

**İÇTEN YANMALI MOTOR MARŞ SİSTEMİNİN  
CAN AĞI ÜZERİNDEN ZEKİ DENETİMİ**

**2019  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

**Mesut DUYGU**

**İÇTEN YANMALI MOTOR MARŞ SİSTEMİNİN CAN AĞI ÜZERİNDEN  
ZEKİ DENETİMİ**

**Mesut DUYGU**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalında**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK**

**Kasım 2019**

Mesut DUYGU tarafından hazırlanan “İÇTEN YANMALI MOTOR MARŞ SİSTEMİNİN CAN AĞI ÜZERİNDEN ZEKİ DENETİMİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Raif BAYIR

Tez Danışmanı, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı



Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ALBAYRAK

İkinci Danışman, Düzce Üniversitesi



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 15/11/2019

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Salih GÖRGÜNOĞLU (KÜ)



Üye : Prof. Dr. Raif BAYIR (KBÜ)



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ALBAYRAK (DÜ)



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Metin ZEYVELİ (KBÜ)



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Batıkan Erdem DEMİR (KBÜ)



.../.../2019

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

Lisansüstü Eğitim Enstitü Müdürü





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

Mesut DUYGU

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **İÇTEN YANMALI MOTOR MARŞ SİSTEMİNİN CAN AĞI ÜZERİNDEN ZEKİ DENETİMİ**

**Mesut DUYGU**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Prof. Dr. Raif BAYIR**

**Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ALBAYRAK**

**Kasım 2019, 56 sayfa**

İçten yanmalı motorlarda (İYM) marş sistemi, İYM krank miline çalışması için ilk hareketi sağlayan sistemdir. Bu çalışmada, İYM'nin en önemli sistemlerinden biri olan marş sistemini oluşturan deney düzeneği geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem ana kontrol ünitesi, motor yük direnci kontrol ünitesi, algılama devresi, veri kayıt sistemi, güç ünitesi ve CAN (Kontrolör Alan Ağı) dan oluşmaktadır. Marş sisteminin temel elemanları marş motoru ve bataryanın akım, gerilim, sıcaklık ve içten yanmalı motorun krank mili devir hızı verilerinin tamamı ölçülerek, ana kontrol ünitesinde işlenmekte ve CAN ağı üzerinden bilgisayara aktarılmaktadır. İYM'un soğuk çalışma ve sıcak çalışma durumlarında mekanik elemanları ve yağlayıcı kimyasallarının karakteristik özellikleri gereği farklı sürtünme dirençleri olması dolayısıyla bu motorlarda farklı yükler meydana gelmesine sebep olmaktadır. Deney düzeneğinde

marş sistemi performansının değerlendirilmesi için marş motoru ile dört kademeli yük deneyleri yapılmıştır. Deneylerde ölçülen parametrelerdeki değişimler marş işlemi sürecinde bilgisayarda MATLAB Gui (Grafiksel Kullanıcı Arayüzü) üzerinde tasarlanan kullanıcı arayüzü yardımıyla izlenmektedir. Marş sisteminde bulunan marş motorunun zorlanması için alternatör marş motoruna krank mili aracılığı ile bağlanmaktadır. Marş motoru çalışması sırasında alternatörde üretilen elektrik, yük direnci üzerinden marş motorunun zorlanmasını sağlamaktadır. Deneylerde marş motoru kademeli olarak %40, %60, %80 ve %100 yüklerle maruz bırakılarak, farklı yükler altında batarya ve marş motoru performansları analiz edilmiştir. Yük akımının istenilen referans değerinde kontrol edilebilmesi için bulanık mantık denetleyicisi tasarımı yapılmış ve uygulanmıştır. Tez çalışması kapsamında içten yanmalı motorlarda bulunan marş sistemi performansı izlenerek arızai durumlarında arızalı parça veya parçalar kolaylıkla tespit edilebilecektir.

**Anahtar Sözcükler :** İçten yanmalı motor, marş sistemi, gerçek zamanlı izleme, bulanık mantık denetleyicisi.

**Bilim Kodu** : 92902

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **INTELLIGENT CONTROL OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE START SYSTEM VIA CAN NETWORK**

**Mesut DUYGU**

**Karabük University  
Institute of Graduate Programs  
Department of Mechatronics Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Prof. Dr. Raif BAYIR**

**Dr. Ahmet ALBAYRAK**

**November 2019, 56 pages**

In internal combustion engines (ICE), the starter system is the system that provides the first movement for the operation of the ICE crankshaft. In this study, the real-time status of the components of the cranking system, which is one of the most important systems of ICE, was monitored with the experimental setup. The developed system consists of main control unit, motor and load resistance control unit, sensor circuit, data recording system, power unit, CAN (Controller Area Network) units. The basic elements of the starter system are all measured by the main control unit and transferred to the computer via CAN network by measuring the current, voltage, temperature and crankshaft rotation speed data of the starter motor and battery. In cold working and hot working conditions, due to the characteristic specifications of mechanical elements and lubricant chemicals, they have different frictional resistance and therefore cause different development loads in these ICEs. In order to evaluate the performance of the

starter system in the test setup, the starter motor was subjected to four stages of load and the experiments were carried out. The changes in the parameters measured in the experiments are monitored by the user interface designed on MATLAB Gui on the computer during the experimental process. In order to force the starter motor in the starter system, the alternator is connected to the starter motor by means of the crankshaft. During the starter motor operation, the electrical load resistance produced in the alternator is consuming on and the starter motor is forced. In the experiment, the starter motor was gradually exposed to 40%, 60%, 80% and 100% loads and the battery and starter performances under different loads were analyzed. Fuzzy logic controller is designed and applied to control load current at desired reference value. Within the scope of the thesis, starting system performance in internal combustion engines is monitored and possible faults can be predicted by the expert beforehand, and in case of faults, it is thought to detect the faulty system part easily.

**Key Word** : Internal combustion engine, starter system, real-time monitoring, fuzzy logic controller.

**Science Code** : 92902



## TEŞEKKÜR

Bu tez alıŐmasının planlanmasında, araŐtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle alıŐmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Raif BAYIR'a, eş danışman sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ALBAYRAK ve desteklerini esirgemeyen sayın hocam Öğr. Gör. Süleyman ÇEVEN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	vi
TEŞEKKÜR .....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	4
LİTERATÜR TARAMASI.....	4
BÖLÜM 3 .....	8
MARŞ SİSTEMİ .....	8
3.1. MARŞ MOTORU .....	9
3.2. İÇTEN YANMALI MOTOR (İYM).....	11
3.3. BATARYALAR.....	14
3.3.1. Kurşun Asit Bataryalar.....	15
BÖLÜM 4 .....	17
MATERYAL VE METOD .....	17
4.1. DENEY DÜZENİĞİNİN MODELLENMESİ .....	17
4.2. DENEY DÜZENİĞİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ.....	22
4.2.1. Deney Düzenliğinde Kullanılan Marş Motoru ve Alternatör .....	24
4.2.2. Deney Düzenliği Ana Kontrol Ünitesi .....	26

	<b><u>Sayfa</u></b>
4.2.3. Veri Depolama Ünitesi.....	28
4.2.4. Güç Ünitesi.....	28
4.2.5. Mosfet Anahtarlama Ünitesi.....	29
4.2.6. Motor ve Yük Direnci Kontrol Devresi.....	30
4.2.7. Algılayıcı Ünitesi.....	32
4.3. ALT SİSTEMLERDE KULLANILAN MATERYALLER.....	32
4.3.1. Sistemde Kullanılan Denetleyici.....	32
4.3.2. Sistemlerde Kullanılan Sıcaklık Algılayıcısı.....	33
4.3.3. Sistemlerde Kullanılan Akım Algılayıcıları.....	34
4.3.4. Gerilim Algılayıcısı.....	35
4.3.5. Artımsal Kodlayıcı.....	35
4.3.6. Bellek Modülü.....	36
4.3.7. CAN Entegresi.....	36
4.4. CAN PROTOKOLÜ.....	37
4.5. BULANIK MANTIK DENETLEYİCİ.....	38
4.5.1. Yük Akımı BMD Tasarımının Gerçekleştirilmesi.....	41
4.6. ANA KONTROL ÜNİTESİ YAZILIMININ GERÇEKLEŞTİRİLMESİ.....	43
BÖLÜM 5.....	45
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	45
BÖLÜM 6.....	52
SONUÇLAR.....	52
KAYNAKLAR.....	53
ÖZGEÇMİŞ.....	56

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 3.1. Araç marş sistemi. ....	8
Şekil 3.2. Marş motoru iç yapısı. ....	9
Şekil 3.3. Motor alan sargıları ve fırçalar .....	10
Şekil 3.4. Marş motoru endüvisi. ....	11
Şekil 3.5. Dört zamanlı İYM'nin iç yapısı. ....	12
Şekil 3.6. Dört zamanlı İYM basınç- krank mili açığı. ....	13
Şekil 3.7. Bataryaların sınıflandırılması. ....	14
Şekil 3.8. Jel tipi Kurşun asit batarya. ....	15
Şekil 4.1. Deney düzeneğine ait Simulink modeli. ....	18
Şekil 4.2. Yük devresi modeli. ....	19
Şekil 4.3. Mosfet sürücü modeli. ....	19
Şekil 4.4. Kenetlenme mekanizması modeli. ....	20
Şekil 4.5. Marş motoru modeli. ....	20
Şekil 4.6. Marş sistemi modeli simülasyon sonuçları. ....	21
Şekil 4.7. Deney düzeneği çalışma blok diyagramı. ....	22
Şekil 4.8. Geliştirilen deney düzeneği. ....	23
Şekil 4.9. Deney düzeneğinde sistemlerin mekanik bağlantısı. ....	24
Şekil 4.10. Deney düzeneğinde kullanılan marş motoru. ....	25
Şekil 4.11. Düzenekte kullanılan alternatör. ....	25
Şekil 4.12. Ana kontrol ünitesi çalışma blok diyagramı. ....	26
Şekil 4.13. Ana kontrol ünitesi. ....	27
Şekil 4.14. Veri depolama sistemi. ....	28
Şekil 4.15. Mosfet anahtarlama ünitesi. ....	29
Şekil 4.16. Mosfet anahtarlama ünitesi elektronik devre şeması. ....	30
Şekil 4.17. Yük direnci. ....	30
Şekil 4.18. Mosfet devresi elektrik şeması. ....	31
Şekil 4.19. Motor ve yük direnci kontrol devresi. ....	31
Şekil 4.20. Algılayıcı ünitesi. ....	32
Şekil 4.21. STM32F4 discovery kartı. ....	33

## Sayfa

Şekil 4.22. LM35 sıcaklık algılayıcısı.....	33
Şekil 4.23. LA55-P akım algılayıcısı. ....	34
Şekil 4.24. LTS25-NP akım algılayıcısı.....	34
Şekil 4.25. LV25-P gerilim algılayıcısı.....	35
Şekil 4.26. Düzenekte kullanılan kodlayıcı. ....	35
Şekil 4.27. SD kart modülü.....	36
Şekil 4.28. MCP2551 Entegrenin resmi.....	36
Şekil 4.29. CAN protokolü kablolama blok diyagramı.....	37
Şekil 4.30. Üçgen üyelik fonksiyonu. ....	39
Şekil 4.31. Bulanık kümeler. ....	40
Şekil 4.32. Bulanık kural tablosu.....	41
Şekil 4.33. Tasarlanan bulanık mantık denetleyicisi.....	42
Şekil 4.34. BMD Hata üyelik fonksiyonları.....	42
Şekil 4.35. BMD Hatadaki değişimin üyelik fonksiyonları.....	42
Şekil 4.36. BMD Çıkış üyelik fonksiyonları.....	43
Şekil 4.37. BMD Kural tabanı. ....	43
Şekil 4.38. Deney düzeneğinde kullanılan algılayıcılara ait ölçüm blokları.....	44
Şekil 4.39. Krank mili hızı ölçümü kodlayıcı sinyali işleme blokları.....	44
Şekil 5.1. Verilerin CAN ağı üzerinden bilgisayara aktarılması. ....	45
Şekil 5.2. Yük direnci güç zaman grafiği. ....	46
Şekil 5.3. Marş motoru akım grafiği. ....	47
Şekil 5.4. Batarya ve motora ait sıcaklık-zaman grafikleri. ....	49
Şekil 5.5. Krank mili hızları.....	50
Şekil 5.6. Batarya gerilim-zaman grafiği.....	50

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 3.1. Marş motoru parametreleri. ....	24
--	----



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

$\mu_k$  : Aktif kural üyelik derecesi

$z_k$  : Kuraldaki aktif çıkış

### KISALTMALAR

ADC	: Analogue to Digital Converter (Analog Dijital Dönüştürücü)
AÖN	: Alt Ölü Nokta
BG	: Beygir Gücü
BMD	: Bulanık Mantık Denetleyicisi
CAN	: Controller Area Network (Kontrol Alan Ağı)
CSMA/CD	: Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection (Çarpışma Algılayıcıyla Taşıyıcı Dinleyen Çoklu Erişim)
DA	: Doğru Akım
DAC	: Digital to Analogue Converter (Dijital Analog Dönüştürücü)
DAQ	: Data Acquisition (Veri Toplama)
EA	: Elektrikli Araçlar
ISO	: International Standards of Organisations (Uluslararası Standartlar Örgütü)
I/O	: Input/Output (Giriş/Çıkış)
I2C	: Inter – Integrated Circuit (Senkron Seri Haberleşme)
İYM	: İçten Yanmalı Motor
LCD	: Liquid Crystal Display (Sıvı Kristal Ekran)
MOSFET	: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (Metal Oksit Yarı İletkenli Alan Etkili Transistör)
OSI	: Open Systems Interconnection (Açık Sistemler Bağlantısı)
PWM	: Pulse Width Modulation (Darbe Genlik Modülasyonu)

RAM	: Random Access Memory (Rastgele Erişimli Bellek)
ROM	: Read – Only Memory (Sadece Okunabilir Bellek)
RTC	: Real Time Clock (Gerçek Zamanlı Saat)
SD	: Secure Digital (Güvenli Sayısal Hafıza Kartı)
SOC	: State Of Charge (şarj Durumu)
SPI	: Serial Peripheral Interface (Seri Çevresel Arabirim)
UART	: Universal Asynchronous Receiver Transmitter (Evrensel Asenkron Alıcı Verici)
USB	: Universal Serial Bus (Evrensel Seri Veriyolu)
ÜÖN	: Üst Ölü Nokta





## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Elektrik motorları sahip oldukları elektromekanik fiziksel yapıları sayesinde elektrik enerjisini mekanik enerjiye çeviren ve günümüzde enerji dönüşümü süreçlerini başarıyla gerçekleştiren elemanlardır. Bu özellikleri sebebiyle gerek günlük hayatta gerekse endüstrinin hemen her alanında yer almaktadırlar. Elektrik motorları elektromekanik sistem olmalarından dolayı yapıları son derece karmaşık ve farklı mekanik ve elektriksel parçaların kombinasyonlarını içermektedirler.

Elektrik motorlarının herhangi bir sebepten dolayı arızalanması, kullanıldıkları sistemlerin çalışmalarının durmasına, maddi kayıplara sebep olmaktadır. Günümüzde yapılan bir çok çalışma bu sistemlerin daha verimli, güvenilir ve emniyetli olmasını amaçlamaktadır. Bu amaçtan hareketle elektrik motorlarının çalışması esnasında durumlarının izlenmesi ve performans analizlerinin yapılması son derece önem arz etmektedir. Elektrik motorlarında ya da elektrik makinelerinde durum izleme yöntemleri 1960'lı yıllardan itibaren otomasyon teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak motor arızalarının çok sık olması sonucunda gerekli görülmeye başlanmıştır. Günümüzde hemen her alanda karşımıza çıkan elektrik motorlarının zaman zaman gün boyu çalışması istenmektedir. Elektrik motorlarında durum izleme motorun bağlı olduğu sistemlerde meydana gelen yada gelme ihtimali bulunan arızaların tahmin edilmesinde kullanılan hata tespit ve teşhis yöntemlerinin temelini oluşturan en önemli araçlardan biridir. Elektrik motorlarında durum izleme yöntemleri tarihi açıdan bakıldığında üç dönemde gerçekleşmiştir. İlk dönemde elektrik makinelerinde durum izleme 1950'li yıllarda görsel olarak yapılmakta ve arızalı olduğu düşünülen parça değiştirilerek sorunlar çözülmüştür. İkinci dönemde ise elektrik motoruna periyodik bakımlar yapılmakta, bakım planı ve yavaş bilgisayarlar ile ölçü aletleri kullanılarak durum izleme uygulanmıştır.

Elektrik motorlarında durum izlemede asıl ilerleme kaydedilen ve son safha olarak adlandırılan süreç ise 1980'li yılların başından itibaren günümüze kadar süre gelmektedir. Elektrik-elektronik ve bilgisayar teknolojilerinde gelinen son teknoloji sistemler ile elektrik motorları durumlarının çok hızlı ve doğru bir şekilde izlenmesi gerçekleştirilmektedir. Son dönemde özellikle uzman sistemlerde gelinen aşama ve kararlı analiz yöntemleri, yapay zeka sistemlerinin de dahil edilmesiyle bu alanda yapılan çalışmalarla desteklenmektedir. Durum izleme yöntemleri günümüzde otomasyon, Merkezi Kontrol ve Veri Toplama Sistemi (SCADA) sistemleri, hata tespit ve teşhis sistemleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Elektrik motorlarının en çok kullanıldığı alanlardan birisi de otomotiv sektörüdür. Otomobillerin içten yanmalı motorlarında (İYM) bulunan marş sisteminde, ısıtma/soğutma sisteminde, kapı kilit sisteminde, gösterge panellerinde vb. birçok sistemde elektrik motorları kullanılmaktadır. Taşıt teknolojilerinde kullanılan hemen hemen bütün Doğru Akım (DA) motorları düşük güçlü DA motorlar sınıfına girmektedir. Son yıllarda adından sıkça söz ettiren bir diğer teknoloji olan Elektrikli Araç (EA)'lara kıyasla günümüzde İYM'li araçlar öncülüğünü baskın bir şekilde sürdürmektedir. Dünya otomotiv sektörünün üretimleri 2018 yılı özelinde incelendiğinde, İYM'li araç sayısı yaklaşık 86 milyon adet iken, üretilen EA sayısının dünya genelinde 1261 adet olduğu görülmektedir. Buradan hareketle otomotiv sektörü için İYM'li araçlar ve bu araçların sahip olduğu teknolojilerin son derece önemli olduğu görülmektedir. Ayrıca İYM'ler otomotiv sektörü dışında elektrik üretimi sağlayan jeneratör sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

İYM'ler elektrik motorlarına göre son derece karmaşık sistemlerdir. İYM'ler çalışma prensipleri gereği başlangıçta ayrı bir tahrik sistemine ihtiyaç duyarlar. Günümüzde bu tahrik sistemine genel olarak marş sistemi adı verilmektedir. Marş sistemi marş motoru, batarya, ateşleme anahtarı ve yakıt pompasından oluşmaktadır. Marş motoru İYM'ye ilk hareketi sağlayan ağır yükler altında çalışabilen bir elektrik motordur. Diğer elektrik motorlarına kıyasla marş motorları mekanik ve elektriksel olarak daha fazla karmaşıktır. Marş motorları İYM için hayati önemdedir. Bu yüzden marş motorunda meydana gelebilecek arızaların tespitinde ve marş motoru sağlığının izlenmesi ve analiz edilmesi son derece önemlidir.

Bu tez çalışmasının amacı marş motoru ve bataryanın durumlarını izlemek ve geliştirilen deney düzeneği sayesinde marş sisteminin ana elemanları olan marş motoru ve bataryanın durumları izlenerek marş sisteminin sağlığı ve çalışma performansını değerlendirmektir.

Tezin ikinci bölümünde literatür taraması sunulmaktadır. Marş sistemi ile ilgili yapılmış akademik çalışmalar, elektrik motorlarında durum izleme, elektrik motorları hata tespit ve teşhisi üzerine yapılmış çalışmalar hakkında bilgi verilmektedir. Üçüncü bölümde İYM’de bulunan marş sistemi ve İYM yapısı detaylı olarak açıklanmaktadır.

Tezin dördüncü bölümünde, çalışma için gerçekleştirilen deney düzeneği hakkında detaylı bilgi verilmektedir. Deney düzeneği geliştirilirken kullanılan materyaller ve metodlar, tasarım ve modelleme çalışmaları detaylı olarak anlatılmaktadır. Beşinci bölümde simülasyon ve deneysel çalışmalara ait sonuçlar paylaşılmaktadır. Altıncı bölümde tezin sonuçları ve çıktıları değerlendirilmiş, gelecek çalışmalar için görüş ve önerilere yer verilmektedir.

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR TARAMASI

Günümüz İYM sistemlerinin en hayati ve vazgeçilmez sistemlerinden biri marş sistemleridir. Marş sistemi İYM'ye ilk hareketini sağlayan sistem olması sebebiyle İYM'nin çalışması için hayati öneme sahiptir. Marş sistemi marş motoru, batarya ve ateşleme anahtarı gibi temel sistemlerden oluşmaktadır. Günümüzde marş motoru temelinde marş sistemi üzerinde birçok çalışma yapılmakta, var olan sistemlerin geliştirilmesi sağlanmaktadır. Tezin bu bölümünde marş sistemi ve marş motoru üzerine günümüze kadar yapılmış önemli çalışmalardan bahsedilmiştir.

Neelakandan ve arkadaşları İYM araçlarında kullanılan marş motorunu mekanik olarak modelleyerek, mekanik analizini gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları çalışma ile marş motorunun çalışması esnasında mekanik stresleri, pinyon dişli üzerinde oluşan kuvvetleri ve rulmanlarda meydana gelen ısınma ve aşınma gibi konular üzerinde analiz çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak marş motorunun ağırlığının çalışması sırasında önemli bir faktör olduğunu ve mekanik elemanların sağlığı için ağırlığın optimize edilmesi gerektiğini savunmuşlardır [1].

Mani ve arkadaşları bir otomobilin marş esnasında meydana gelen hataların tespit ve teşhisini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada marş motoru çalışması esnasında bataryadan çekilen akım, batarya gerilimi ve motor mili devri ölçülmektedir. Marş motorunda meydana gelebilecek arızalar açıklanmış ve her bir arızanın gerçekleştiğinde marş motorunda meydana gelen arızanın tespit ve teşhisinin sağlandığı öne sürülmektedir [2].

Kavraal gerçekleştirmiş olduğu yüksek lisans tezinde İYM'de kullanılan bir marş motorunun arızalarını bulanık mantık denetimli bir sistemle tahmin etmektedir. Yapılan çalışmada marş motoru akım ve gerilimi gerçek zamanlı olarak ölçülmektedir.

Ölçümler, tasarlanan bulanık mantık denetleyicisinde girdi olarak kullanılarak marş motorunda arıza tespiti bulanık mantık denetleyicisi üzerinde belirlenen kural tabanına bağlı olarak tahmin edilmektedir [3].

Karagöz tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışmasında, bir anahtarlamalı relüktans motoru marş motoru olarak kullanılmıştır. Çalışmada öncelikle bir anahtarlamalı relüktans motoru tasarlanmış ve üretilmiştir. Üretilen motorun marş motoru olarak çalıştırılmış ve analizleri gerçekleştirilmiştir [4].

Gümüşsoy tarafından çalışılan yüksek lisans tezinde, rüzgar gücünden elektrik enerjisi elde edilmiş, elde edilen elektrik enerjisi bataryanın şarj edilmesiyle marş sisteminde kullanılmıştır. Çalışma, marş sisteminin ihtiyacı olan enerjiye katkı sağlamak için gerçekleştirilmiştir [5].

Bayır ve Bay, seri sargılı marş motorunun yapay sinir ağları kullanarak arızasını tahmin eden bir sistem geliştirmişlerdir. Çalışmalarında marş motorunun akım sinyallerinin tasarlanan yapay sinir ağı modeliyle analiz edilmesi ile marş motorunda meydana gelen arızanın, motorun hangi parçası üzerinde olduğu tahmin edilmiştir. Marş motorunun akımı, akım sensörü ile ölçülmekte ve bilgisayara aktarılmaktadır. Bilgisayarda Matlab-Gui arayüzü kullanılmış ve tasarlanan yapay sinir ağı bu arayüz üzerinde çalıştırılmıştır [6].

Nandi ve arkadaşları elektrik motorlarında durum izleme ve hata tespiti üzerinde başarılı bir araştırma çalışması gerçekleştirmişlerdir. Elektrik motorlarının elektriksel yapıları üzerinde yapılan ölçümler (akım, gerilim, manyetik akı, rotor hızı vb.) üzerinden durumlarının izlenmesi ve arıza tespit yöntemleri hakkında detaylı bilgiler paylaşılmıştır. Çalışmada, yapay zeka tekniklerinin hata tespitinde başarılı sonuçlar verdiği ve gelecekte kullanımının yaygınlaşacağı öngörüsünde bulunmaktadır [7].

Basak ve arkadaşları elektrik motorlarında meydana gelen arızalar ve durumlarının izlenmesi üzerine araştırma çalışması yapmıştır. [7]' ile bahsedilen sistemlerin çalışma algoritmaları detaylı olarak açıklamaktadır. Elektrik makinelerinde var olan hata ve

arızaların temel karakteristik özelliklerini trafo sistemlerini de dahil ederek açıklamaktadır [8].

Zaidi ve arkadaşları doğru akım marş motorlarında meydana gelen hataları gizli Markov modeli kullanarak tahmin etmişlerdir. Marş motorundaki pinyon dişlinin aşınması sistemde vibrasyon oluşturacağından, sonucunda marş motoru akım sinyallerinin etkilendiği ve kesikler oluşturduğu öne sürülmektedir. Çalışmada, Veri Toplama Kartı (DAQ) ile marş motoru akım sinyalleri bilgisayara aktarılmıştır. Verilerin LabView arayüzünde tasarlanmış gizli Markov modeli kullanılarak dişli sistemindeki arıza başarılı bir şekilde tahmin edilmektedir [9].

Dziubinski tarafından yapılan çalışmada otomobil marş sistemindeki hatalar Bayesian ağları modellenmiş AgenaRisk arayüzünde tahmin edilmiştir. Bayesian ağlarında tanımlanmış arızalar metodolojik olarak sınıflandırılmış ve ağa tanımlanmıştır. Arızalar elektrik elemanları ve mekanik motor elemanları olmak üzere iki ana ağ yapısında ayrı ayrı incelenmiş ve bilgisayar üzerinde simülasyonu gerçekleştirilmiştir [10].

Bayır gerçekleştirdiği doktora çalışmasında, marş motorunun arızalarını yapay zeka teknikleri ile tahmin etmiştir. Çalışmada marş motoru arızalarının tamamı üzerinde bilgi paylaşımı yapılmış ve bulanık mantık, ileri beslemeli yapay sinir ağı ve özörgütlemeli yapay sinir ağı modelleri tasarlanmış, marş motoru akım ve gerilimi sensörler ve ölçü aletleriyle ölçülerek modellerde değerlendirilmiştir. Yapay zeka teknikleri karşılaştırılması yapılmış ve performansları değerlendirilmiştir [11].

Wang ve diğerleri ise bir elektrikli araç modellemiş ve gerçekleştirmişlerdir. Geliştirdikleri aracın alt elektronik sistemleri CAN haberleşme protokolüyle haberleşmektedir. Aracın anlık motor sıcaklığı, araç hızı vb. durumlarını sensörler ve dönüştürücüler yardımıyla ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler CAN hattı yoluyla kontrol sistemine gönderilmektedir. CAN mesajında aktarılan veriler değerlendirildikten sonra kullanıcıya bilgi verilmesi sağlanmıştır [12].

Kong ve arkadaşları ise bir aracın elektronik denetim ünitesini geliştirmişlerdir. Araç sistemleriyle haberleşmede CAN haberleşme protokolü kullanılmıştır. Elektronik denetim ünitesi verileri bilgisayara aktarılırken USB-CAN dönüştürücü kullanılmıştır. Çalışma, İYM üzerinde test edilmiş ve ölçülen tüm veriler aktarılmıştır [13].

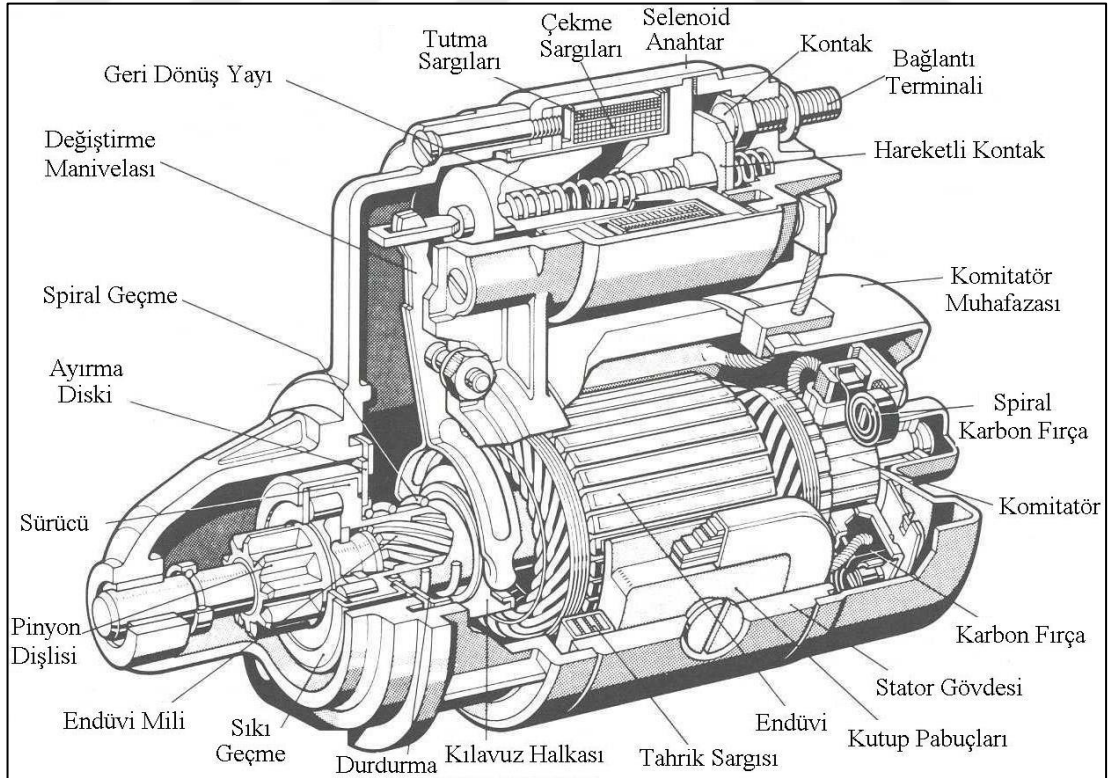






### 3.1. MARŞ MOTORU

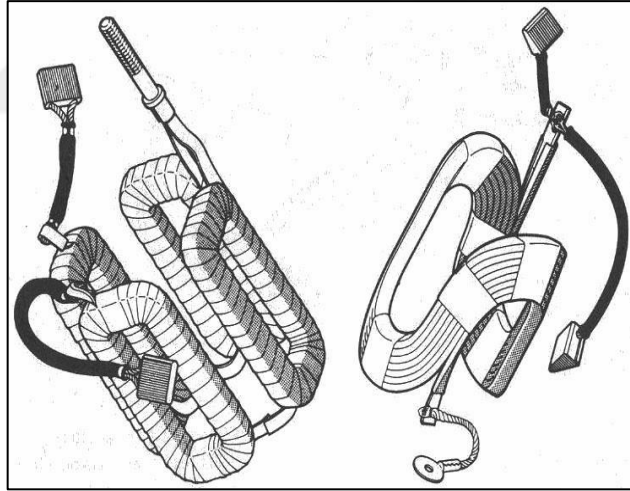
Marş motorları araç aküsünden aldıkları enerji ile İYM'yi çalıştıran düşük güçlü elektrik motorlarıdır. Marş motorları İYM'nin ilk hareketi esnasında çok yüksek mekanik sürtünmeler ve ağır yüklere maruz kalmaktadır. Dolayısıyla küçük boyuta ve yüksek güç potansiyeline sahip motor türleridir. Günümüzde sabit mıknatıslı doğru akım motorları ve asenkron motorlar marş motoru olarak kullanılmasına karşın, otomotiv sektörünün büyük bir kısmında üretilen araçlarda seri sargılı fırçalı tip doğru akım motorları kullanılmaktadır. Bu tip motorlar mekanik açıdan son derece karmaşık sistemlere sahiptir. Marş motoru pinyon dişlisi İYM volan dişlisine kenetlenme sürecinde elektromıknatıslanma özelliği ile marş motoru rotor milinde ileri geri hareket sağlanmaktadır. Bu hareket sayesinde İYM çalıştırılmakta ve sonrasında marş motoru, rotor mili geri hareket ederek görevini tamamlamaktadır. İYM çalıştırdıktan sonra marş motoru, rotor milinin geriye gelmemesi hem İYM de hem de marş motorunda kalıcı arızalara sebep olmaktadır. Şekil 3.2'de seri sargılı fırçalı doğru akım marş motorunun iç yapısı verilmektedir.



Şekil 3.2. Marş motoru iç yapısı.

Marş motorları İYM üzerinde dış ortamda bulunmaktadır. Dolayısıyla marş motorunun gövdesi dış ortamdan yalıtımlıdır. Elektrik motorları çalıştığı süreç içerisinde ısınma karakteristiği gösterirler. Özellikle seri sargılı marş motorlarının kalkınma akımlarının yüksek olması sebebiyle ısınma durumu oldukça yüksek sıcaklık değerlerine ulaşmaktadır. Bu yüzden marş motorlarının sağlığı açısından çalışma süreçlerinde sıcaklıklarının kontrol edilmesi ve durumlarının izlenmesi gerekmektedir [15]. Marş motorları temel olarak dört ana kısımdan oluşmaktadır. Bu kısımlar alan sargısı, motor endüvisi, motor gövde ve kapaları, solenoid şalter ve kavrama mekanizmasıdır [6].

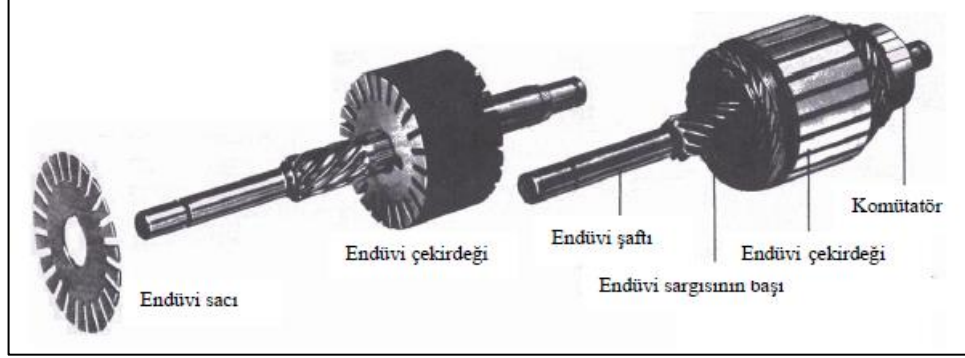
Alan sargısı, marş motorunun manyetik kutupları olarak görev yapan kısımlarıdır. Alan sargıları içerisine fırça olarak adlandırılan karbon nüveler yerleştirilerek motorun endüvisi ile elektriksel bağlantı sağlanmaktadır. Şekil 3.3'te motorun alan sargıları ve fırçaları verilmiştir.



Şekil 3.3. Motor alan sargıları ve fırçalar.

Marş motoru endüvisi motorun dönen rotor kısmıdır. Rotor mili üzerinde bulunan endüvi sargıları bakır iletken teller yardımıyla silisli saclardan oluşan endüvi gövdesine sarılarak, kollektör dilimlerine sabitlenmektedir. Endüvi yapısal olarak rotor mili, endüvi gövdesi, endüvi sargıları ve kollektörden oluşmaktadır. Kollektör endüvi sargıları ile motorun alan sargılarına bağlı halde bulunan fırçalar üzerinden

elektriksel devrenin tamamlanmasını sağlamaktadır. Şekil 3.4'te motorun endüvi yapısı verilmektedir.



Şekil 3.4. Marş motoru endüvisi.

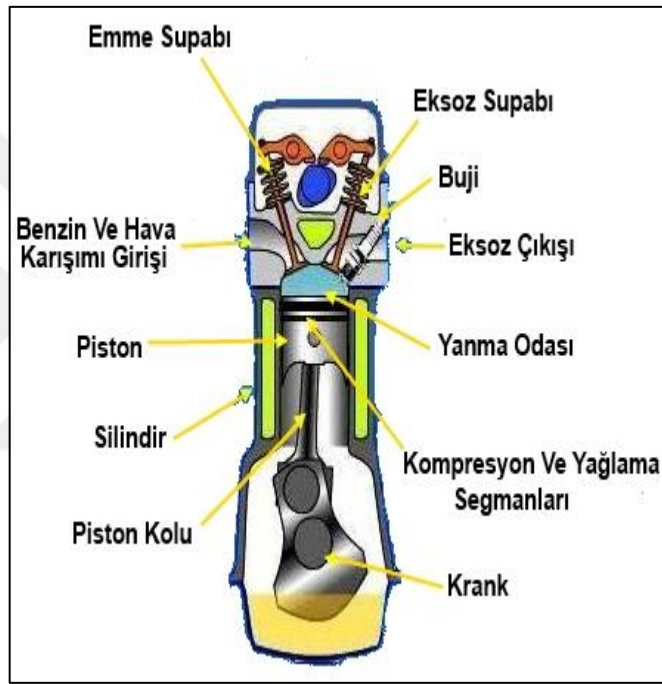
Motorun gövde ve kapakları motor parçalarının bir araya getirildiği mekanik kısımdır. Solenoid şalter ve kavrama mekanizması marş motorunun çalıştırıldığı anda İYM volan dişlisi ile mekanik birleşmenin sağlanmasında görevi yapmaktadır. İYM çalıştırılmasında marş motoru endüvisinin ileri olarak hareket ettirilmesi ve İYM çalıştıktan sonra geri hareket ettirilmesinden sorumlu mekanizmadır.

### 3.2. İÇTEN YANMALI MOTOR (İYM)

İYM'ler günümüzde otomotiv sektörü başta olmak üzere en yaygın kullanılan pistonlu motor türleridir. İYM'ler dünya üzerinde en hafif araçlar olan otomobil ve motorsikletlerden, en ağır araçlar olan yük ve yolcu gemilerine kadar tahriklendirme sistemlerinde genel çözüm olarak görülmektedir. İYM'ler 60000 beygir ve 20000 devir/dakika hıza kadar güç sağlayabilen sistemlerdir. Kullanım kolaylığı ve güvenilir sistem olmaları, alternatiflerine göre tercih edilmelerinde farkındalık sağlamaktadır. İYM'ler yanma odasında kimyasal yakıtın hava ile karıştırılarak yakılması sonucu sıcaklık ve basınç yükselmesi ile mekanik sistemde bulunan pistonun itilerek piston kolunun bağlı olduğu kırnak milinin döndürülmesi sağlanmaktadır.

İYM'ler çalışma prensibi olarak iki zamanlı ve dört zamanlı olmak üzere iki tipte bulunmaktadır. Bu motor tiplerinden en çok kullanılan ve daha verimli olan tipi ise

dört zamanlı İYM'lerdir. Dört zamanlı İYM'ler otomobillerde kullanılmaktadır. Dört zamanlı İYM'ler ise benzinli ve dizel İYM olmak üzere iki ana grupta incelenmektedir. Günümüzde farklı piston (Silindir) sayılı ve hacimli olmak üzere birçok İYM geliştirilmekte ve kullanılmaktadır. Dört zamanlı İYM'ler çalışmaları esnasında her bir silindir üzerinde emme süreci, sıkıştırma süreci, yanma süreci ve egzoz süreci olmak üzere 4 ana süreçten oluşmaktadır. Bu yüzden bu tip motorlara dört zamanlı İYM adı verilmektedir. Şekil 3.5'te dört zamanlı bir İYM'nin iç yapısına ait görsel verilmektedir.

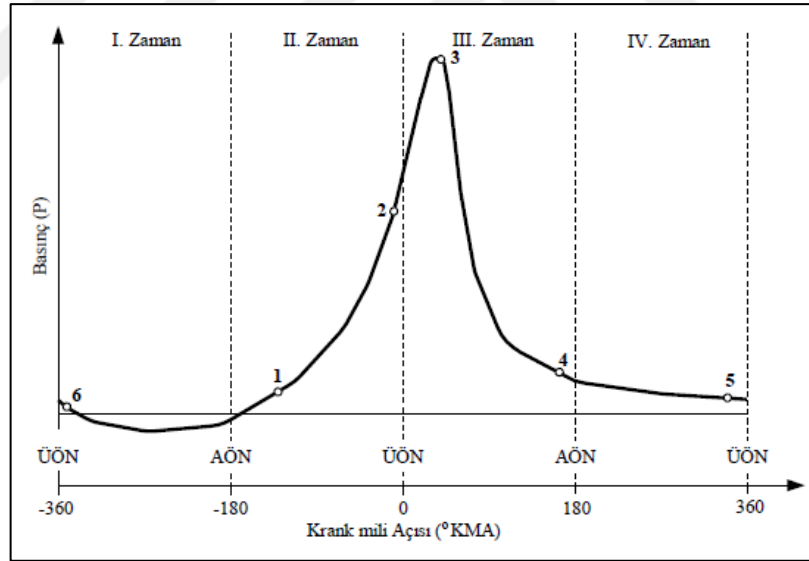


Şekil 3.5. Dört zamanlı İYM'nin iç yapısı.

Emme süreci, pistonun Üst Ölü Noktada (ÜÖN) konumlanması ile başlamaktadır. Pistonun Alt Ölü Noktaya (AÖN) ulaşana kadar supablar yardımı ile silindir içerisine hava ve yakıt alınarak silindir içerisinde karışım olayı gerçekleştirilmektedir. Emme süreci piston alt ölü noktaya ulaştığı anda sona ermektedir. Silindir içerisine hava oluşan alçak basınç sayesinde vakumlama işlemi ile alınırken, yakıt ise karbüratör ve yakıt pompası adı verilen İYM bileşenleri sayesinde silindir içerisine püskürtülmektedir. Sıkıştırma süreci ise piston AÖN'den ÜÖN'ye hareketiyle başlamaktadır. Bu süreçte karıştırılan hava ve yakıt silindir içerisinde pistonun yukarı hareketi sayesinde hacimsel olarak sıkıştırılmaktadır. Karışımın sıkıştırılması silindir

içerisinde potansiyel bir basınç oluşturmaktadır. Süreç piston ÜÖN'ye ulaştığında sona ermektedir.

Yanma süreci ÜÖN'ya ulaşan piston ve motor üst kapağı arasında sıkışan hava-yakıt karışımının buji yardımıyla yanması ile başlamaktadır. Karışım yandığı anda sıkıştırma sürecinde oluşan basınç yanma etkisiyle zıt yönde etki oluşturarak pistonu AÖN'ya kadar itmektedir. Yanma sürecinde silindir içerisinde yanma sonucu oluşan egzoz gazları bulunmaktadır. Egzoz süreci ise yanma sürecinin ardından gelmekte ve pistonun AÖN'den ÜÖN'ya ulaşması sürecini temsil etmektedir. Sürecin sonuna kadar İYM'de bulunan egzoz supabı açılarak yanma sonucu oluşan gazların silindir dışına atılması gerçekleştirilmektedir. Piston ÜÖN'ya ulaştığında yeniden emme süreci başlar ve bu şekilde sırasıyla süreçler gerçekleştirilerek İYM'nin senkron bir şekilde çalışması sağlanmaktadır. Şekil 3.6'da İYM silindirinde meydana gelen dört zamanlı süreç döngüsüne ait basınç-İYM krank mili açısına ait grafik verilmektedir.



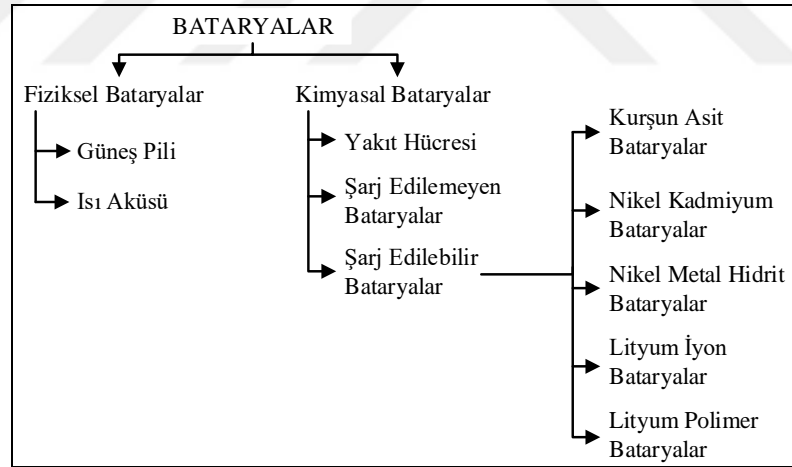
Şekil 3.6. Dört zamanlı İYM'nin basınç- krank mili açısı grafiği.

İYM'ler günümüzde yaygın kullanımının yanı sıra verim noktasında performansları düşüktür. Benzinli motorların verimleri yaklaşık %25, dizel motorların verimleri ise yaklaşık %40 olarak analiz edilmektedir. Verimlerin düşük olmalarının ana nedenleri, emme süreci, egzoz süreci ve sıkıştırma süreçlerinde faydalı iş gerçekleşmemesi olarak düşünülebilir.

### 3.3. BATARYALAR

Elektrik enerjisini dönüştürerek elektrokimyasal bir sistem üzerinde depolayabilen sistemlere batarya hücresi adı verilmektedir. Bataryalar elektromekanik olarak 4 temel bölümü içermektedirler. Bu bölümlere elektrotlar, anot(-) ve katot(+), kısa devreleri engelleyen ayırıcı, elektrolit ve hücre gövdesi adı verilmektedir [17]. Birden çok batarya hücresinin bir araya getirilmesinden batarya paketi oluşturulmaktadır. Bataryalar seri ve paralel bağlı batarya hücrelerinden oluşur. Paralel bağlantılar batarya kapasitesini, seri bağlantılar ise batarya gerilimini artırmaktadır.

Bataryalar ile ilgili genel terimler, hücre, batarya, amper saat, çevrim ömrü, nominal gerilim, standart kapasite, çalışma sıcaklığı, nominal şarj akımı, nominal şarj süresi, maksimum şarj akımı, minimum şarj süresi, kesme gerilimi, batarya şarj durumu, batarya sağlık durumu, kalan çalışma zamanı bataryalar ile ilgili temel parametrelerdir. Şekil 3.7’de bataryaların sınıflandırılması verilmektedir.



Şekil 3.7. Bataryaların sınıflandırılması.

Kurşun asit batarya, lityum iyon batarya, lityum-iyon polimer batarya, sodyum-sülfür (NaS) batarya, nikel demir batarya, nikel metal hidrit batarya, NiCd batarya, sodyum-metal klorid batarya, nikel-çinko batarya erimiş tuz bataryası şarj edilebilir batarya grubundadır [17]. İYM marş sisteminin marş motoruyla birlikte ana elemanı olan bataryalar şarj edilebilir batarya grubu içerisinde seçilmektedir. Spesifik enerjileri düşük olmasına rağmen kurşun asit bataryalar, marş motorunun kalkışında gerek

duyulan elektrik akım miktarı bakımından en güçlü batarya modeli olmalarından ve tekrar tekrar şarj edilerek kullanılmalarından dolayı İYM'lerde kullanılmaktadır.

### 3.3.1. Kurşun Asit Bataryalar

Kurşun asit batarya büyük güç gerektiren, ağırlığın önemli olmadığı uygulamalarda tercih edilir. Üretimi basit, dayanıklı ve ekonomiktir. Otomobillerde, forkliftlerde, hastane ekipmanlarında, tekerlekli sandalyelerde, acil aydınlatma ve kesintisiz güç kaynaklarında tercih edilirler. Kurşun asit bataryalarda hafıza etkisi yoktur. Şarj tutumu açısından şarj edilebilir bataryalar arasında en iyisidir. NiCd batarya 3 ayda depoladığı enerjinin %40'ını kendi kendine tüketirken kurşun asit batarya aynı miktarı bir yılda kendi kendine tüketir. Kurşun asit batarya hızlı şarj için uygun değildir normal bir şarj 8 saat ile 16 saat arasındadır. Deşarj derinliği ve çalışma sıcaklığına bağlı olarak kurşun asit bataryalar 200-300 çevrim ömrüne sahiptir. En iyi çalışma sıcaklığı 25°C'dir. Modern şarj edilebilir bataryalar arasında enerji yoğunluğu en düşük olan batarya türüdür. Düşük sıcaklıklarda performansı düşüktür. Kurşun asit bataryalarda derin deşarja ve yeniden şarj edilebilme açısından en güçlü batarya Jel tipi kurşun asit batarya modelidir. Bu batarya türünün deşarj süresi uzadıkça performansı artar. (1C) batarya kapasitesine ulaşan ani akımlarda performansı yüksektir [17]. Tez çalışmasında Jel tipi kurşun asit batarya kullanılmıştır. Şekil 3.8'de jel tipi kurşun asit batarya verilmektedir.



Şekil 3.8. Jel tipi kurşun asit batarya.

İYM'nin marş sisteminde bulunan marş motoru ve batarya, sistemin en önemli ana bileşenleridir. Bu sistemler elektrokimyasal ve mekanik işin yapıldığı ana elemanlar olduğundan marş işlemi süresince kondisyon olarak en çok zorlanan ve genel olarak en çok arızalanan elemanlardır. Tez çalışması kapsamında, marş sistemini oluşturan batarya ve marş motoru elemanlarının kondisyonlarının izlenmesi sağlanmaktadır.





## BÖLÜM 4

### MATERYAL VE METOD

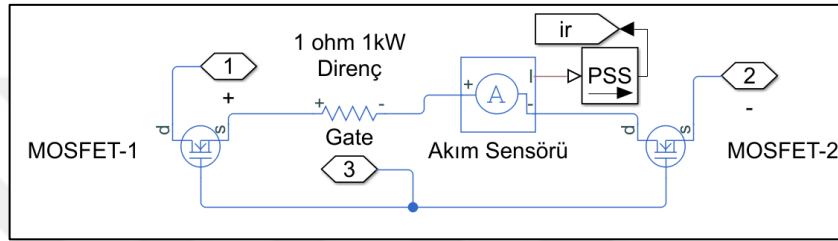
Tez çalışması kapsamında İYM araçlarda kullanılan marş sisteminin benzetimi yapılarak bir deney düzeneği üzerinde, CAN haberleşme protokolü üzerinden kontrolünün sağlanması ve marş sisteminin en önemli iki elemanı olan marş motoru ve batarya kondisyonları gerçek zamanlı olarak MATLAB arayüzünde izlenmektedir. İYM ilk hareketinin sağlanmasında dış ortam sıcaklık koşullarının marş sistem elemanları üzerinde performans açısından ciddi etkileri bulunmaktadır. Soğuk hava koşullarında İYM silindirlerinde bulunan akışkan yağların ve mekanik yüzeylerin yapısal nedenlerden dolayı sürtünme dirençleri artmaktadır. Aksine İYM sıcak hava koşullarında silindirlerde bulunan akışkan yağların ve mekanik yüzeylerin sürtünme dirençleri düşmektedir. Bu durumda soğuk koşullarda İYM'yi çalıştırmak için harcanan güç artmakta, sıcakken çalıştırmak için harcanan güç düşmektedir. Tez çalışması kapsamında marş sisteminin farklı sıcaklıklarda çalıştırılması ve sistem elemanlarının durumlarının izlenebilmesi için, marş motoru pinyon dişlisine bağlı volan dişlisine eş merkezli mekanik bağlantı yapılarak bir alternator bağlanmış ve alternator kullanılarak marş motoru yüklenmiştir. Alternatörün elektriksel olarak yüklenmesi ile marş sisteminin farklı sıcaklıklar altında çalıştırılması modellenmiştir. Bu işlemin gerçekleştirilmesi için bir deney düzeneği hazırlanması gerekmektedir.

#### 4.1. DENEY DÜZENEĞİNİN MODELLENMESİ

Deney düzeneğinin hazırlanmadan önce modellenmesi ve düzeneğin simülasyon çalışmalarının yapılması çalışma verimliliği açısından önem arz etmektedir. Bu yüzden marş sistemi deney düzeneği gerçekleştirilmeden önce MATLAB Simulink arayüzünde marş sistemi deney düzeneği modellenmiş ve analiz çalışmaları yapılmıştır.

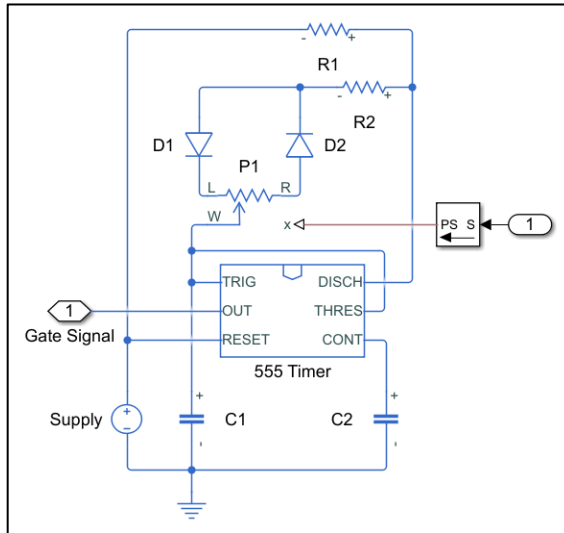


Deney düzeneğine ait Simulink modelinde mavi hat yolları elektrik sinyallerini, yeşil hat yolları mekanik sistemlerin bağlantılarını, siyah hat yolları ise sinyal bağlantılarını temsil etmektedir. Marş motoruna ait rotor ile volan dişlisi arasında 1:5 oranında dişli dönüşüm sistemi modellenmiştir. Deney düzeneğinde de bu oran kullanılmaktadır. Modelin yük devresi 1 ohm 1 kW değerinde bir yük direncinden oluşmaktadır. Yük direnci Mosfet, push-pull topolojisi yardımıyla anahtarlanarak direnç üzerinden geçen akım ayarlanabilmektedir. Bu marş sisteminin yüklenmesinin temelini oluşturmaktadır. Yük devresi modeli Şekil 4.2’de verilmektedir.



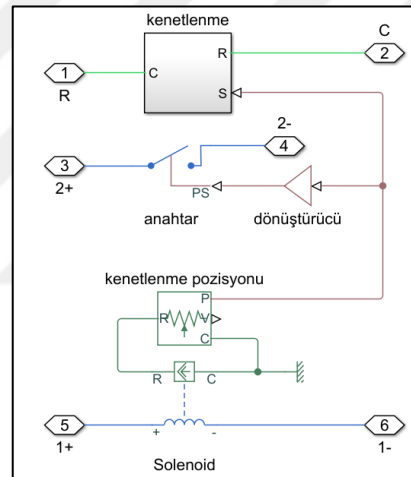
Şekil 4.2. Yük devresi modeli.

Mosfetler temel olarak elektrik anahtarı mantığı esaslı olarak çalışmaktadırlar. Mosfetler yüksek frekanslarda anahtarlanabilen elemanlar olmalarına karşılı, kontrol edilmeleri ve anahtarlanmaları için özel sürücü devrelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Simulink üzerinde yük devresi modelinde kullanılan Mosfetler, Mosfet Sürücü bloğu kullanılarak anahtarlanmaktadırlar. Mosfet sürücü modeli Şekil 4.3’te verilmektedir.



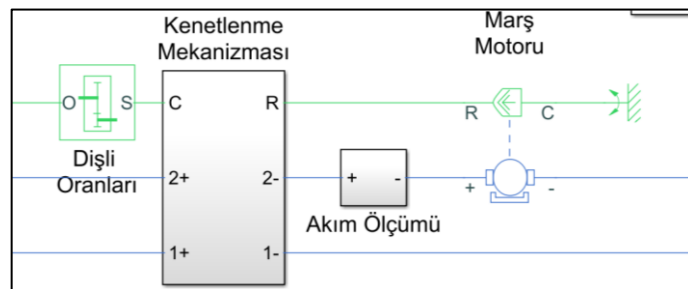
Şekil 4.3. Mosfet sürücü modeli.

Marş motorunun modellenmesi gereken en önemli mekanizma kenetlenme mekanizmasıdır. Kenetlenme mekanizmasının bir DA motoruna bağlanmasıyla marş motoru modeli gerçekleştirilmektedir. Kenetlenme mekanizmasına ait model Şekil 4.4.’te verilmektedir. Burada “Solenoid” üzerinden elektrik akımı geçirildiğinde solenoidin bulunduğu karkas üzerinde elektromanyetik olarak mıknatıslanma meydana gelmektedir. Bu mıknatıslanma sonucu oluşan çekim kuvveti neticesinde modelde kullanılan marş motoru rotor milini ileri hareket ettirmektedir. Rotor milinin ileri hareketi mekanik konum sensörü ile algılanarak elektrik anahtarını kapatmaktadır. Anahtar kapandığı anda motor enerjilenerek çalışmasını gerçekleştirmektedir. Şekil 4.4’te “kenetlenme” bloğunda marş motoru rotor mili ve alternatörün rotor milinin birbirleri arasında mekanik bağlantısı sağlanmaktadır.



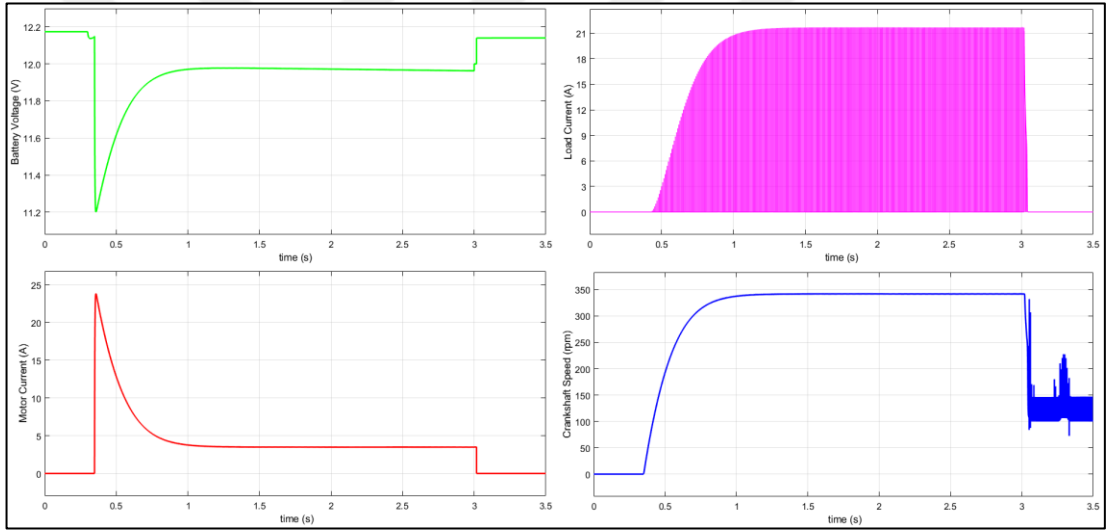
Şekil 4.4. Kenetlenme mekanizması modeli.

Marş motorunun, kenetlenme mekanizması ile birlikte modellenmiş hali Şekil 4.5’te verilmektedir.



Şekil 4.5. Marş motoru modeli.

Deney düzeneği modelinde bulunan dişli mekanizması ile 1:5 oranında aktarma ile marş motoru mili alternator miline bağlanmaktadır. Marş motoru çalışmaya başladığında alternator mili dönecek ve alternator üzerinde üretilen elektrik yük devresinde bulunan direnç üzerinde kontrollü bir şekilde harcanarak marş motorunun rotor milinde yük oluşması sağlanmaktadır. Böylelikle değişken İYM sıcaklıklarında marş sisteminin çalışması izlenecek ve marş sistemi ana elemanları olan marş motoru ve batarya dinamikleri analiz edilebilmektedir. Model oluşturulduktan sonra Simulink üzerinde simülasyon gerçekleştirilmiştir. Simülasyonda marş motoru akımı, yük akımı, batarya gerilimi ve krank mili dönme hızı grafikleri simülasyon boyunca çizdirilmiştir. Simülasyon yük devresinin %100 yüklendiği durumda gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuç grafikleri Şekil 4.6'da verilmektedir.



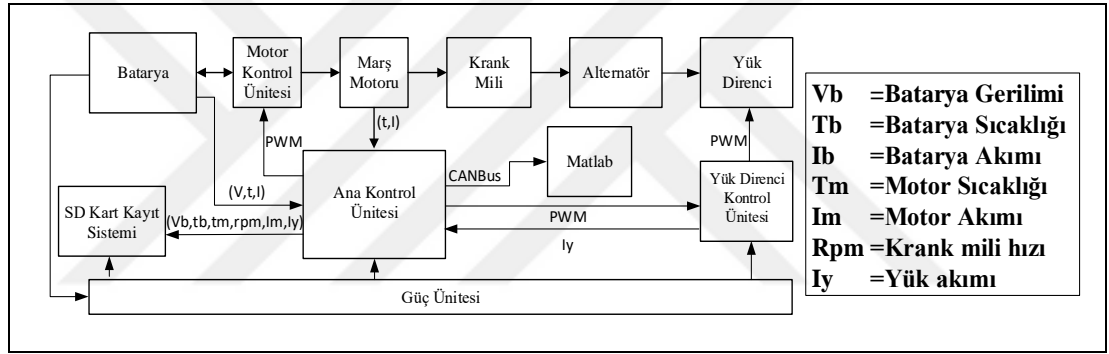
Şekil 4.6. Marş sistemi modeli simülasyon sonuçları.

Simülasyon sonuçları incelendiğinde marş motoru çalışma sinyalinin verilmesiyle marş motoru akımı ani bir şekilde artarak yaklaşık 25 A değerlerine çıkmakta, batarya geriliminin ise motor akımı ile ters orantılı olarak 11.2 V değerlerine kadar düştüğü gözlenmektedir. Yük devresi ise %100 yüklenme ile İYM soğuk çalıştırma durumu göze alındığında 21 A'ya kadar akım çekmektedir. İYM krank mili hızı ise 350 dev/dak'ya ulaşmakta olduğu görülmektedir. Simülasyon 3.5 saniyelik süreçte gerçekleştirilmiştir. Marş motoru kontak sinyali simülasyonun t=3 saniyesinde kesilmesine rağmen İYM krank mili bir şekilde dönmeye devam etmektedir. Deney

düzeninde mekanik bağlantılı halde bulunan alternatörün boşa salınımından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

## 4.2. DENEY DÜZENİĞİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

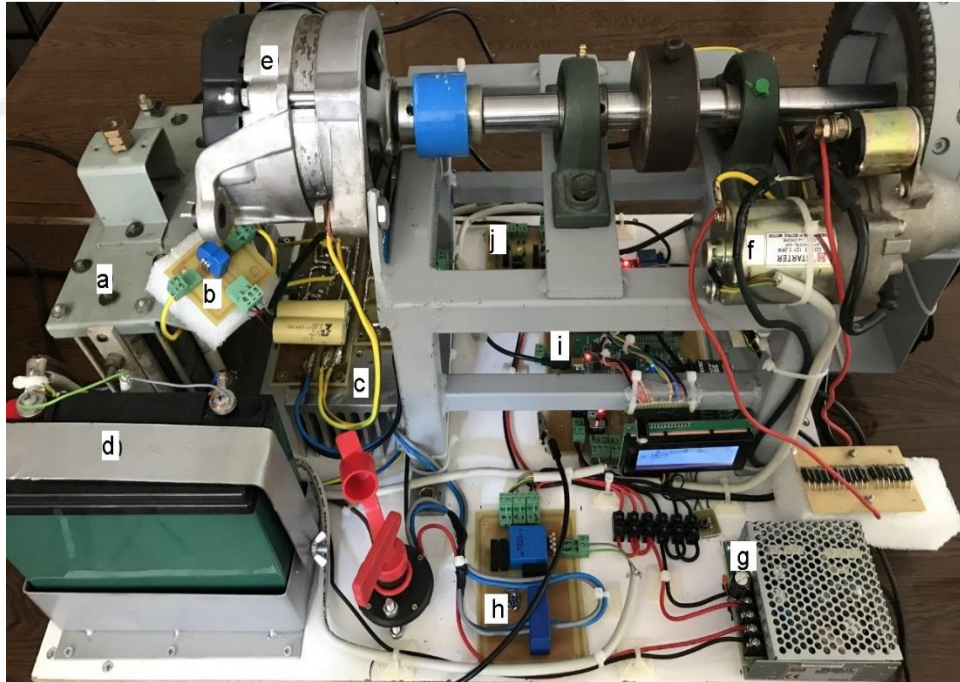
MATLAB arayüzünden marş sistemine ait deney düzeniğinin modellenmesi sürecinden sonra deney düzeniği gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deney düzeniği, batarya, motor kontrol ünitesi, marş motoru, alternatör, yük direnci, yük direnci kontrol ünitesi, güç ünitesi, SD kart kayıt sistemi, akım, gerilim, sıcaklık ölçüm sistemi ve ana kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Deney düzeniğine ait blok diyagram Şekil 4.7'de verilmektedir.



Şekil 4.7. Deney düzeniği çalışma blok diyagramı.

Deney düzeniğinde bulunan batarya, düzeniğin tüm alt elektronik sistemleri ve güç sistemlerine enerji sağlamaktadır. Motor kontrol ünitesi, düzenekte kullanılan marş motorunun çalıştırılması için gerekli olan elektrik sinyalinin yükseltilecek anahtarlanmasını sağlamaktadır. Bu sistem araçlarda bulunan kontak sinyalinin birebir eşdeğeri olarak çalışmaktadır. Marş motoru düzenekte kullanılan mekanik tahrik elemanı ve performansı analiz edilecek olan marş motorudur. Alternatör marş motorunun çalışması esnasında mekanik olarak marş motorunun yüklenmesini sağlayan ve bu yolla marş motorunun zorlanması durumlarında analizinin sağlanması için gerekli ve önemli bir elemandır. Yük direnci, alternatör üzerinde üretilen elektriğin harcanması ve alternatörü elektriksel olarak zorlamak için kullanılan devre elemanıdır.

Yük direnci kontrol ünitesi, alternatörde üretilen elektriğin akım kontrollü bir şekilde direnç üzerinde harcanmasını sağlamaktadır. Güç ünitesi, sistemde bulunan tüm elektronik alt sistemlerin gereksinimi olan gerilimleri sağlayan ve bataryadan sağladığı elektrik enerjisini dönüştürerek ilgili sistemlere aktaran sistemdir. SD kart kayıt sistemi deney sürecinde batarya, marş motoru ve yük direnci parametrelerine ait verilerin mikro SD hafıza kartına kayıt edildiği sistemdir. Akım, gerilim, sıcaklık ölçüm sistemi ise içerisinde barınan akım sensörleri, gerilim ve sıcaklık sensörleri ile sistemlere ait anlık akım, gerilim ve sıcaklıkların ölçümünü gerçekleştiren, ölçüm sonuçlarını ana kontrol sistemine ileten deney düzeneği sistemidir. Ana kontrol ünitesi ise deney düzeneğinin tüm alt elektronik sistemlerini yöneten, deney başlangıç ve bitiş süreci içerisinde ilgili sistemlere ait parametreleri yorumlayarak karar verebilen, deney ile ilgili tüm verileri CAN protokolü üzerinden kişisel bilgisayara aktaran deney düzeneğinin ana kontrolcüsü konumundaki sistemdir. Deney düzeneği Şekil 4.8’de verilmektedir.

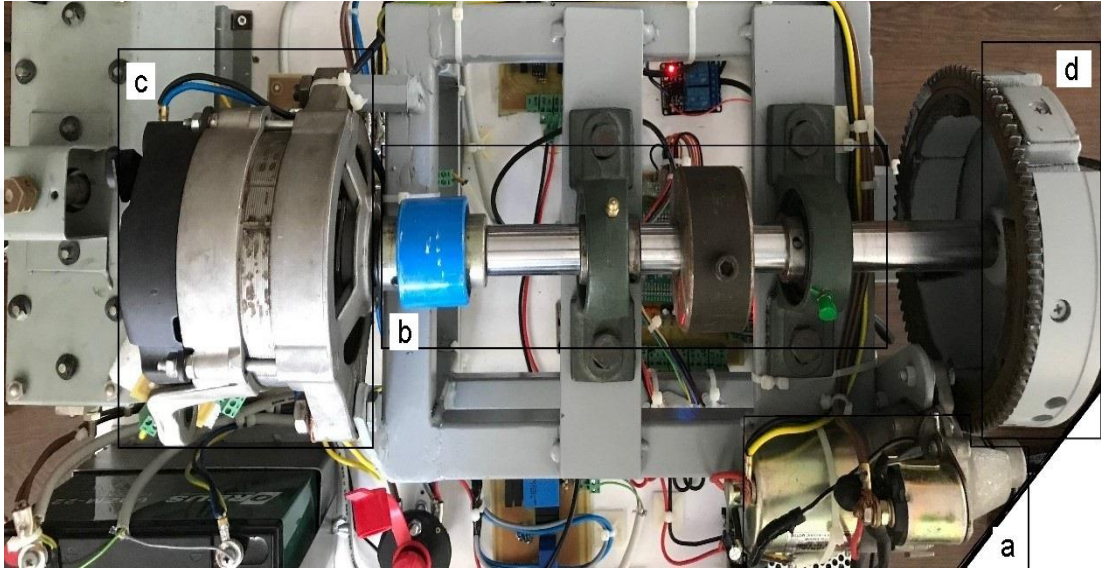


Şekil 4.8. Geliştirilen deney düzeneği.

Şekil 4.8’de verilen deney düzeneği görselinde, Şekil 4.8(a)’da yük direnci, Şekil 4.8(b)’de alternatör akım ölçüm devresi, Şekil 4.8(c)’de yük direnci ve motor kontrol güç devresi, Şekil 4.8(d)’de batarya, Şekil 4.8(e)’de alternatör, Şekil 4.8(f)’de marş



motoru, Şekil 4.8(g)'de DA-DA güç kaynağı, Şekil 4.8(h)'de batarya akım ve gerilim ölçüm devresi, Şekil 4.8(i)'de ana kontrol kartını, Şekil 4.8(j)'de Mosfet sürücü devre verilmektedir. Deney düzeneğinde bulunan marş motoru, volan dişlisi, krank mili ve alternatörün mekanik bağlantısı Şekil 4.9'da verilmektedir. Şekil 4.9(a)'da marş motoru mekanik bağlantısı, Şekil 4.9(b)'de krank mili bağlantısı, Şekil 4.9(c)'de alternatör bağlantısı, Şekil 4.9(d)'de volan dişlisi bağlantısı verilmektedir.



Şekil 4.9. Deney düzeneğinde sistemlerin mekanik bağlantısı.

#### 4.2.1. Deney Düzeneğinde Kullanılan Marş Motoru ve Alternatör

Deney düzeneğinde marş motoru olarak Honda GX340 taşınabilir jeneratörüne ait marş motoru kullanılmıştır. Marş motoru normal şartlar altında 12 V gerilim ile çalışmakta ve 200 W elektrik gücü tüketmektedir. Çizelge 3.1'de marş motorunun parametreleri verilmektedir. Marş motoru Şekil 4.10'da verilmektedir.

Çizelge 3.1. Marş motoru parametreleri.

Parameter	Value
Sargı direnci	0.055 ohm
Sargı endüktansı	0.000064 H
Armatür torku	7.67 Nm/A
Motor eylemsizliği	0.00342 kgm <sup>2</sup>





Şekil 4.10. Deney düzeneğinde kullanılan marş motoru.

Marş motoru çalışması sırasında İYM içerisinde değişken kuvvetlere maruz kalmaktadır. Bu değişken kuvvetler İYM'nin bulunduğu ortamda sıcaklık düşmesiyle artmakta, sıcaklığın yükselmesi ile azalmaktadır. Aynı şekilde İYM soğukken ve sıcakken de aynı karakteristiği göstermektedir. Marş sisteminin çalışmasının iyi bir şekilde analiz edilebilmesi için marş motorunu değişken koşullarda yüke maruz bırakarak zorlanması, deney düzeneğinde bulunan alternatörün elektriksel olarak zorlanmasıyla başarılmaktadır. Marş motoru miline bağlı volan dişlisi krank milini, krank mili de alternatör rotorunu tahriklendirerek, alternatör rotorunu döndürmekte ve alternatör uçlarında elektrik üretimi gerçekleşmektedir. Alternatörde üretilen gerilim, alternatörün içerisinde bulunan uyarım ve regülatör devresi ile ayarlanabilmektedir. Düzenekte kullanılan bataryanın anot ucu ile alternatör uyarılarak normal şartlarda 12 V gerilim elektrik üretmesi sağlanmaktadır. Şekil 4.11'de düzenekte kullanılan alternatör verilmektedir.

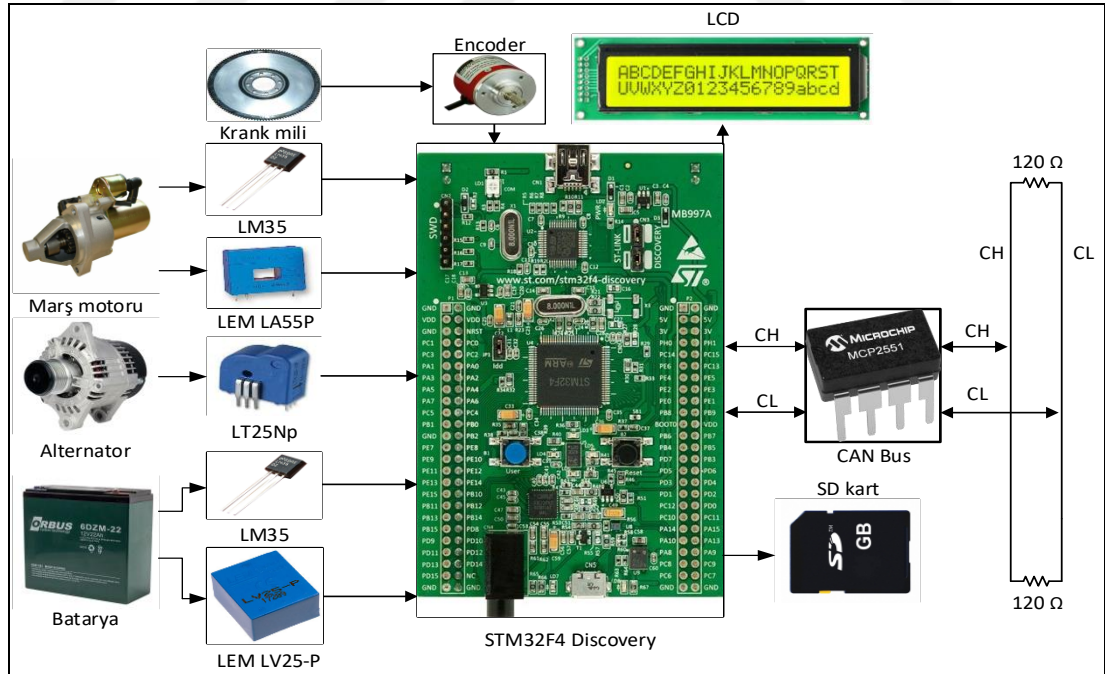


Şekil 4.11. Düzenekte kullanılan alternatör.

Alternatör uçlarının elektriksel olarak kısa devre edilmesi yada bir direnç ile frenlenmesi sayesinde alternatör zorlanmaktadır. Alternatör bu zorlanmayı mekanik olarak marş motoruna iletmektedir. Düzenekte MAKO marka 1163399915 kodlu alternatör kullanılmıştır. Alternatörün normal şartlar altında ürettiği elektrik gücü 400 dev/dak'da 1.5 kW olarak ölçülmektedir.

#### 4.2.2. Deney Düzeneği Ana Kontrol Ünitesi

Deney düzeneğinde bulunan ana kontrol ünitesi sayesinde, marş motoru çalıştırılarak marş sisteminin çalışması sağlanmaktadır. Sistem çalışması esnasında krank mili devri, arttırımsal enkoder kullanılarak ana kontrol ünitesi üzerinde ölçülmektedir. Ayrıca batarya ve marş motoru sıcaklığı, batarya gerilimi ve marş motorunun çektiği akım kullanılan sensörler sayesinde ölçülerek ana kontrol ünitesinde işlenmektedir. Ölçülen verilerin tamamı ana kontrol ünitesi üzerinde işlenerek SD kart kayıt sistemi kullanılarak kayıt edilmektedir. Ana kontrol ünitesi blok diyagramı Şekil 4.12'de verilmektedir.

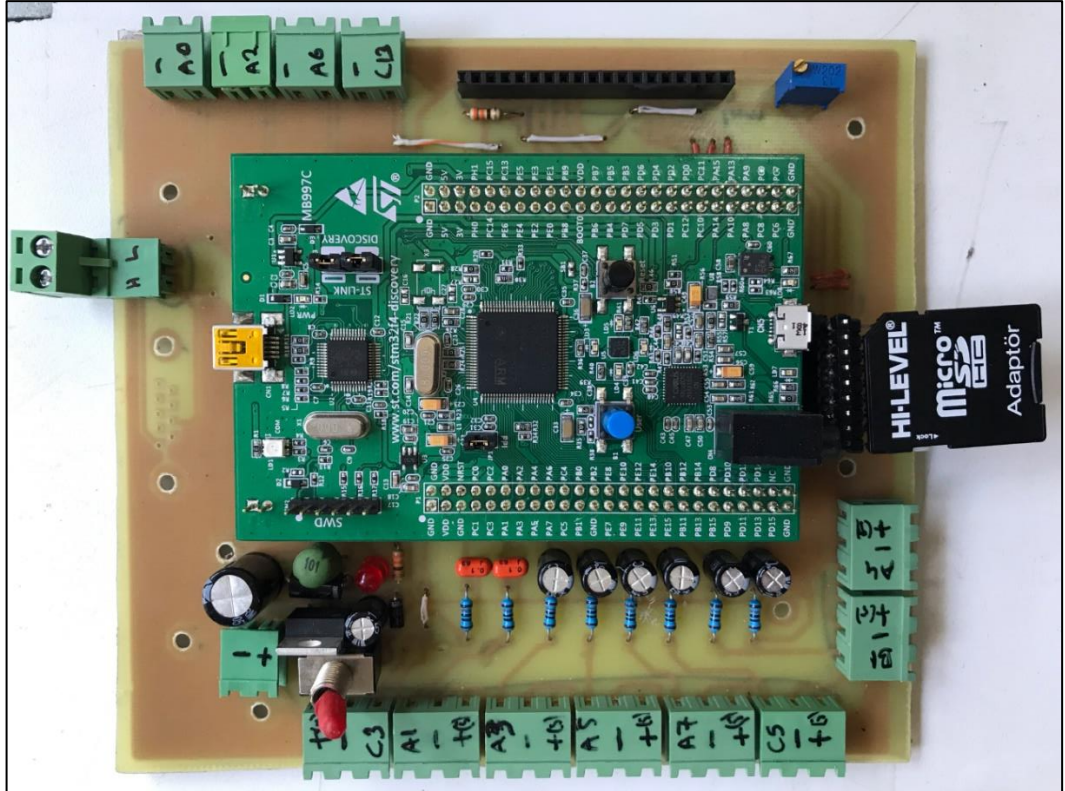


Şekil 4.12. Ana kontrol ünitesi çalışma blok diyagramı.

Marş motorunun anahtarlanması ve alternatörde üretilen elektriğin yük direnci üzerinden akım kontrollü bir şekilde harcanması da ana kontrol ünitesi tarafından sağlanmaktadır. Marş sistemi çalışması sürecinde algılayıcılarda toplanan tüm veriler, ana kontrol ünitesi tarafından MCP2551 CAN haberleşme entegresi yardımıyla bilgisayara aktarılmaktadır. Deney düzeneğinde bulunan tüm alt elektronik sistemlerin konfigürasyonları ve kontrolleri bu ünite üzerinden gerçekleştirilmektedir.

Ana kontrol ünitesinde denetleyici olarak STM32F4 Discovery gömülü kart platformu kullanılmıştır. Ana kontrol ünitesinde denetleyicinin STM32F4 seçilmesinin nedeni MATLAB Simulink arayüzü üzerinden programlanabilmesi, CAN protokolünü desteklemesi, 186 MHz saat frekansına sahip olması, giriş çıkış ara birimlerinin (Analog Dijital Çevirici) ADC operasyonlarında 12 bitlik çözünürlükte olmasıdır.

Ana kontrol ünitesi Şekil 4.13'te verilmektedir.



Şekil 4.13. Ana kontrol ünitesi.

### 4.2.3. Veri Depolama Ünitesi

Deney düzeneğinde, marş sisteminin çalışması sırasında tüm veriler ana kontrol ünitesi tarafından CAN haberleşme protokolü ile bilgisayara aktarılmaktadır. Aktarılan veriler MATLAB Gui arayüzünde zamana bağlı olarak grafikleri çizdirilmektedir. Ancak deney sürecinde haberleşmenin kopması ve veri kaybı yaşanması durumlarına önlem olarak veri kayıt sistemi gerçekleştirilmiştir. Veri kayıt elemanı olarak SD kart kullanılmıştır. Sistem gereksinimleri gereği kullanılan SD kart hafızasının en az 2 GB olması gerekmektedir. Veri depolama ünitesi Şekil 4.14’te verilmektedir.



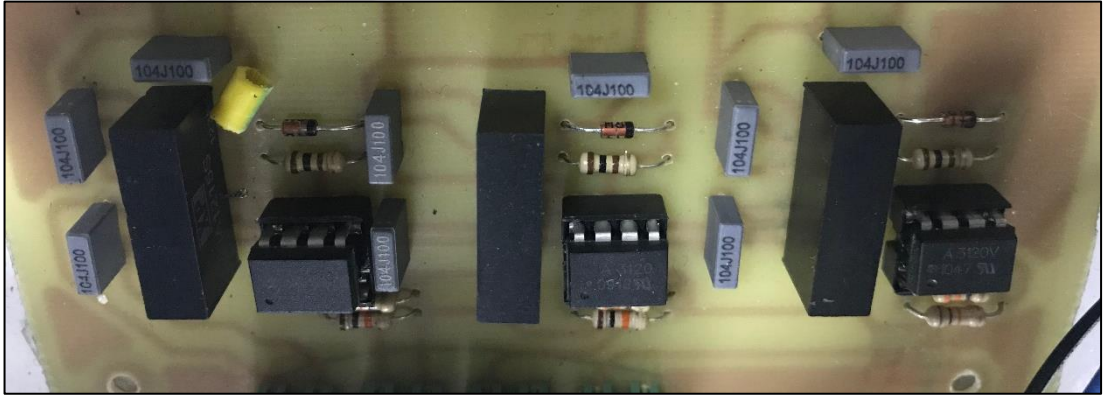
Şekil 4.14. Veri depolama sistemi.

### 4.2.4. Güç Ünitesi

Deney düzeneğinin ana güç ünitesi sistemde kullanılan bataryadır. Batarya gerilimi 11.1 V ile 14.4 V aralığında süreç içerisinde değişkenlik göstermektedir. Sistemde bulunan alt elektronik sistemlerin bazıları nominal 12 V, 5 V ve simetrik  $\pm 12$  V güç kaynağına ihtiyaç duymaktadır. 12 V ile beslenen sistemler için düzenekte bir adet DA-DA dönüştürücü kullanılmıştır. Dönüştürücü girişi 9.6 V ile 18.6 V aralığında, çıkışı ise sabit 12 V üretmektedir. 5 V ile beslenen alt elektronik sistemler ise DA-DA dönüştürücü çıkışı olan 12 V gerilimin 5 V’a regülasyonun yapılmasıyla gerçekleşmektedir. Burada LM2576 gerilim regülatörü kullanılmıştır. Marş motoru ve yük direncinin kontrolü MOSFET yarı iletken devre anahtarlama elemanlarıyla sağlandığından, bu elemanların kontrolü için simetrik güç kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu gereksinim ise XP Power firmasının ürettiği XP-1215S model DA-DA dönüştürücü devre elemanlarından faydalanılarak sağlanmaktadır.

#### 4.2.5. Mosfet Anahtarlama Ünitesi

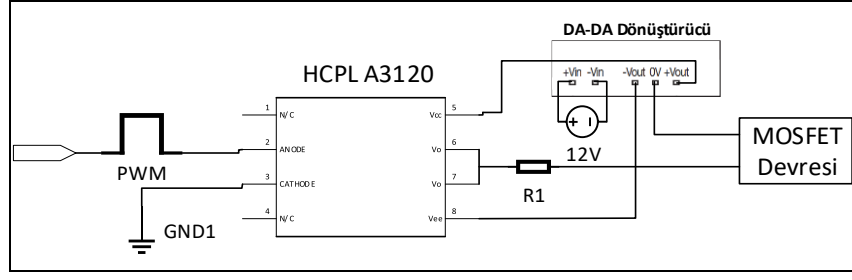
Marş motoru ve yük direncinin kontrolünde, yüksek frekanslarda anahtarlama işlemlerinin yapılabildiği güç elektroniği devre elemanları olan Mosfetler kullanılmaktadır. Mosfetlerin yüksek frekanslar altında anahtarlanabilmesi ve yüksek gerilim ve akımlarda çalışabilmeleri sebebiyle dinamik elektriksel sistemlerin kontrolünde avantaj teşkil etmektedir. Deney düzeneği üzerinde yük direnci değişken akımlarda kontrollü bir şekilde çalışmalarını, bu elemanlar sayesinde gerçekleştirmektedir. Mosfetler avantajlı elemanlar olmalarının yanı sıra, kontrol edilmeleri ve anahtarlanmaları için ara devre elemanlarına ihtiyaç duyarlar. Bir Mosfetin anahtarlanması için Mosfetin Gate-Source arasındaki gerilim potansiyelinin, Drain-Source arasındaki gerilim potansiyeline eşit olması gerekmektedir. Mikrodenetleyici ve mikroişlemci sistemleri en fazla 5V gerilimlerde çalıştırdıklarından bu potansiyelin yükseltilmesi gerekmektedir. Mosfet anahtarlama için tez çalışması kapsamında Mosfet anahtarlama ünitesi gerçekleştirilmiştir. Mosfet anahtarlama ünitesi Şekil 4.15'te verilmektedir.



Şekil 4. 15. Mosfet anahtarlama ünitesi.

Ünitede DA-DA  $\pm 15V$  çıkış üreten güç kaynakları kullanılmıştır. Güç kaynaklarında üretilen simetrik gerilim HCPL A3120 opto izolatörleri ile Mosfetin Gate uçlarına iletim ve yalıtım sinyali olarak dağıtılmaktadır. Mosfet anahtarlama ünitesine ait elektronik devre şeması Şekil 4.16'da verilmektedir.

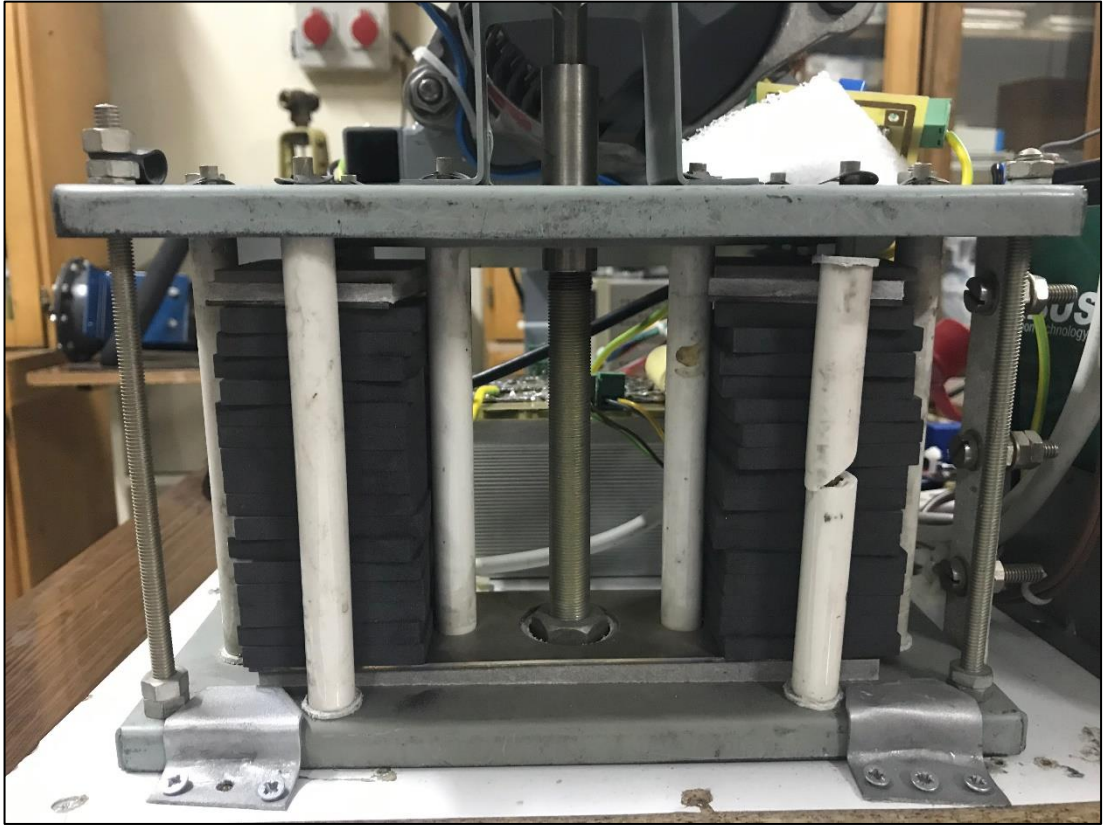




Şekil 4.16. Mosfet anahtarlama ünitesi elektronik devre şeması.

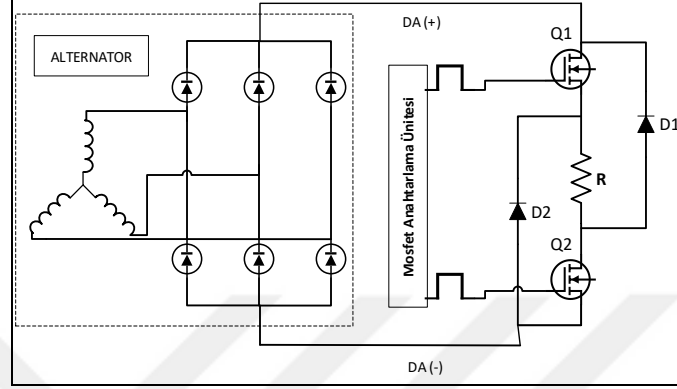
#### 4.2.6. Motor ve Yük Direnci Kontrol Devresi

Deney düzeneğinde marş motoru ve yük direncinin kontrolü Mosfet güç devresi ile gerçekleştirilmektedir. Marş motorunun zorlanmaya maruz kalması için alternatörde üretilen elektrik yük direnci üzerinde yakılarak elektriksel bir zorlanma meydana getirilmektedir. Sistemde yük direnci olarak 1 ohm 1 kW değerlerinde sanayi tipi frenleme direnci kullanılmıştır. Yük direnci Şekil 4.17’de verilmektedir.



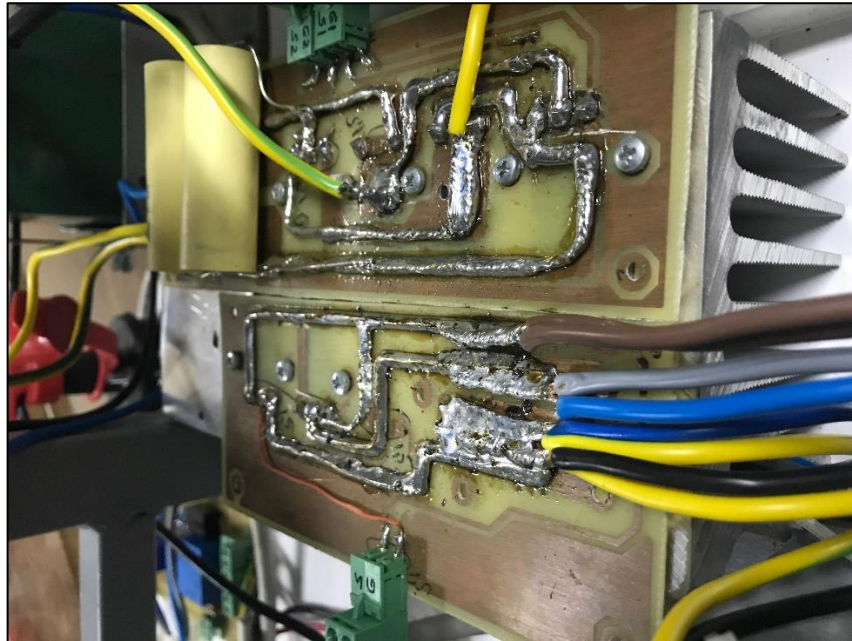
Şekil 4.17. Yük direnci.

Yük direncinin kontrolünde kullanılan Mosfet devresine ait devre şeması Şekil 4.18’de verilmektedir. Mosfetlerin anahtarlanmasında günümüzde bir çok anahtarlama topolojiyi uygulanmakta ve kullanılmaktadır. Burada devre topolojisi olarak Push-Pull topolojisi tercih edilmiş ve yarım köprü Mosfet devresinde başarıyla uygulanmıştır.



Şekil 4.18. Mosfet devresi elektrik şeması.

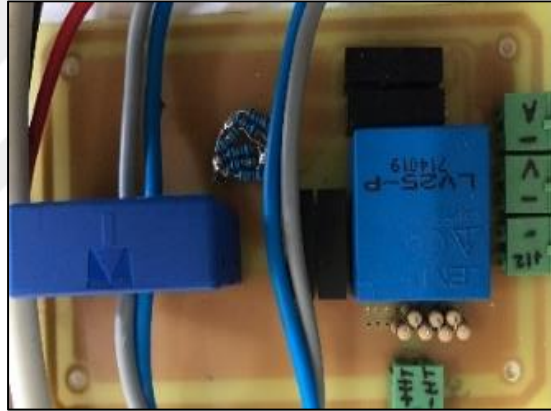
Motor ve yük direnci kontrol devresi Şekil 4.19’da verilmektedir. Mosfetler anahtarlandığında ısınan elemanlar olduğundan, alüminyum soğutucular kullanılarak soğutulmaktadır. Mosfetler çalışması sırasında aşırı ısıya maruz kalması bozulmalarına sebep olmaktadır.



Şekil 4.19. Motor ve yük direnci kontrol devresi.

#### 4.2.7. Algılayıcı Ünitesi

Marş sisteminin analizinin yapılabilmesi için, marş motorunun sıcaklığı ve akımının, batarya gerilimi ve sıcaklığının, ayrıca krank mili hızının bilinmesi gerekmektedir. Sistemde ayrıca marş motorunu yük direnci ile zorlanmasından dolayı bu zorluğun şiddetinin de analiz edilmesi önemlidir. Zorlanma şiddeti direnç üzerinde harcanan enerjinin akım cinsinden ifade edilmesiyle açıklanabilir hale getirilmektedir. Bu yüzden sistemde yük direnci üzerindeki akımı ölçmek için akım algılayıcı, batarya gerilimini ölçmek için gerilim algılayıcı, marş motoru akımını ölçmek için akım algılayıcı, batarya ve marş motoru sıcaklığını ölçmek için sıcaklık algılayıcı, krank mili hızını ölçmek için ise artırimsal kodlayıcı kullanılmıştır. Şekil 4.20’de algılayıcı ünitesi verilmektedir.



Şekil 4.20. Algılayıcı ünitesi.

### 4.3. ALT SİSTEMLERDE KULLANILAN MATERYALLER

#### 4.3.1. Sistemde Kullanılan Denetleyici

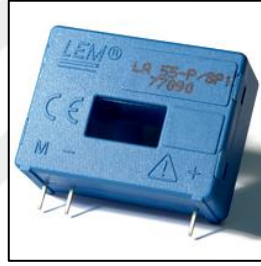
Düzenekte kullanılan sıcaklık, gerilim ve akım algılayıcıları aracılığıyla ölçülen değerlerin okunması ve değerlendirilmesi işlemlerini denetleyici olarak ST Microelectronics firmasının STM32F4 Discovery kartı yapmaktadır. STM32F4 discovery kartı Şekil 4.21’de verilmektedir. Kart üzerinde 32 bit ARM Cortex-M4 işlemci bulunmaktadır.





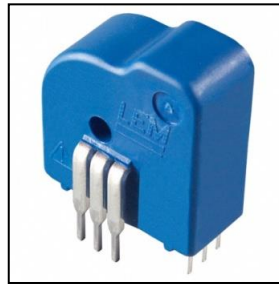
### 4.3.3. Sistemlerde Kullanılan Akım Algılayıcıları

Deney düzeneğinde marş motoru çalışması sürecinde, marş motorunun anlık çektiği akımın ölçümünün yapılması için LEM firmasının LA 55-P akım algılayıcısı kullanılmaktadır. Algılayıcı, normal ölçüm sınırlarında  $\pm 50A$  ölçüm yapmakta ve üst sınırlarda  $\pm 70 A$ 'e kadar ölçüm yapabilme yeteneği vardır. Katalog bilgileri esas alınarak marş motorunun çekeceği akımın büyüklüğüne göre katalogta verilen hesaplamalar yapılarak çıkış direnci hesaplanmakta ve direnç üzerinde düşen gerilim ölçülerek analog olarak akımın büyüklüğü elde edilmektedir. Ana kontrol ünitesinde bu analog sinyalin kalibrasyonunun yapılmasıyla akım doğru ve hassas bir şekilde ölçülmektedir. Algılayıcının beslemesi  $\pm 15V$  olarak simetrik DA-DA güç kaynağı kullanılarak yapılmaktadır. Şekil 4.23'te LA55-P akım algılayıcısı verilmektedir.



Şekil 4.23. LA55-P akım algılayıcısı.

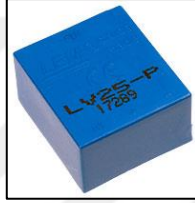
Deney düzeneğinde bulunan yük direnci üzerinde çekilen akımın ölçümünde LTS25-NP akım algılayıcısı kullanılmaktadır. Şekil 4.24'te LTS25-NP akım algılayıcısı verilmektedir. Algılayıcı  $\pm 25A$  aralığında akım ölçümü olanağı sağlamaktadır. Katalog bilgilerinde verilen minimum 4.75 maksimum 5.25 V besleme gerilimi ile % 0.2 doğrulukta çalışmaktadır. 0 kHz – 200 kHz çalışma frekansına sahiptir.



Şekil 4.24. LTS25-NP akım algılayıcısı.

#### 4.3.4. Gerilim Algılayıcısı

Marş sistemi deney düzeneğinde deney süreci boyunca batarya geriliminin ölçülmesinde LV25-P gerilim algılayıcısı kullanılmaktadır. Şekil 4.25'te LV25-P gerilim algılayıcısı verilmektedir. Gerilim algılayıcı  $\pm 15V$  simetrik DA-DA güç kaynağı ile beslenmektedir. 0-500V aralığında ölçüm yapan bu algılayıcının katalog bilgilerinde verilen devre şeması ile ölçüm aralığı ayarlanabilmektedir. Bu çalışmada 0-15V aralığında çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Doğrusal bir algılayıcıdır ve  $25^{\circ}C$  sıcaklıkta  $\pm 0.9\%$  doğrulukta çalışmaktadır. Çalışma sıcaklığı 0 ile  $70^{\circ}C$  arasındadır.



Şekil 4.25. LV25-P gerilim algılayıcısı.

#### 4.3.5. Artımsal Kodlayıcı

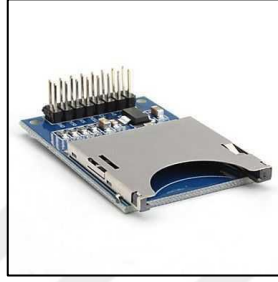
Marş sistemi deney düzeneğinde krank mili devirinin ölçülmesi için artımsal presnsipte çalışan kodlayıcı kullanılmıştır. Kodlayıcının çalışma prensibi gereği devir ölçer mili, deney düzeneğinde krank miline eş merkezli bir şekilde mekanik olarak bağlanmaktadır. Deney düzeneğinde kullanılan enkoder Hanyoung firmasına ait He50b-8-500-3-t-24 model kodlayıcıdır. 12-24 V aralığında çalışmakta ve tur başına 500 darbe sinyali üretmektedir. Kodlayıcı Şekil 4.26'da verilmektedir.



Şekil 4.26. Düzenekte kullanılan kodlayıcı.

#### 4.3.6. Bellek Modülü

Düzenekte sistemlere ait tüm verilerin kaydedilmesi için SD kart kullanılmıştır. Verilerin SD karta kaydedilmesi için ara modüle ihtiyaç duyulmaktadır. Deney verileri kayıt sisteminde kullanılan SD kart kayıt modülü Şekil 4.27’de verilmektedir. SD kart modülü (Seri Çevresel Arayüz) SPI protokolünü kullanarak haberleşmektedir.



Şekil 4.27. SD kart modülü.

#### 4.3.7. CAN Entegresi

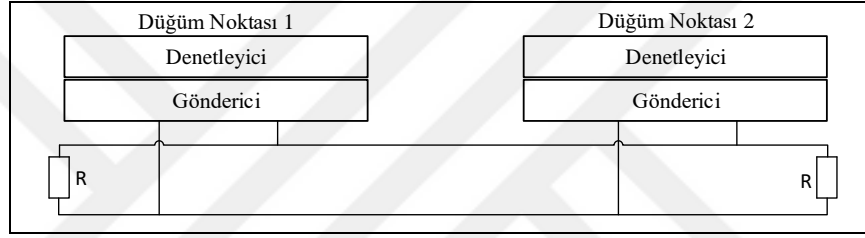
MCP2551, CAN denetleyicisi ile haberleşme fiziksel katmanı arasındaki arabirim görevi görmektedir. CAN hattındaki her düğüm, CAN denetleyicisi tarafından üretilen dijital sinyalleri hat kablolaması üzerinden iletme uygun sinyallere dönüştüren bir ağıta sahip olmalıdır. Verilerin CAN protokolüyle bilgisayara aktarımı için MCP2551 entegresi kullanılmıştır. MCP2551 entegresi Şekil 4.28’de verilmektedir.



Şekil 4.28. MCP2551 Entegrenin resmi.

#### 4.4. CAN PROTOKOLÜ

CAN iletişim protokolü, 1980'lerin ortalarında Bosch firması tarafından, otomotiv uygulamalarında seri veri iletişimin sağlanması amacıyla geliştirilmiştir. CAN protokolü, 1993 yılında ISO (Uluslararası standartlaşma Organizasyonu) tarafından uluslararası bir iletişim standardı olarak kabul edilmiştir [19]. CAN protokolü, otomotiv sistemlerindeki elektronik devreler arasında haberleşme hattı üzerinden ilgili hedef elemanlara bilgi göndermek için kullanılmaktadır. CAN protokolü, sahip olduğu hat yapısı ile karmaşık kablolama yapısını ortadan kaldırır. Çift sarmal bir kablo yardımıyla birçok elemanın birbirleri ile haberleşmesini sağlamaktadır.



Şekil 4.29. CAN protokolü kablolama blok diyagramı.

Şekil 4.29'da denetleyici CAN hattına bağlı olan devrenin kontrolcüsü olarak yer almaktadır. Gönderici ise farklı yapıda ve zamanda olan denetleyicileri CAN haberleşmesi için fiziksel katmana bağlayan dönüştürücü yapıyı temsil etmektedir. Hattın iki ucu arasında bağlanan direnç sistemde haberleşme kaynaklı oluşan elektriksel gürültüyü engellemek için kullanılmaktadır.

CAN protokolü, OSI (Açık Sistem Arabağlantısı) haberleşme modelini kullanmaktadır [20]. CAN protokolü, maksimum 1 Mbit/saniye haberleşme hızına sahiptir. Bu hız farklı iletim mesafelerine göre değişmektedir [21,22].

CAN protokolü temel olarak 3 katmandan oluşmaktadır. İlk iki katman OSI referans modelinin aynısıdır. Üçüncü katman ise uygulama katmanıdır. Ancak ilk iki katman kendi içerisinde fiziksel katman, transfer katmanı ve nesne katmanına ayrılmıştır.

Fiziksel katman, veri iletimine ait elektriksel yapıyı, kablolama gibi fiziksel operasyonların bulunduğu katmandır. Transfer katmanı, CAN mesajına ait hata tespiti, mesaj önceliği, mesaj çerçeveleme, transfer hızı ve zamanlaması, mesaj onaylama ve kabulü gibi işlemleri yerine getirmektedir. Nesne katmanı, transfer ve uygulama katmanları arasında haberleşme işleminin sağlanması için tasarlanmıştır. Son katman olan uygulama katmanı ise katman parametrelerinin tanımlanmasını ve ayarlanmasını sağlamaktadır.

CAN topolojisi, ağ üzerindeki CAN modüllerini birbirine bağlayan kablonun yapısıdır. CAN protokolünde kullanılan topolojiler Hat, Halka veya Yıldız topolojilerinden biri olabilir. CAN protokolünde kullanılan en yaygın topoloji Hat topolojisidir [23]. Bu topolojide, her modül ağ içerisindeki mesajlaşmayı sağlayabilmek için tek bir seri kablo ile birbirlerine bağlıdır. İstasyonlar arasında CSMA/CD+CR erişim kuralları kullanılır. Bu kurallar, iki modül aynı anda mesaj gönderdiğinde ortaya çıkan çarpışmaları engellemek için kullanılır [20].

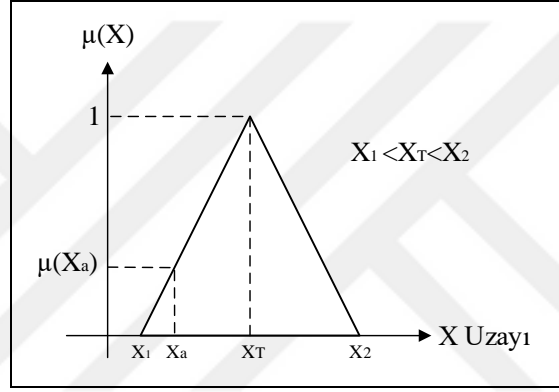
#### **4.5. BULANIK MANTIK DENETLEYİCİ**

Deney düzeneğinde yük direnci üzerinde harcanan elektrik akımının kontrol edilmesi için marş motorunun sabit yükler altında kademeli olarak test edilmesi ve zorlanması gerekmektedir. Marş motoru çalışması sırasında yük direnci akımı kontrol edilmezse alternatörde üretilen elektrik alternatör karakteristiğine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Sonuç olarak sabit bir zorlanma elde edilemeyeceğinden yük direnci akımının tam yüke oranla %40, %60, %80 ve %100 olarak kademeli olarak ayarlanması gerekmektedir. Deney düzeneğinde yük direnci üzerinde çekilen akım Bulanık Mantık Denetleyicisi (BMD) kullanılarak sağlanmıştır. Bulanık mantık sistem değişkeni olan akımın hata değeri ve hatanın zamana göre değişimi esas alınarak girişler oluşturulmakta ve BMD üzerinde kümelerin BMD kural tabanı üzerinden değerlendirilerek çıkışlar üretilmekte ve sayısal işarete dönüştürülmektedir.

Bulanık Mantık yaklaşımı ilk defa Lutfi A. Zadeh tarafından 1965 yılında ortaya atılmıştır [24]. Bulanık mantık ile ilgili yapılan ilk uygulamayı 1974 yılında Mamdani gerçekleştirmiştir. 1982 yılında Danimarka'daki bir çimento fırınının bulanık mantık

ile kontrolü ise endüstriyel olarak yapılan ilk uygulamadır [25]. İlk bulanık mantık için uygun çip ise 1980'lerin başında AT&T Bell laboratuvarlarında Togai ve Watanabe tarafından geliştirilmiştir [18].

Bulanık kümelerde elemanın varlığı (0-1) aralığı ve üyelik dereceleri ( $\mu$ ) sembolü ile adlandırılmaktadır. Her bir elemanın üyelik derecesini gösteren bulanık kümeler, üyelik fonksiyonları ile tanımlanır. Literatürde üçgen, yamuk, gaussian, çan, sigmoid ve sinüzoidal üyelik fonksiyonları bulunmaktadır. Üçgen üyelik fonksiyonu Şekil 4.30'da verilmektedir.

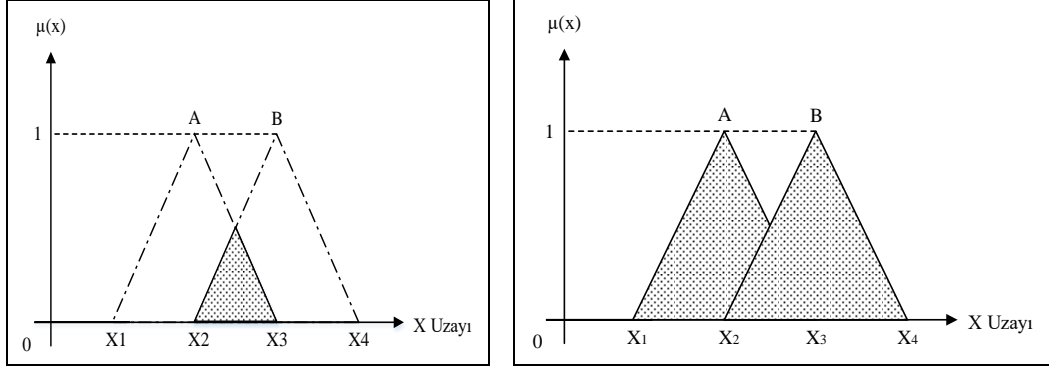


Şekil 4.30. Üçgen üyelik fonksiyonu.

Üçgen üyelik fonksiyonunda üyelik derecesi Eşitlik 4.1 ile hesaplanabilir.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < x_1 \\ \frac{x - x_1}{x_T - x_1}, & x_1 \leq x \leq x_T \\ \frac{x_2 - x}{x_2 - x_T}, & x_T \leq x \leq x_2 \\ 0, & x > x_2 \end{cases} \quad (4.1)$$

Bulanık kümeler ve bu kümelere ait elemanların üyelik dereceleri bulanık mantık denetleyicinin temelini oluşturmaktadır. Uygulamalarda en çok kullanılan bulanık küme işlemleri kesişim, birleşim ve değilleme olarak sınıflandırılmaktadır. A ve B bulanık kümelerinin kesişim kümesi Şekil 4.31(a)'da verilmektedir. A ve B bulanık kümelerinin birleşim kümesi Şekil 4.31(b)'de verilmektedir.



Şekil 4.31. Bulanık kümeler; a) kesişim işlemi, b) birleşim işlemleri.

Bulanık mantık kontrolörün dört temel bileşeni vardır. Bunlar; bulanıklaştırma, kural tabanı, bilgi tabanı ve durulaştırma. Bulanıklaştırma işlemi, giriş parametrelerinin dilsel değişkenlere tanımlanmasına dönüştürülmektedir. Dönüştürülen giriş parametreleri BMD kural tabanına aktarılmaktadır. Kural tabanında denetim amaçlarına uygun dilsel denetim kuralları bulunur. Bu kurallar sayesinde giriş parametrelerinin durumuna göre BMD çıkış üretmektedir. Çıkış üretme işlemi de yine bulanık dilsel değişkenler formunda gerçekleşmektedir. Kuralların belirlenmesinde kullanılacak belli bir yöntem yoktur. Kural yazımı Eşitlik 4.2 gibi yazılabilir [24].

Eğer < ön şart > ise < sonuç > (4.2)

Yazılan bütün kuralların bir arada gösterilmesi mümkündür. Bu gösterim için kural tabloları kullanılır. Bulanıklaştırıcı çıkışlarına göre aktif olacak çıkış bulanık kural tablosu Şekil 4.32'de verilmektedir. Kurallar aşağıdaki gibi düzenlenebilir.

Kural 1: Eğer  $x=A$  ve  $y=C$  ise  $z=E$  olacaktır.

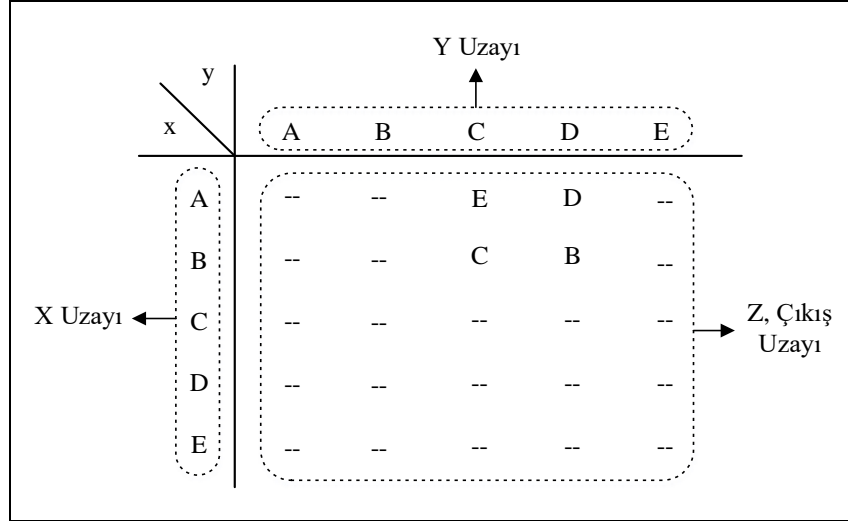
Kural 2: Eğer  $x=A$  ve  $y=D$  ise  $z=D$  olacaktır.

Kural 3: Eğer  $x=B$  ve  $y=C$  ise  $z=C$  olacaktır.

Kural 4: Eğer  $x=B$  ve  $y=D$  ise  $z=B$  olacaktır.

Burada kullanılan "ve" bağlacı, klasik ve bulanık kümelerde kesişim işlemi temsil eder.





Şekil 4.32. Bulanık kural tablosu.

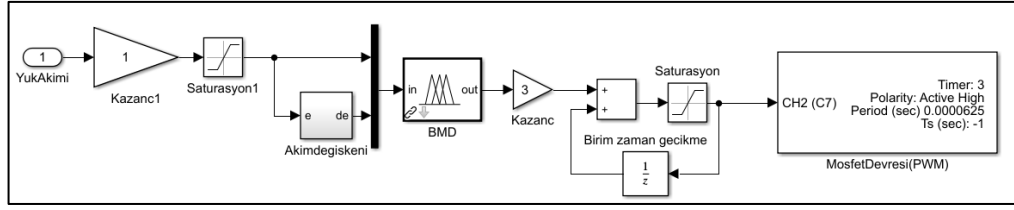
Her bir kuraldan elde edilen bulanık çıkışlar durulaştırıcı da bir dizi işlemin ardından tek bir gerçek değere dönüştürülür. Bu işlem için ağırlık merkezi, maksimumların ortalaması, Sugeno, Tsukamoto, iki bölge, maksimumların en küçüğü ve maksimumların en büyüğü gibi farklı yöntemler kullanılmaktadır [25]. Ağırlık merkezi yöntemi ile durulaştırma işlemi için Eşitlik 4.3 kullanılır.

$$z = \frac{\sum_{k=A}^E \mu_k(z_k) z_k}{\sum_{k=A}^E \mu_k(z_k)} \quad (4.3)$$

Burada bulanık mantık denetleyicinin çıkışı  $z$  ve çıkıştaki bulanık küme  $k$  ile gösterilmektedir. Ayrıca  $\mu_k(z_k)$ , kuraldan bulanık çıkışa ait elde edilen üyelik derecesi ve  $z_k$  da aynı kuraldaki çıkış bulanık kümesinde en büyük üyeliğe sahip gerçek çıkış değeridir [26].

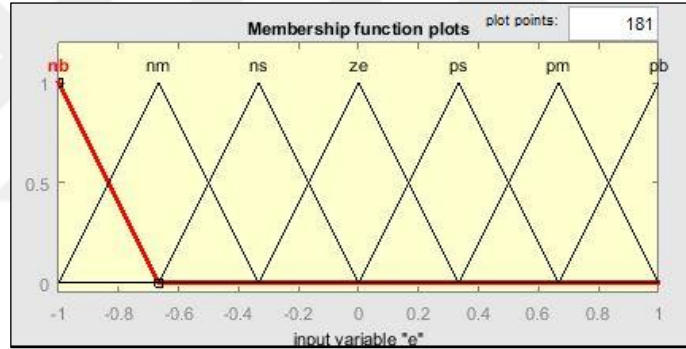
#### 4.5.1. Yük Akımı BMD Tasarımının Gerçekleştirilmesi

Ana kontrol kartında tanımlanan referans yük akımı parametresi ana kontrol biriminde işlendikten sonra, anlık yük akımı ile farkı alınarak bulanık mantık denetleyicinin hata girişine uygulanır. Şekil 4.33'te BMD'nin uygulama blokları verilmektedir. BMD ile kontrol edilen fiziksel parametre marş motorunun zorlanması için gerekli yük akımıdır.

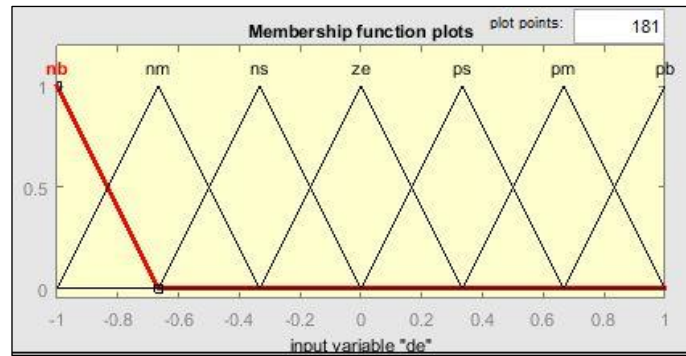


Şekil 4.33. Tasarlanan bulanık mantık denetleyicisi.

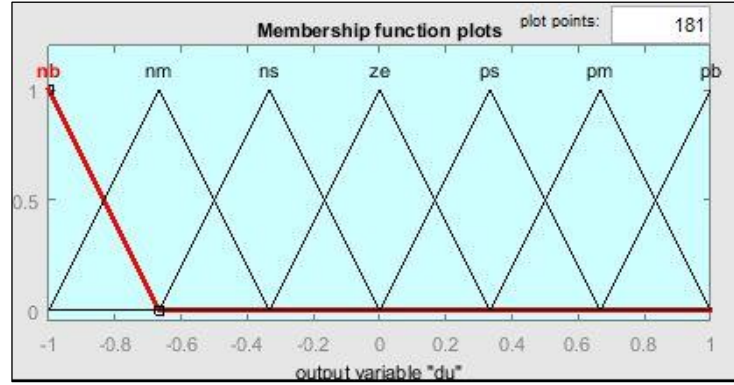
Hata bilgisinin bir önceki değeri hafızada tutularak BMD hatanın değişimi girişine uygulanmaktadır. BMD'nin çıkış sinyali ise mikrodenetleyiciden PWM sinyali olarak elde edilmektedir. BMD'nin üyelik fonksiyonları MATLAB bulanık mantık araç kutusu yardımıyla tasarlanmıştır. Hata, hatadaki değişim ve çıkış üyelik fonksiyonları ile birlikte kural tabanı Şekil 4.34, Şekil 4.35, Şekil 4.36, ve Şekil 4.37'de verilmektedir.



Şekil 4.34. BMD Hata üyelik fonksiyonları.



Şekil 4.35. BMD Hatadaki değişimin üyelik fonksiyonları.



Şekil 4.36. BMD Çıkış üyelik fonksiyonları.

e de	NB	NO	NK	SF	PK	PO	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NO	NK	SF
NO	NB	NB	NB	NO	NK	SF	PK
NK	NB	NB	NO	NK	SF	PK	PO
SF	NB	NO	NK	SF	SF	PO	PB
PK	NO	NK	SF	PK	PO	PB	PB
PO	NK	SF	PK	PO	PB	PB	PB
PB	SF	PK	PO	PB	PB	PB	PB

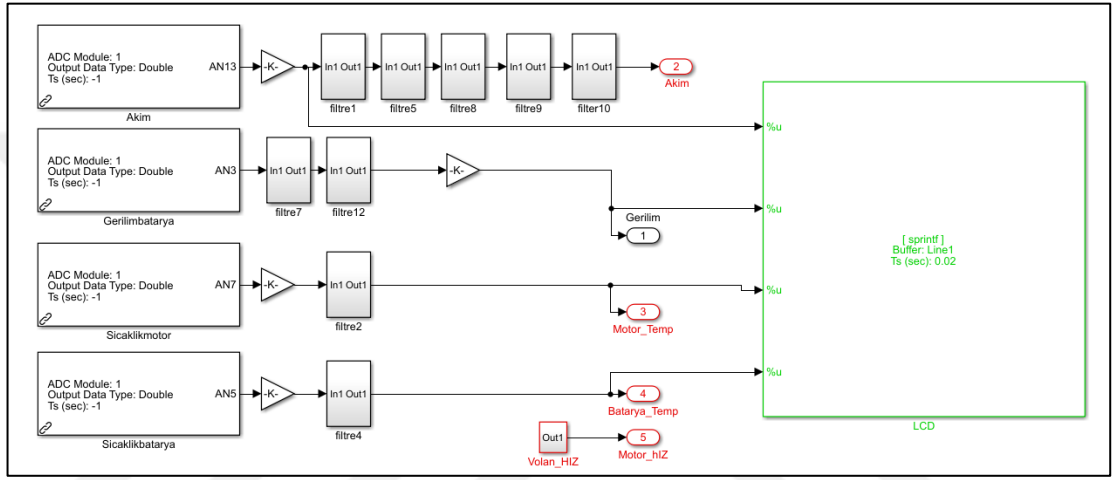
Şekil 4.37. BMD Kural tabanı.

#### 4.6. ANA KONTROL ÜNİTESİ YAZILIMININ GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

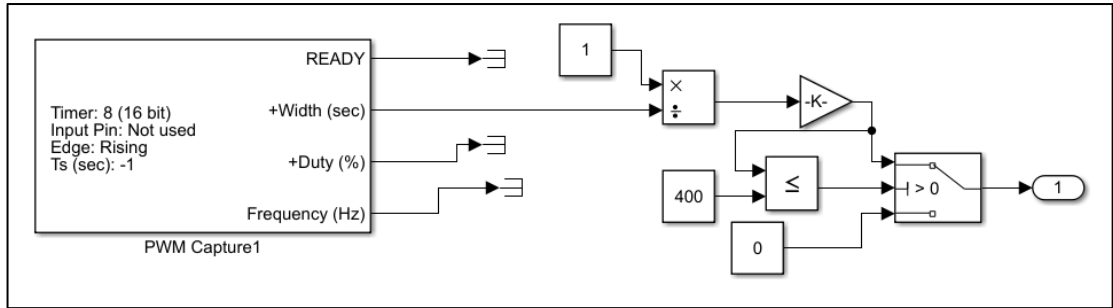
STM32F4 denetleyici kartı kullanıcılarına sağladığı Waijung Blockset kütüphanesi ile Matlab Simulink üzerinde model tabanlı yazılım geliştirilerek programlanabilmektedir. Matlab Simulink üzerinde bulunan araç kutusu ile STM32F4 kurulum ayarları yapılabilmektedir. Kütüphane temel I/O, CAN, ADC, DAC, I2C, UART, RTC, SDIO, SPI, TIM gibi işlemlere ait Matlab Simulink bloklarını sağlamaktadır [18].

Waijung kütüphanesi diğer Simulink kütüphaneleriyle entegre halinde çalışabilmekte ve veriler matematiksel olarak işlenebilmektedir. Matlab Simulink ile gerçekleştirilen

yazılım işlemleri tamamlandıktan sonra program derlenerek denetleyiciye ST-LINK arayüzü üzerinden yüklenmektedir. ST-LINK, STM32F4 kartına derlenen yazılım kodlarının gömüldüğü sürücüdür. Denetleyici yazılımı, BMD bloklarını, denetleyici ayarlamaları, LCD kütüphanesi, CAN protokolü kütüphanesi, SD kart kayıt modülü bloklarını, MOSFET anahtarlama bloklarını içermektedir. Deney düzeneğinde kullanılan STM32F4 Discovery kartına ait örnek yazılım blokları Şekil 4.38 ve Şekil 4.39’da verilmektedir.



Şekil 4.38. Deney düzeneğinde kullanılan algılayıcılara ait ölçüm blokları.



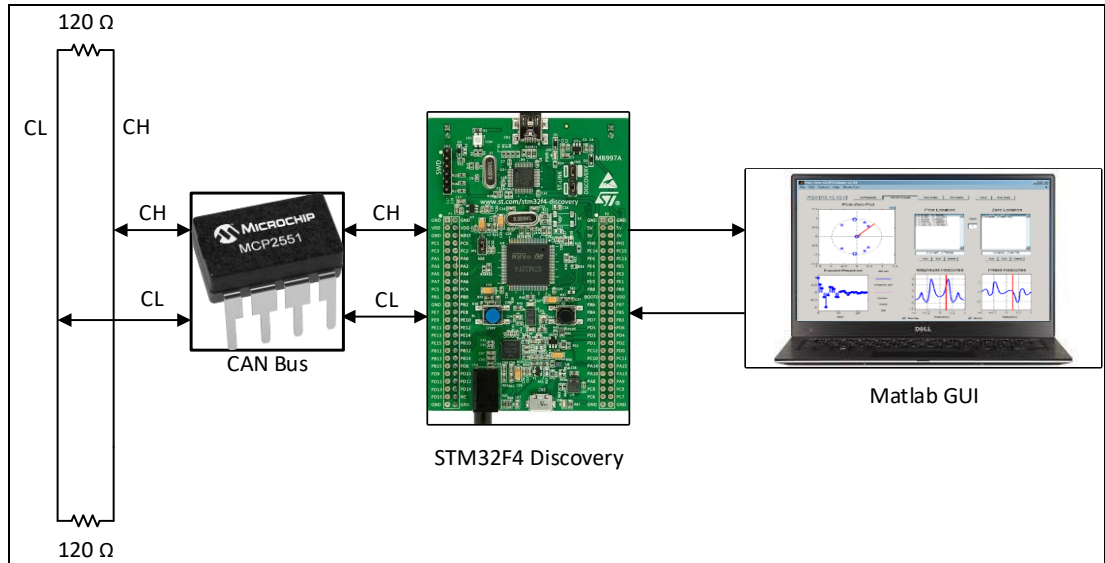
Şekil 4.39. Krank mili hızı ölçümü kodlayıcı sinyali işleme blokları.

## BÖLÜM 5

### DENEYSSEL ÇALIŞMALAR

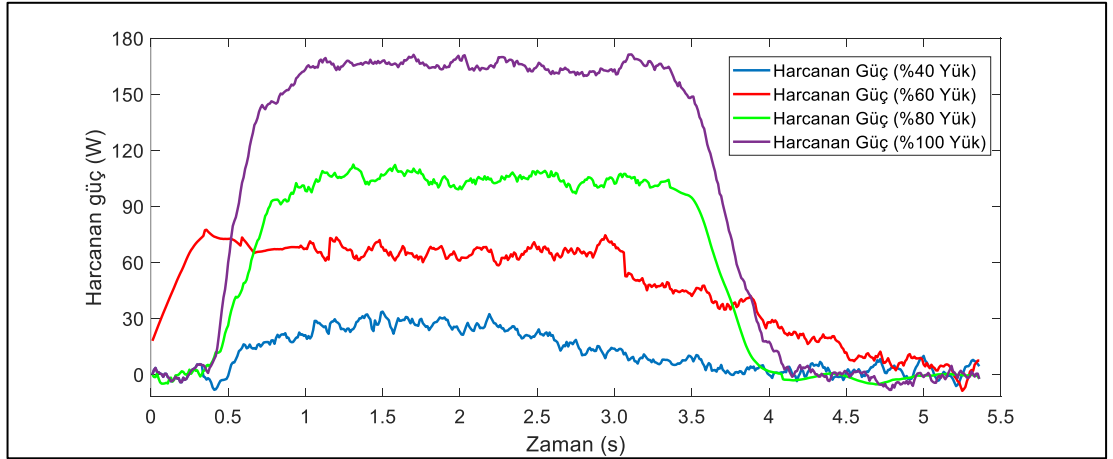
Deney düzeneği gerçekleştirildikten sonra, ana kontrol ünitesi yazılımları tamamlanmıştır. Bu süreçten itibaren düzenekte kullanılan marş motoru, batarya, alternator elemanlarının marş süreci boyunca akım, gerilim, sıcaklık ve krank mili devri zamana göre SD karta kayıt edilmiştir. Akım, gerilim, sıcaklık ve krank mili devri verilerindeki değişim deney süreci boyunca zamana göre grafiklendirilmiştir. Verilerin grafiklendirilmesi sistem çalışmasının analizinde önemli bir işlemdir. Sistemde bulunan elemanların sağlığı ve performansları bu yolla rahatlıkla yorumlanabilmektedir.

CAN ağı üzerinden verilerin aktarılması işlemine ait sistem diyagramı Şekil 5.1’de verilmektedir. Verilerin CAN ağından bilgisayara iletilmesi sürecinde sistem denetleyicisi olarak STM32F4 Discovery kartı kullanılmıştır.



Şekil 5.1. Verilerin CAN ağı üzerinden bilgisayara aktarılması.

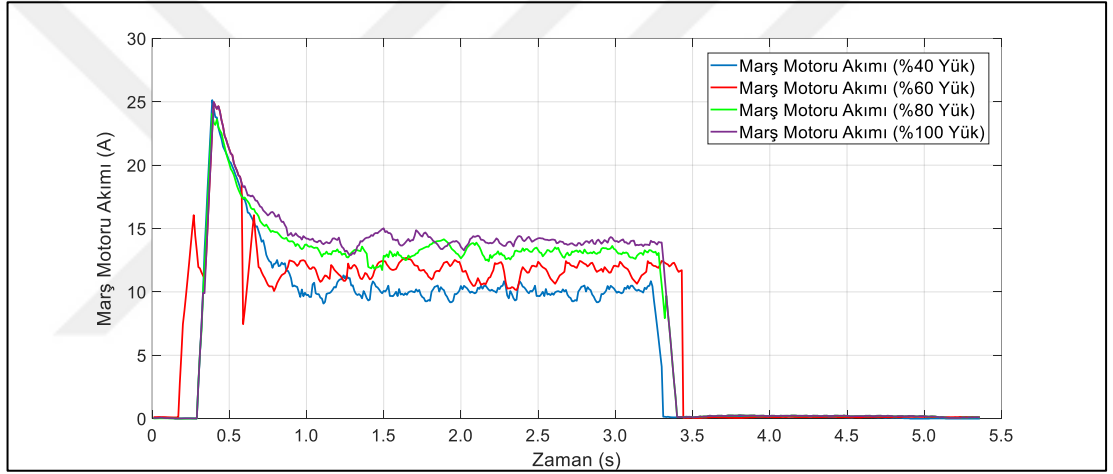
Tasarlanan BMD ile alternatörde üretilen elektrik enerjisi akım kontrollü bir şekilde yük direnci üzerinde yakılarak, marş motorunun akım artışına göre performansı izlenmiştir. Çalışmada kullanılan marş motoru 200 W güç sağlayabilen bir motordur. Marş motoru maksimum 180 W'a kadar kademeli olarak yüklenmesi sağlanmış ve ayrı ayrı gerilim, akım, sıcaklık ve krank mili hız değerleri analiz edilmiştir. Marş motoru yük direnci üzerinden %40, %60, %80 ve %100 oranlarda yüklenmiştir. Yük direnci akımı %40 yükte 3.0 A referans değerinde, %60 yükte 6.0 A referans değerinde, %80 yükte 9.0 A referans değerinde, %100 yükte ise 15.0 A deneme yanılma yöntemiyle BMD tarafından kontrol edilmektedir. Deneylerin farklı yükler altında gerçekleştirilmesi ve marş sisteminin deney süresi toplamda 5.5 saniyedir. Marş motoru çalışma sinyali deneyin 0.3 saniyesinde aktifleştirilmiş, deneyin 4.0 saniyesinde kesilmiştir. Deney sürecinde yük direnci üzerinde geçen akım zamana göre grafiklendirilmiş ve Matlab Gui ortamında izlenmiştir. Sonuç olarak, marş motorunun istenilen yükler altında zorlanmasıyla oluşan yük akımlarının kontrollerinin başarıyla sağlandığı görülmektedir. Deney sürecinde %40, %60, %80 ve %100 yükler altında yük direnci üzerinde harcanan güç-zaman grafiği Şekil 5.2'de verilmektedir.



Şekil 5.2. Yük direnci güç-zaman grafiği.

Şekil 5.2'deki grafik incelendiğinde yük direnci üzerinden geçen akımın marş sistemi çalışmaya başladığı  $t=0.3$  saniyesinde 0 A'ye yakın olduğu ancak istenilen kademelere  $t=0.7$  saniyede yöneldiği görülmektedir. Bunun sebebi alternatörün elektrik üretebilmesi için yeterli devre ulaşması gereksinimidir. Kullanılan alternatörün

elektrik üretebilmesi için rotor mili minimum 200 dev/dak dönme hızı ile dönmelidir. Yük direnci üzerindeki akımda gecikmenin temel sebebinin bu olduğu düşünülmektedir. Ayrıca grafik incelendiğinde düzenekte bulunan alternatörün sağlıklı bir şekilde çalıştığı ve elektrik enerjisi gereksinimini sağladığı görülmektedir. Hazırlanan düzenek sadece marş sistemi değil otomobillerde kullanılan alternatör için de ayrıca bir analiz imkanı sağladığı görülmektedir. Deney süresince marş motorunun farklı yükler altında bataryadan çektiği akım grafiği Matlab Gui arayüzünde çizdirilmiş ve incelenmiştir. Deneyde marş sinyali aktif edildiği süreçten itibaren marş motoru çalışmaya başlamış ve bataryadan  $t=3.2$  saniye sürecine kadar çalışmasını sürdürmüştür. Marş motoru akım grafiği Şekil 5.3'te verilmektedir.

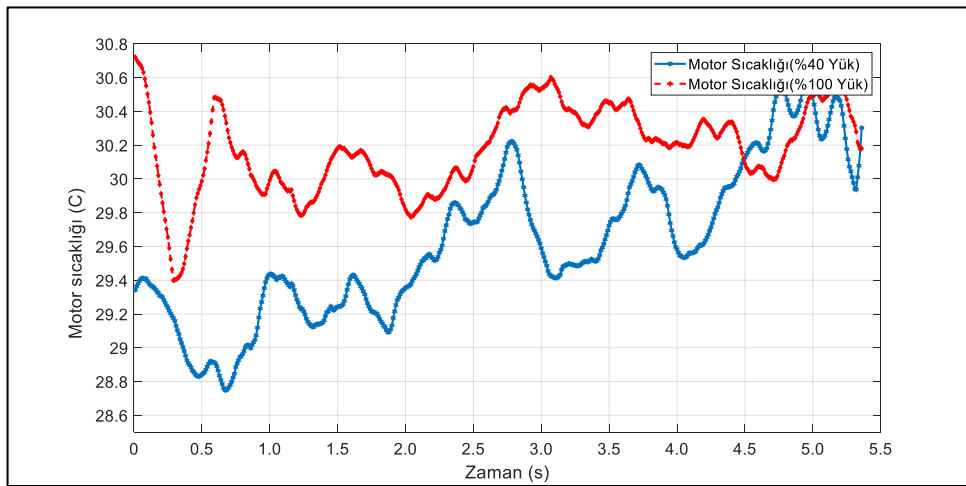


Şekil 5.3. Marş motoru akım grafiği.

Şekil 5.3'te verilen marş motoru akım grafiği incelendiğinde marş sinyali verildiği andan itibaren marş motoru çektiği akım, farklı yükler altında olmasına rağmen 25 A değerlerine ulaşmaktadır. Marş motorunun farklı yükler altında çalışmasına rağmen başlangıçta bu akım değerlerine ulaşması ve akım tepe noktasının 25 A'da kalmasının temel nedeninin marş motoru karakteristiği olduğu düşünülmektedir. Deney düzeneğinde kullanılan marş motoru seri sargılı DA motordur. Seri sargılı DA motorlar karakteristik özellikleri gereği kalkınma esnasında motorun fırçaları ve endüvisi üzerinde oluşan manyetik alan yoğunluğu sağlanana kadar kaynaktan akım çekme özelliği göstermektedirler. Dolayısıyla boşta ve yükte çalıştırılırsalar bile kalkış akımları bu manyetik yoğunluk sağlanana kadar artış gösterecektir. Tez çalışması kapsamında kullanılan marş motorunda bu değer 25 A olduğu yapılan deneyler

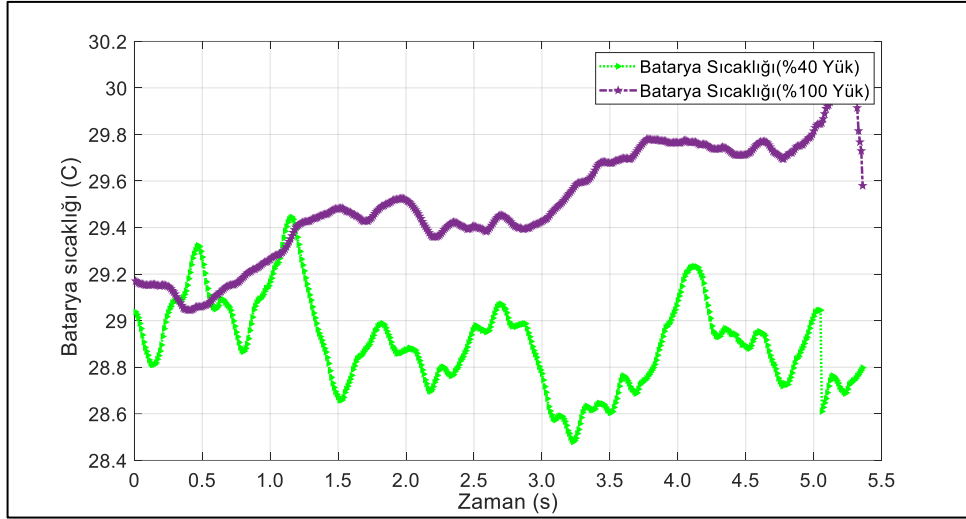
neticesinde tespit edilmiştir. Şekil 5.3'te verilen akım grafiğine göre marş motoru kalkınmasını sağladıktan sonra kademeli olarak sağlanan yük akımlarıyla doğru orantılı olarak motor akımlarının değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Bu bağlamda motor %40 yük altında normal olarak yaklaşık 10 A, %60 yük altında yaklaşık 12 A, %80 yük altında yaklaşık 13 A ve %100 yük altında yaklaşık 15 A akım çekmektedir.

Şekil 5.2 yük akım grafiği ile Şekil 5.3 marş motoru akım grafiği incelendiğinde, %40 yük altında yük direnci üzerinde yaklaşık 3 A akım çekerken, marş motoru aynı yük altında yaklaşık 10 A çekmektedir. %60 yük altında iken direnç üzerinde 6 A akım çekilirken, marş motorunda 12 A, %80 yük altında direnç üzerinden 10 A akım çekilirken ise motor kaynaktan yaklaşık 13 A, %100 yükte direnç üzerinde 15 A akım tüketilirken ise motor kaynaktan yaklaşık 15 A akım çekmektedir. Buradan hareketle marş motorunun değişken yüklerin arttırılmasına gösterdiği tepki kararlı ve algoritmik olarak dengelidir. Buradaki durumu İYM çalışması üzerinden yorumlanacak olursa İYM sıcakken motor bataryadan daha az akım çekmekte, soğukken ise daha fazla akım çekmektedir denilebilir. Bunun, tez çalışmasında öne sürülen hipotezi doğrular nitelikte olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca marş motorunun seri sargılı DA motor karakteristik özelliklerine göre sağlıklı ve çalışmasında herhangi bir arıza bulunmadığı da grafik incelenmesi sonucunda kanıtlanmaktadır. Deney sürecinde batarya ve motor sıcaklıklarına ait sıcaklık-zaman grafiği Şekil 5.4 (a) (b)'de verilmektedir.



Şekil 5.4 (a). Motora ait sıcaklık-zaman grafiği.



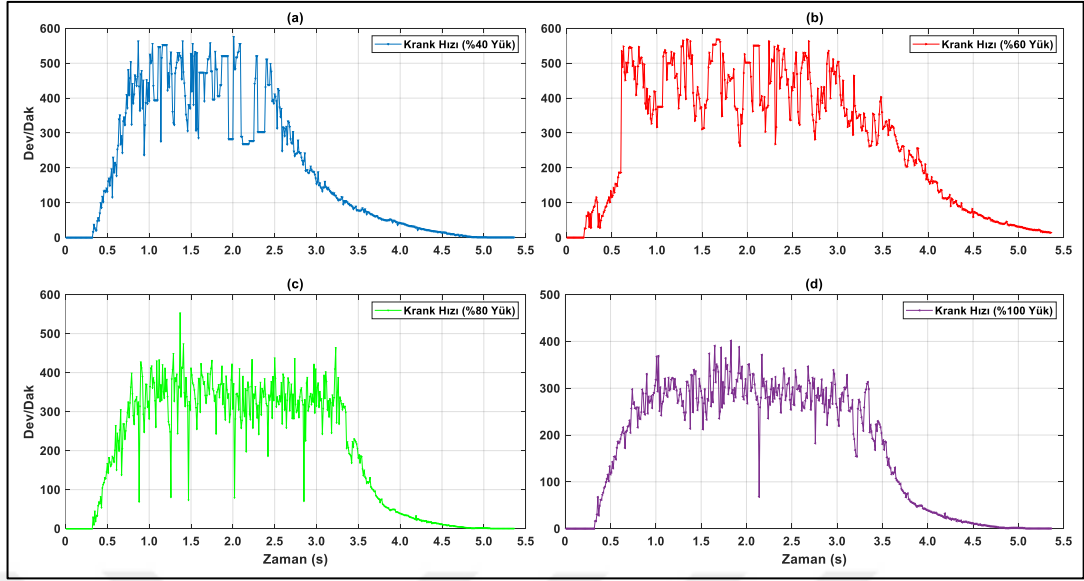


Şekil 5.5 (b). Bataryaya ait sıcaklık-zaman grafiği.

Şekil 5.4 (a) ve (b) de verilen batarya ve motor sıcaklık-zaman grafiklerinde, motorun ve bataryanın %40 ve %100 yüke maruz kaldığı durumlarda, ayrı ayrı batarya ve marş motorunun sıcaklıkları verilmektedir. Grafik incelendiğinde %40 yük altında marş motoru sıcaklığı yaklaşık 29 °C'den 30.5 °C'ye yükselme eğilimi gösterirken, batarya sıcaklığı yaklaşık 29 °C'de kalmıştır. Marş motoru %100 yüke maruz kaldığı durumda gerçekleştirilen deney sonuçlarında sıcaklıklar incelendiğinde ise, motor sıcaklığı 29.5 °C'den 30.5 °C'ye ulaşmıştır.

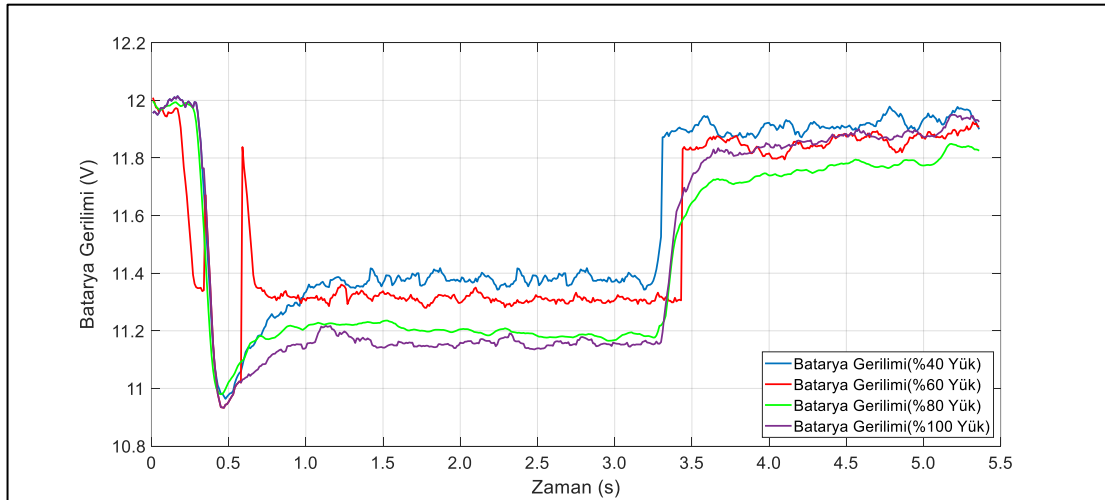
Batarya sıcaklığı ise yaklaşık 29.2 °C'den 30 °C'ye ulaşmaktadır. Grafik sonuçlarına göre sistemlerin %40 ve %100 yük aralığında maruz kaldığı yükün sıcaklıklarında etkili bir değişim olmadığı analiz edilmiştir. Deney süresinin İYM marş sürecine göre ayarlanmış olması sistemde batarya ve motor sıcaklıklarını etkileyici unsur olarak görülmediğini öngörmektedir. Grafik incelendiğinde %40 ve %60 yükte krank mili devri ortalama 550 dev/dak'ya kadar ulaşırken, %60 yükte ortalama 400 dev/dak, %100 yükte ise ortalama 300 dev/dak'ya ulaşmaktadır. Bu sonuçlar analiz edildiğinde marş motoru zorlanması arttırıldıkça krank mili hızının düştüğü tespit edilmiştir.

Ayrıca marş motoru zorlanması arttırıldıkça krank mili salınımının düştüğü görülmektedir. Şekil 5.5'te deney sürecinde farklı yükler altında krank mili hızları verilmektedir.



Şekil 5.6. Krank mili hızları.

Şekil 5.6’da marş motorunun farklı yüklere maruz kalması sonucu batarya gerilimindeki değişimlere ait gerilim-zaman grafiği verilmektedir. Burada marş motoru çalıştığı anda batarya geriliminde ani bir çökme yaşanmış ve sonrasında maruz kaldığı yükün büyüklüğü ile ters orantılı olacak şekilde gerilimde düşüşler meydana gelmektedir.



Şekil 5.7. Batarya gerilim-zaman grafiği.

Deney sonuçları incelendiğinde marş sisteminin ana elemanları olan batarya ve marş motorunun sağlıklı bir şekilde çalıştıkları gözlenmiştir. Gerçekleştirilen deneysel

çalımlar sonucunda marş sisteminin sağlıklı bir şekilde çalıştığı gözlemlenmektedir. Marş sistemini oluşturan elemanlarda meydana gelen arızalar bu sistemlerin çalışması sırasında gerilim, akım, sıcaklık, krank devir hızı parametrelerine direk olarak etki edecektir. Parametrelere ait grafiklerde arızanın hangi elemanda olduğu uzman tarafından tahmin edilebilmektedir. Eğer marş motoru sargılarında kısa devre arızası meydana gelmişse, burada batarya geriliminde ani çökme oluşacak, krank mili hareket etmeyecek ve motor akımı batarya kısa devre akımına eşit olacaktır. Bu parametrelerin tamamı zaman grafiğine bağlı olarak çizdirildiğinde kolaylıkla arızanın marş motoru sargılarında kısa devre arızası olduğu tespit edilebilecektir. Ayrıca alternator arızası durumunda ise motorun bataryadan çektiği akım değişmeyecek ve her zorlanma kademesinde aynı tepkiyi verecektir. Burada marş motorunda herhangi bir zorlanma olmadığını uzman tespit ederek alternatörde arıza olduğu tespit edilebilecektir. Motorun mekanik elemanlarında bir sürtünme olması ve rulman kaynaklı arızalarda ise motorun anlık tükettiği elektriksel güç ile yük direnci üzerinde harcanan elektriksel güç karşılatırılarak mekanik arıza tespit edilebilecektir. Burada motor gücü direnç üzerinde harcanan güçten büyükse sistemde sürtünme kaynaklı kayıplar vardır demektir. Bu güç farkında meydana gelen artış sistemde mekanik sürtünme arızası olduğu hakkında uzmana bilgi vermektedir.

## BÖLÜM 6

### SONUÇLAR

İYM araçlarda, marş sistemi motora ilk hareketi veren sistemdir ve bu hareket İYM çalışana kadar sürmeye devam eder. Marş sisteminin en önemli elemanları marş motoru ve bataryadır. Marş sisteminde karşılaşılan arızalar çoğunlukla bu elemanlardan kaynaklanmaktadır. Batarya arızası, marş motorunun çalışmasını doğrudan etkilemekte ve marş motorunun çalışmasına engel olmaktadır. Ayrıca, marş motorunda bir arıza olması durumunda, İYM'nin çalıştırılması imkansız hale gelir ve İYM'nin krank miline ilk hareket sağlanamaz. Bu çalışmada, marş sisteminin farklı yükler altında çalıştırılarak, sistemi oluşturan ana elemanlar batarya ve marş motorunun gerilim, akım, sıcaklık gibi karakteristik parametrelerinin ölçülerek, elemanlara ait performansların bilgisayar üzerinde tasarlanan bir arayüz yardımıyla grafiklendirilmesi yardımıyla kullanıcı tarafından analiz edilmesi sağlanmaktadır. Deneylerin tamamında, marş motoru alternatör yardımıyla üretilen elektriğin direnç üzerinde yakılmasıyla oluşturulan değişken yüklere maruz bırakılarak çalıştırılmaktadır. Deneyde elde edilen verilerin tamamı CAN ağı üzerinden bilgisayara aktarılmakta ve burada tasarlanarak geliştirilen kullanıcı arayüzü ile grafikleri çizdirilmektedir. Tez çalışması sonucunda, geliştirilen sistemin otomotiv sektöründe kullanılan marş sisteminde meydana gelen arızalar için tanı kolaylığı sağladığı elde edilmiştir.

Gelecekteki çalışmalarda, yapay zeka yöntemlerinin sisteme entegre edilmesiyle araçlarda marş sistemlerinin performans testleri bu mekanizma yardımıyla değerlendirilecektir. Sistemin sağlıklı çalışması konusunda etkili çıkarımlar özerk olarak yapılabilecektir. Ayrıca, marş sistemi bileşenlerinde meydana gelen arızaların tespit edilmesi bakım süresini de en aza indirilebilecektir. İleri yapay zeka yöntemleri kullanılarak marş sistemi içerisinde meydana gelecek elektrik ve mekanik arızaların, motorun hangi parçasından kaynaklı olabileceği tahmini yapılabilecektir.

## KAYNAKLAR

1. Neelakandan, V., Ganesan, T., Chakrapani, R., P., "Weight optimization of housing bracket for electrical starter motor using FEA", *2nd Int. Conference on Structural Integrity and Exhibition 2018*, Procedia, 345-353, (2018).
2. Mani, M. V., Chandramohan, G., Rudramoorthy R., Senthil Kumar, M., Ashok Kumar, M., "Experimental analysis of faults of automobile starting", *Journal of Advantages in Vehicle Engineering*, 2(2): 124-132 (2016).
3. Kavraal, S. Ç., "Bulanık mantık yöntemi ile içten yanmalı motorlardaki marş motoru arızalarının belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya (2009).
4. Karagöz, F., "Mikrodenetleyici kontrollü anahtarlamalı relüktans motorların tasarımı ve marş motoru olarak kullanılması", Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri (2009).
5. Gümüşsoy, M., "Otomobilde rüzgar gücünden elde edilen elektrik enerjisinin marş motoruna takviye edilmesi sisteminin tasarım ve uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya (2017).
6. Bayir, R., Bay, Ö. F., "Serial wound starter motor faults diagnosis using artificial neural network.", *Proc IEEE Int Conf Mechatronics*, IEEE, 194-199 (2004).
7. Choudhary, A., Goyal, D., Shimi, S. L., Akula, A., "condition monitoring and fault diagnosis of induction motors: a review.", *Arch. Comput. Methods Eng.*, 26(4): 1221-1238 (2019).
8. Basak, D., Tiwari, A., Das, S. P., "Fault diagnosis and condition monitoring of electrical machines - A review.", *Proc. IEEE Int. Conf. Ind. Technol.*, IEEE, 3061-3066 (2006).
9. Zaidi, S. S. H., Aviyente, S., Salman, M., Shin, K. K., Strangas, E. G., "Prognosis of gear failures in dc starter motors using hidden Markov models." *IEEE Trans. Ind. Electron.*, 58(5): 1695-1706 (2011).
10. Dziubinski, M., "Failure prediction and simulation of the starter system", *The Second International Conference on Reliability Systems Engineering*, IEEE, 1-6 (2017).
11. Bayır, R., "Yapay Zeka Teknikleri Kullanılarak marş motorlarında hata teşhisi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2005).

12. Wang, X., Yao, W., Shi, G., "A control system of electric vehicle based on CAN bus.", *Int. Conf. Adv. Mechatron. Syst. (ICAMEchS)*, 580-582 (2011).
13. Kong, F., Zhang, L., Zeng, J., Zhang, Y., "Automatic measurement and control system for vehicle ECU based on CAN bus.", *Proc. IEEE Int. Conf. Autom. Logist. (ICAL)*, China (2007).
14. Kamachi, M., Miyamoto, H., Sano, Y., "Development of power management system for electric vehicle "i-MiEV."", *Int. Power Electron. Conf.*, IEEE, 2949-2955 (2010).
15. Duygu, M., Süleyman, Ç., Raif, B., " Development of test stand for condition monitoring of vehicle starter system ", *3rd International Engineering Research Symposium*, Düzce, (2019).
16. Buchmann, I., "Batteries in a Portable World a Handbook on Rechargeable Batteries For Non-Engineers.", *Cadex Electronics Inc*, (2001).
17. Jung, J., Zhang, L., Zhang, J., "Lead-Acid Battery Technologies.", CRC Press, Taylor&Francis Group, New York, (2016).
18. Çeven, S., "Elektrikli araçlar için zeki elektronik denetim ünitesi tasarımı ve gerçekleştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2017).
19. Tindell, K., Burns, A., and Wellings, A. J., "Calculating controller area network (CAN) message response times." *Control Engineering Practice*, 3(8), 1163-1169 (1995).
20. Wolfhard, L., "CAN System Engineering - From Theory to Practical Applications.", *Springer*, Germany, (2013).
21. Richards, P., "A CAN physical layer discussion.", *Microchip Technology Inc.*, 1-12 (2002).
22. Davis, R. I., Burns, A., Bril, R. J., and Lukkien, J. J., "Controller Area Network (CAN) schedulability analysis: refuted, revisited and revised.", *Real-Time Systems*, 35(3), 239-272 (2007).
23. Pazul, K., "Controller area network (can) basics.", *Microchip Technology Inc*, 1, (1999).
24. Çeven, S., Bayır, R., "Implementation of fuzzy logic based speed control of brushless direct current motors via industrial pc.", *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 4 (Special Issue-1), 146-152 (2016).
25. Altaş, İ. H., "Bulanık mantık: bulanıklılık kavramı.", *Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e*, 62, 80-85 (1999).

26. Duran, F., Ceven, S., Bayir, R., "Drive mode estimation for electric vehicles via fuzzy logic.", *22nd Int. Conf. Electron.*, IEEE, 1-6 (2018).



## ÖZGEÇMİŞ

Mesut DUYGU, 1975 yılında Karabük'te doğdu; ilk, orta ve lise öğrenimini aynı şehirde tamamladı. 1994 yılında Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde başlayıp 1999 yılında mezun oldu. Askerlik görevini 2002-2003 yıllarında 279. Dönem Hv. Lv. Atğm olarak tamamladı. 3 üncü iş yeri olarak 24.08.2004 yılında Kardemir A.Ş. çalışmaya başladı ve halen devam etmektedir. Evli ve bir kız çocuğu var. 2014 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği alanına yüksek lisansa başlamıştır.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : Yenişehir Mah. Ergenekon Cad. No:7/4

Merkez KARABÜK

Tel : 0533 256 81 20

E-posta : mesutduygu6@gmail.com