolama, belirli şok altında çalışma, nem, belirli irtifada çalışma ve benzeridir.

Piyasada yaygın olarak kullanılan ivme ölçerlerin çoğu oldukça kararlı çalışmaktadır. Ancak yine de kalibrasyon her elektronik cihaz için önemli olduğu gibi ivme ölçer için de vazgeçilmez bir kısıttır. İvme ölçer; zamanla çevre koşullarından veya elektronik etkilerden dolayı ilk çalışma zamanı kadar doğru sonuçlar elde edemeyebilir. Bu gibi durumların önüne geçmek ve sistemin düzgün olarak çalışmaya devam ettiğinden emin olmak için belirli aralıklarla ivme ölçerinin kalibrasyonu oldukça önemlidir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında alt başlıklarda anlatılacak olan aşağıdaki 4 farklı elektronik kart kullanılmıştır.

1. MPU6050 İvme ve Jiroskop Sensörü Kartı
2. Arduino Mega2560 İşlemci Kartı
3. ESP32 İşlemci Kartı
4. Lojik Gerilim Seviye Dönüştürücü Kartı

Tez çalışmasında kullanılan yukarıda belirtilen kartların tamamı birlikte bir sistem olarak düşünüldüğünde, bu sistemin teknik özellikleri Çizelge 3.1’de verilmektedir.

Çizelge 3.1 Tez Donanımı Teknik Özellikleri

Teknik Özellik	Açıklama / Teknik Veri
Mikrodenetleyici	ATmega2560 ve Tensilica Xtensa 32-bit LX6 mikroişlemci
İvme Ölçümü	3 Eksen
Çalışma Gerilim Aralığı (Önerilen)	7 – 12 Volt
Çalışma Gerilim Aralığı (Limit)	6 – 20 Volt
Dijital Giriş / Çıkış Pinleri	54 (14 ü PWM Çıkışı) + 36
Analog Giriş Pinleri	16 + 6
Toplam Güç Tüketimi	4W (0.443 Amper @ 9 Volt)
Saat (Clock) Hızı	16 MHz (Arduino), 40 Mhz(ESP32)
UART	4 + 2
Wifi	Evet (802.11 b/g/n/e/i (802.11n @ 2.4 GHz up to 150 Mbit/s))
Bluetooth	Evet (v4.2 BR/EDR and Bluetooth Low Energy (BLE))
Sıcaklık Sensörü	Evet
Çalışma Sıcaklığı	-40°C / 85°C

Çizelge 3.1'deki çalışma sıcaklık değeri için; MPU6050 İvmeölçer, ESP32 İşlemcisi, Atmega2560 İşlemcisi ve CH340 Usb Seri haberleşme dönüştürücü entegresi teknik veri dokümanları referans alınmıştır.

3.1 MPU6050 İvme ve Jiroskop Sensör Kartı Genel Özellikleri

MPU6050 İvme ve Jiroskop Sensör Kartı robotik, hava araçları ve denge robotları gibi çeşitli uygulamalarda kullanılan 3 eksenli gyro ve 3 eksenli açısız ivme ölçere sahip 6 eksenli IMU sensör kartıdır.

Uzayda hareket halindeki bir cismin üstünde oluşan 3 eksen ivme ve 3 eksen dönme kuvvetini ölçmek için iki tip sensörden oluşan “Inertial Measurement Unit (IMU)” adı verilen cihazlar kullanılır. Bu cihazlar günümüzde uzay araçları, insansız hava araçları gibi bir çok hareketli platformun hareketinin stabilize edilmesinde kullanılmaktadır. IMU, ana işlemciye gönderilen açısız hız ve doğrusal ivme verisini tek bir modülde toplayan elektronik bir birimdir. IMU temelde iki ayrı sensör içerir. Bunlardan biri ivmeölçer, diğeri ise jiroskoptur. İvmeölçer üç eksenle üç ayrı analog sinyal üretir. İtici sistemden ve fiziksel limitlerden dolayı, ivme ölçen bu sensörlerdeki en önemli durum yer çekiminden etkilenmeleridir. Sensör sürekli olarak yer çekiminin etkisinde kalır. Ölçü skalası olarak bir, iki veya üç eksenle ölçüm yapabilen türevleri vardır. Bunlar $\pm 1g$, $\pm 2g$, $\pm 4g$ vb. gibi değerler ile ifade edilmektedir (Yelis, 2016).

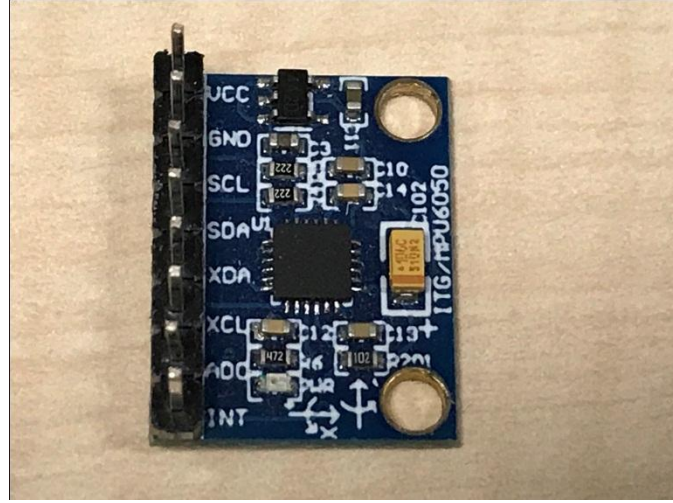
IMU'nun içinde bulunan ikinci sensör ise jiroskoptur. Türkçe ifade ile kullanırsak dönüölçer diyebiliriz. Basitçe düşünülürse bir tekerleğin ekseni etrafında hızlıca döndürülmesi ile oluşur. Tekerleğin etrafındaki çembere dik açıyla tutturulan başka bir çember vardır. Bu çemberlere dik açıyla tutturulmuş başka bir çember jiroskobu temsil eder. Jiroskobun temelde iki özelliği vardır. Yatay eksenle dönmekte olan bir jiroskoba yatay eksenle bir kuvvet uygulandığında eksen etrafında dönmeye başlar. Diğeri özelliği ise jiroskobun dönüş eksenine sabit kalmasıdır. Bu özellik sayesinde uydular sürekli dünyaya dönük kalır veya otopilot uygulamalarda işe yarar (Yelis, 2016).

Jiroskop ve ivmeölçer tek başlarına güvenli ve stabil veriler sağlayamazlar. Bu yüzden birbirlerini referans alarak iki sensör birleştirilir ve hız, pozisyon gibi bilgiler tek bir birimden yani IMU'dan alınır. Degrees of Freedom (DOF) terimi IMU'nun serbestlik derecesini niteler. 3 eksen gyro ve 3 eksen ivmeölçerli bir IMU 6 DOF olarak ifade edilir (Yelis, 2016).

Jiroskop ve ivmeölçer tek başlarına kullanıldığında belirli bir süre sonra kayma yaparlar. Örneğin 5 saniye sonra 1 derece kayabilir ölçümler ve bu nedenle hassas ölçümlerde kullanılamazlar. En ufak titreşimlerde çok yüksek gürültü oluşturan ivmeölçerler ile birlikte jiroskop kullanıldığında bu gürültüler filtrelenir. IMU'da ise jiroskoplar bu kuvvetlerden etkilenmediklerinden referans olarak ivmeölçerler ile birlikte kullanılırlar. Filtreleme için çeşitli algoritmalar vardır. Bunlardan en popülerleri Kalman Filtresi'dir (Yelis, 2016).

İvme ölçer cep telefonu ve tablet gibi mobil cihazların vazgeçilmez sensörlerinden birisidir. İvme ölçer sensörler, telefonun veya tabletin yatay konumda tutulduğunda kameranın yatay durması, dik tutulduğunda ise kameranın dik pozisyona gelmesini sağlar. Ayrıca özellikle yarış oyunlarında (araba veya motor yarışlarında) telefonu hareket ettirerek karakterin yatay ekseninde hareket ettirilmesini sağlar. İvme ölçer sensörü telefonun hareketlerini eksen tabanında takip eder (Anonim, 2018).

Akıllı telefonlarda bulunan adım sayar gibi uygulamalarda ivme ölçer sensörü telefonun yere yaklaşım inişlerini adım olarak hesaplar ve size adım sayınızı verir. Modül üzerinde X ve Y eksenlerini gösteren işaretler mevcuttur (Anonim, 2018).



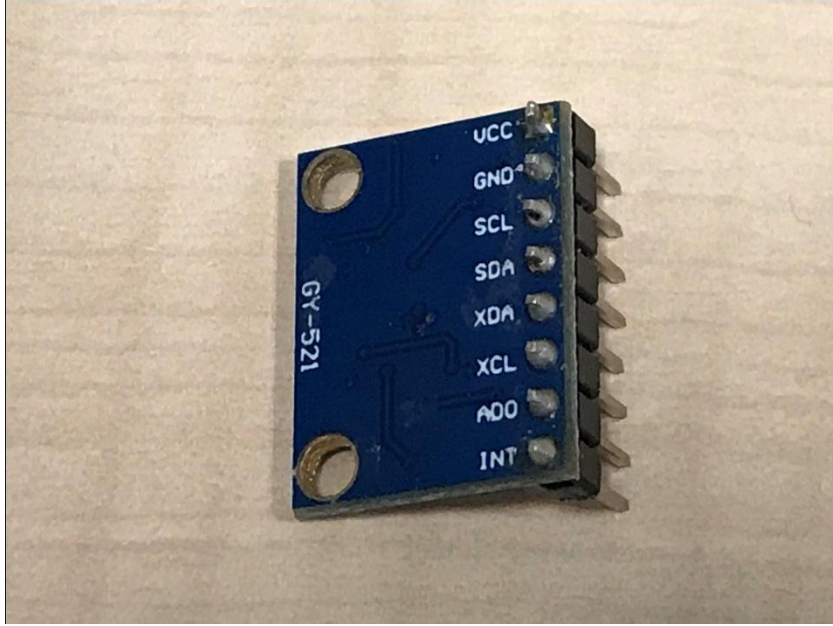
Şekil 3.1 MPU6050 Ön Görünümü

MPU6050 ivme ve jiroskop sensör kartı üst görünümü Şekil 3.1’de verilmektedir. MPU6050 ivme ve jiroskop sensör kartı boyutları 1,5 x 2 cm ölçülerindedir. MPU6050 ivme sensörü kartı üzerinde yer alan pinler arasındaki boşluk standart olarak ayarlanmıştır. Bu yüzden MPU6050 piyasada bulunan diğer standart elektronik kartlar veya devre arayüzleri ile kolaylıkla kullanılmaktadır. MPU6050 ivme ve jiroskop sensör kartının pin arayüzü Çizelge 3.2’de verilmektedir.

Çizelge 3.2 MPU6050 Pin Arayüzü

Pin Numarası	Pin Tanımı
1	VCC
2	GND
3	CSL
4	SDA
5	XDA
6	XCL
7	AD0
8	INT

MPU6050 ivme ve jiroskop sensörü alt yüzeyinde hiçbir elektronik eleman yer almamaktadır. MPU6050 ivme ve jiroskop sensörünün arka görünümü Şekil 3.2’de verilmektedir.



Şekil 3.2 MPU6050 Arka Görünümü

MPU6050 ivme ve jiroskop sensörü 3 ile 5 Volt aralığında çalışabilmektedir. MPU6050 ivme ve jiroskop sensörünün teknik özellikleri Çizelge 3.3'de verilmektedir.

Çizelge 3.3 MPU6050 Teknik Özellikleri

Özellik	Değer
Çalışma Gerilimi	3 – 5 Volt arası
Gyro Ölçüm Aralığı	+ 250 500 1000 2000 ° / s
Açısal ivme ölçer ölçüm aralığı	$\pm 2 \pm 4 \pm 8 \pm 16$ g
Haberleşme	I2C
Çözünürlük	16 Bit

MPU6050 ivme sensörü kartı birinci (VCC) ve ikinci (GND) pinleri üzerinden DC gerilim ile beslenmektedir. Kart; üzerinde voltaj regülatörü bulunduğu için güç girişi gerilimi olarak 3V ile 5V arası bir besleme voltajı ile çalıştırılabilir. MPU6050 ivme sensörü kartı çoğu uygulamada 5 Volt besleme voltajı ile çalıştırılmaktadır. Bunun sebebi 5 Volt seviyesindeki gerilimin MPU6050 ivme sensörü kartının haberleştirileceği diğer elektronik kartlar üzerinde yaygın olarak bulunmasıdır.

MPU6050 ivme sensörü; üçüncü (SCL) ve dördüncü (SDA) pinleri üzerinden I2C protokolünü kullanarak dış dünya ile haberleşme sağlamaktadır.

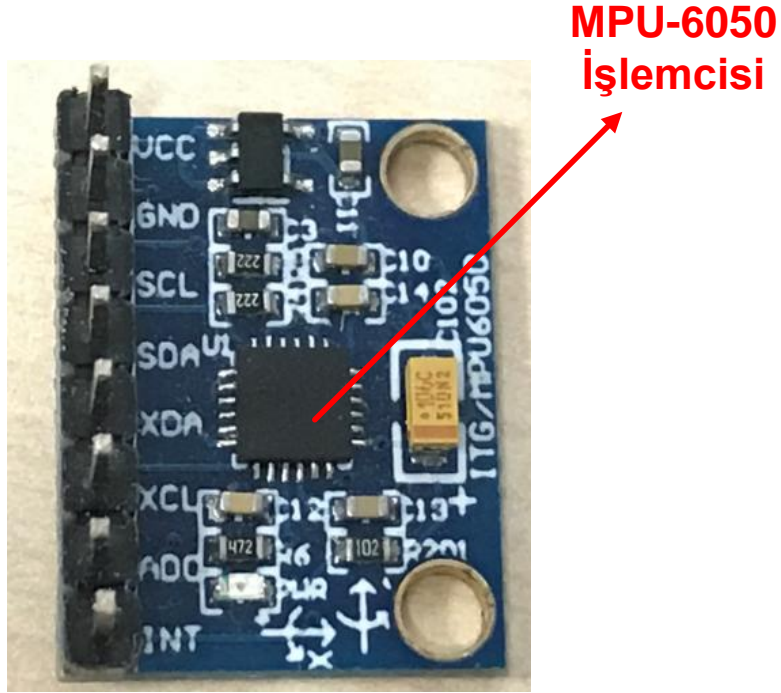
Arduino, diğer Arduino veya sensörlerle haberleşmek için bazı haberleşme protokolleri kullanır. Bu protokollerden birisi de I2C'dir. I2C (Inter-Integrated Circuit), seri haberleşme türlerinden senkron haberleşmeye bir örnektir. MPU6050; I2C protokolünü destekleyen bir karttır. Bu nedenle arduino bağlantısı yapılırken I2C protokolünü destekleyen arduino pinlerine bağlanmalıdır. I2C pinleri arduino modeline göre farklılık gösterebilmektedir. Çizelge 3.4'de arduino çeşitlerine göre I2C protokolünü destekleyen arduino pinleri gösterilmiştir (Anonim, 2018).

Çizelge 3.4 Arduino I2C Pin Arayüzü

Arduino Tipi	SDA Pini	SCL Pini
Uno	A4	A5
Nano	A4	A5
Leonardo	2	3
Due	20	21
Mega	20	21

MPU-6050, tek bir entegrede bir MEMS (Mikroelektromekanik Sistem) Hızlanma Ölçer ve MEMS Jiroskopu içeren bir IMU Sensördür. Burada, IMU, Atalet Ölçüm Birimi (Inertial Measurement Unit) anlamına gelen IMU Sensörü, İvmeölçer'i kullanarak belirli kuvveti ölçen, jiroskop kullanılarak açısal hızı ve Manyetometreleri kullanarak manyetik alanı ölçen bir cihazdır (Topçu, 2017).

MPU-6050, 3 eksenli bir ivmeölçer ve 3 eksenli bir Jiroskopu tek bir entegre üzerinde birleştiren altı eksenli bir hareket izleme sensörüdür (Topçu, 2017).



Şekil 3.3 Kart üzerindeki MPU6050 Entegresi

MPU60 ivme ve jiroskop sensörü kartı üzerinde Şekil 3.3’de belirtildiği üzere bir adet işlemci bulunmaktadır.

MPU-6050, InvenSense tarafından geliştirilen altı eksenli bir hareket izleme cihazıdır. MPU6050 cihazının temel özellikleri aşağıda belirtilmiştir (Topçu, 2017).

1. Üç eksenli İvme Ölçer
2. Üç eksenli Jiroskop
3. Dijital Çıkış Sıcaklık Sensörü
4. Altı adet 16 bit ADC
5. Tümüleşik Dijital Hareket İşlemci (DMP)
6. 1024B FIFO Arabelleği

Dijital Hareket İşlemcisi veya DMP, Accelerometer, Jiroskop ve bir harici Magnetometre’den veri edinerek ve işleyerek bir Arduino gibi ana işlemciden hesaplama yükünü azaltabilen gömülü bir işlemcidir. Bu DMP’nin kullanımı, sensörlerden gelen veriler üzerinde karmaşık hesaplamalar yapmak için bir yazılım ile programlanabilmesidir.

MPU6050'nin sahip olduğu 1024 Byte FIFO arabelleği dolduğunda ivme sensörünün çalışmaya devam edebilmesi için Kesme (interrupt) özelliği Arduino'yu göstermek (veya kesmek (interrupt) için) kullanılır (Topçu, 2017).

MPU6050 ivme ve jiroskop sensörü üzerindeki işlemci 24 adet pine sahiptir. MPU6050 İşlemcisi pin arayüzü Çizelge 3.5'de verilmektedir.

Çizelge 3.5 MPU6050 İşlemci Pin Arayüzü

Pin No	Pin Adı	Açıklama
1	CLKIN	Opsiyonel Harici Saat(clock) Girişi
6	AUX_DA	I2C Seri Veri (Master)
7	AUX_CL	I2C Seri Saat (Clock, Master)
8	VLOGIC	Dijital Giriş / Çıkış Beslemesi
9	AD0	I2C Adresi (Slave)
10	REGOUT	Kapasite Bağlantı Pini (Regülasyon için)
11	FSYNC	Dijital Giriş (Frame Senkronizasyon için)
12	INT	Interrupt Dijital Çıkışı
13	VDD	Güç Girişi (+)
18	GND	Güç Girişi (-)
19, 21	RESV	Bağlantısı olmayan ayrılmış pinler
20	CPOUT	Kapasite Bağlantı Pini
22	RESV	Bağlantısı olmayan ayrılmış pin
23	SCL	I2C Seri Saat
24	SDA	I2C Seri Veri
2, 3, 4, 5, 14, 15, 16, 17	NC	PCB bağlantısı için kullanılan pinler, herhangi bir bağlantıları yok.

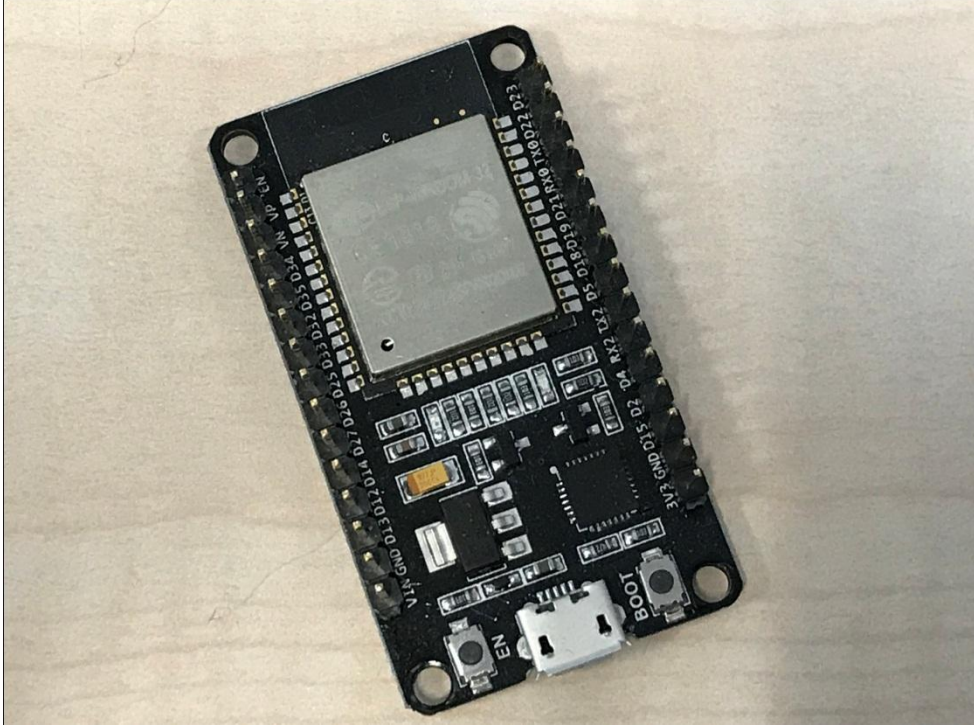
3.2 ESP32 İşlemci Kartı Genel Özellikleri

Arduino işlemci kartları ile interneti kullanarak yapılan uygulamalar 2014 yılı öncesine kadar yüksek maliyetli modüller ile sağlanabiliyordu. Bu durum kişisel uygulamalar yapan insanların bütçelerini olumsuz etkiliyordu. Ayrıca bu modüllerin programlanması kolay olmamakla beraber modülün boyutları da epey büyüktü. Espressif firması 2014'te ESP8266 modülünü üreterek kişisel uygulamaların internete kolaylıkla bağlanabilmesini sağlamıştır. ESP8266 modülü boyut olarak hem çok küçük ebatlarda hem de fiyat olarak da çok maliyetli değildir.

ESP8266, wifi özelliğine sahip küçük bir modüldür. ESP8266 fiyat ve boyut olarak uygun olmasına rağmen ileri seviye uygulamalar için yetersiz kalmaktadır. Ayrıca yapılacak uygulamada ESP8266 sürekli çalıştırılacaksa, modülün soğutulması göz önünde bulundurulmalıdır.

2016 yılının sonu, 2017 yılının başında Şangay merkezli Çinli bir şirket olan Espressif ESP8266'nın ileri modeli olarak düşünülebilecek olan ESP32 işlemci kartını üretmeye başladı. ESP32 ile telefon ya da bilgisayar ile haberleşebilen bir IoT cihazı tasarımı kolaylıkla yapılabilir.

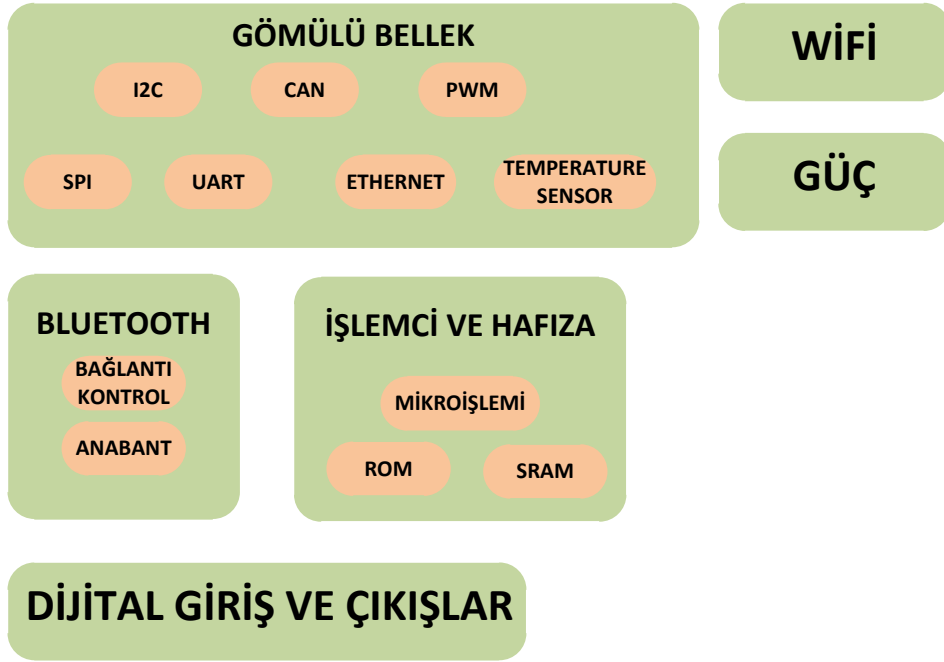
ESP32; Arduino işlemcilerine ya da uygulamalarına kolayca entegre edilebilmektedir. ESP32 İşlemcisi Arduino IDE yazılımı ile programlanabilmektedir. ESP32 işlemcisini geliştirme kartı olarak alınabilmekte olup bu yüksek lisans tez çalışmasında ESP32 geliştirme kartı kullanılmıştır.



Şekil 3.4 ESP32 Geliştirme Kartı Ön Görünümü

ESP32 geliştirme kartı üst görünümü Şekil 3.4’de verilmektedir. Seri üretime geçecek projeler için ilk prototip olarak ya da bireysel uygulamalar için ESP32 geliştirme kartının kullanılması daha uygun olmaktadır. İşlemcinin tüm giriş ve çıkışları kartın kenarlarında bulunan konnektörlere çıktığı için geliştirme aşaması daha kolay olmaktadır. ESP32 geliştirme kartı; mikro usb kablosu ile kolaylıkla bilgisayar usb girişine bağlanarak enerjilendirilebilmektedir. ESP32 geliştirme kartı üzerinde bir adet EN(enable) tuşu bulunmaktadır, bu tuşa basılarak ESP32 işlemcisi enerjisi kesilerek tekrar enerjilendirilmektedir (tekrar başlatma tuşu).

ESP32 geliştirme kartı için; “ESP32 Lite V1.00 Rev1” ya da “ESP32-DevKitC Geliştirme Kiti” tanımlamaları da yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 3.5 ESP32 Fonksiyonel Şema

ESP32 işlemcisi ve geliştirme kartı içerisinde birçok fonksiyonu barındırmakta olup, bu fonksiyonlarla ilgili blok şema Şekil 3.5’de verilmektedir.

ESP32 geliştirme kartında 1 adet Tensilica Xtensa LX6 mikroişlemci kullanılmaktadır. ESP32; 40 nm süreci kullanılarak üretilmiştir. ESP32; ESP8266 mikro denetleyicisinin bir ileri teknolojisidir. Espressif Systems tarafından geliştirilen ESP32

- Wi-Fi
 - Çift modlu Bluetooth özellikli
 - düşük maliyetli
 - düşük güç tüketen,
- mikrodenetleyicidir.

ESP32 geliştirme kartı alt görünümü Şekil 3.6'da verilmektedir. ESP32 geliştirme kartı boyutları 2,8 x 5 cm ölçülerindedir.



Şekil 3.6 ESP32 Geliştirme Kartı Arka Görünümü

ESP32 geliştirme kartında, 240 MHz'e kadar bir saat(clock) hızına sahip Tensilica Xtensa LX6 mikroişlemci vardır. ESP32 geliştirme kartı; mobil aygıtlar, giyilebilir teknolojiler ve IoT(Internet of things) uygulamalarına uygun, yüksek çözünürlüklü, çoklu güç modları ve dinamik güç ölçekleme gibi güç tasarrufu özellikleriyle ultra düşük güç tüketimine sahiptir. ESP32 geliştirme kartının teknik özellikleri Çizelge 3.6'de verilmektedir.

Çizelge 3.6 ESP32 Teknik Özellikleri

Teknik Özellik	ESP32
Mikrodenetleyici	Tensilica Xtensa 32-bit LX6 mikroişlemci
Çalışma Gerilimi	3.3 Volt
Çalışma Gerilim Aralığı	2.7 – 3.6 Volt
Çalışma Akımı	80 mA
GPIO	36
Dijital Giriş / Çıkış Pinleri	19
Analog Giriş Pinleri	6
Dahili Clock	40 Mhz
Saat (Clock) Hızı	160 MHz (240 MHz'e kadar)
ROM	448 KB
SRAM	512 KB
Flash Bellek	4 MB
SPI	4
I2C	2
UART	2
CAN	1
ADC	12 bit
Çalışma sıcaklığı	-40°C / 85°C
Wifi	802.11 b/g/n/e/i (802.11n @ 2.4 GHz up to 150 Mbit/s) (Evet)
Bluetooth	v4.2 BR/EDR and Bluetooth Low Energy (BLE) (Evet)
Sıcaklık Sensörü	Evet

ESP32 geliştirme kartı üzerindeki 2 sıra konektörde toplam 30 adet pin yer almaktadır. ESP32 geliştirme kartının pin arayüzü Çizelge 3.7’de verilmektedir.

Çizelge 3.7 ESP32 Pin Arayüzü

Pin No	Pin Tanımı	Açıklama
1	VIN	Güç Girişi (+5V / 2.7V)
2	GND	Güç Girişi (-)
3	D13	GPIO13 / EMAC_RX_ER / ADC2_CH4 / RTC_GPIO14 / Touch4 / MTCK / HSPI_MOSI / SD_DATA3 / HS2_DATA3
4	D12	GPIO12 / EMAC_TXD3 / ADC2_CH5 / RTC_GPIO15 / Touch5 / MTDI / HSPI_MISO / SD_DATA2 / HS2_DATA2
5	D14	GPIO14 / EMAC_TXD2 / ADC2_CH6 / RTC_GPIO16 / Touch6 / MTMS / HSPI_CLK / SD_CLK / HS2_CLK
6	D27	GPIO27 / EMAC_RXDV / ADC2_CH7 / RTC_GPIO17 / Touch7
7	D26	GPIO26 / EMAC_RXD1 / ADC2_CH9 / RTC_GPIO7 / DAC_2
8	D25	GPIO25 / EMAC_RXD0 / ADC2_CH8 / RTC_GPIO6 / DAC_1
9	D33	GPIO33 / ADC1_CH5 / RTC_GPIO8 / Touch8 / XTAL_32kHz
10	D32	GPIO32 / ADC1_CH4 / RTC_GPIO9 / Touch9 / XTAL_32kHz
11	D35	GPIO35 / VDET2 / ADC1_CH7 / RTC_GPIO5
12	D34	GPIO34 / VDET1 / ADC1_CH6 / RTC_GPIO4
13	VN	GPIO39 / SENSOR_VN / ADC1_CH3 / RTC_GPIO3 / ADC PA
14	VP	GPIO36 / SENSOR_VP / ADC1_CH0 / RTC_GPIO0 / ADC PA
15	EN	ENABLE (Chip enable signal, active high)

Çizelge 3.7 ESP32 Pin Arayüzü (Devam)

Pin No	Pin Tanımı	Açıklama
16	3V3	VDD 3V3
17	GND	GND (Güç Girişi (-))
18	D15	GPIO15 / EMAC_RXD3 / ADC2_CH3 / RTC_GPIO13 / Touch3 / MTD0 / HSPI_CSO / SD_CMD / HS2_CMD
19	D2	GPIO2 / ADC2_CH2 / RTC_GPIO12 / Touch2 / HSPIWP
20	D4	GPIO4 / EMAC_TX_ER / ADC2_CH0 / RTC_GPIO10 / Touch0 / HSPIHD / SD_DATA1 / HS2_DATA1
21	RX2	GPIO16 / EMAC_CLKOUT / U2_RXD / HS1_DATA4
22	TX2	GPIO17 / EMAC_CLKOUT180 / U2_TXD / HS1_DATA5
23	D5	GPIO5 / EMAC_RX_CLK / SPI_CS0 / HS1_DATA6
24	D18	GPIO18 / SPI_CLK / HS1_DATA7
25	D19	GPIO19 / EMAC_TXD0 / U0CTS / SPI_MISO
26	D21	GPIO21 / EMAC_TX_EN / I2C_SDA
27	RX0	GPIO3 / U0RXD / CLK OUT2
28	TX0	GPIO1 / EMAC_RX_D2 / U0TXD / CLK OUT3
29	D22	GPIO22 / EMAC_TX_D1 / U0RTS / I2C_SCL
30	D23	GPIO23 / SPI_MOSI / HS1_STROBE

3.3 Arduino Mega 2560 İşlemci Kartı Genel Özellikleri

Arduino; üzerinde modellerine göre 8 veya 32 bit mikrodnetleyicileri bulunan, kendi kütüphaneleri (Arduino kütüphaneleri) ile mikrodnetletiyicileri kolay bir şekilde programlanabilen, çevre elemanlara (sensör veya diğer elektronik kartlar) kolaylıkla entegre edilebilen açık kaynaklı bir geliştirme platformudur.

Arduino kartlarının donanımında bir adet Atmel AVR mikrodnetleyici (ATmega328, ATmega2560, ATmega32u4 gibi) ve programlama ve diğer devrelere

bağlantı için gerekli yan elemanlar bulunur. Her Arduino kartında en azından bir 5 voltluk regüle entegresi ve bir 16MHz kristal osilatör (bazılarında seramik rezonatör) vardır. Arduino kartlarında programlama için harici bir programlayıcıya ihtiyaç duyulmaz, çünkü karttaki mikrodenetleyiciye önceden bir bootloader programı yazılıdır (Anonim, 2018).

Genuino, Arduino'nun kardeş markasıdır. Arduino'nun eş kurucuları olan Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, ve David Mellis tarafından kurulmuştur. Birleşik Devletler dışında satılan Arduino ürünleri için kullanılan bir markadır. Genuino Uno, Genuino 101, Genuino Mega 2560, Genuino Zero ve Genuino Micro kartları bulunmaktadır. Bu kartlar ile Arduino versiyonları arasındaki tek fark marka ismindeki farklılıktır. Kartların bileşenleri ve özellikleri her birinin Arduino versiyonu ile aynıdır (Anonim, 2018).

Arduino geliştirme ortamı (IDE), Arduino bootloader (Optiboot), Arduino kütüphaneleri, AVR Dude (Arduino üzerindeki mikrodenetleyici programlayan yazılım) ve derleyiciden (AVR-GCC) oluşur (Anonim, 2018).

Arduino yazılımı bir geliştirme ortamı (IDE) ve kütüphanelerden oluşur. IDE, Java dilinde yazılmıştır ve Processing adlı dilin ortamına dayanmaktadır. Kütüphaneler ise C ve C++ dillerinde yazılmıştır ve AVR-GCC ve AVR Libc. ile derlenmiştir (Anonim, 2018).

Optiboot bileşeni Arduino'nun bootloader bileşenidir. Bu bileşen, Arduino kartlarının üzerindeki mikrodenetleyicinin programlanmasını sağlayan bileşendir (Anonim, 2018).

Arduino'nun bu kadar çok tercih edilmesini sağlayan en önemli bileşen ise mikrodenetleyici konusunda detaylı bilgi sahibi olmayı gerektirmeden herkesin programlama yapabilmesini sağlayan Arduino kütüphaneleridir. Arduino kütüphaneleri, geliştirme ortamı ile birlikte gelmekte ve "libraries" klasörünün altında bulunmaktadır. Kodları inceleyerek mikrodenetleyicilerin nasıl programlandığını ve kütüphanelerin yapısını görmemiz mümkündür. Son olarak AVR Dude bileşeni ise derlenen kodları programlamak için kullanılır (Anonim, 2018).

Arduino kartları (Arduino Uno, Arduino Mega 250, Arduino Leonardo... vs) Arduino IDE yazılımı ile programlanabilir, ancak farklı kartların farklı özellik ve fonksiyonları bulunmaktadır. Bu yüksek lisans tez çalışmasında Arduino Mega 2560 işlemci kartı kullanılmıştır.

Arduino Mega2560 işlemci kartı üst görünümü Şekil 3.7’de verilmektedir. Arduino Mega2560 işlemci kartı boyutları 5,2 x 10 cm ölçülerindedir.



Şekil 3.7 Arduino Mega 2560 Kartı Ön Görünümü

Arduino Mega 2560 işlemcisinin tüm giriş ve çıkışları kartın kenarlarında bulunan konnektörlere çıkmaktadır. Arduino Mega 2560 işlemci kartı; Arduino usb kablosu ile kolaylıkla bilgisayar usb girişine bağlanarak enerjilendirilebilmektedir. Arduino Mega 2560 işlemci kartı üzerinde bir adet RESET tuşu bulunmaktadır, bu tuşa basılarak Arduino Mega 2560 işlemcisi enerjisi kesilerek tekrar enerjilendirilmektedir (tekrar başlatma tuşu).



Şekil 3.8 Arduino Mega2560 Fonksiyonel Şema

Arduino Mega 2560 işlemci kartı içerisinde birçok fonksiyonu barındırmakta olup, bu fonksiyonlarla ilgili blok şema Şekil 3.8’de verilmektedir.

Arduino Mega 2560 kartında 1 adet ATmega2560 mikroişlemci kullanılmaktadır. Arduino Mega 2560; ATmega2560 (datasheet) tabanlı bir Arduino kartıdır. 54 dijital I/O pini vardır. Bunların 14 tanesi PWM çıkışı olarak kullanılabilir. 16 analog girişi, 4 UART (serial port), 16 MHz kristal osilatörü, USB bağlantısı, adaptör girişi, ICSP çıkışı ve bir reset butonu vardır. Arduino Mega 2560; Arduino Mega’nın yerini alan gelişmiş versiyonudur (Alpat, 2012).

Arduino Mega 2560 işlemci kartı üzerinde yer alan voltaj regülatörü sayesinde 6-20 Volt aralığında çalışabilmektedir. Arduino Mega 2560 işlemci kartının teknik özellikleri Çizelge 3.8’de verilmektedir.

Çizelge 3.8 Arduino Mega 2650 Teknik Özellikleri

Teknik Özellik	Arduino Mega 2560
Mikrodenetleyici	ATmega2560
Çalışma Gerilimi	5 Volt
Çalışma Gerilim Aralığı (Önerilen)	7 – 12 Volt
Çalışma Gerilim Aralığı (Limit)	6 – 20 Volt
Dijital Giriş / Çıkış Pinleri	54 (14 ü PWM Çıkışı)
Analog Giriş Pinleri	16
Giriş Çıkış Pinleri Akımı	40 mA
3.3V Pini Akımı	50 mA
Saat (Clock) Hızı	16 MHz
EEPROM	4 KB
SRAM	8 KB
Flash Bellek	256 KB (8 KB'ı bootloader kullanmaktadır.)
UART	4
Uzunluk x Genişlik	101,52 mm x 53,3 mm
Ağırlık	37 gram

Arduino Mega 2560 işlemci kartı, Arduino usb kablosu ile beslenebildiği gibi uygun gerilim seviyesine sahip harici bir adaptör veya pil ile de enerjilendirilebilir.

Kart 6-20V arasında bir harici kaynaktan beslenebilir. Eğer 7V'un aşağısında besleme kullanılırsa 5V çıkış pini 5V veremez ve kart dengesiz çalışabilir. 12V'tan yukarı bir harici güç kaynağı kullanılırsa voltaj regülatörü fazla ısınıp karta zarar verebilir. Dolayısıyla 7 ila 12 Volt kullanılması önerilir (Alpat, 2012).

Arduino Mega2560 'ın diğer kartlardan farkı FTDI USB-to-serial sürücü entegresi kullanılmamış olmasıdır. USB-to-Serial entegresi yerine ATmega16U2 USB-to-serial dönüştürücü olarak programlanmıştır (Alpat, 2012).

Arduino Mega 2560 işlemci kartının pin arayüzü Çizelge 3.9’da verilmektedir.

Çizelge 3.9 Arduino Mega 2560 Pin Arayüzü

Pin Grubu	Pin Tanımı	Açıklama
GÜÇ (POWER)	5V	5 Volt Güç Çıkışı
	RESET	Tekrar Başlatma Girişi
	3.3V	3.3 Volt, 50 mA güç çıkışı
	5V	5 Volt Giriş veya Çıkış
	GND	Güç Girişi (-)
	GND	Güç Girişi (-)
	VIN	7-12 Volt Giriş veya Çıkış
	AREF	Analog Sinyal Referans Voltajı
ANALOG GİRİŞ (ANALOG IN)	A0, A1.. A15	Analog Pin 0,1,..15 / Dijital Pin 54,55,..69
HABERLEŞME (COMMUNICATION)	TX0, RX0, TX3, RX3, TX2, RX2, RX1, TX1, SDA, SCL	Dijital pin 0,1 ve 14,15,..21 / Haberleşme Pinleri
PWM	2,3,4,..13	Dijital Pin 2,3,..13 / PWM
Dijital Giriş Pinleri	22,23,24,..43 47, 48, 49	Dijital Pin 22,23,..43 Dijital Pin 47,48,49
Dijital Giriş Pinleri / PWM	44, 45, 46	Dijital Pin 44,45,46 / PWM
Dijital Giriş Pinleri / SPI	50, 51, 52, 53	Dijital Pin 50, 51, 52, 53 / SPI

54 dijital giriş çıkış pinlerinin hepsi `pinMode()`, `digitalWrite()`, ve `digitalRead()` fonksiyonları kullanılarak giriş veya çıkış olarak kullanılabilir. 5 voltta çalışırlar ve her pin maksimum 40mA giriş veya çıkış sağlar. Pinlerde 20-50 kOhm pull-up dirençleri (normalde bağlantısız) vardır. Bu pinlerin haricinde özel görevi olan pinler de mevcuttur:

- **Seri: 0 (RX) ve 1 (TX); Serial 1: 19 (RX) ve 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) ve 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) ve 14 (TX).** Seri data almak (RX) ve göndermek (TX) için kullanılır.
- **Harici Kesme: 2 (interrupt 0), 3 (interrupt 1), 18 (interrupt 5), 19 (interrupt 4), 20 (interrupt 3), and 21 (interrupt 2).** Bu pinler harici kesmeler için kullanılır, düşen kenar, yükselen kenar kesmeleri, interrupt on change kesmeleri gibi... attachInterrupt() fonksiyonunun kullanılarak hangi interruptın ne şekilde kullanılacağı belirtilir.
- **PWM: 0 to 13.** 8-bit PWM çıkış verir. analogWrite() fonksiyonu kullanılır.
- **SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS).** Bu pinler SPI kütüphanesi kullanılarak SPI iletişim kurulmasını sağlar. SPI pinleri aynı zamanda ICSP headerdan da kullanılır.
- **LED: 13.** 13 nolu pinde bir LED bulunmaktadır. Çıkış High edildiğinde LED yanar, LOW edildiğinde söner.
- **TWI: 20 (SDA) and 21 (SCL).** Wire kütüphanesi kullanılarak TWI iletişim sağlayabilir (Alpat, 2012).

Mega2560'ın her biri 10 bit çözünürlükte 16 analog girişi bulunur. Default olarak 0-5V aralığında çalışırlar ama AREF pini ve analogReference() fonksiyonuyla referans gerilim aralığı değiştirilebilir (Alpat, 2012).

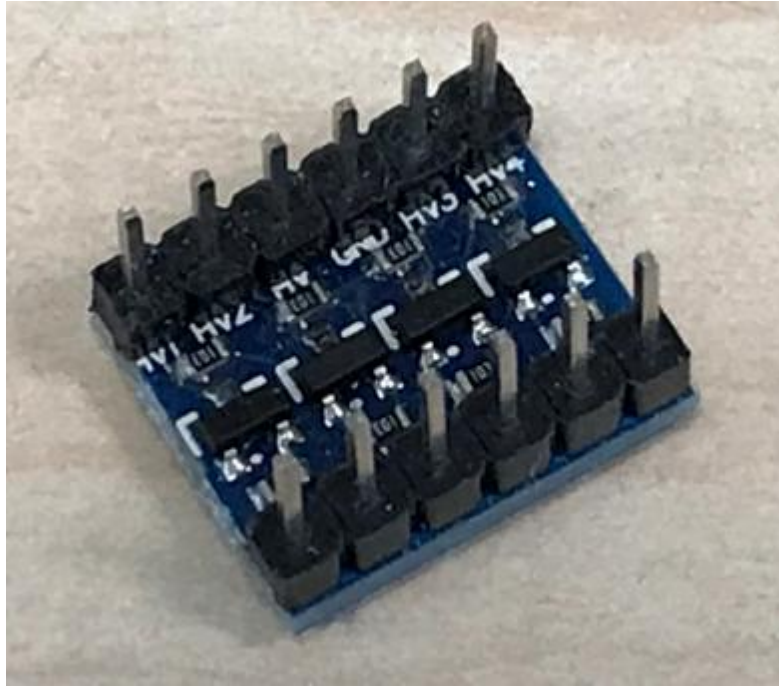
Arduino Mega2560'ın aynı zamanda USB aşırı akım koruması da vardır. Normalde her bilgisayarda bu koruma bulunur ama ek olarak Mega2560'a 500mA'in üzerinde akım uygulanırsa atacak bir sigorta bulunmaktadır (Alpat, 2012).

3.4 Lojik Gerilim Seviye Dönüştürücü Kartı Genel Özellikleri

İki adet farklı işlemcinin birbirleriyle seri kanal üzerinden (RS232, RS422, RS485 vb.) haberleşmesi istenildiğinde, her iki işlemcinin haberleşme pinleri sinyal seviyelerinin eşit olması gerekmektedir. Bu tez çalışmasında kullanılan ESP32 geliştirme kartında yer alan işlemcinin sinyal seviyesi 3.3 Volt iken, Arduino Mega 2560 kartında yer alan işlemcinin sinyal seviyesi 5 Volt'tur. ESP32 ile Arduino Mega 2560 kartları

haberleşmelerine birbirine doğrudan bağlantısı yapıldığında, iki işlemcinin sinyal seviyeleri farklı olduğu için iki kart haberleşmemektedir.

ESP32 ve Arduino Mega2560 İşlemcileri aynı sinyal seviyelerine sahip olmadığı için, bu iki işlemci arasında haberleşmenin kurulması için sinyal seviyelerinin eşitlenmesi gerekmektedir. Bu eşitleme işlemi Şekil 3.9'da yer alan lojik gerilim seviye dönüştürücü kartı ile sağlanmaktadır.



Şekil 3.9 Lojik Gerilim Seviye Dönüştürücü Kartı Ön Görünümü

Lojik Gerilim Seviye Dönüştürücü Kartı ile ESP32 ve Arduino Mega2560 İşlemcileri arasında kurulacak olan RS232 haberleşmesi için sinyal seviyeleri eşitlenmesi sağlanacaktır. Lojik gerilim seviye dönüştürücü kartı arka görünümü Şekil 3.10'da yer almaktadır.



Şekil 3.10 Lojik Gerilim Seviye Dönüştürücü Kartı Arka Görünümü

Lojik gerilim seviye dönüştürücü kartı üzerinde 2 adet konektörde toplam 12 adet pin yer almaktadır. Lojik gerilim seviye dönüştürücü kartının pin arayüzü Çizelge 3.10'da verilmektedir.

Çizelge 3.10 Lojik Gerilim Seviye Dönüştürücü Kartı Pin Arayüzü

Pin Tanımı	Açıklama
HV1	Yüksek Gerilim Seviyesindeki 1. Sinyal
HV2	Yüksek Gerilim Seviyesindeki 2. Sinyal
HV	Yüksek Gerilim Seviyesi (+)
GND	Yüksek Gerilim Seviyesi (-)
HV3	Yüksek Gerilim Seviyesindeki 3. Sinyal
HV4	Yüksek Gerilim Seviyesindeki 4. Sinyal
LV1	Düşük Gerilim Seviyesindeki 1. Sinyal
LV2	Düşük Gerilim Seviyesindeki 2. Sinyal
LV	Düşük Gerilim Seviyesi (+)
GND	Düşük Gerilim Seviyesi (-)
LV3	Düşük Gerilim Seviyesindeki 3. Sinyal
LV4	Düşük Gerilim Seviyesindeki 4. Sinyal

4. YAZILIM ÖZELLİKLERİ

Bu tez çalışmasında alt başlıklarda anlatılacak olan aşağıdaki 5 farklı yazılım kullanılmıştır.

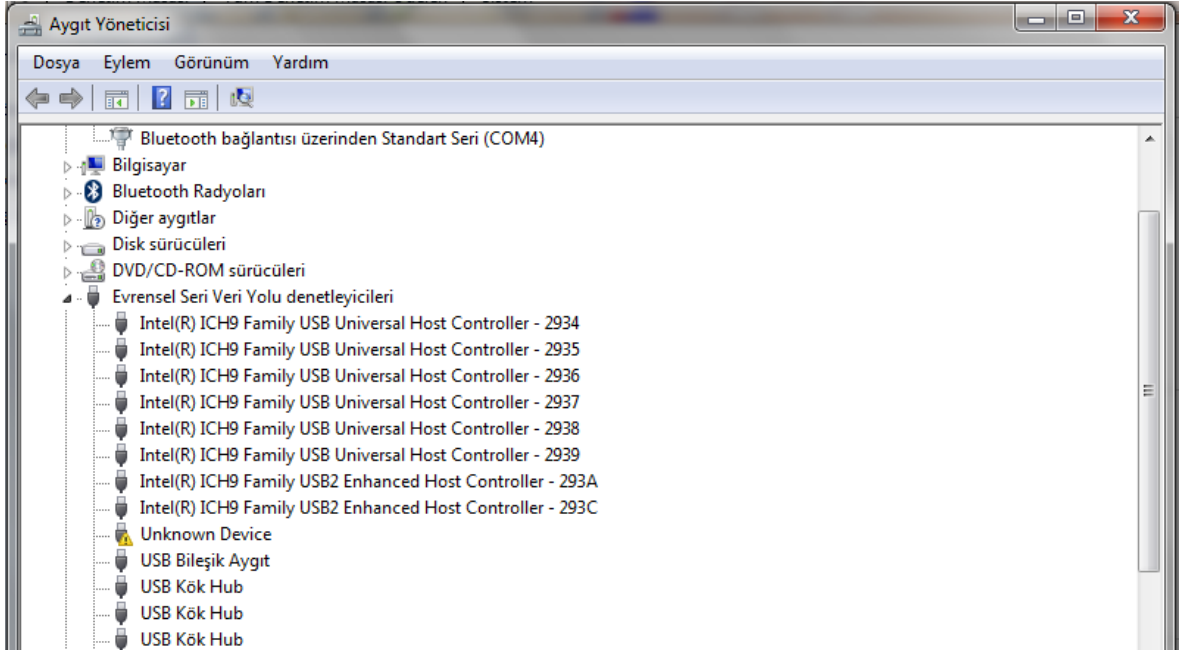
1. Arduino İşlemciler İçin CH340 Sürücü Yazılımı
2. ESP32 Geliştirme Kartı İçin CP210 Sürücü Yazılımı
3. Arduino IDE 1.8.3 Yazılımı
4. Hercules Yazılımı
5. Microsoft Office Excel

4.1 Arduino İşlemciler İçin CH340 Sürücü Yazılımı

Arduino işlemci kartları üzerinde bilgisayar ile bağlantının kolaylıkla sağlanması için USB bağlantısı bulunmaktadır. Arduino işlemcisinin seri haberleşmesinin (UART) USB'ye dönüştürülmesi kart üzerindeki bir entegre ile sağlanmaktadır. Orijinal Arduino kartlarında bu dönüşüm işlemini Atmega16u2 parça numaralı entegre yapmaktadır. Orijinal olmayan klon kartlarda Atmega16u2 entegresi yerine CH340 isimli bir entegre mevcuttur. CH340 entegresi fonksiyonel olarak Atmega16u2 entegresi ile tamamen aynıdır, sadece CH340 fiyatı sebebiyle klon kartlarda tercih edilmektedir.

Arduino kartı; Arduino USB kablosuyla bir bilgisayara(Arduino çalıştırılmamış) ilk kez bağlandığında CH340 driver'ı bilgisayarda yüklü olmadığı için Arduino Kartı bilgisayar tarafından tanınmamaktadır.

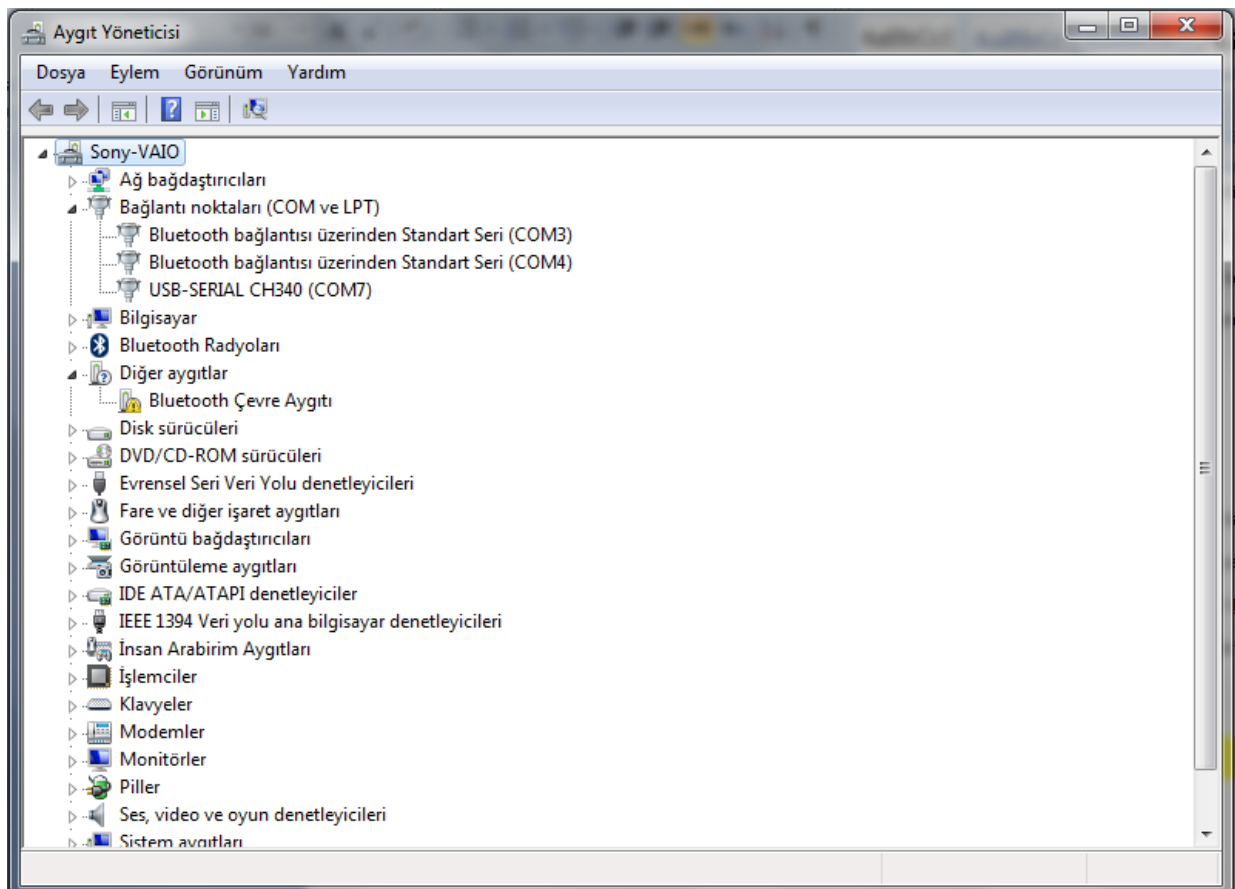
Arduino Kartını bilgisayara bağladıktan sonra; Masaüstü // Bilgisayar // Sağ Tık // Özellikler // Aygıt Yöneticisi açıldığında Şekil 4.1'deki gibi Sürücü (driver) Hatası vermektedir. Şekil 4.1'de görüldüğü üzere Arduino kartı için sürücü yüklenememiş ve hata mesajı üretilmektedir.



Şekil 4.1 Arduino Sürücü (Driver) Hata Ekranı

İnternet yardımıyla kolayca bulunabilen ch340 veya ch341 sürücü dosyası indirilebilmektedir. CH341 dosyası içerisindeki kurulum (setup) dosyası çalıştırılıp çıkan pencereden yükle (install) butonuna basılarak CH340 sürücüsünün bilgisayara yüklenmesi tamamlanmaktadır.

Sürücü yükleme işlemi tamamlandıktan sonra bilgisayar tekrar açılıp kapatılarak program değişikliğinin bilgisayara yansıtılması tamamlanmalıdır. Bilgisayar tekrar açıldığında Arduino kartını bilgisayara bağladıktan sonra; Masaüstü // Bilgisayar // Sağ Tık // Özellikler // Aygıt Yöneticisi açıldığında Şekil 4.2'deki gibi kartın sürücüsünün yüklendiği ve "Bağlantı Noktaları" başlığı altında "USB-SERIAL CH340 (COM7)" şeklinde yer aldığı görülmektedir. COM7; Arduino kartının kullandığı COM portun numarasını göstermektedir. COM portu numarası; bilgisayardan bilgisayara ve aynı bilgisayarın farklı usb girişlerinde farklılık göstermektedir.



Şekil 4.2 Arduino Sürücü (Driver) Yükleme Başarılı Ekranı

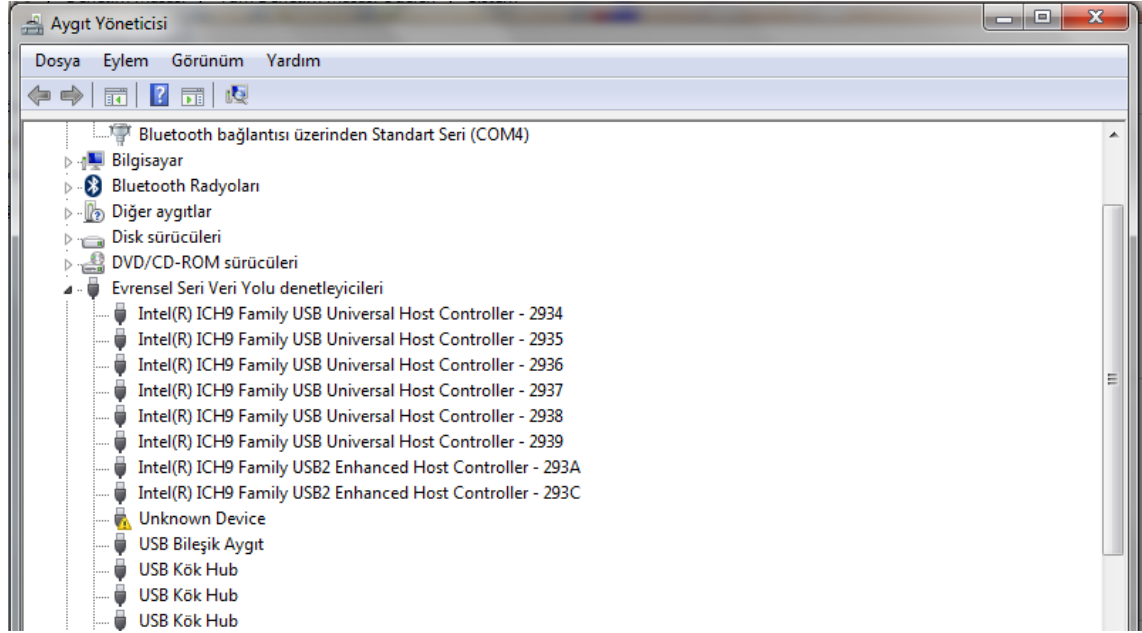
4.2 ESP32 Geliştirme Kartı İçin CP210 Sürücü Yazılımı

ESP32 geliştirme kartı üzerinde bilgisayar ile bağlantının kolaylıkla sağlanması için USB bağlantısı bulunmaktadır. ESP32 İşlemci Kartı üzerindeki USB bağlantıyı; seri UART bağlantıya dönüştürmek için CP210 sürücüsüne ihtiyaç duymaktadır.

ESP32 İşlemci Kartı; Mikro USB kablosuyla bir bilgisayara (ESP32 çalıştırılmamış) ilk kez bağlandığında CP210 driver'ı bilgisayarda yüklü olmadığı için ESP32 İşlemci Kartı bilgisayar tarafından tanınmamaktadır.

ESP32 İşlemci Kartını bilgisayara bağladıktan sonra; Masaüstü // Bilgisayar // Sağ Tık // Özellikler // Aygıt Yöneticisi açıldığında Şekil 4.3'deki gibi Sürücü (driver) Hatası

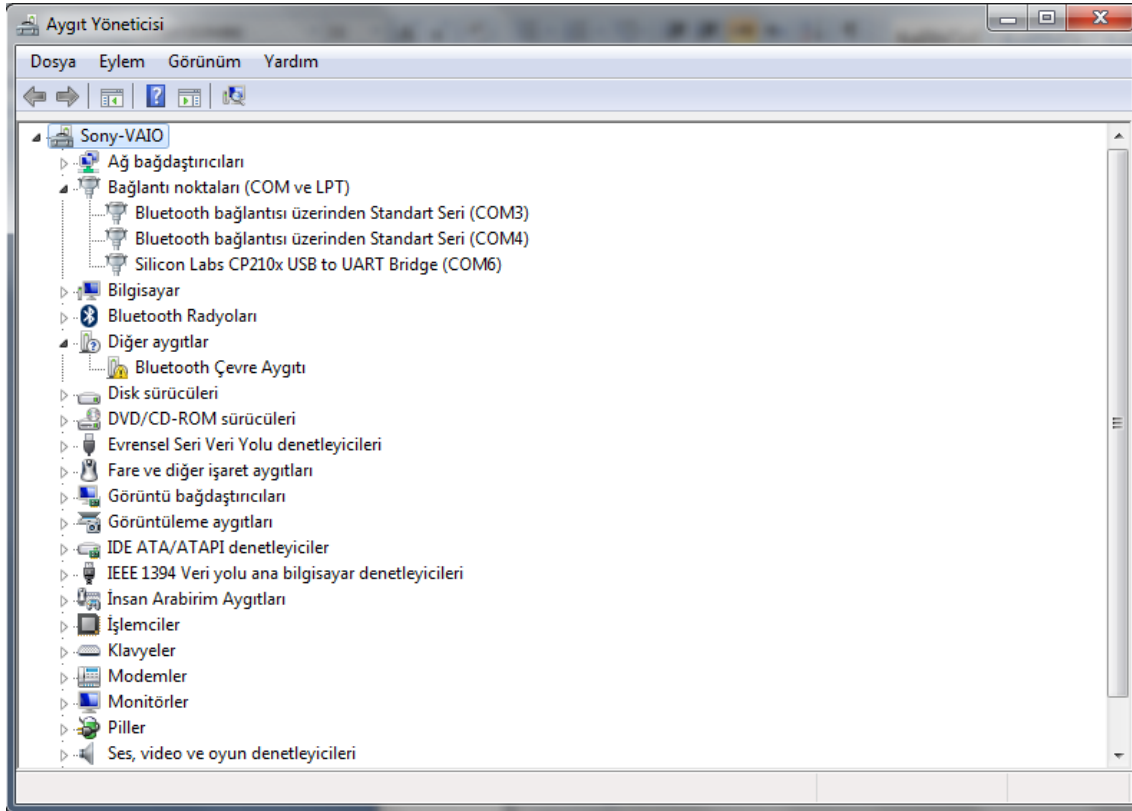
vermektedir. Şekil 4.3’de görüldüğü üzere ESP32 İşlemci kartı için sürücü yüklenememiş ve hata mesajı üretilmektedir.



Şekil 4.3 ESP32 Sürücü (Driver) Hata Ekranı

İnternet yardımıyla kolayca bulunabilen CP210 sürücü dosyası indirilebilmektedir. CP210 dosyası içerisindeki kurulum (setup) dosyası çalıştırılıp çıkan pencereden yükle (install) butonuna basılarak CP210 sürücüsünün bilgisayara yüklenmesi tamamlanmaktadır.

Sürücü yükleme işlemi tamamlandıktan sonra bilgisayar tekrar açılıp kapatılarak program değişikliğinin bilgisayara yansıtılması tamamlanmalıdır. Bilgisayar tekrar açıldığında ESP32 İşlemci Kartını bilgisayara bağladıktan sonra; Masaüstü // Bilgisayar // Sağ Tık // Özellikler // Aygıt Yöneticisi açıldığında Şekil 4.4’deki gibi ESP32 kartın sürücüsünün yüklendiği ve “Bağlantı Noktaları” başlığı altında “Silicon Labs CP210x USB to UART Bridge (COM6)” şeklinde yer aldığı görülmektedir. COM6; ESP32 İşlemci kartının kullandığı COM portun numarasını göstermektedir. COM portu numarası; bilgisayardan bilgisayara ve aynı bilgisayarın farklı usb girişlerinde farklılık göstermektedir.



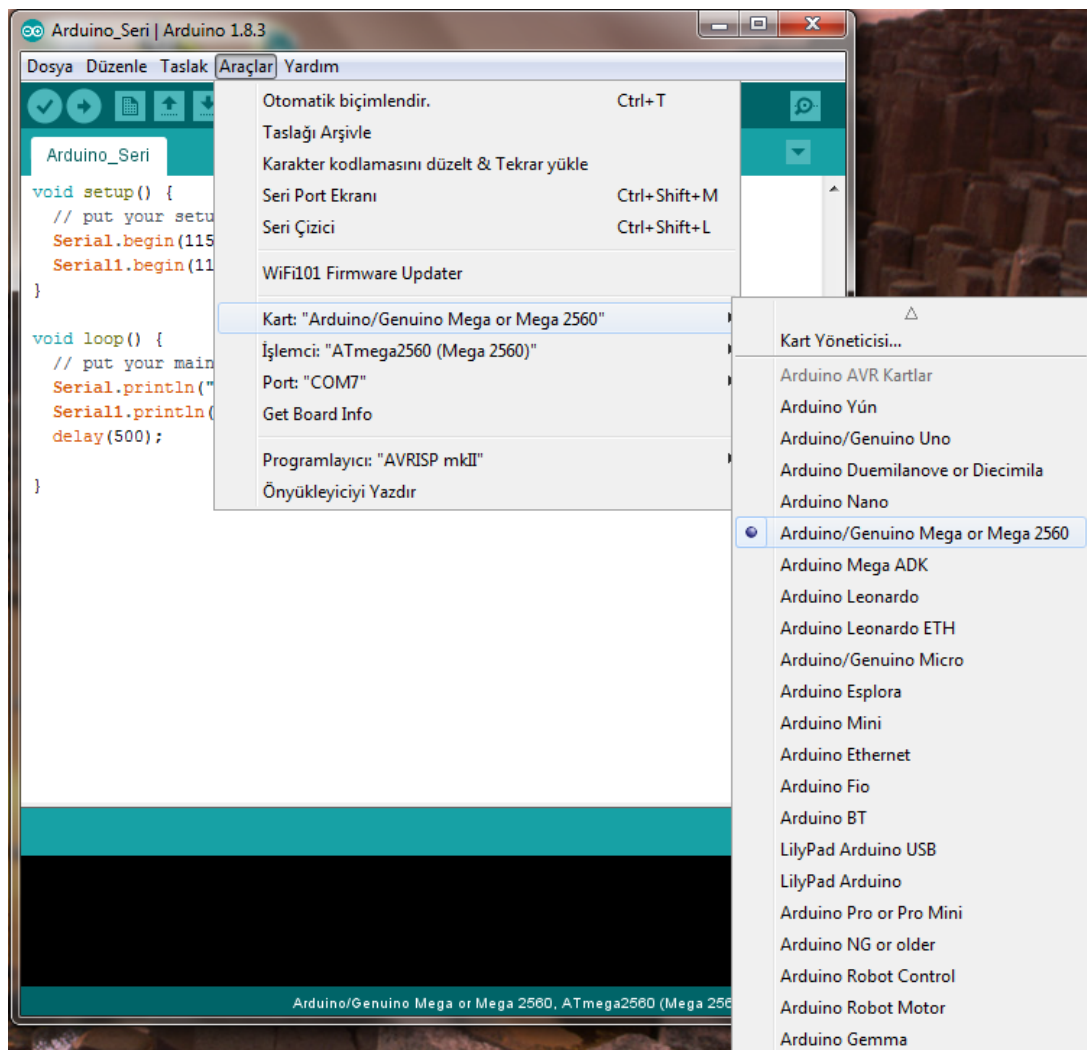
Şekil 4.4 ESP32 Geliştirme Kartı Sürücü (Driver) Yükleme Başarılı Ekranı

4.3 Arduino IDE 1.8.3 Yazılımı

Arduino ve ESP32 kartları için sürücü yazılımları yüklendikten sonra, bu kartlar için yazılım oluşturulması ve programlanabilmesi için bir arayüz yazılımı gerekmektedir. Arduino IDE; Arduino kartları için ücretsiz olarak elde edilebilen, kullanıcıların kod yazması, kodları derlemesi ve derlenen kodları USB portuna bağlı olan Arduino kartına yükleyebilmesini sağlayan açık kaynaklı, yazılım geliştirme platformudur. Bu tez çalışmasında Arduino IDE yazılımının 1.8.3 versiyonu kullanılmıştır. Arduino firması sürekli olarak açık kaynaklı kütüphaneyi geliştirerek; IDE yazılımının bu kütüphaneleri kapsayacak şekilde versiyonunu yükseltmektedir.

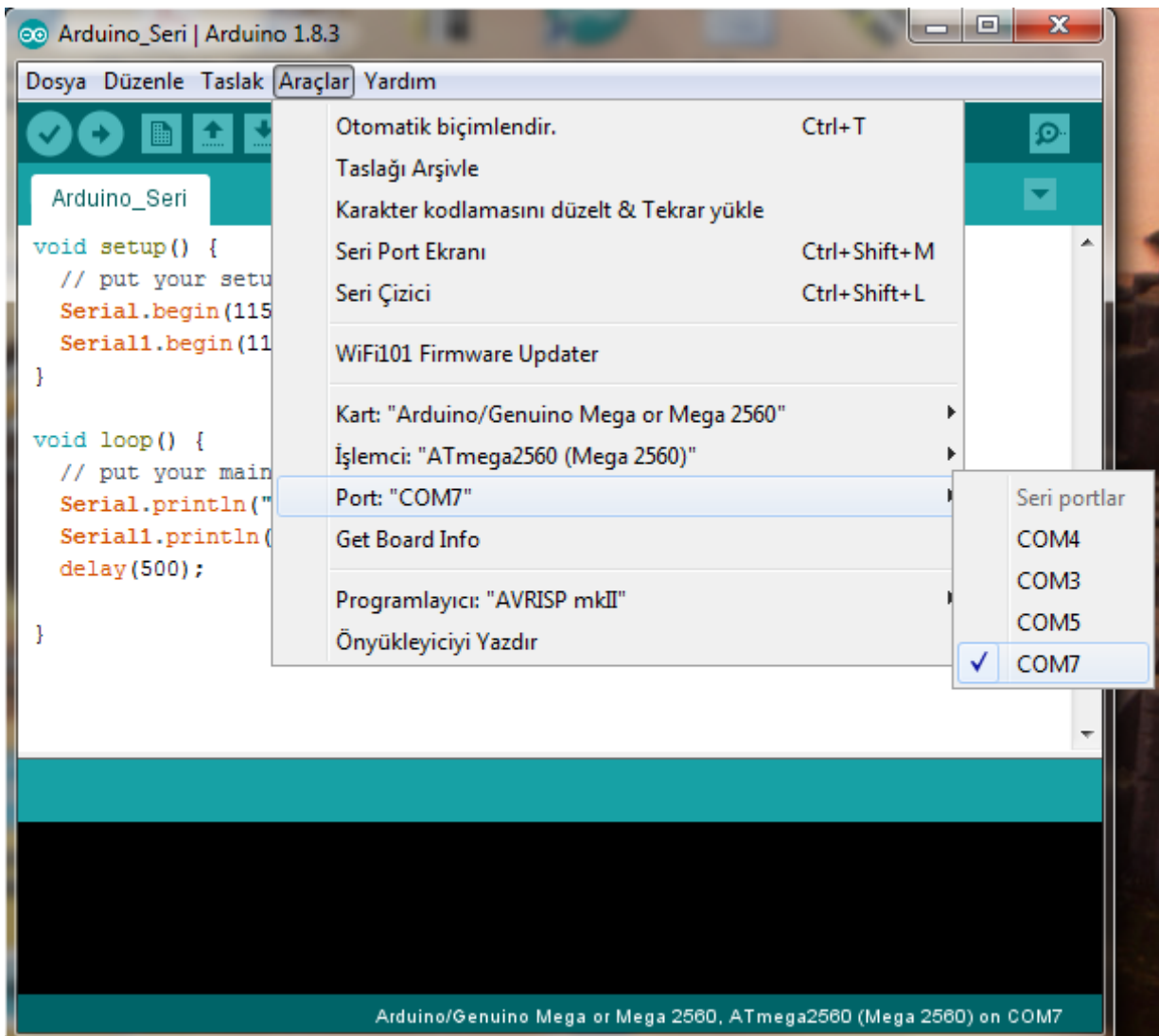
Arduino IDE yazılımı kurulum dosyası internetten, Arduino'nun resmi sitesinden ücretsiz olarak indirilebilmektedir. Kurulum dosyası indirildikten sonra standart program kurulumu adımları takip edilerek IDE yazılımı bilgisayara yüklenebilmektedir.

Arduino Kartı Sürücüsü yüklendikten sonra; ilk olarak Arduino IDE(Versiyon 1.8.3) yazılımı açılarak Şekil 4.5’de gösterildiği üzere Araçlar // Kart // Arduino/Genuino Mega or Mega 2560 seçimi yapılarak, Arduino kartı ile ilgili çalışma yapılacağı Arduino IDE yazılımına bildirilmiş olur.



Şekil 4.5 Arduino IDE – Arduino Mega2560 İşlemci Seçim Ekranı

Şekil 4.6’da gösterildiği gibi Arduino IDE (Versiyon 1.8.3) yazılımında Araçlar // Port // COM7 portu (tezde kullanılan bilgisayar için, com port numarası farklı bilgisayarlarda doğal olarak farklılık göstermektedir) seçilerek Arduino kartı ile haberleşme işlemi tamamlanarak yazılım geliştirme işlemleri başlamaktadır.



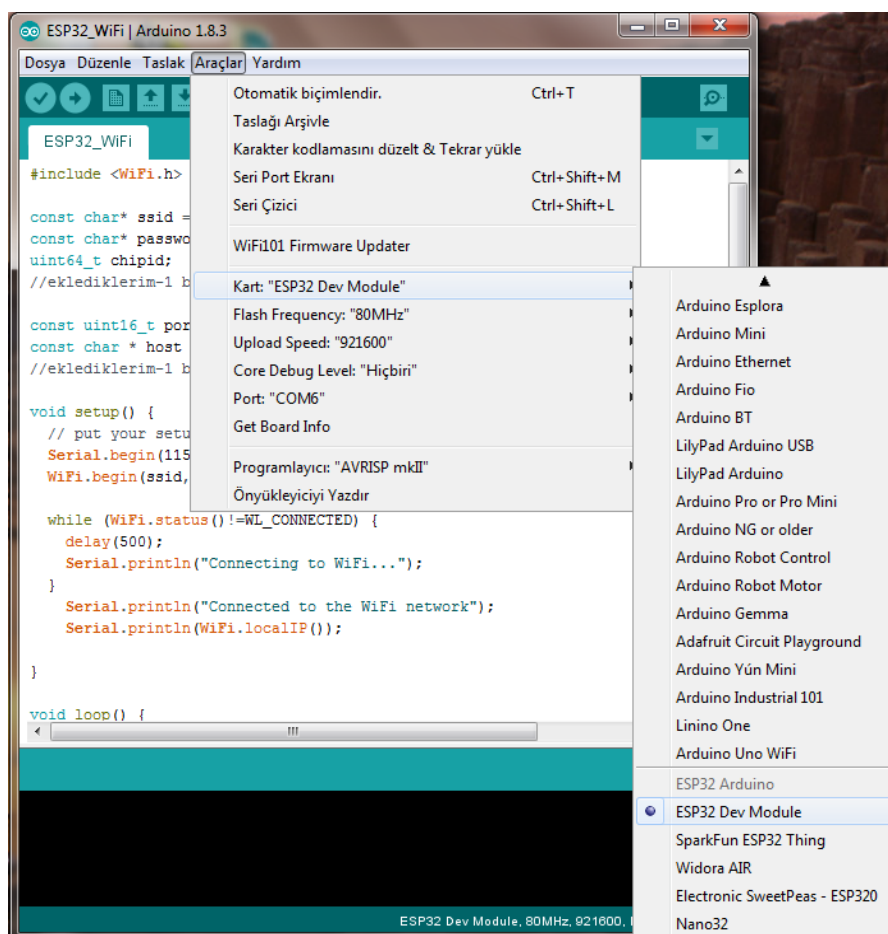
Şekil 4.6 Arduino Com Port Seçim Ekranı

Arduino IDE yazılımının ESP32 geliştirme kartını Arduino kartları gibi tanıması için, iki yöntem izlenebilir. Birinci yöntem ESP32 için gerekli kütüphaneleri internetten indirilerek, Arduino klasörünün içindeki “libraries” ve “hardware” klasörlerine ilgili dosyaları kopyalamaktır. İkinci yöntem ise Arduino IDE yazılımını başlatarak, Dosya // Tercihler kısmına esp32 geliştirme kartı için gerekli dosyaların olduğu link (https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_dev_index.json) yazılmaktadır. Link yazıldıktan sonra “Tamam” tıklanarak tercihler penceresi kapatılır.

Arduino IDE yazılımı Araçlar // Kart / Kart Yöneticisi bölümünde “ESP32 by Espressif Systems”ı seçerek kurulum başlatılmaktadır. Kurulum tamamlandıktan sonra

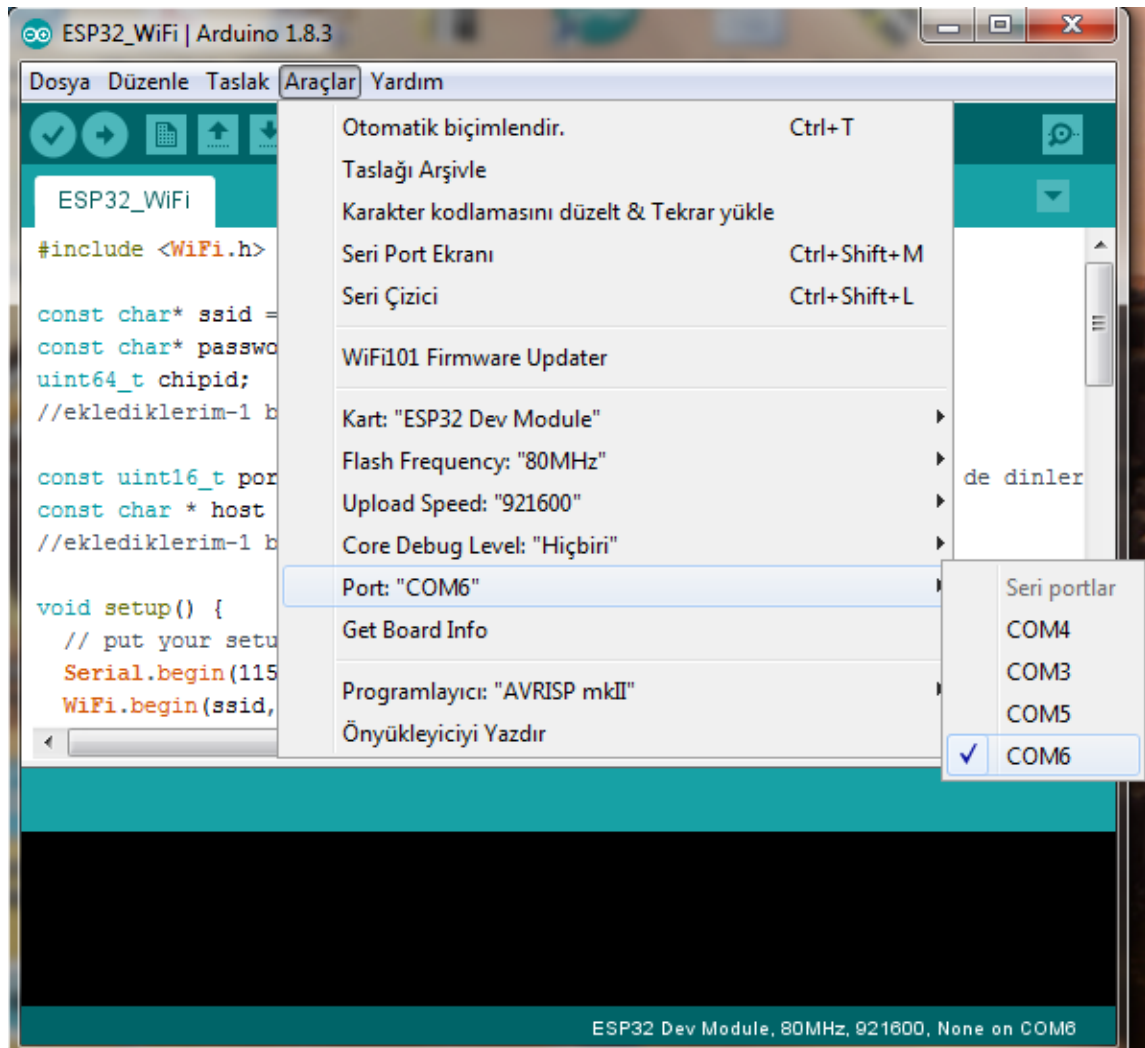
artık Arduino IDE'si Arduino işlemcileri için kullanıldığı gibi, ESP32 geliştirme kartı için de kullanılabilir.

ESP32 İşlemci Kartı Sürücüsü de yüklendikten sonra ilk olarak Arduino IDE(Versiyon 1.8.3) yazılımı açılarak Şekil 4.7'de gösterildiği üzere Araçlar // Kart // ESP32 Dev Module seçimi yapılarak ESP32 İşlemci kartı ile ilgili çalışma yapılacağı Arduino IDE yazılımına bildirilmiş olur.



Şekil 4.7 Arduino IDE - ESP32 İşlemci Seçim Ekranı

ESP32 İşlemci Seçimi yapıldıktan sonra Şekil 4.8'de gösterildiği gibi Arduino IDE (Versiyon 1.8.3) yazılımında Araçlar // Port // COM6 portu(tezde kullanılan bilgisayar için, com port numarası farklı bilgisayarlarda doğal olarak farklılık göstermektedir) seçilerek ESP32 İşlemci kartı ile haberleşme işlemi tamamlanarak yazılım geliştirme işlemleri başlamaktadır.

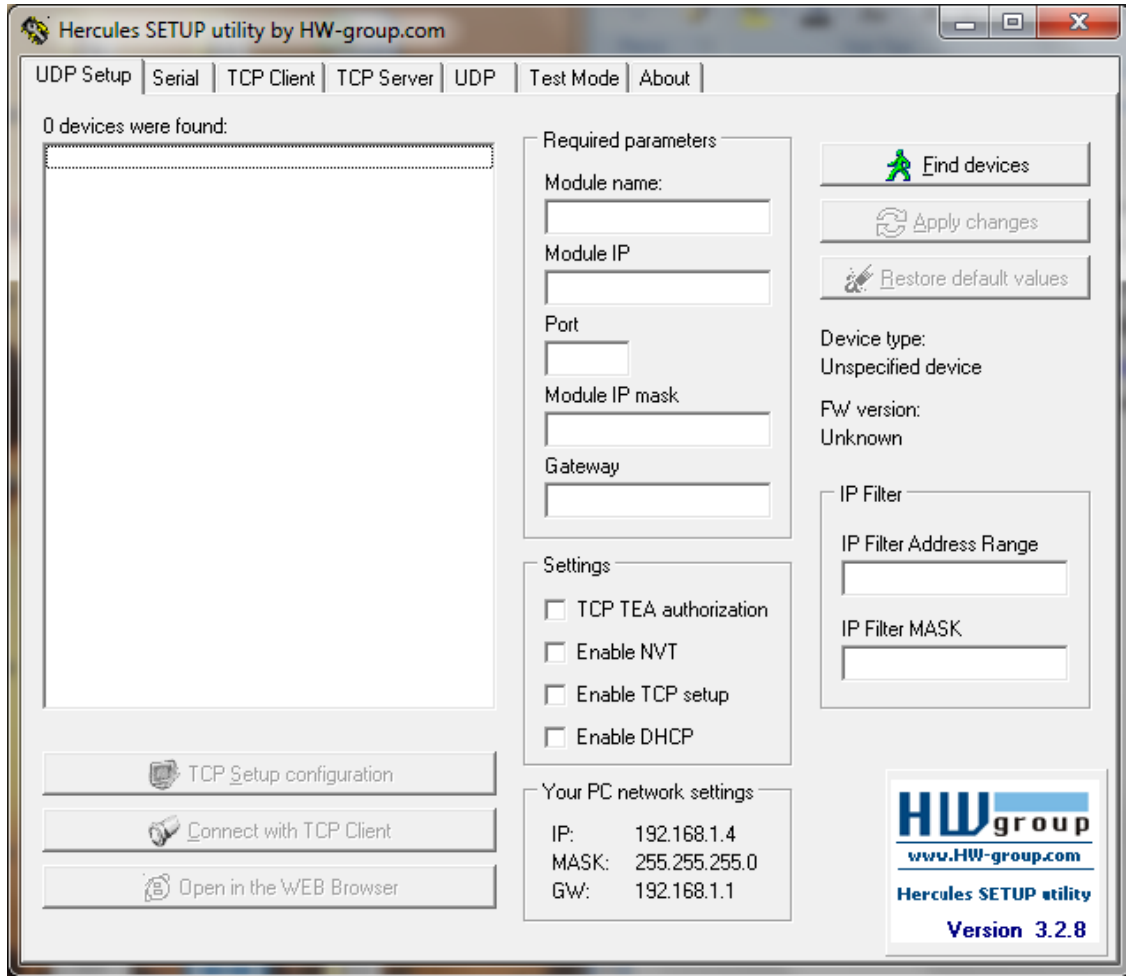


Şekil 4.8 ESP32 Com Port Seçim Ekranı

4.4 Hercules Yazılımı

Bu tez çalışmasında ölçülen ivme değerlerinin kablosuz olarak hedef bilgisayara aktarılması hedeflenmiştir. Bilgisayara aktarılan ivme değerlerinin bilgisayar üzerinde görüntülenebilmesi için bir arayüz programı gerekmektedir. Tez çalışmasında; Çek Şirket'i olan HW Grup'un geliştirdiği "Hercules" yazılımı kullanılmıştır. Hercules yazılımı, şirketin internet adresi (<https://www.hw-group.com/product-version/hercules>) üzerinden ücretsiz olarak indirilebilmektedir. İndirilen dosya uygulama dosyası olup; herhangi bir kurulum işlemine gerek olmadan indirildikten sonra çalıştırılması, programı kullanmak için

yeterlidir. Tez çalışmasında Hercules yazılımının 3.2.8 versiyonu kullanılmıştır. Hercules yazılımı açılış ekranı Şekil 4.9'daki gibidir.



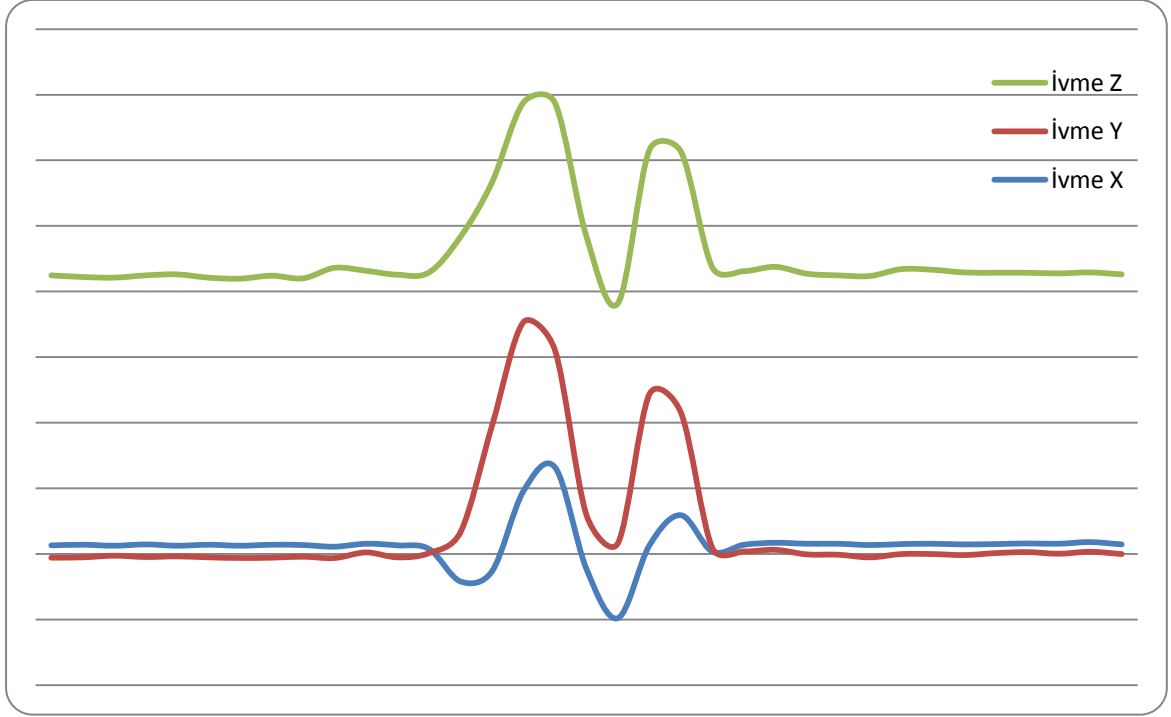
Şekil 4.9 Hercules Yazılımı Açılış Ekranı Görünümü

Hercules yazılımı kullanılarak dış dünya ile seri haberleşme, TCP Server, TCP Client ve UDP haberleşme modlarında iletişim kurulabilmektedir. Bu tez çalışmasında haberleşme kaynağı olarak ESP32 ve Arduino Mega2560 kullanılmakta olup; Hercules Yazılımı, TCP Server ile bu elektronik kartlarla kablosuz olarak haberleşilecektir.

4.5 Microsoft Office Excel Programı

Tez çalışmasında elde edilen ivme ve gyro değerleri ile grafik çizdirilmesi işlemi Microsoft Office Excel yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca ölçülen değerler de aynı

yazılım kullanılarak kayıt altına alınması sağlanmıştır. Microsoft Office Excel programı ile örnek ivme ölçüm grafiği Şekil 4.10'daki gibidir.



Şekil 4.10 Microsoft Office Excel İvme Ölçüm Grafik Örneği

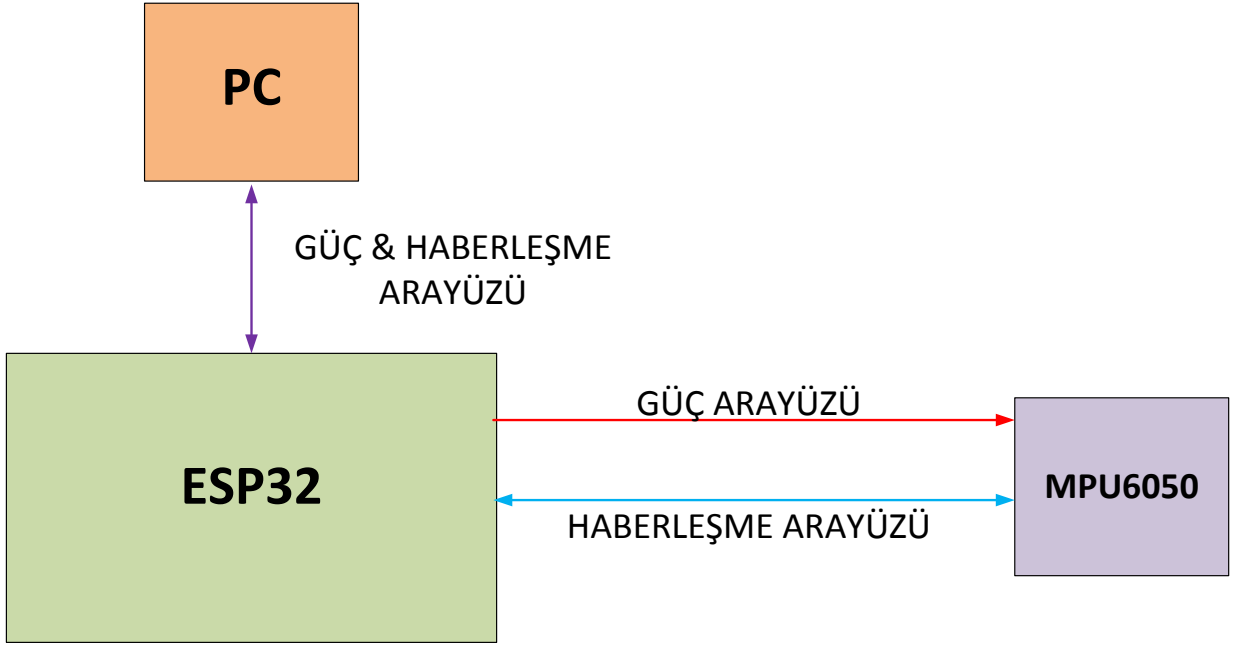
5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında MPU6050 ivme ölçer ile elde edilen ivme, gyro bilgileri çeşitli deneyler yapılarak ESP32 geliştirme kartı ve Arduino Mega2560 ile ölçülmüştür. Yapılan deneyler ve sonuçları aşağıdaki gibidir.

1. MPU6050 ve ESP32 Geliştirme Kartı Ölçümleri
2. MPU6050 ve Arduino Mega2560 İşlemci Kartı Ölçümleri
 - a. MPU6050 ve Arduino Mega2560 İşlemci Kartı X Eksen Ölçümleri
 - b. MPU6050 ve Arduino Mega2560 İşlemci Kartı Y Eksen Ölçümleri
 - c. MPU6050 ve Arduino Mega2560 İşlemci Kartı Z Eksen Ölçümleri
3. MPU6050 ve Arduino Mega2560 Bağlantı Doğrulama Ölçümleri
4. İki Adet MPU6050 ve Arduino Mega2560 İşlemci Kartı Ölçümleri
5. MPU6050, ESP32 ve Arduino Mega2560 İşlemci Kartı Ölçümleri
6. Bileşke İvme ve Bileşke Konum Ölçüm Deneyleri
7. İvme ve Gyro Grafik Çizimi Deneyleri

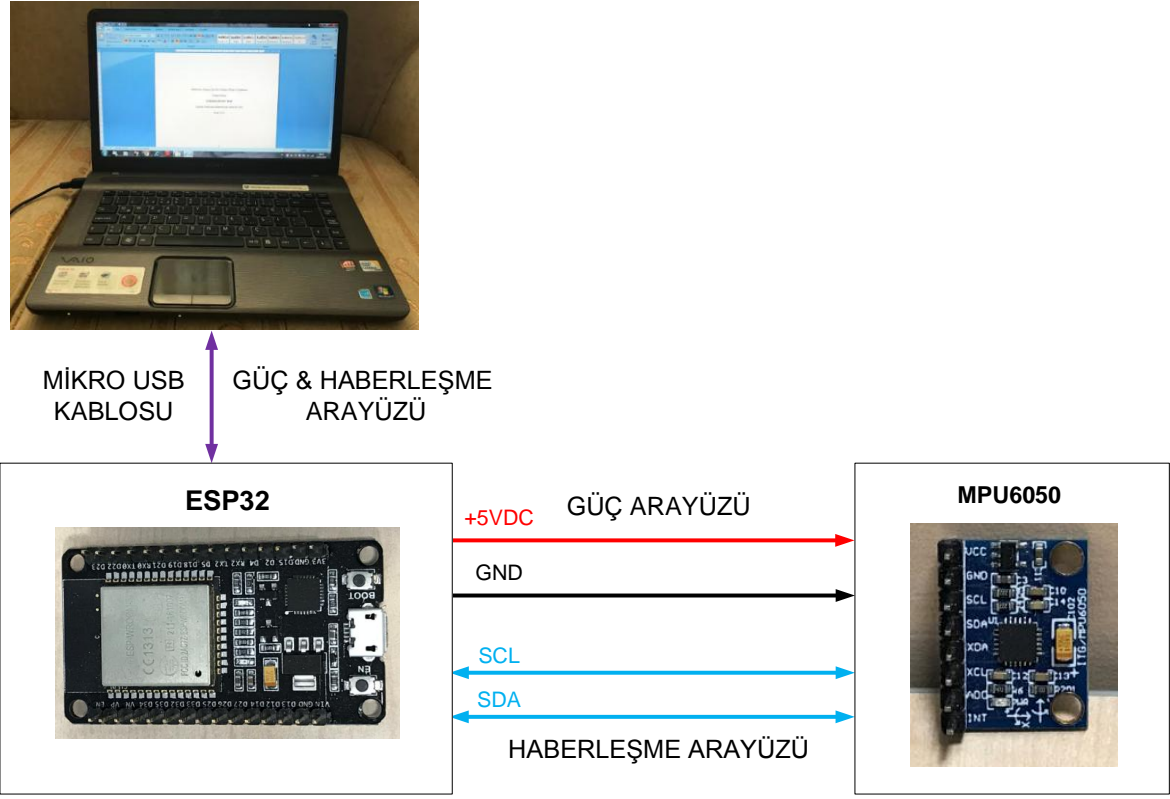
5.1 MPU6050 ve ESP32 Geliştirme Kartı Ölçümleri

Yapılan ilk deneyde MPU6050 ivme ölçer ile elde edilen 3 eksendeki ivme değerlerinin hedef bilgisayara ESP32 geliştirme kartı ile aktarılması hedeflenmiştir. ESP32 işlemcisi, MPU6050 ve bilgisayar bağlantıları; Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3 ve Çizelge 5.1'de belirtildiği şekilde yapılmıştır. ESP32'yi programlamak, test etmek ve ölçüm sonuçlarını elde etmek için Arduino IDE Versiyon 1.8.3 Yazılımı kullanılmıştır.



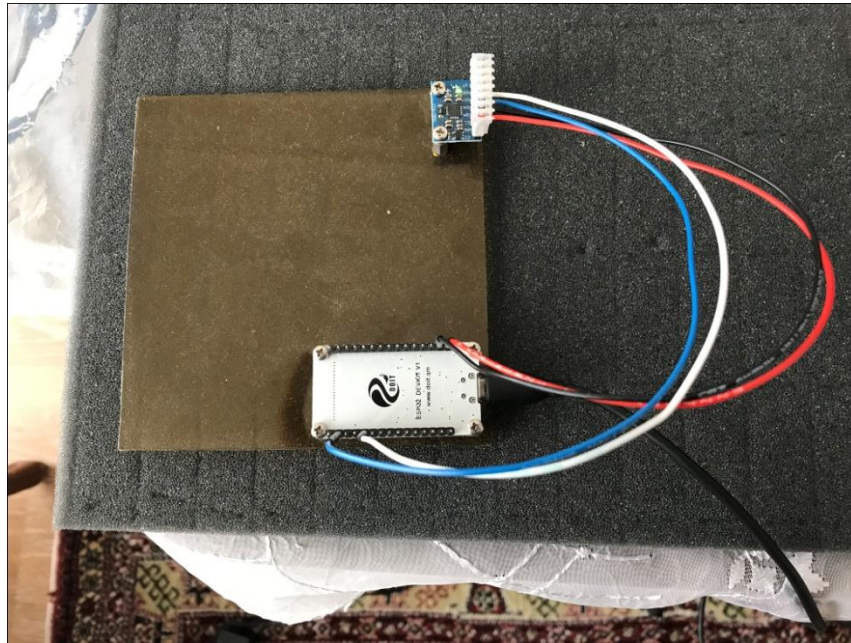
Şekil 5.1 ESP32 & MPU6050 Blok Şema-1

ESP32 geliştirme kartı çalışması için gerekli gücü aşağıdaki resimdeki gösterildiği gibi mikro USB kablosu ile bilgisayar üzerinden almaktadır.



Şekil 5.2 ESP32 & MPU6050 Blok Şema-2

ESP32 geliştirme kartı ile MPU6050 ivme ölçer deneyde Şekil 5.3'deki gibi bağlantı yapılarak ilgili ölçümler alınmıştır.



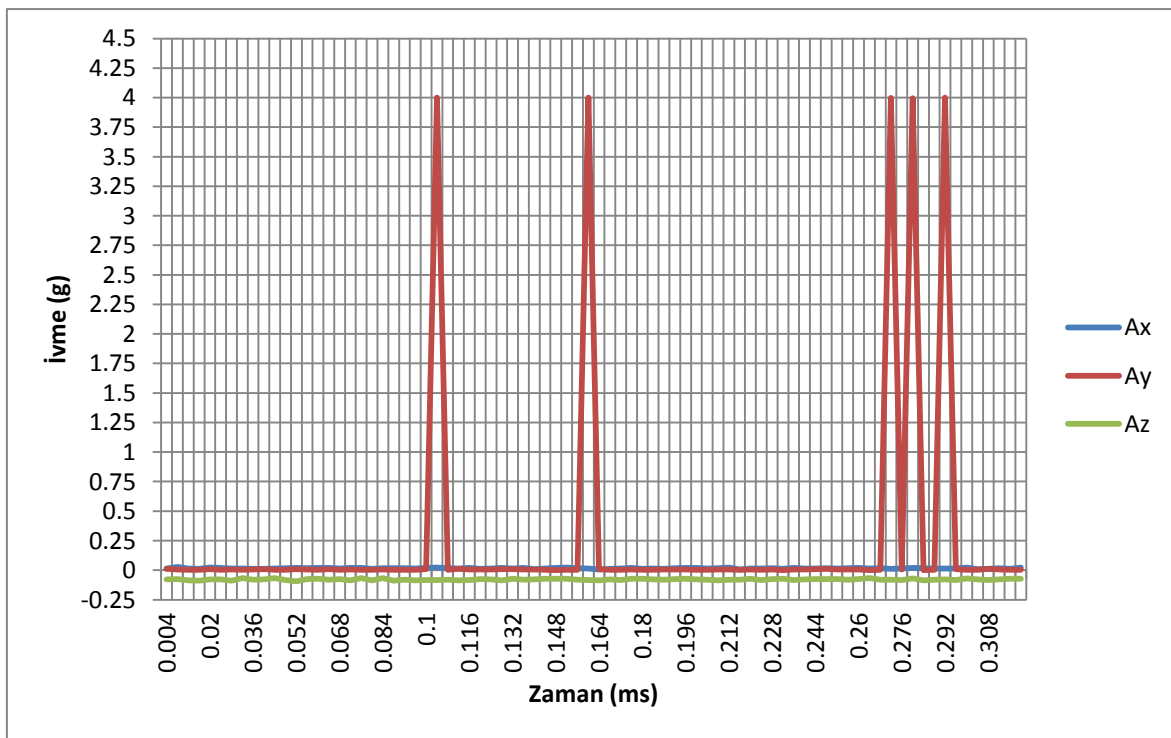
Şekil 5.3 ESP32 & MPU6050 Gerçek Bağlantı

ESP32 geliştirme kartı, MPU6050 ivme ölçer ve bilgisayar arasındaki kablo bağlantı listesi Çizelge 5.1’de verilmektedir.

Çizelge 5.1 ESP32 & MPU6050 Bağlantı Listesi

#	NEREDEN	NEREYE	RENK	AÇIKLAMA
1	MPU6050 / VCC	ESP32 / VIN	KIRMIZI	5VDC(+)
2	MPU6050 / GND	ESP32 / GND	SİYAH	5V_GND
3	MPU6050 / SCL	ESP32 / D22	MAVİ	SCL
4	MPU6050 / SDA	ESP32 / D21	SİYAH	SDA
5	Bilgisayar / USB Girişi	ESP32 / Mikro USB Girişi	-	Mikro USB Kablosu

ESP32 İşlemcisinin MPU6050 ivmeölçer ile doğrudan haberleştiğinde; 4 milisaniye (250 Hz) aralıklarla yaklaşık 300 milisaniye boyunca alınan ve ESP32 tarafından bilgisayara aktarılan 3 eksendeki ivme ölçümlerinin grafiksel gösterimi Şekil 5.4’de verilmektedir.



Şekil 5.4 ESP32 – MPU6050 Ölçüm Grafiği

Yukarıdaki ölçüm sonuçlarında ve daha sonraki deneylerde de kullanılacak ifadelerin anlamları aşağıdaki gibidir:

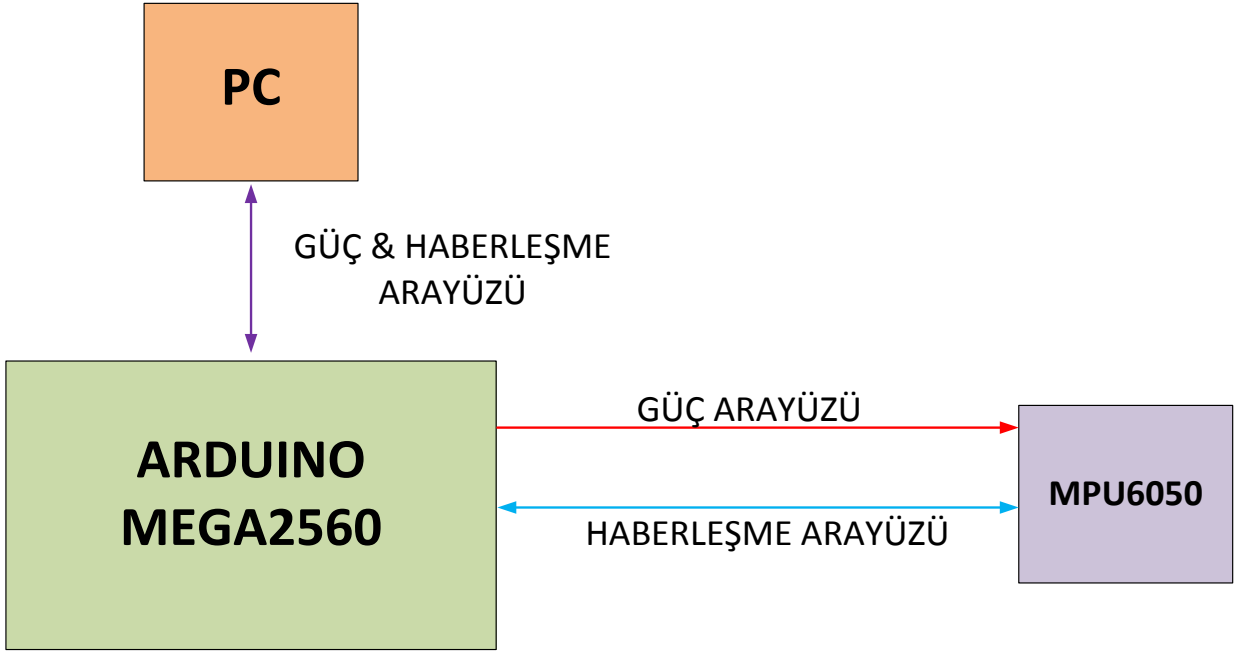
- Ax: X eksenindeki İvme Değeri
- Ay: Y eksenindeki İvme Değeri
- Az: Z eksenindeki İvme Değeri

Şekil 5.4'de yer alan grafikteki ölçüm sonuçlarında Z ekseninde bulunan yer çekimi ivmesi değeri yazılım kontrolü ile sıfırlanarak her 3 eksendeki ivme değeri yaklaşık 0g olarak ölçülmesi hedeflenmiştir. Ancak MPU6050 hareketsiz iken; 4 ms aralıklarla yapılan yukarıdaki ölçümler sonucunda Şekil 5.4'de gösterilen Y eksenindeki ivmede (Ay) yüksek hatada ölçüm sonuçları ile karşılaşılmıştır.

Bu deneyden sonra MPU6050; ESP32 geliştirme kartı yerine Arduino Mega2560 İşlemci'ye bağlanarak testler yapılmıştır.

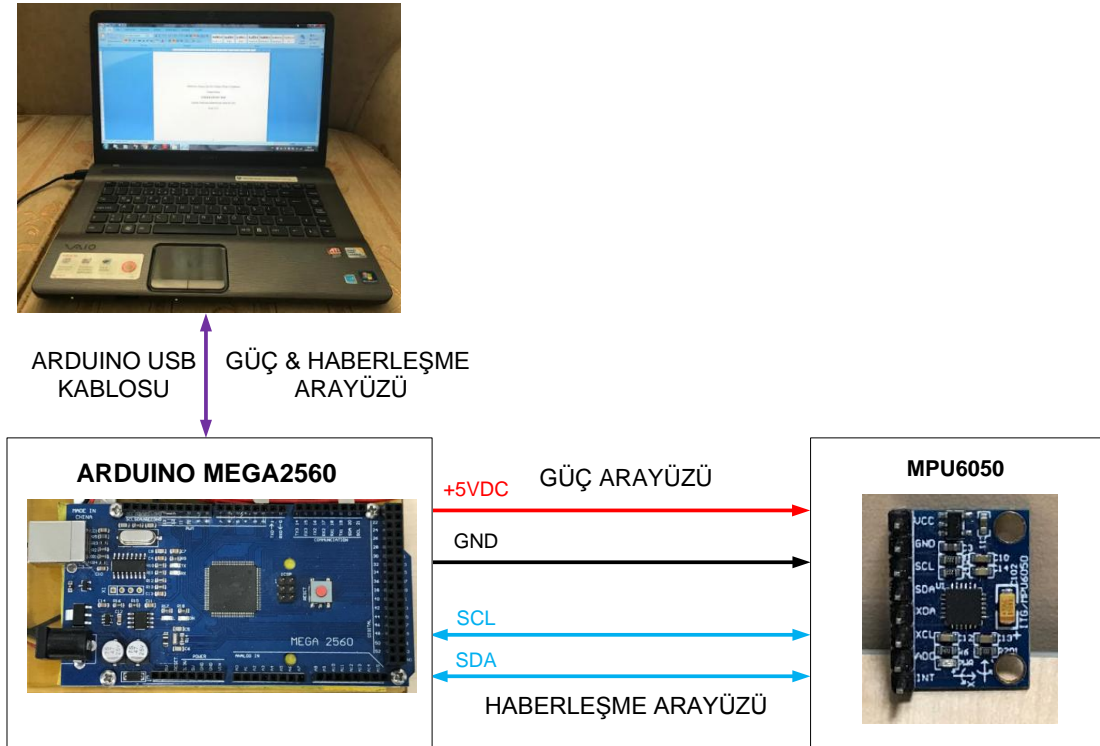
5.2 MPU6050 ve Arduino Mega2560 İşlemci Kartı Ölçümleri

Yapılan ikinci deneyde MPU6050 ivme ölçer ile elde edilen 3 eksendeki ivme değerlerinin hedef bilgisayara Arduino Mega2560 işlemcisi ile aktarılması hedeflenmiştir. Arduino Mega2560 işlemcisi, MPU6050 ivme ölçer ve bilgisayar bağlantıları; Şekil 5.5, Şekil 5.6 ve Çizelge 5.2'de belirtildiği şekilde yapılmıştır. Arduino Mega2560'ı programlamak, test etmek ve ölçüm sonuçlarını elde etmek için Arduino IDE Versiyon 1.8.3 Yazılımı kullanılmıştır.



Şekil 5.5 Arduino Mega2560 & MPU6050 Blok Şema-1

Arduino Mega 2560 işlemci kartı çalışması için gerekli gücü aşağıdaki resimdeki gösterildiği gibi Arduino USB kablosu ile bilgisayar üzerinden almaktadır.



Şekil 5.6 Arduino Mega2560 & MPU6050 Blok Şema-2

Arduino Mega2560 işlemci kartı, MPU6050 ivme ölçer kartı ve bilgisayar arasındaki kablo bağlantı listesi Çizelge 5.2’de verilmektedir.

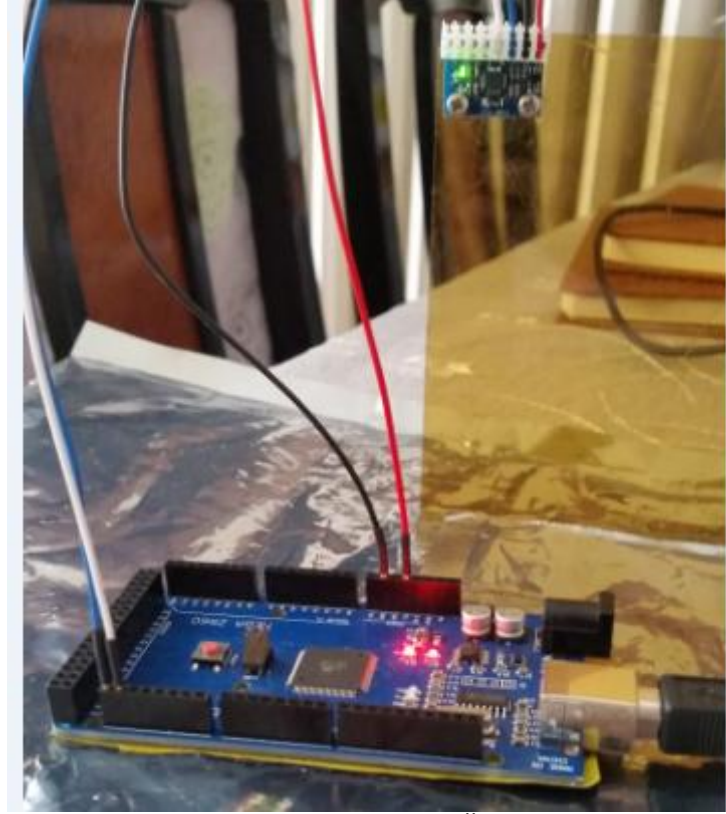
Çizelge 5.2 Arduino Mega2560 & MPU6050 Bağlantı Listesi

#	NEREDEN	NEREYE	RENK	AÇIKLAMA
1	MPU6050 / VCC	ARDUNIO / 5V	KIRMIZI	5VDC(+)
2	MPU6050 / GND	ARDUNIO / GND	SİYAH	5V_GND
3	MPU6050 / SCL	ARDUNIO / SCL	MAVİ	SCL
4	MPU6050 / SDA	ARDUNIO / SDA	SİYAH	SDA
5	Bilgisayar / USB Girişi	ARDUINO / USB Girişi	-	ARDUINO USB Kablosu

Arduino Mega2560 işlemci kartı ile MPU6050 ivme ölçer kartından elde edilen sonuçların her üç ekseninde de doğruluğunu gözlemleyebilmek için MPU6050 ivme ölçer kartı yer çekimine göre tek eksen yerine; sırasıyla x, y ve z eksenlerinde konumlandırılarak deneyler yapılmıştır.

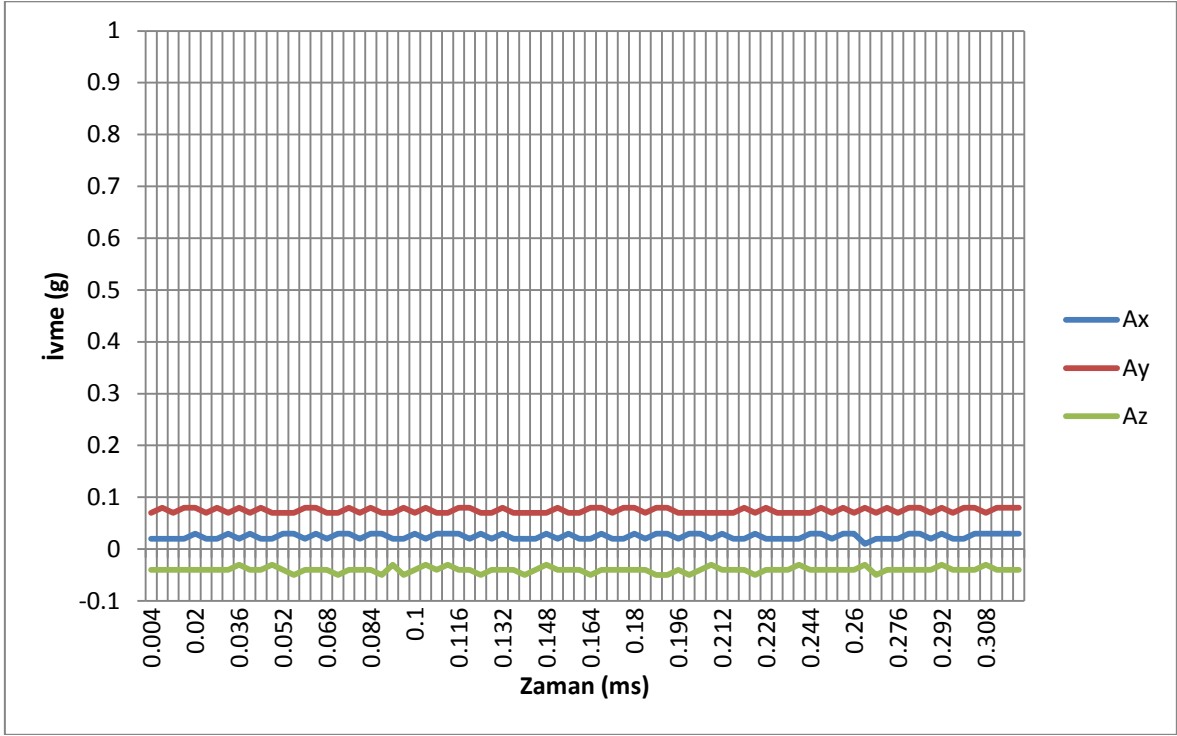
5.2.1 MPU6050 ve Arduino Mega2560 İşlemci Kartı X Ekseni Ölçümleri

MPU6050 ivme ölçer kartı; yer çekimi ivme değerinin X ekseninde okunabilmesi için Şekil 5.7’de gösterildiği gibi tutularak ölçümler alınmıştır.



Şekil 5.7 MPU6050 X Eksenini Ölçüm Gösterimi

X eksenine dik konumda bulunan MPU6050 ivme ölçeri ile 4 milisaniye (250 Hz) aralıklarla yaklaşık 300 milisaniye boyunca alınan ve Arduino Mega2560 işlemci kartı tarafından hedef bilgisayara aktarılan 3 eksenindeki ivme ölçümlerinin grafiksel gösterimi Şekil 5.8'de verilmektedir.



Şekil 5.8 Arduino Mega2560 - MPU6050 X Eksenini Ölçümü

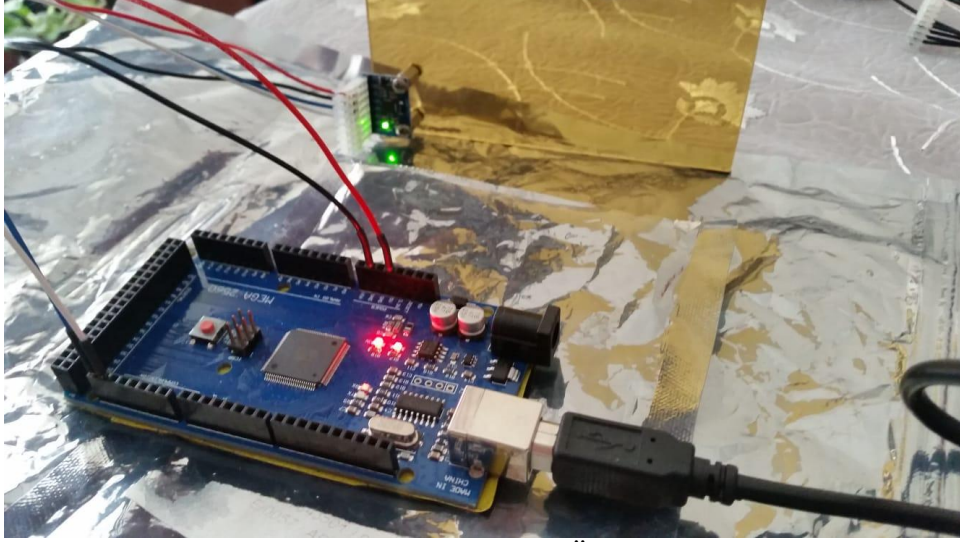
Şekil 5.8’de yer alan grafikteki ölçüm sonuçlarında X ekseninde bulunan yer çekimi ivmesi değeri yazılım kontrolü ile sıfırlanarak her 3 eksendeki ivme değeri yaklaşık 0g olarak ölçümler alınmıştır.

MPU6050 yer çekimine göre X ekseninde hareketsiz iken; 4 ms aralıklarla yapılan yukarıdaki ölçümler sonucunda X ekseninde ölçülen ivme değeri yaklaşık olarak 0 ölçülmüş, Y ve Z eksenlerindeki ivme değerleri de yaklaşık olarak 0 ölçülmüştür. Ölçülen ivme değeri vektörel bir büyüklük olduğu için Z ekseninde veya diğer eksenlerdeki eksi(-) ifadesi ivmenin yönüyle ilgili olarak bilgi vermektedir. Üç eksende ölçülen ivme değerlerindeki çok az miktarda olan hata payının; MPU6050’nin tam olarak dikey şekilde tutulamamasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

Arduino Mega2560 ile X eksenini referans alınarak yapılan deneyde; ESP32 geliştirme kartı ile yapılan deneydeki gibi hatalı ölçüm sonuçları ile karşılaşılmamıştır.

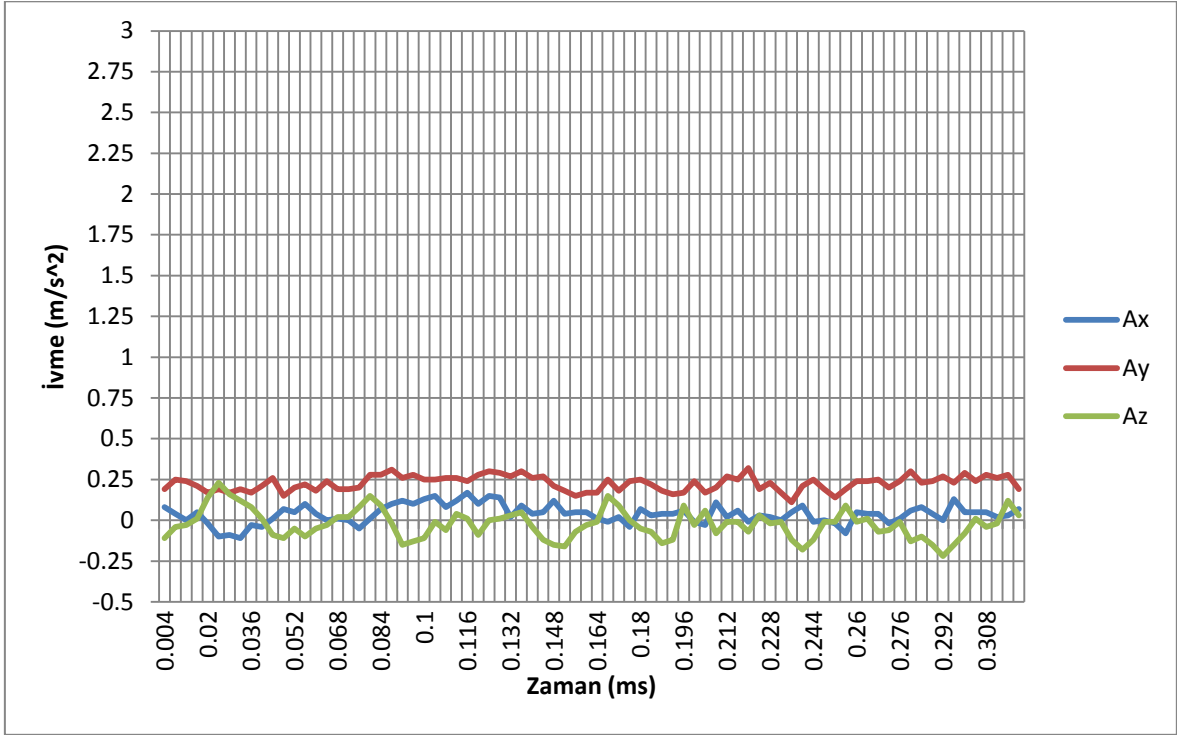
5.2.2 MPU6050 ve Arduino Mega2560 İşlemci Kartı Y Eksenı Ölçümleri

MPU6050 ivme ölçer kartı; yer çekimi ivme değeri için Y ekseninde okunabilmesi için Şekil 5.9'da gösterildiği gibi tutularak ölçümler alınmıştır.



Şekil 5.9 MPU6050 Y Eksenı Ölçüm Gösterimi

Y eksenine dik konumda bulunan MPU6050 ivme ölçeri ile 4 milisaniye (250 Hz) aralıklarla yaklaşık 300 milisaniye boyunca alınan ve Arduino Mega2560 işlemci kartı tarafından hedef bilgisayara aktarılan 3 eksenindeki ivme ölçümlerinin grafiksel gösterimi Şekil 5.10'da verilmektedir.



Şekil 5.10 Arduino Mega2560 - MPU6050 Y Ekseni Ölçümü

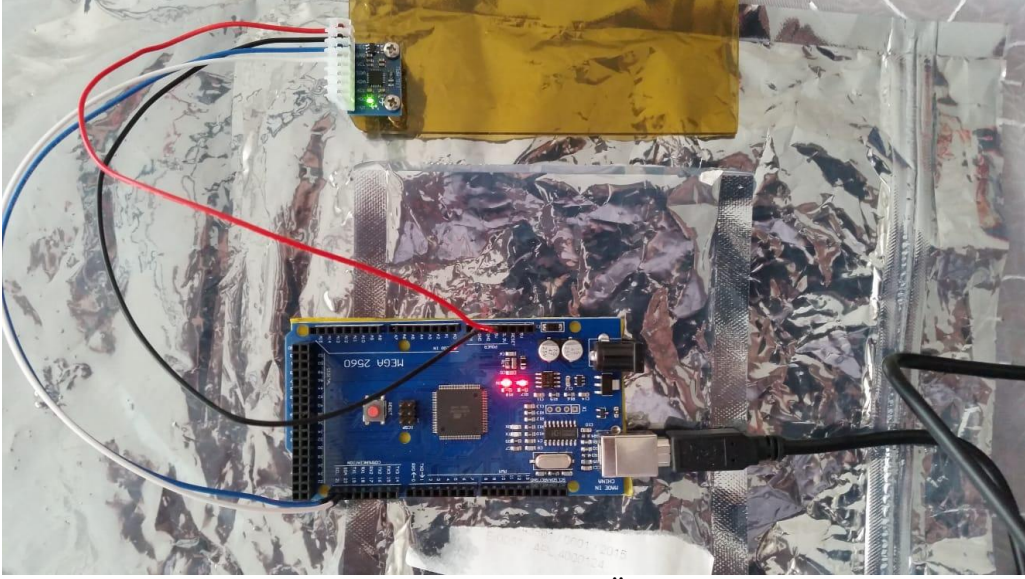
Şekil 5.10'da yer alan grafikteki ölçüm sonuçlarında Y ekseninde bulunan yer çekimi ivmesi değeri yazılım kontrolü ile sıfırlanarak her 3 eksendeki ivme değeri yaklaşık 0 m/s^2 olarak ölçümler alınmıştır.

MPU6050 yer çekimine göre Y ekseninde hareketsiz iken; 4 ms aralıklarla yapılan yukarıdaki ölçümler sonucunda Y ekseninde ölçülen ivme değeri yaklaşık olarak 0 ölçülmüş, X ve Z eksenlerindeki ivme değerleri de yaklaşık olarak 0 ölçülmüştür. Ölçülen ivme değeri vektörel bir büyüklük olduğu için Y ekseninde veya diğer eksenlerdeki eksi(-) ifadesi ivmenin yönüyle ilgili olarak bilgi vermektedir.

Arduino Mega2560 ile Y eksenini referans alınarak yapılan deneyde; ESP32 geliştirme kartı ile yapılan deneydeki gibi hatalı ölçüm sonuçları ile karşılaşılmamıştır.

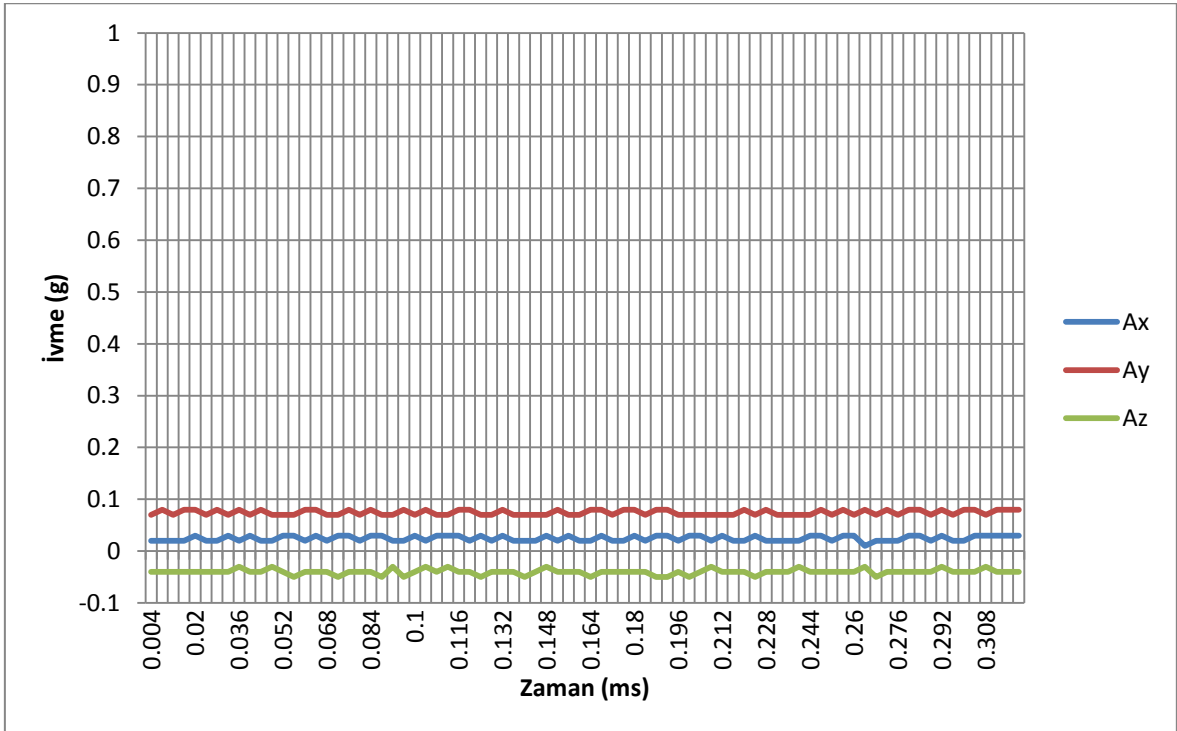
5.2.3 MPU6050 ve Arduino Mega2560 İşlemci Kartı Z Ekseni Ölçümleri

MPU6050 ivme ölçer kartı; yer çekimi ivme değerinin Z ekseninde okunabilmesi için Şekil 5.11'de gösterildiği gibi tutularak ölçümler alınmıştır.



Şekil 5.11 MPU6050 Z Eksenini Ölçüm Gösterimi

Z eksenine dik konumda bulunan MPU6050 ivme ölçeri ile 4 milisaniye (250 Hz) aralıklarla yaklaşık 300 milisaniye boyunca alınan ve Arduino Mega2560 işlemci kartı tarafından hedef bilgisayara aktarılan 3 eksendeki ivme ölçümlerinin grafiksel gösterimi Şekil 5.12’de verilmektedir.



Şekil 5.12 Arduino Mega2560 - MPU6050 Z Eksenini Ölçümü

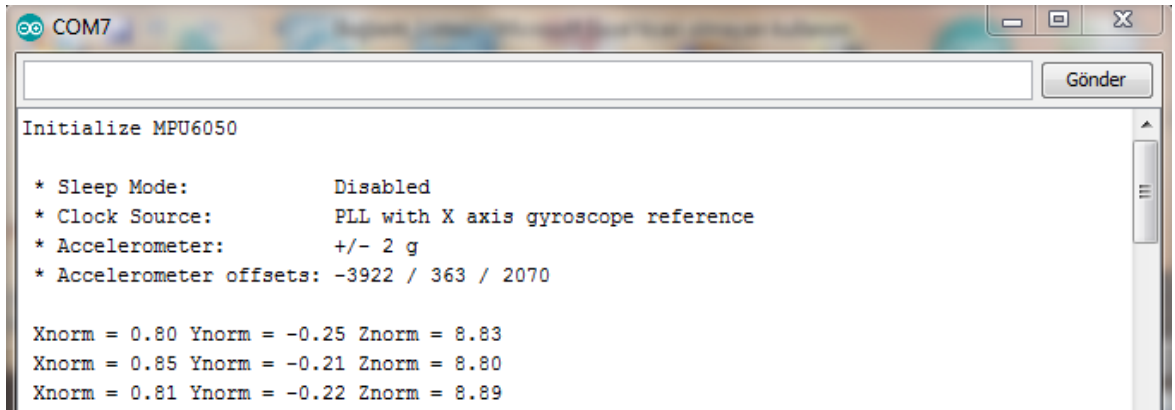
Şekil 5.12’de yer alan grafikteki ölçüm sonuçlarında Z ekseninde bulunan yer çekimi ivmesi değeri yazılım kontrolü ile sıfırlanarak her 3 eksendeki ivme değeri yaklaşık 0g olarak ölçümler alınmıştır.

MPU6050 yer çekimine göre Z ekseninde hareketsiz iken; 4 ms aralıklarla yapılan yukarıdaki ölçümler sonucunda Z ekseninde ölçülen ivme değeri yaklaşık olarak 0 ölçülmüş, X ve Y eksenlerindeki ivme değerleri de yaklaşık olarak 0 ölçülmüştür. Ölçülen ivme değeri vektörel bir büyüklük olduğu için Z ekseninde veya diğer eksenlerdeki eksi(-) ifadesi ivmenin yönüyle ilgili olarak bilgi vermektedir.

Arduino Mega2560 ile Z eksenini referans alınarak yapılan deneyde; ESP32 geliştirme kartı ile yapılan deneydeki gibi hatalı ölçüm sonuçları ile karşılaşılmamıştır.

5.3 MPU6050 ve Arduino Mega2560 Bağlantı Doğrulama Ölçümleri

Arduino Mega2560 işlemci kartı ile MPU6050 arasındaki kablo bağlantısı önceki yapılan deneylerde olduğu gibi doğru bir şekilde yapıldığında, Arduino IDE yazılımı ile Arduino Mega2560 işlemci kartına seri haberleşme ile bağlantı kurulduğunda Şekil 5.13’deki gibi bir ekran ile karşılaşılır.



```

COM7
Initialize MPU6050
* Sleep Mode:          Disabled
* Clock Source:        PLL with X axis gyroscope reference
* Accelerometer:       +/- 2 g
* Accelerometer offsets: -3922 / 363 / 2070

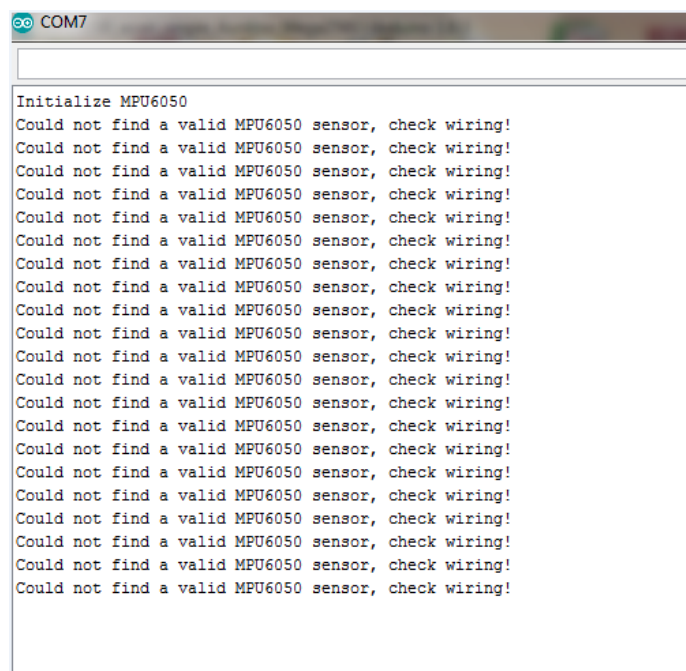
Xnorm = 0.80 Ynorm = -0.25 Znorm = 8.83
Xnorm = 0.85 Ynorm = -0.21 Znorm = 8.80
Xnorm = 0.81 Ynorm = -0.22 Znorm = 8.89

```

Şekil 5.13 Arduino Mega2560 ile MPU6050 Bağlantısı Normal

Üstteki ekranda “Initialize MPU6050” ve devamındaki 4 satır ile MPU6050 ivme ölçer kartının ilk başlangıç ayarları yazılımsal olarak yapılarak bu bilgiler kullanıcı ile paylaşılmaktadır.

MPU6050 ivme ölçer ile Arduino Mega2560 işlemcisi arasındaki kablo bağlantısında bir hata olduğunda, haberleşme kurulamadığında, MPU6050 arızalandığında ya da MPU6050 enerjilenmediğinde Arduino IDE yazılımında; Şekil 5.14’deki gibi bir hata ekranı ile karşılaşılır.



```

COM7
Initialize MPU6050
Could not find a valid MPU6050 sensor, check wiring!
Could not find a valid MPU6050 sensor, check wiring!
Could not find a valid MPU6050 sensor, check wiring!
Could not find a valid MPU6050 sensor, check wiring!
Could not find a valid MPU6050 sensor, check wiring!
Could not find a valid MPU6050 sensor, check wiring!
Could not find a valid MPU6050 sensor, check wiring!
Could not find a valid MPU6050 sensor, check wiring!
Could not find a valid MPU6050 sensor, check wiring!
Could not find a valid MPU6050 sensor, check wiring!
Could not find a valid MPU6050 sensor, check wiring!
Could not find a valid MPU6050 sensor, check wiring!
Could not find a valid MPU6050 sensor, check wiring!
Could not find a valid MPU6050 sensor, check wiring!
Could not find a valid MPU6050 sensor, check wiring!
Could not find a valid MPU6050 sensor, check wiring!
Could not find a valid MPU6050 sensor, check wiring!
Could not find a valid MPU6050 sensor, check wiring!
Could not find a valid MPU6050 sensor, check wiring!

```

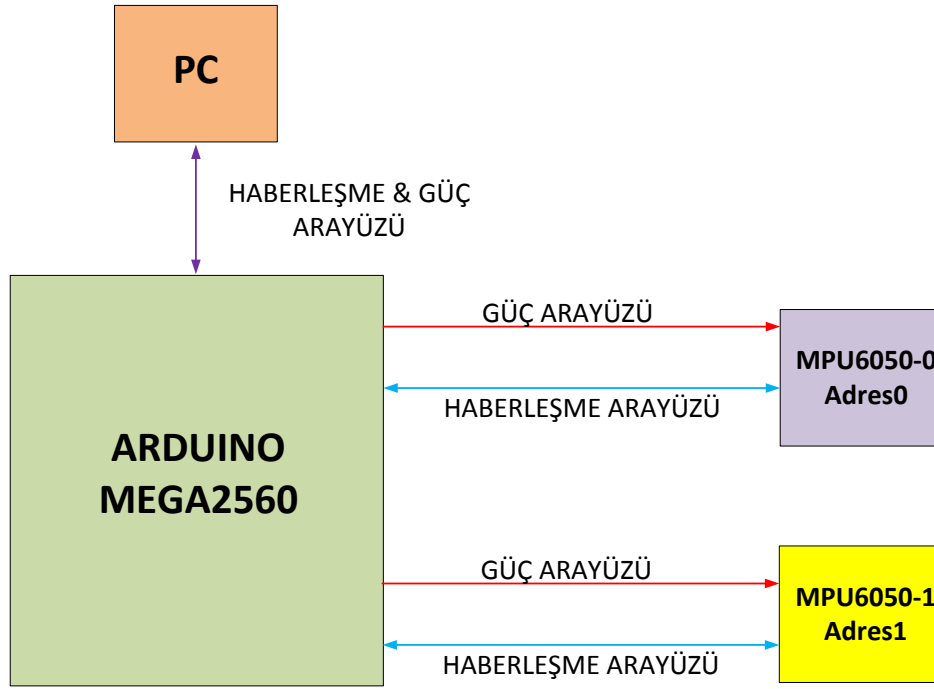
Şekil 5.14 Arduino Mega2560 ile MPU6050 Bağlantı Hatası

5.4 İki Adet MPU6050 ve Arduino Mega2560 İşlemci Kartı Ölçümleri

MPU6050 ivme ölçer kartı dış dünya ile I2C protokolü ile haberleşmektedir. MPU6050 ivme ölçer kartı I2C protokolüne ilaveten bir de adres pinine sahiptir. Bu adres pini kart üzerindeki pin arayüzünde belirtilen “AD0” pinidir. AD0 pinine hiçbir bağlantı yapılmadığında, bu pin MPU6050 kartı içerisinde düşük(low) olarak değerlendirilip MPU6050 ivme ölçer “0” adresine sahiptir. AD0 pinine 3.3 Volt seviyesinde bir gerilim uygulanırsa bu pin MPU6050 kartı içerisinde yüksek (high) olarak değerlendirilip MPU6050 ivme ölçer “1” adresine sahip olmaktadır. AD0 pini kullanılarak iki adet MPU6050 ivme ölçer kartı ile I2C protokolü ile aynı anda haberleşebilmek mümkündür ve

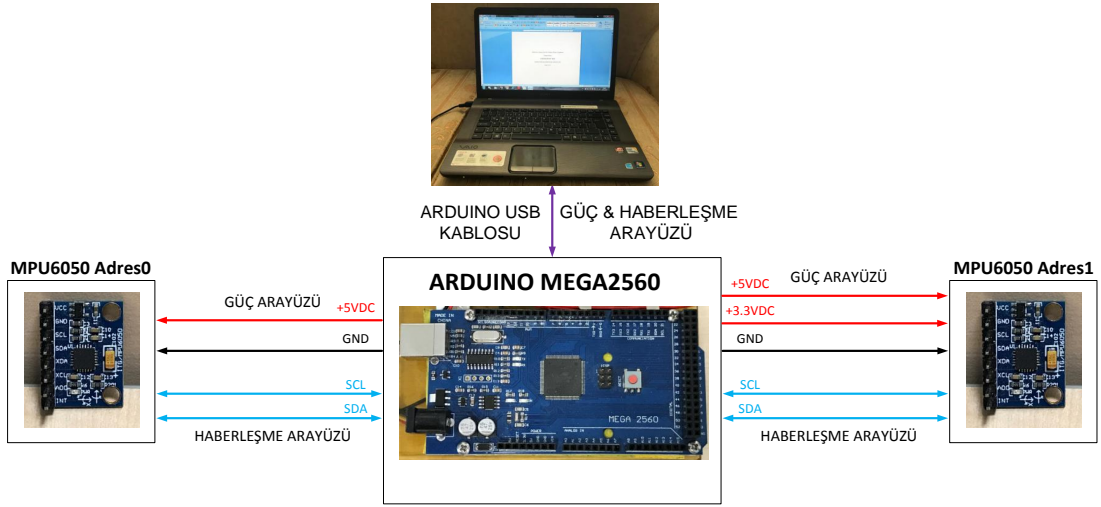
bu deneyde Arduino Mega2560 işlemcisi iki adet MPU6050 ile aynı anda haberleşerek ivme ölçümleri elde edilecektir.

Arduino Mega2560 işlemcisi, iki adet MPU6050 ve bilgisayar bağlantıları; Şekil 5.15, Şekil 5.16 ve Çizelge 5.3’de belirtildiği şekilde yapılmıştır. Arduino Mega2560’ı programlamak, test etmek ve ölçüm sonuçlarını elde etmek için Arduino IDE Versiyon 1.8.3 yazılımını kullanılmıştır.



Şekil 5.15 Arduino Mega2560 & 2 Adet MPU6050 Blok Şema-1

İki adet MPU6050 ivme ölçer kartı çalışması için gerekli gücü Arduino Mega 2560 işlemci kartı üzerinden, Arduino Mega 2560 işlemci kartı da çalışması için gerekli gücü aşağıdaki resimdeki gösterildiği gibi Arduino USB kablosu ile bilgisayar üzerinden almaktadır.



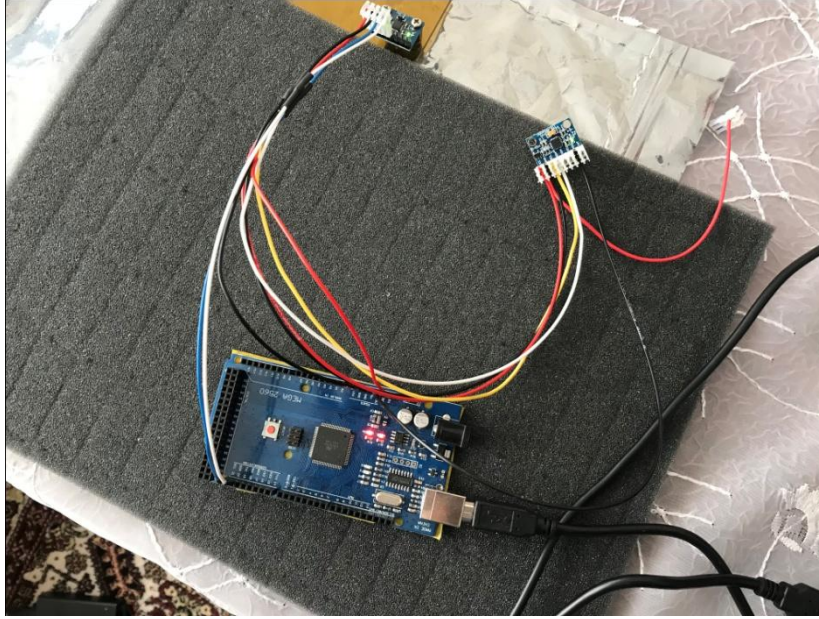
Şekil 5.16 Arduino Mega2560 & 2 Adet MPU6050 Blok Şema-2

Arduino Mega2560 İşlemcisi, iki adet MPU6050 ve bilgisayar arasındaki kablo bağlantı listesi Çizelge 5.3’de verilmektedir.

Çizelge 5.3 Arduino Mega2560 & 2 Adet MPU6050 Bağlantı Listesi

#	NEREDEN	NEREYE	RENK	AÇIKLAMA
1	MPU6050-0 / VCC	ARDUNIO / 5V	KIRMIZI	5VDC(+)
2	MPU6050-0 / GND	ARDUNIO / GND	SİYAH	5V_GND
3	MPU6050-0 / SCL	ARDUNIO / SCL	MAVİ	SCL
4	MPU6050-0 / SDA	ARDUNIO / SDA	SİYAH	SDA
5	MPU6050-1 / VCC	ARDUNIO / 5V	KIRMIZI	5VDC(+)
6	MPU6050-1 / GND	ARDUNIO / GND	SİYAH	5V_GND
7	MPU6050-1 / SCL	ARDUNIO / SCL	MAVİ	SCL
8	MPU6050-1 / SDA	ARDUNIO / SDA	SİYAH	SDA
9	MPU6050-1 / AD0	ARDUNIO / 3.3V	SİYAH	AD0
10	Bilgisayar / USB Girişi	ARDUINO / USB Girişi	-	ARDUINO USB Kablosu

İki adet MPU6050 ivme ölçer kartı ve Arduino Mega2560 işlemci kartı yer ivme değerlerinin okunabilmesi için Şekil 5.17’de gösterildiği gibi tutularak ölçümler alınmıştır.



Şekil 5.17 Arduino & 2 adet MPU6050 Gerçek Bağlantı

İki adet MPU6050 ivme ölçer ile 4 milisaniye aralıklarla yaklaşık 60 milisaniye boyunca alınan ve Arduino Mega2560 işlemci kartı tarafından hedef bilgisayara aktarılan 3 eksendeki ivme ölçümlerinin aşağıdaki gibidir:

Ölçüm Sonuçları:

Initialize MPU6050

- * Sleep Mode: Disabled
- * Clock Source: PLL with X axis gyroscope reference
- * Accelerometer: +/- 2 g
- * Accelerometer offsets: -3922 / 363 / 2070

This is a message from Arduino Mega2560 to PC Serkan

MPU6050-0 0x68 Xnorm = 0.09 Ynorm = -0.16 Znorm = 8.71
 MPU6050-1 0x69 Xnorm = 3.25 Ynorm = -3.28 Znorm = 7.86

This is a message from Arduino Mega2560 to PC Serkan

MPU6050-0 0x68 Xnorm = 0.07 Ynorm = -0.20 Znorm = 8.65
 MPU6050-1 0x69 Xnorm = 3.20 Ynorm = -3.37 Znorm = 7.87

This is a message from Arduino Mega2560 to PC Serkan

MPU6050-0 0x68 Xnorm = 0.10 Ynorm = -0.17 Znorm = 8.60
 MPU6050-1 0x69 Xnorm = 3.20 Ynorm = -3.32 Znorm = 7.87

This is a message from Arduino Mega2560 to PC Serkan

MPU6050-0 0x68 Xnorm = 0.10 Ynorm = -0.19 Znorm = 8.66

MPU6050-1 0x69 Xnorm = 3.21 Ynorm = -3.34 Znorm = 7.99

This is a message from Arduino Mega2560 to PC Serkan

MPU6050-0 0x68 Xnorm = 0.09 Ynorm = -0.14 Znorm = 8.71

MPU6050-1 0x69 Xnorm = 3.20 Ynorm = -3.31 Znorm = 7.79

This is a message from Arduino Mega2560 to PC Serkan

MPU6050-0 0x68 Xnorm = 0.04 Ynorm = -0.14 Znorm = 8.62

MPU6050-1 0x69 Xnorm = 3.23 Ynorm = -3.35 Znorm = 7.84

This is a message from Arduino Mega2560 to PC Serkan

MPU6050-0 0x68 Xnorm = 0.09 Ynorm = -0.18 Znorm = 8.70

MPU6050-1 0x69 Xnorm = 3.22 Ynorm = -3.35 Znorm = 7.74

This is a message from Arduino Mega2560 to PC Serkan

MPU6050-0 0x68 Xnorm = 0.07 Ynorm = -0.22 Znorm = 8.71

MPU6050-1 0x69 Xnorm = 3.25 Ynorm = -3.29 Znorm = 7.93

This is a message from Arduino Mega2560 to PC Serkan

MPU6050-0 0x68 Xnorm = 0.04 Ynorm = -0.15 Znorm = 8.71

MPU6050-1 0x69 Xnorm = 3.26 Ynorm = -3.29 Znorm = 8.00

This is a message from Arduino Mega2560 to PC Serkan

MPU6050-0 0x68 Xnorm = 0.06 Ynorm = -0.20 Znorm = 8.62

MPU6050-1 0x69 Xnorm = 3.29 Ynorm = -3.30 Znorm = 7.78

This is a message from Arduino Mega2560 to PC Serkan

MPU6050-0 0x68 Xnorm = -0.01 Ynorm = -0.10 Znorm = 8.74

MPU6050-1 0x69 Xnorm = 3.27 Ynorm = -3.30 Znorm = 7.82

This is a message from Arduino Mega2560 to PC Serkan

MPU6050-0 0x68 Xnorm = 0.05 Ynorm = -0.18 Znorm = 8.62

MPU6050-1 0x69 Xnorm = 3.27 Ynorm = -3.28 Znorm = 7.97

This is a message from Arduino Mega2560 to PC Serkan

MPU6050-0 0x68 Xnorm = 0.07 Ynorm = -0.19 Znorm = 8.68

MPU6050-1 0x69 Xnorm = 3.21 Ynorm = -3.35 Znorm = 7.92

This is a message from Arduino Mega2560 to PC Serkan

MPU6050-0 0x68 Xnorm = 0.03 Ynorm = -0.11 Znorm = 8.63

MPU6050-1 0x69 Xnorm = 3.23 Ynorm = -3.32 Znorm = 7.93

This is a message from Arduino Mega2560 to PC Serkan

MPU6050-0 0x68 Xnorm = -0.04 Ynorm = -0.18 Znorm = 8.66

MPU6050-1 0x69 Xnorm = 3.18 Ynorm = -3.40 Znorm = 7.91

This is a message from Arduino Mega2560 to PC Serkan

MPU6050-0 0x68 Xnorm = 0.06 Ynorm = -0.14 Znorm = 8.69

MPU6050-1 0x69 Xnorm = 3.19 Ynorm = -3.33 Znorm = 7.98

Yukarıdaki ölçüm sonuçlarında iki adet ivme ölçerden de birer adet ölçüm alındıktan sonra; alınan ölçümlerin arasına “This is a message from Arduino Mega2560 to PC Serkan” şeklinde test mesajı ilave edilmiştir.

5.5 MPU6050, ESP32 ve Arduino Mega2560 İşlemci Kartı Ölçümleri

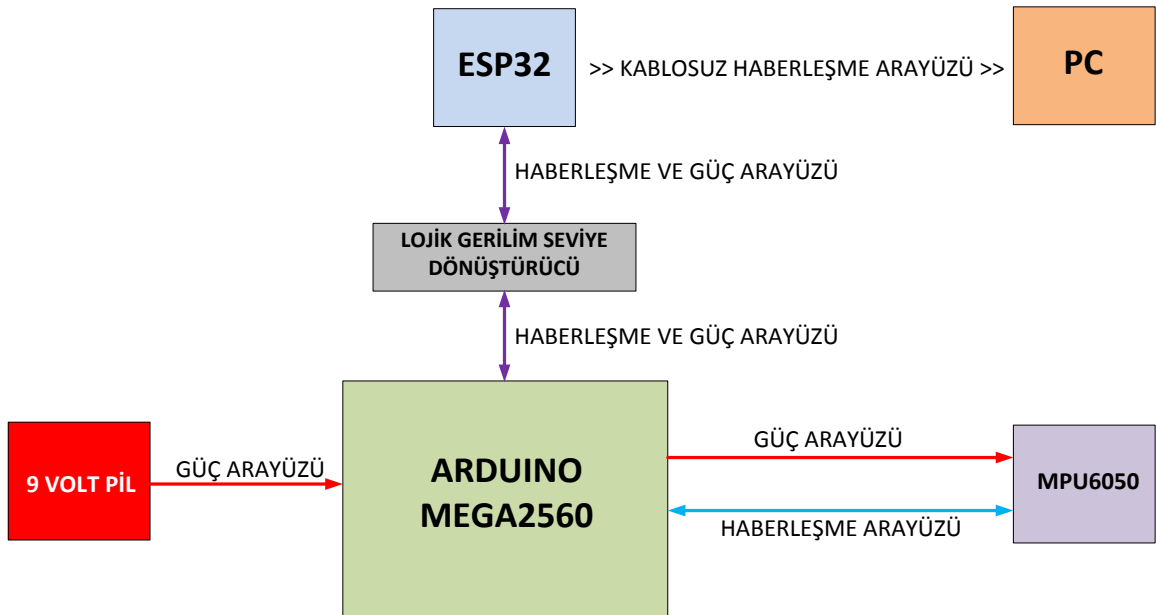
MPU6050 ivme ölçer kartı ivme ölçümünün yanı sıra jiroskop kabiliyetine de sahiptir. Jiroskop olarak MPU6050'nin veya diğer jiroskop sensörlerinin temel özelliği hareketli cisimlerin gösterdikleri ivme hareketine dayalıdır. Jiroskop yön belirleme amacıyla kullanılan bir sensör tipi olup, cep telefonları, tablet ve bazı elektronik cihazlarda bulunan bir sensördür. Cep telefonlarını sağa sola hareket ettirerek oynanan oyunlarda ya da cep telefonunun ekranının yatay veya dikey olarak hareket ettirilmesinde jiroskoptan faydalanılmaktadır.

Jiroskop sensörü, açısal hızı algılayabilen bir sistemdir. Yani sabit duran bir cismin, üç dikey ekseninde açısal oranlar karşılaştırılarak dönüş yönü ve hızı belirlenir. Algıladığı verileri işlemci sayesinde işleyerek elektriksel sinyale çevirir. Jiroskop, yön ölçümü veya ayarlamasında kullanılan, açısal dengenin korunması ilkesiyle çalışır. Jiroskopik hareketin temeli fizik kurallarına ve merkezkaç ilkesine dayalıdır (Aydınöglü, 2015).

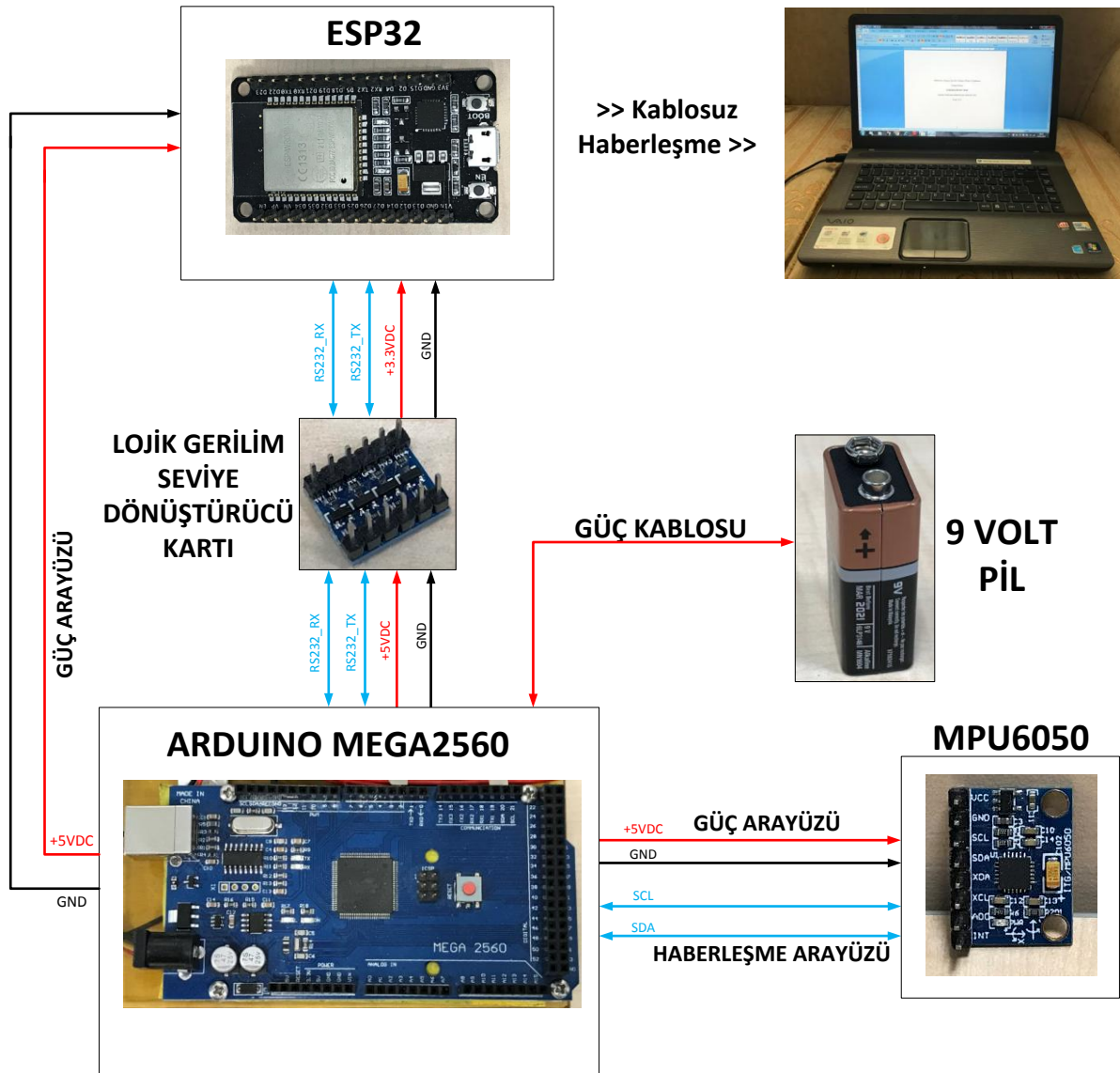
Jiroskop (Gyroscope) sensörü ivmeölçere (accelerometer) benzer ama aralarında büyük bir fark vardır: İvmeölçer cihazın ivmesini ölçerken, jiroskop 3 koordinatın (X, Y, Z) dönüş hızını ölçmektedir. İvmeölçerde tek bir koordinat üzerinden ivme ölçülürken jiroskopta üç koordinata göre dönüş hızı ölçümü yapılır (Aydınöglü, 2015).

MPU6050 ivme ve jiroskop sensörü 3 eksen (X, Y ve Z) dönüş hızını ölçebilmektedir. Yapılan bu deneyde MPU6050 ivme ve jiroskop sensöründen 3 eksendeki ivme ve jiroskop değerlerinin ilk olarak Arduino Mega2560 işlemcisi ile ölçülmesi hedeflenmiştir. Ölçümler doğru bir şekilde alındıktan sonra ESP32 geliştirme kartının WiFi özelliği kullanılarak elde edilen ölçümlerin hedef bilgisayara kablosuz olarak gönderilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca bu deneyde elektronik kartların güç ihtiyacını diğer deneylerde olduğu gibi USB ile hedef bilgisayardan almak yerine 9 Volt'luk pil kullanılmıştır. Pil kullanımı ile sistemin hedef bilgisayara kablo ile bağlı olması kısıtından kurtularak sistemin portatif olarak özgürce yer değiştirebilmesi de sağlanmıştır.

Farklı gerilim seviyelerindeki ESP32 geliştirme kartı(3.3 Volt) ve Arduino Mega2560 işlemci kartının(5 Volt) haberleşmesi için lojik gerilim seviye dönüştürücü kartı kullanılmıştır. Arduino Mega2560 işlemcisi, ESP32 geliştirme kartı, MPU6050 ivme ölçer ve jiroskop sensörü, lojik gerilim seviye dönüştürücü kartı ve pil bağlantıları; Şekil 5.18, Şekil 5.19 ve Çizelge 5.4'de belirtildiği şekilde yapılmıştır. Arduino Mega2560 işlemci kartı ve ESP32 geliştirme kartını programlamak, test etmek ve ölçüm sonuçlarını elde etmek için Arduino IDE Versiyon 1.8.3 Yazılımı kullanılmıştır.



Şekil 5.18 İvme ve Gyro Ölçümü Blok Şema-1



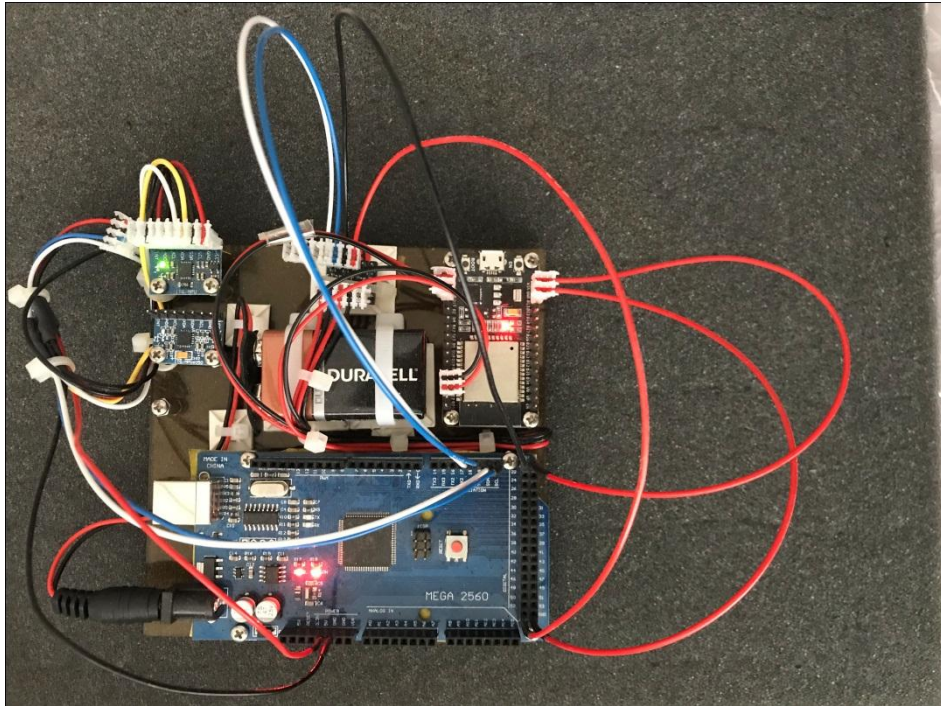
Şekil 5.19 İvme ve Gyro Ölçümü Blok Şema-2

Arduino Mega2560 İşlemcisi, MPU6050 ivme ölçer, ESP32 geliştirme kartı, lojik gerilim seviye dönüştürücü ve pil arasındaki kablo bağlantı listesi Çizelge 5.4'de verilmektedir.

Çizelge 5.4 Arduino Mega2560, MPU6050 & ESP32 Bağlantı Listesi

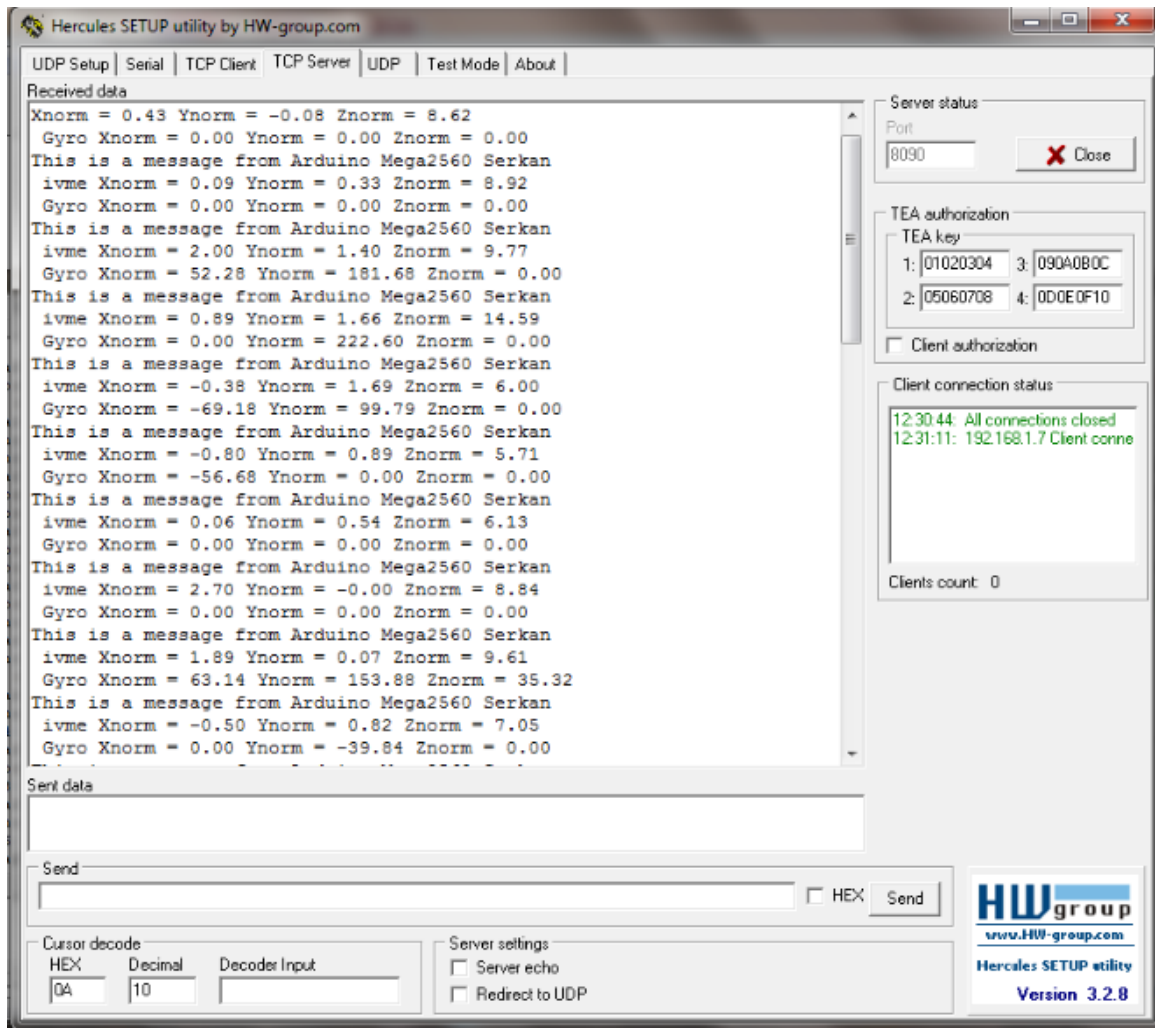
#	NEREDEN	NEREYE	RENK	AÇIKLAMA
1	MPU6050 / VCC	ARDUNIO / 5V	KIRMIZI	5VDC(+)
2	MPU6050 / GND	ARDUNIO / GND	SİYAH	5V_GND
3	MPU6050 / SCL	ARDUNIO / SCL	MAVİ	SCL
4	MPU6050 / SDA	ARDUNIO / SDA	BEYAZ	SDA
5	LS / LV	ESP32/3V3	KIRMIZI	3VDC(+)
6	LS / GND	ESP32/GND	SİYAH	3V3_GND
7	LS / LV1	ESP32/TX0	KIRMIZI	TX
8	LS / LV2	ESP32/RX0	SİYAH	RX
9	LS / HV	ARDUNIO/5V	SİYAH	5VDC(+)
10	LS / GND	ARDUNIO/GND	KIRMIZI	5V_GND
11	LS / HV1	ARDUNIO/TX1	MAVİ	TX
12	LS / HV2	ARDUNIO/RX1	BEYAZ	RX
13	9 Volt Pil	ARDUINO Güç Girişi	-	Güç Kablosu

İki adet MPU6050 ivme ölçer kartı ve Arduino Mega2560 işlemci kartı yer ivme değerlerinin okunabilmesi için Şekil 5.20’de gösterildiği gibi tutularak ölçümler alınmıştır.



Şekil 5.20 İvme ve Gyro Ölçümü Gerçek Bağlantı

MPU6050 ivme ölçer ile 500 milisaniye aralıklarla alınan ve Arduino Mega2560 işlemci kartı ile okunarak ESP32 geliştirme kartı ile hedef bilgisayara kablosuz olarak aktarılan 3 eksendeki ivme ve gyro ölçümleri Hercules Yazılımı kullanılarak Şekil 5.21'deki gibi elde edilmiştir:

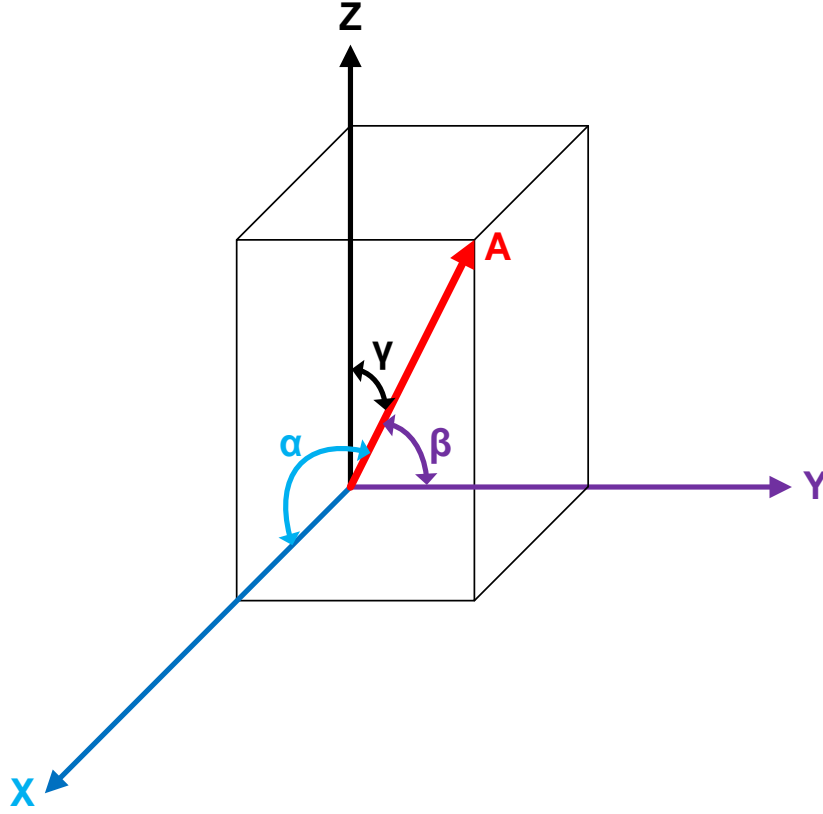


Şekil 5.21 Hercules Yazılımı ile Ölçüm Sonuçları

5.6 Bileşke İvme ve Bileşke Konum Ölçüm Deneyleri

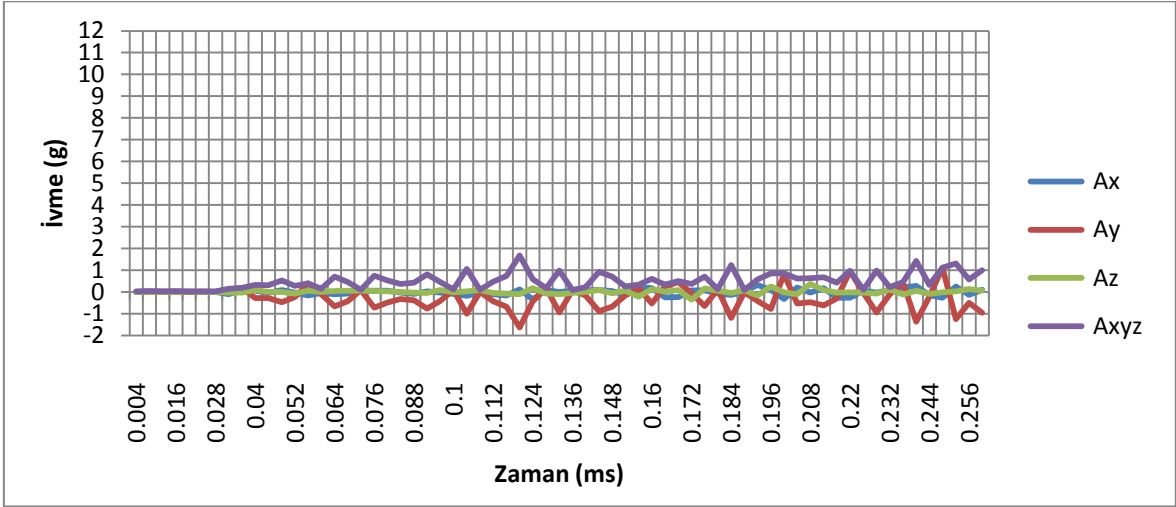
Arduino Mega2560 işlemcisi, MPU6050 ivme ölçer ve bilgisayar bağlantıları; Şekil 5.18, Şekil 5.19 ve Çizelge 5.4'de belirtildiği şekilde korunarak, bileşke ivme ve bileşke konum ölçümleri yapılmıştır.

Üç eksendeki ivme veya konum değışikliği hareketi; A vektörüyle Şekil 5.22'deki gibi gösterilebilir. Şekil 5.22'de A vektörünün X eksenine ile yaptığı açı alfa(α), Y eksenine ile yaptığı açı beta(β) ve Z eksenine ile yaptığı açı gama(γ) olarak tanımlanmıştır.

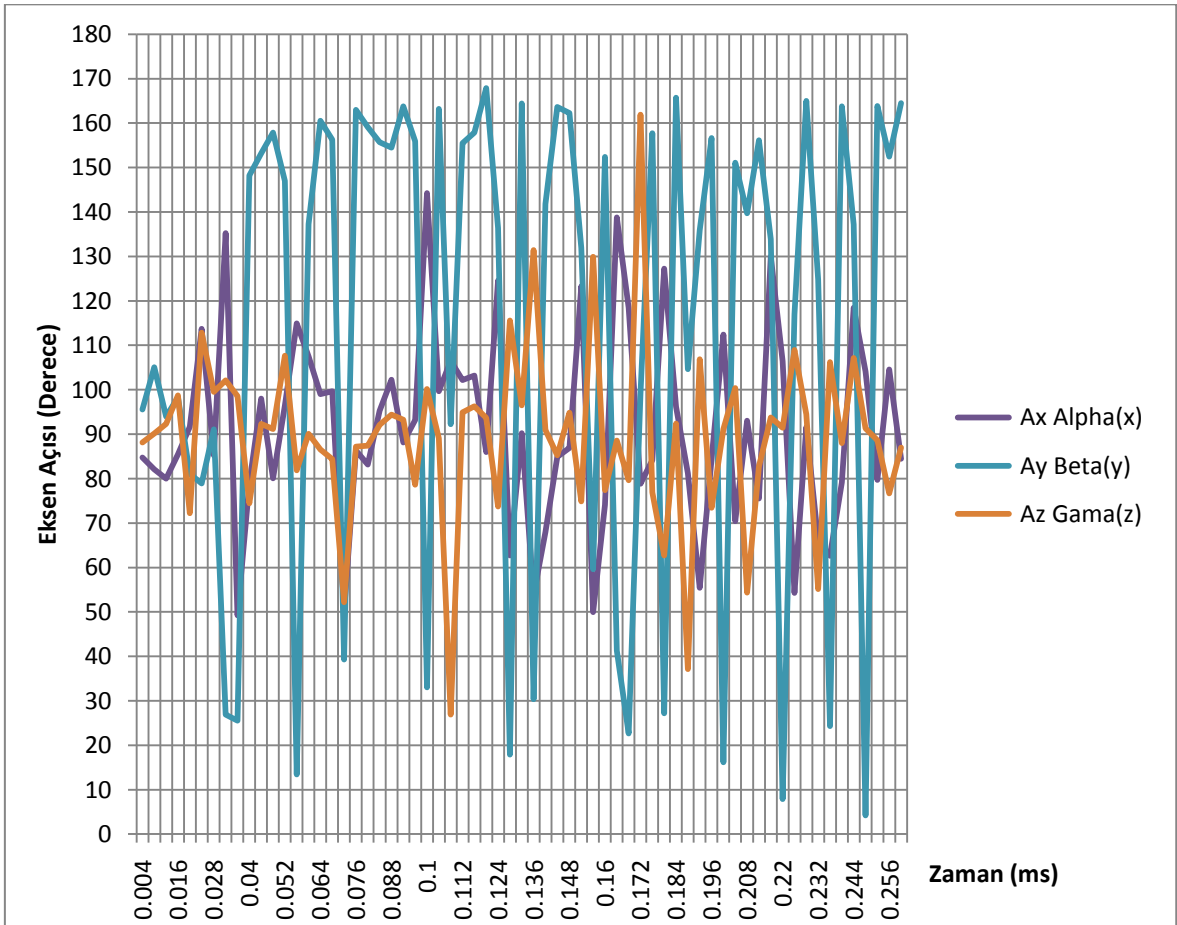


Şekil 5.22 Üç Eksenli Açı Yönelimleri

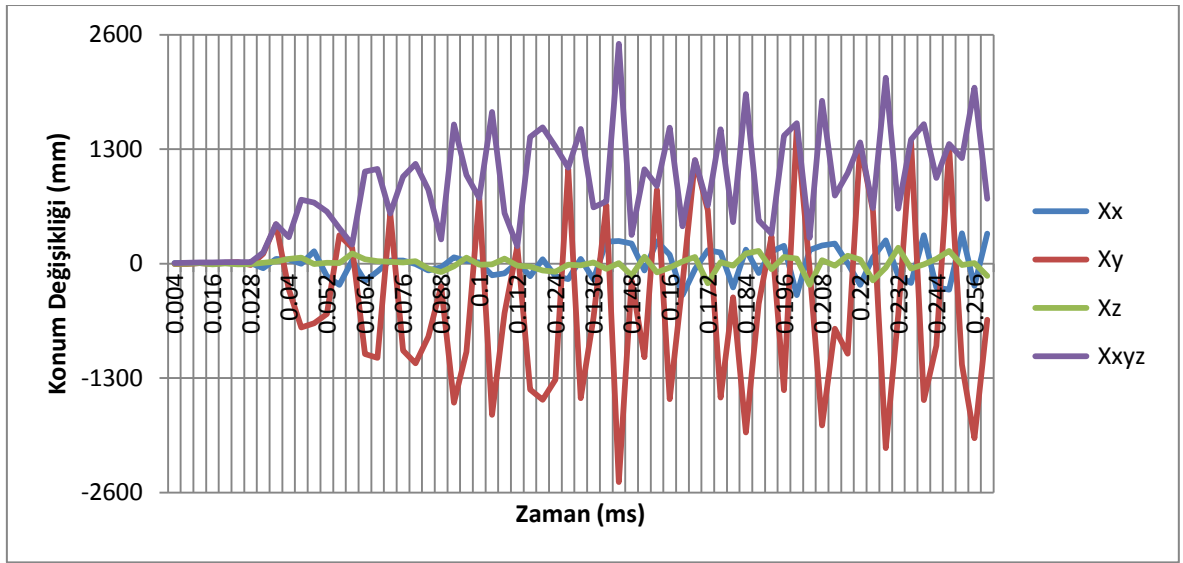
MPU6050 ivme ölçeri ile 4 milisaniye (250 Hz) aralıklarla yaklaşık 250 milisaniye boyunca alınan, üç eksenli (A_x , A_y ve A_z) bileşenlerinden bileşke ivmenin (A_{xyz}) büyüklüğünün ve üç eksen ile yaptığı açıların hesaplandığı; Arduino Mega2560 işlemci kartı tarafından hedef bilgisayara aktarılan ölçümlerinin grafiksel gösterimi Şekil 5.23'de verilmektedir.



Üç eksendeki ivme değerleri ve bileşke ivme değeri birlikte kullanılarak bileşke ivmenin her eksen ile yaptığı açı değerleri Şekil 5.24'deki grafikte belirtildiği gibi hesaplanmıştır.

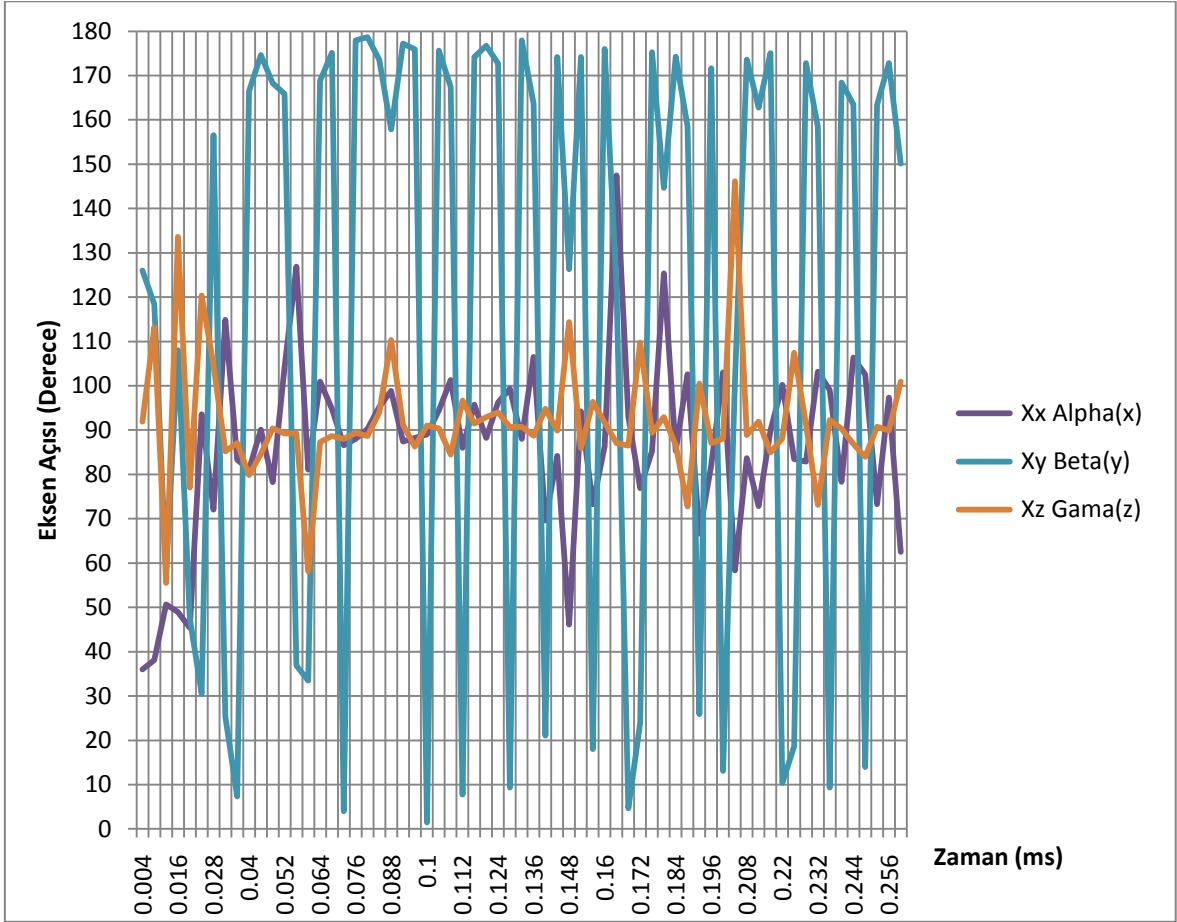


MPU6050 ivme ölçeri ile 4 milisaniye (250 Hz) aralıklarla yaklaşık 250 milisaniye boyunca alınan, üç eksendeki ivme değerlerinden öncelikle 20 ms periyotlarındaki hız değeri elde edilmiştir. Hız değerinden de yine 20 milisaniyedeki 3 eksendeki konum bilgileri elde edilmiştir. 3 eksendeki konum bilgileri ve bileşke konumun büyüklüğünün (Xxyz) hesaplandığı; Arduino Mega2560 işlemci kartı tarafından hedef bilgisayara aktarılan ölçümlerinin grafiksel gösterimi Şekil 5.25’de verilmektedir.



Şekil 5.25 Bileşke Konum Büyüklüğü Ölçümü

Üç eksendeki konum değerleri ve bileşke konum değeri birlikte kullanılarak bileşke konumun her eksen ile yaptığı açı değerleri Şekil 5.26’daki grafikte belirtildiği gibi hesaplanmıştır.



Şekil 5.26 Bileşke Konum Açısı Ölçümü

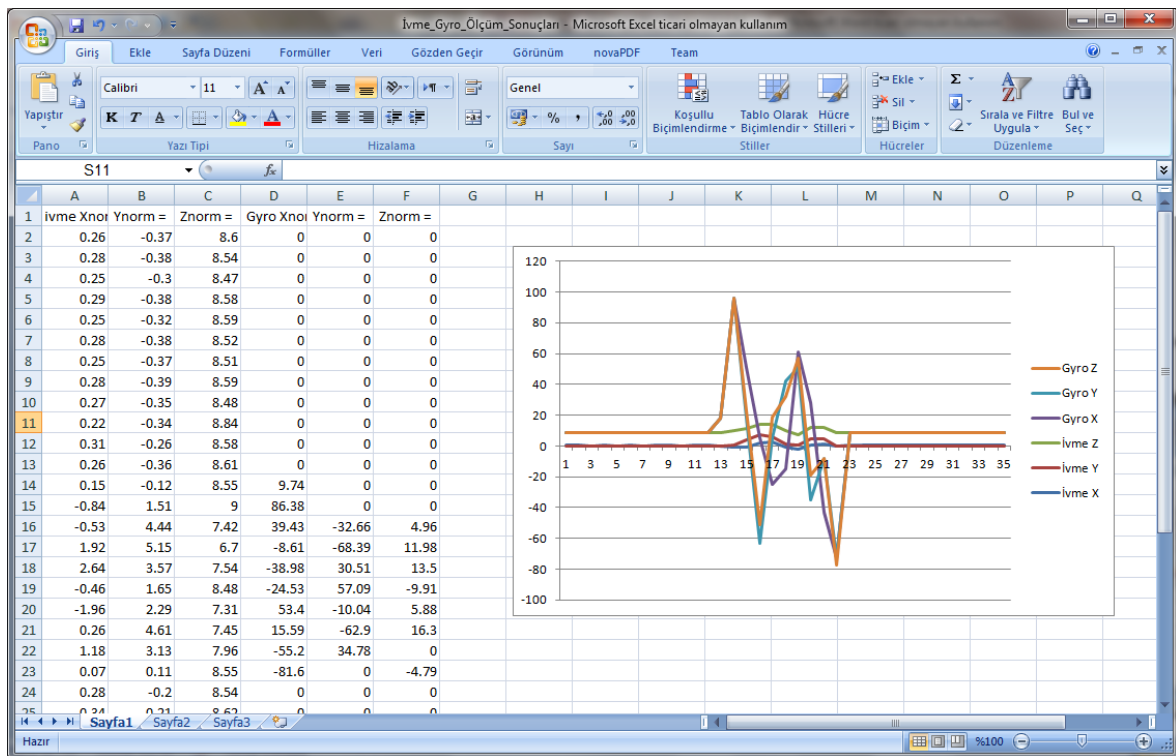
5.7 İvme ve Gyro Grafik Çizimi Deneyleri

Bu tez çalışmasındaki son deneyde MPU6050 ivme ölçer kartı ile elde edilen ivme ve gyro değerleri Microsoft Office Excel programı yardımıyla kayıt altına alınarak grafik çizimleri gerçekleştirilmiştir.

Arduino Mega2560 işlemcisi, MPU6050 ivme ölçer ve bilgisayar bağlantıları; Şekil 5.5, Şekil 5.6 ve Çizelge 5.2’de belirtildiği şekilde yapılmıştır. Arduino Mega2560’ı programlamak, test etmek ve ölçüm sonuçlarını elde etmek için Arduino IDE Versiyon 1.8.3 Yazılımı kullanılmıştır. Arduino IDE yazılımının kendi grafik çizimlerinden de faydalanılmıştır. İvme ve Gyro Ölçüm Sonuçları aşağıdaki gibidir:

ivme			Gyro		
Xnorm	Ynorm	Znorm	Xnorm	Ynorm	Znorm
=	=	=	=	=	=
0.26	-0.37	8.6	0	0	0
0.28	-0.38	8.54	0	0	0
0.25	-0.3	8.47	0	0	0
0.29	-0.38	8.58	0	0	0
0.25	-0.32	8.59	0	0	0
0.28	-0.38	8.52	0	0	0
0.25	-0.37	8.51	0	0	0
0.28	-0.39	8.59	0	0	0
0.27	-0.35	8.48	0	0	0
0.22	-0.34	8.84	0	0	0
0.31	-0.26	8.58	0	0	0
0.26	-0.36	8.61	0	0	0
0.15	-0.12	8.55	9.74	0	0
-0.84	1.51	9	86.38	0	0
-0.53	4.44	7.42	39.43	-32.66	4.96
1.92	5.15	6.7	-8.61	-68.39	11.98
2.64	3.57	7.54	-38.98	30.51	13.5
-0.46	1.65	8.48	-24.53	57.09	-9.91
-1.96	2.29	7.31	53.4	-10.04	5.88
0.26	4.61	7.45	15.59	-62.9	16.3
1.18	3.13	7.96	-55.2	34.78	0
0.07	0.11	8.55	-81.6	0	-4.79
0.28	-0.2	8.54	0	0	0
0.34	-0.21	8.62	0	0	0
0.31	-0.32	8.55	0	0	0
0.31	-0.33	8.51	0	0	0
0.27	-0.37	8.57	0	0	0
0.3	-0.3	8.68	0	0	0
0.31	-0.31	8.66	0	0	0
0.29	-0.32	8.61	0	0	0
0.3	-0.27	8.54	0	0	0
0.32	-0.26	8.51	0	0	0
0.31	-0.3	8.54	0	0	0
0.36	-0.29	8.51	0	0	0
0.29	-0.29	8.52	0	0	0

İvme ve Gyro bilgileri Microsoft Office Excel programına aktarılarak kayıt altına alınan veriler ve grafiği Şekil 5.27'deki gibidir.



Şekil 5.27 İvme ve Gyro Ölçüm Sonuçları Excel Veri ve Grafik Gösterimi

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Demiryolu araçları için bir titreşim ölçüm uygulaması konulu tez çalışmasında, MPU6050 ivme ölçer sensörü ile çeşitli deneyler yapılarak titreşim esnasında oluşan 3 eksendeki ivme değerleri ölçülmüş ve sonuçlar yorumlanmıştır. Her ne kadar tez konusu ve tez çalışmasının başlangıcında hedef olarak demiryolu araçları düşünülmüş olsa da tez çalışmasının sonunda; yapılan çalışmaların herhangi bir araç, taşıt veya elektronik cihaz içerisinde de kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

Bu tez çalışmasında elde edilen verilerin kablosuz haberleşme ile hedef bilgisayara aktarılması sağlanmıştır. Bilgisayar ile kablo bağlantısının zorunlu olması sisteme portatif olarak hareket edebilme özgürlüğünü kazandırmıştır. Ayrıca elde edilen ivme değerleri kullanılarak gerçek zamanlı olarak ivme-zaman grafikleri çizdirilmiştir.

Tez çalışmasında MPU6050 ivme sensörü tercih edilmesinin sebebi; MPU6050'nin yaygın olarak kullanılıyor olması, bu alanda çalışma yapacakların sensöre aşina olması ve sensörün işlemciler ile standart haberleşme arayüzüne sahip olmasıdır.

Demiryolu araçları için bir titreşim ölçüm uygulaması konulu tez çalışmasında elektronik kart olarak Arduino Mega2560, ESP32, MPU6050 ve lojik gerilim seviye dönüştürücü kartı olmak üzere 4 farklı hazır kart kullanılmıştır. Uygulamanın piyasada gerçekten kullanılması düşünülürse yeniden tasarımı yapılacak tek bir elektronik kartta tez çalışmasında kullanılan 4 kartın gerekli devreleri kullanılarak daha esnek bir tasarım yapılabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Demir, C., 2004, Titreşim Sunum, <http://www.yildiz.edu.tr/~cdemir/TitresimSunum.pdf>, erişim tarihi: 30.12.2018.
- Anonim, 2015, İvmeölçer (Accelerometer), <http://elektronikhobi.net/ivmeolcer/>, erişim tarihi: 02.01.2019.
- Yelis, B., 2016, Inertial Measurement Unit (IMU) Nedir?, [https://www.elektrikport.com/universite/inertial-measurement-unit-\(imu\)-nedir/17369#ad-image-0](https://www.elektrikport.com/universite/inertial-measurement-unit-(imu)-nedir/17369#ad-image-0), erişim tarihi: 05.01.2019.
- Anonim, 2018, Arduino ile MPU6050 ivme sensörü kullanımı, <http://www.kodlakafa.com/arduino/arduino-ile-mpu6050-ivme-sensuru-kullanimi/>, erişim tarihi: 06.01.2019.
- Topçu, Y., 2017, Arduino ve MPU6050 İvme Sensörüne Başlarken, <https://www.ismitekno.com/2017/11/arduino-ve-mpu6050-ivme-sensuru.html>, erişim tarihi: 06.01.2019.
- Anonim, 2018, Arduino Nedir?, http://www.robotiksistem.com/arduino_nedir_arduino_ozellikleri.html, erişim tarihi: 12.01.2019.
- Alpat, A., 2012, Arduino Mega 2560 Nedir?, <http://arduinoturkiye.com/arduino-mega-2560-nedir/>, erişim tarihi: 12.01.2019.
- Aydinoğlu, C., 2015, Jiroskop Sensörü Nasıl Çalışır?, <https://www.elektrikport.com/universite/jiroskop-sensuru-nasil-calisir/16721#ad-image-0>, erişim tarihi: 03.02.2019.