

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ELEKTROMANYETİK RETARDERLERİN BULANIK
MANTIK ALGORİTMALARI İLE KONTROLÜ**

AYŞEGÜL GÖLEN ALTUNTAŞ

KOCAELİ 2019

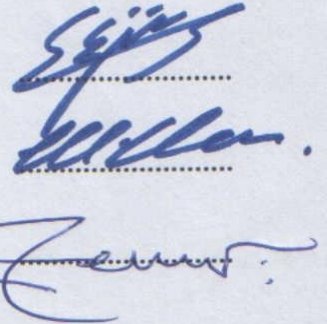
KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTROMANYETİK RETARDERLERİN BULANIK
MANTIK ALGORİTMALARI İLE KONTROLÜ

Ayşegül GÖLEN ALTUNTAŞ

Dr . Öğr. Üyesi Rıza Emre ERGÜN
Danışman, Kocaeli Üniv.
Prof. Dr. Mehmet UÇAR
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.
Dr . Öğr. Üyesi Abdullah DEMİR
Jüri Üyesi, Marmara Üniv.



Tezin Savunulduğu Tarih: 10.07.2019

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

İnsanlığın artan konfor beklentilerinin karşılanması amacıyla; gelişen teknolojinin kullanılması günümüz gerçeklerindedir. İnsan hayatının önemli parçalarından biri olan ulaşım ve ulaşımın en yaygın biçimi olan karayolu taşımacılığı da bu bağlamda günden güne elektronikleşme ve akıllı sistemleri kullanma eğilimindedir.

Karayolu ve demir yolu taşımacılığında kullanılan bir frenleme sistemi olan elektromanyetik yavaşlatıcıların güvenliği artırma ve bakım maliyetlerini düşürme konusundaki katkıları bilinmektedir. Bu çalışmada elektromanyetik yavaşlatıcıların performansının iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Günümüzde elle kontrol edilen ve kademeli olarak kullanılan bu sistemlerin, yapılan çalışma kapsamında bulanık mantık algoritmaları ile kademesiz olarak kullanımı sağlanmıştır.

Bu çalışmanın gerçekleşmesindeki sonsuz emek ve desteklerinden ötürü değerli tez danışmanı hocam Sayın, Dr. Öğr. Üyesi Rıza Emre ERGÜN'e teşekkürü borç bilirim.

Başta kıymetli bölüm başkanı hocam Sayın, Prof. Dr. Mehmet UÇAR olmak üzere deneysel çalışmalarda kullanılan laboratuvar ortamı ve gerekli teçhizatı sağlayan Otomotiv Mühendisliği Bölümüne teşekkürlerimi sunarım. Bu süreç içerisinde katkı ve desteklerini esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof. Dr. Hüseyin Metin ERTUNÇ'a şükranlarımı sunarım.

Ayrıca her zaman olduğu gibi bu süreçte de yanımda duran ve gördüğüm en saygıdeğer insan olan babama, en fedakâr insan olan anneme, tüm aileme ve dostlarıma sonsuz minnet duygularımı sunarım.

Haziran – 2019

Ayşegül GÖLEN ALTUNTAŞ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iii
TABLOLARDİZİNİ	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	4
1.1. Elektromanyetik Retarder	4
1.2. Darbe Genişlik Modülasyonu	7
1.3. Doğru Akım Motorunun Darbe Genişlik Modülasyonu ile Kontrolü	9
1.4. Bulanık Mantık	10
2. MALZEME VE YÖNTEM	12
2.1. Deney Düzeneği Genel Yapısı	12
2.2. Mekanik Tasarım	13
2.3. Elektronik Tasarım	14
2.4. Yazılım Geliştirme	17
2.5. Bilgisayar İçerisinde Yürütülen Algoritmalar	18
2.6. Mikrodenetleyici İçerisinde Yürütülen Algoritmalar	19
2.7. Bulanık Mantık Kontrolör Tasarımı	21
3. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI	24
3.1. Akım Verileri	24
3.2. Tork Verileri	25
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	26
KAYNAKLAR	28
EKLER	32
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	39
ÖZGEÇMİŞ	40

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. EMR'nin odaksal montajı; EMR'nin vites kutusuna montajı (a), EMR'nin taşıt şasinine montajı (b)	4
Şekil 1.2. EMR'nin ekstenel montajı	5
Şekil 1.3. EMR'nin yapısı	6
Şekil 1.4. EMR Tork- Akım Eğrisi	6
Şekil 1.5. DC Motor Tork-Akım Eğrisi	7
Şekil 1.6. Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM)	7
Şekil 1.7. Görev Periyodu D Olan PWM Sinyali	8
Şekil 1.8. Bulanık Mantık Üyelik Fonksiyonları	11
Şekil 2.1. Bulanık Mantık Kontrollü EMR Düzenegi Şematik Gösterimi.....	12
Şekil 2.2. Deney Düzenegi Genel Görünümü	13
Şekil 2.3. Kontrol Paneli İç Görünümü.....	15
Şekil 2.4. LabVIEW Arayüz Görüntüsü	18
Şekil 2.5. Giriş Değişkenleri Üyelik Fonksiyonları	22
Şekil 2.6. Bulanık Mantık Giriş Çıkış Değerleri İlişkisi.....	23
Şekil 3.1. Retarder Devir-Akım Grafiği.....	24
Şekil 3.2. Retarder Devir-Tork Grafiği.....	25

TABLOLARDIZİNİ

Tablo 2.1. Motorun Teknik Özellikleri	14
Tablo 2.2. Enkoder Teknik Özellikleri	16
Tablo 2.3. NI USB 6009 Kart Özellikleri	17
Tablo 2.4. Mikro Denetleyici Timer Özellikleri	19
Tablo 2.5. Mikrodenetleyici USART Birimi Özellikleri	20
Tablo 2.6. Bulanık Mantık Kural Tablosu	22



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

D	: Görev Periyodu
cc	: Cubic Centimeter, (Santimetre ³)
de	: Hatanın Değişimi Sinyali
e	: Hata Sinyali
f(t)	: Giriş Sinyali
kHz	: Kilohertz, (kHz)
mm	: Milimetre,(mm)
Nm	: Newton metre,(Nm)
s	: Saniye
t _{on}	: Sinyalin Maksimum Genlikte Bulunduğu Süre
T	: Sinyalin Periyodu
T _{puls}	: Darbe Süresi, (s)
V	: Gerilim Şiddeti, (V)
V _{ort}	: Sinyalin Ortalama Değeri
V _{max}	: Sinyalin Genliğinin Maksimum Değeri
V _{min}	: Sinyalin Genliğinin Minimum Değer

Kısaltmalar

CAN BUS	: Controllor Area Network Bus (Kontrol Alan Ağı Veri Yolu)
DC	: Direct Current (Doğru Akım)
EMR	: Elektromanyetik Retarder
NB	: Negatif Büyük
NS	: Negatif Küçük
PWM	: Pulse Width Modulation (Darbe Genişlik Modülasyonu)
PB	: Pozitif Büyük
PS	: Pozitif Küçük
RPM	: Revolution Per Minute (Dakikadaki Devir Sayısı)
TTL	: Transistor-Transistor Logic (Transistör-Transistör Lojik)
USART	: Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (Evrensel Senkron Asenkron Alıcı Verici)
USB	: Universal Serial Bus (Evrensel Seri Veriyolu)
Z	: Zero (sıfır)

ELEKTROMANYETİK RETARDERLERİN BULANIK MANTIK ALGORİTMALARI İLE KONTROLÜ

ÖZET

Elektromanyetik retarderler yüksek hızlı trenler, lunaparklardaki eğlence maksatlı sistemler ve özellikle ağır yük taşıtlarında kullanılan frenleme donanımlarıdır. Günümüzde, elektromanyetik retarder kullanan ağır yük taşıtlarında, bir kol yardımı ile frenleme torku kademeli olarak tayin edilir. Retarder, bobinlerine uygulanan elektrik akımı sayesinde bir manyetik alan meydana getirerek frenleme torku oluşturur. Elde edilen frenleme torku bobinlere uygulanan akım şiddeti ile orantılıdır.

Elektromanyetik retarderin matematik modelinin çıkarılması zordur. Bunun başlıca sebebi bobinler üzerinden geçen yüksek akımların sistemde kaydedeğer ısı artışına sebep olmasıdır. Isı artışı ise retarder bobinlerinin direncini değiştirerek matematik modeli üzerinde değişikliklere yol açar. Bu sebeplerden dolayı, bu çalışmada retarderin kontrol uygulaması için matematik modele ihtiyaç duymayan bir yöntem olan bulanık mantık algoritmaları kullanılmıştır. Oluşturulan bulanık mantık algoritmaları sayesinde LabVIEW programlama dili kullanılarak geliştirilen arayüz yazılımı üzerinden sistemin gerçek zamanlı kontrolü sağlanmıştır. Optimum kontrol parametrelerinin belirlenmesi, görsel ve grafiksel geri bildirimlerin alınmasının yanında frenleme ile hız sabitleme uygulaması geliştirilen bu arayüz yazılımı üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Sistemin kontrol yazılımlarının bir kısmı kullanılan STM32F407VG mikrodenetleyicisi aracılığı ile diğer kısmı ise bilgisayar yazılımı üzerinden yürütülmüştür. Elektromanyetik retarderin hız sabitleyici olarak kullanılmasına olanak sağlayan bu uygulamada PWM sinyali sayesinde yüksek çözünürlükte frenleme yapılmıştır. Ölçümler sonucunda elde edilen sonuçlara göre 2500, 2250, 2750, devir ayar noktaları için sırasıyla ± 50 , ± 30 , ± 25 devirlik kalıcı durum hataları ile kontrol gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Mantık Kontrolör, Elektromanyetik Retarder, Hız Sabitleyici Uygulaması, STM32F407VG.

CONTROL OF ELECTROMAGNETIC RETARDERS WITH FUZZY LOGIC ALGORITHMS

ABSTRACT

Electromagnetic retarders are braking devices used in high-speed trains, amusement systems in amusement parks and especially in heavy-duty vehicles. Today, in heavy-duty vehicles using an electromagnetic retarder, the braking torque is gradually determined by means of a hand lever. The retarder generates a magnetic field by means of the electric current applied to the coils, creating braking torque. The resulting braking torque is proportional to the current intensity applied to the coils.

The mathematical model of the electromagnetic retarder is difficult to draw. The main reason for this is that the high currents passing through the coils cause a significant heat increase in the system. The increase in heat leads to changes in the mathematical model by changing the resistance of the retarder coils. For this reason, fuzzy logic algorithms, which do not require a mathematical model for the application of retarder control, are used in this study. Thanks to the fuzzy logic algorithms, real-time control of the system is provided through the interface software developed using LabVIEW program. Determination of optimum control parameters, visual and graphical feedback, as well as braking and speed stabilization application was developed through this interface software.

Some of the control software of the system was carried out by means of the STM32F407VG microcontroller used and the other part was carried out via computer software. In this application thanks to PWM signal which enables the use of electromagnetic retarder as a speed stabilizer, high resolution braking has been made. According to the results obtained from the measurements, control was performed with ± 50 , ± 30 , ± 25 steady state errors for 2500, 2250, 2750 and speed setpoints respectively.

Keywords: Fuzzy Logic Controller, Electromagnetic Retarder, Speed Stabilisation, STM32F407VG

GİRİŞ

Modern taşıt tasarımında sürüş güvenliği, konforu ve çevrecilik öncelikli önem verilen konulardır [1]. Sürüş güvenliği taşıtlarda aktif ve pasif emniyet sistemleri tarafından sağlanır. Aktif emniyet sistemleri kazanın meydana gelmesini engellemeyi hedeflerken pasif emniyet sistemleri yaralanma ve ölüm risklerini azaltmayı hedeflemektedir. Aktif güvenlik sistemlerinin temel görevlerinden bazıları güvenli frenleme ve taşıt hızının düzenlenmesidir [2].

Aktif emniyet sistemlerinden biri olan fren, taşıt emniyetinden sorumlu en önemli ve en eski donanımlardan biridir. Hareket halindeki aracın hızını azaltmak, durdurmak ve duran bir aracı sabitlemek frenlerin görevleridir [3]. Taşıt hızlarının ve yüklerinin artması ile birlikte frenleme için daha gelişmiş sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle otobüs, kamyon gibi ağır vasıtalarda yüksek frenleme torku ve yüksek güvenilirlik gerekmektedir. Kısıtlı bir fiziksel alanda çalışmaları ve hâlihazırda gelişmiş tasarımlara sahip olmaları sebebiyle ana fren sisteminin performansını iyileştirmek zordur. Ayrıca uzun süreli yokuş inişlerinde fren kampanaları ve pabuçları sürtünmeden kaynaklanan yüksek sıcaklıklarla deforme olur, hızla aşınır ve fren zayıflamaları meydana gelir. Bu durum aşırı derece gerçekleşirse fren boşalması denen olay meydana gelerek kazalara sebebiyet verebilir. Uzun süreli frenlemelerdeki muhtemel aksaklıkların önüne geçmek için yardımcı frenleme sistemleri kullanılmaktadır. Birçok ülkede, belirli araçlara yardımcı frenleme cihazlarının takılmasını gerektiren yasalar mevcuttur. Egzoz frenleri, elektromanyetik retarderler (EMR), hidrolik retarderler yardımcı frenleme sistemlerinden bazılarıdır [1].

Bu çalışmada taşıt güvenliği için önemli rol oynayan yardımcı frenleme donanımlarından biri olan elektromanyetik retarderlerin bir kontrol uygulaması gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu uygulama sayesinde taşıtların hızının, yol ve taşıtyükü durumundan bağımsız olarak sabitlenmesi amaçlanmıştır. Giriş bölümünde, çalışmanın genel tanıtımı, kullanılan yöntemin tercih edilme sebepleri, tezin içeriği hakkında genel bilgiler ve bu çalışmayı yürütmekle güdülen maksat açıklanmıştır. Elektromanyetik retarderlerin tarihsel gelişimi, yapısı ve özellikleri, darbe genişlik

modülasyonu, doğru akım motorlarının darbe genişlik modülasyonu ile kontrolü ve bulanık mantık ile ilgili ihtiyaç duyulan temel bilgilere birinci bölümdeki genel bilgiler başlığı altında değinilmiştir. Tezin malzeme ve yöntem başlıklı ikinci bölümünde öncelikle retarder, içten yanmalı motor ve kontrol panosundan oluşan elektronik tasarımı ve ayrıca sistemin yönetimini sağlayan yazılım geliştirme uygulamaları tanıtılmıştır. Bilgisayar ve mikro denetleyici içerisinde kurulan algortimalar ve tasarlanan bulanık mantık kontrolörün özellikleri de malzeme ve yöntem başlığı altında yer almaktadır. Deneysel çalışmaların gerçekleştirilmesi ile elde edilen bulgular, retardere ait akım ve tork verilerinin grafikleri ile bu grafiklerin yorumlanması tezin üçüncü bölümü olan deneysel çalışma sonuçları başlığı altında sunulmuştur. Tez; bu çalışmadaki olumsuzlukların iyileştirilebilmesine, çalışmanın endüstriyel olarak kullanılabilmesine ve geliştirilebilmesine dair ileride yapılacak çalışmalar için önerilerin yer aldığı sonuçlar ve öneriler bölümü ile tamamlanmıştır.

Çalışmada bulanık mantık algoritmalarının tercih edilme sebebi elektromanyetik retarderlerin karakteristik özellikleridir. Elektromanyetik retarderlerin matematik modelinin çıkarılması zordur. Bunun başlıca sebebi retarder bobinleri üzerinden geçen yüksek miktardaki akımların sistemde sebep olduğu kayda değer ısı artışıdır. Isı artışı retarderlerin elektriksel direncini değiştirerek matematik modeli üzerinde değişikliklere yol açar [5]. Bulanık mantık algoritmaları ise kontrolü yapılacak sistemin matematiksel modelinin bilinmemesi veya karmaşık olması durumları için çözüm getiren bir yöntem olarak önerilmiştir [6].

Günümüzde, ağır yük taşıtlarında elektromanyetik retarder tarafından üretilecek frenleme torku, fren pedalının bağlı olduğu elektrik kontrol kutusu ve/veya bir kol yardımı ile kademeli olarak tayin edilmektedir. Elektromanyetik retarder (EMR) fren pedalına bağlı olduğunda panik freni durumda devreye girerek risk oluşturmaktadır. Öte yandan şoför tarafından fren çubuğu yardımıyla kademeli olarak kullanıldığında keskin geçişler sebebiyle sürüş konforunu azaltmaktadır. Yapılan çalışma kapsamında kontrol algoritmalarıyla frenlemede sağlanan süreklilik sayesinde bu olumsuzluğu ortadan kaldırmak amaçlanmaktadır.

Çalışmada, oluşturulan bulanık mantık algoritmaları sayesinde LabVIEW programı üzerinden sistemin gerçek zamanlı kontrolü sağlanmıştır. Optimum kontrol

parametrelerine ulaşılabilmesi ve hızın sabitleneceği değerin kullanıcı tarafından belirlenebilmesi için LabVIEW kullanıcı ara yüzü tasarlanmıştır. Sistemin kontrol yazılımlarının bir kısmı kullanılan STM32F407VG mikrodenetleyicisi aracılığı ile diğer kısmı ise bilgisayar yazılımı üzerinden yurütulmüştür. Bilgisayar ve mikro deneteyici arasında USB-TTL dönüştürücü birimi yardımıyla anlık iletişim sağlanarak veri iletimi geręekleřtirilmiřtir.

Elektromanyetik retarderin günümüz teknolojilerine daha uygun hale gelmesine ve kullanıcı tarafından belirlenen değer doğrultusunda hız sabitleyici olarak kullanılmasına olanak sağlayan bu uygulamada darbe genişlik sinyali yardımıyla yüksek çözünürlükte frenleme yapılmıştır.

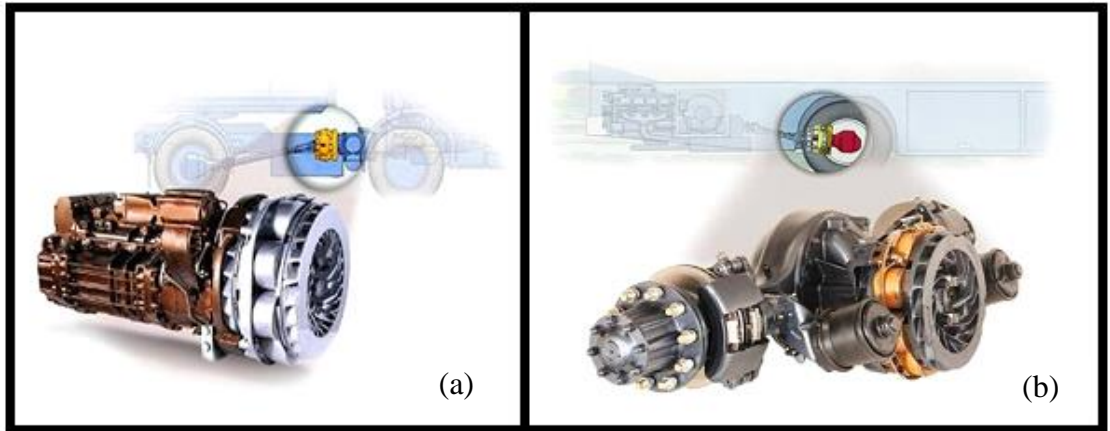
1. GENEL BİLGİLER

1.1. Elektromanyetik Retarder

Günümüzde, otomotiv endüstrisinde yapılan çalışmalar çoğunlukla taşıt güvenliğini ve sürüş konforunu arttırmaya yoğunlaşmış durumdadır. Karayolu taşıtları için fren, sürüş emniyetinden sorumlu temel unsurdur. Bu çalışmanın konusu olan elektromanyetik retarderler yüksek hızlı trenler, lunaparklardaki eğlence maksatlı sistemler ve özellikle ağır yük taşıtlarında kullanılan frenleme donanımlarıdır [1].

Elektromanyetik retarderlerin çalışmasının temeli Jean Bearnard Leon Foucault tarafından 19. yüzyılda keşfedilen ve o tarihten bu yana kendi ismi ile anılan manyetik akım teorisine dayanmaktadır. Foucault akımları prensibi ile çalışan ilk yavaşlatıcı sistemin patenti 1903 yılında Abram Steckel tarafından alınmıştır. Retarderin taşıtlarda kullanımı ise ilk kez Raoul Roland Raymond Sarazin'in 1936 yılındaki tasarımıyla uygulanmıştır. Sarazin'in patentlerinin kullanımına izin vermeyi kabul etmesi ile birlikte 1950 yılından bu yana Telma firması tarafından elektromanyetik retarderler üretilmektedir.

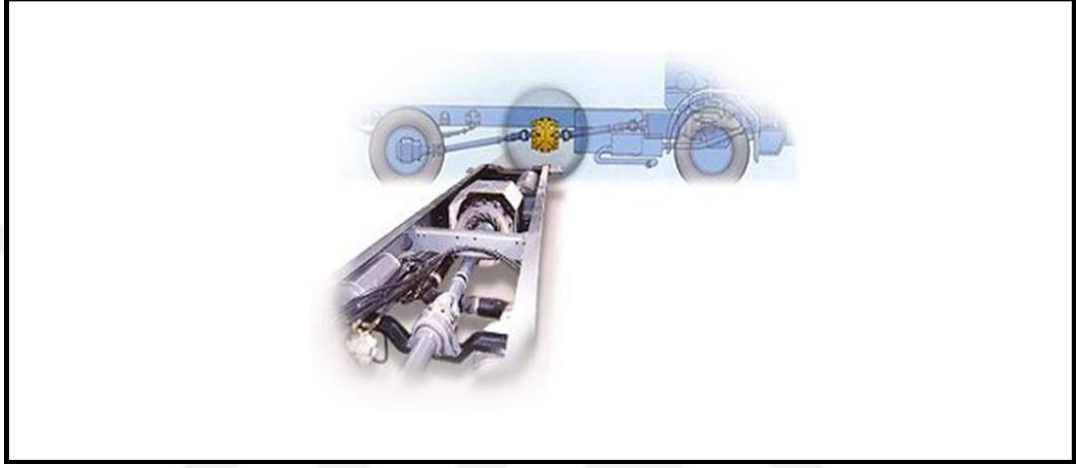
EMR, taşıtlarda, taşıtın tipine göre farklı şekillerde monte edilebilmektedir. Şekil 1.1'de EMR'nin focal (odaksal) montajı gösterilmiştir.



Şekil 1.1. EMR'nin odaksal montajı; EMR'nin vites kutusuna montajı (a), EMR'nin taşıt şasisine montajı (b) [7]

EMR, kısa gövdeli traktörler veya motoru arkada olan otobüs ve midibüslerde vites kutusuna veya sabit kısım (stator) doğrudan araç taşıyıcı şasisine, rotor ise tahrik miline monte edilmektedir. Bu tip montaj, odaksal (focal) olarak anılmaktadır.

EMR, orta ve uzun boyutlara sahip araçlar için Şekil 1.2’de gösterildiği gibi tahrik mili üzerine, aks ve vites kutusu arasına aksel (axial) olarak takılmaktadır [7].



Şekil 1.2. EMR'nin aksel montajı [7]

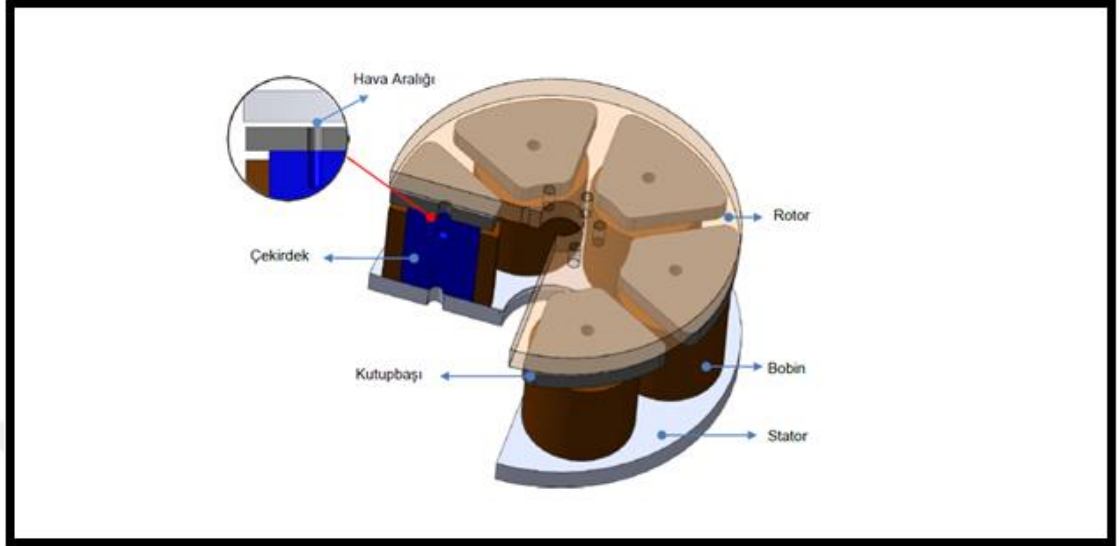
Değişen manyetik alana maruz kalan manyetik malzeme içerisinde akım oluşması elektromanyetik retardelerin çalışma prensibidir. Fren pedalı veya bir frenleme kolu yardımıyla stator bobinlerinden akım geçirilerek oluşturulan manyetik alan nedeniyle rotorda fuko akımları sebep olmaktadır. Taşıtın tahrik mili ile irtibatlandırılmış rotor, şaftın dönmesi esnasında stator bobinlerinin oluşturduğu manyetik alan nedeni ile bir yavaşlamaya sebep olur.

Dönen tahrik milini yavaşlatan bu moment etkisi, stator bobinlerine uygulanan akım şiddeti arttıkça artmaktadır [8].

Elektromanyetik retarderler, motorun sahip olduğu kinetik enerjiyi manyetik alan prensiplerine uygun olarak termal enerjiye dönüştüren sistemlerdir. Retarderlar bu özellikleri sebebiyle yüksek sıcaklıklara çıkarlar, ancak rotorlarındaki özel olarak tasarlanmış rüzgâr tünelleri aracılığıyla termal enerjilerini atmosfere ulaştırırlar [1].

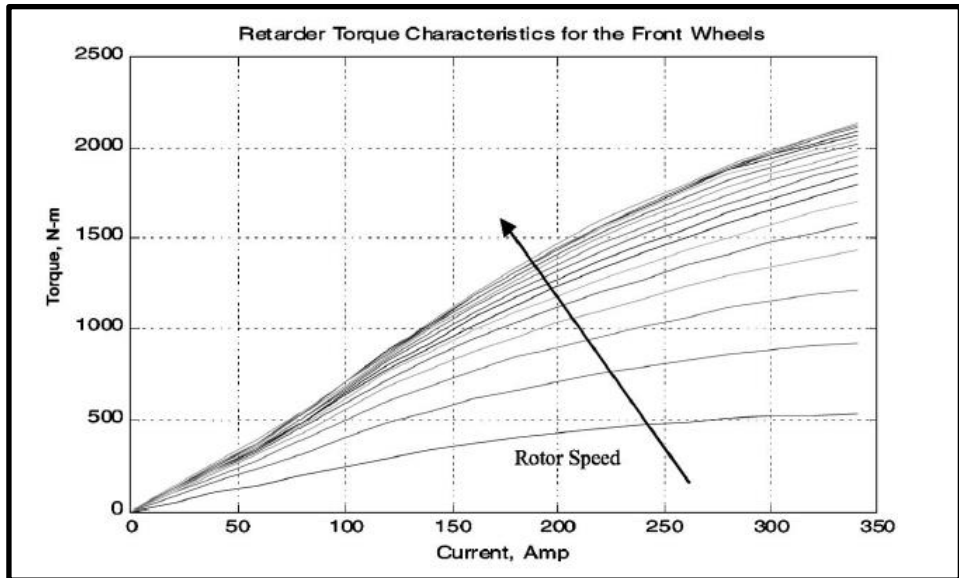
Elektromanyetik retarder yapısal olarak stator, stator bobinleri, hava aralığı, rotor, çekirdek ve kutup başlarından meydana gelmektedir. Dr. Öğr. Üyesi Rıza Emre

ERGÜN'ün 2014 yılında tamamladığı doktora çalışması kapsamında üretilen ve bu tez çalışmasında kullanılan elektromanyetik retarderin yapısı Şekil 1.3'te gösterilmiştir.



Şekil 1.3. EMR'nin yapısı [9]

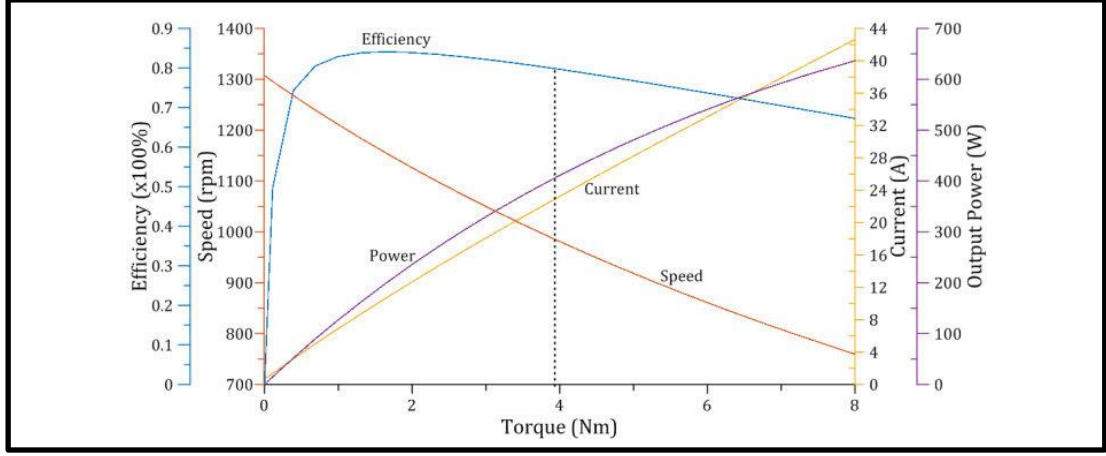
EMR, bobinlerine uygulanan elektrik akımı sayesinde bir manyetik alan meydana getirerek frenleme torku oluşturur. Elde edilen frenleme torku bobinlere uygulanan akım ile orantılı olarak değişmektedir [10]. Şekil 1.4'te EMR'ye ait tork-akım eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 1.4. EMR Tork- Akım Eğrisi [11]

Giriş akımlarındaki artışa bağlı olarak çıkış momentlerinin yükselmesi bakımından elektromanyetik yavaşlatıcılar, doğru akım motorlarına benzetilebilirler. Şekil 1.5.'te

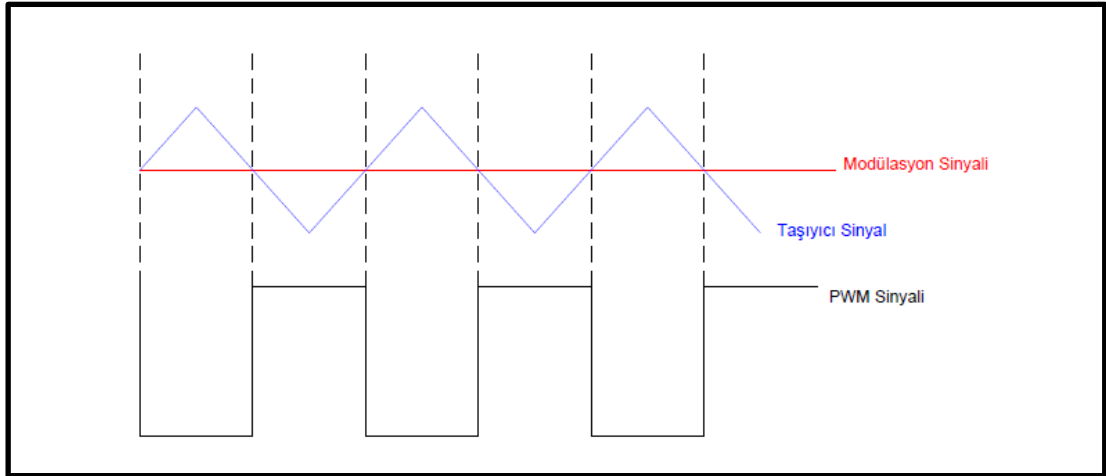
bir doğru akım motoruna ait tork- akım grafiği görülmektedir.



Şekil 1.5. DC Motor Tork-Akım Eğrisi [12]

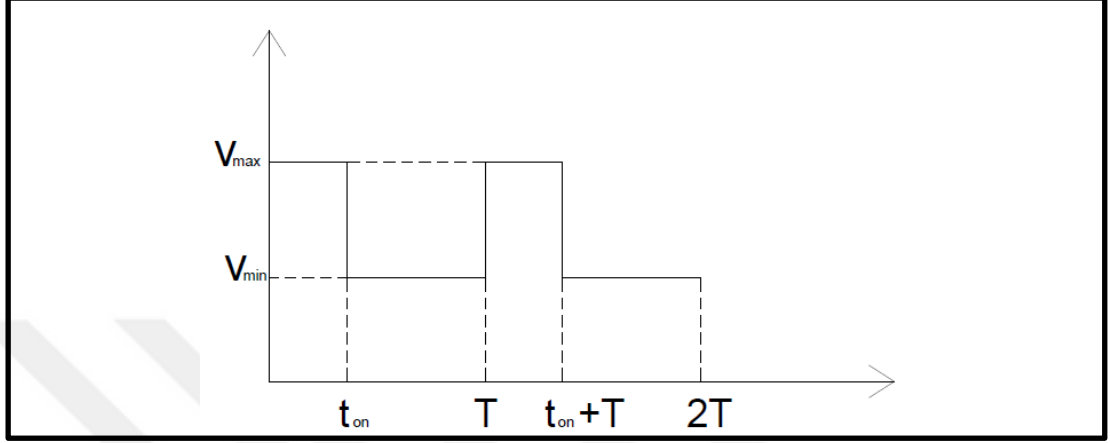
1.2. Darbe Genişlik Modülasyonu

Darbe genişlik modülasyonu; bir referans sinyalini, kare dalgalardan oluşan dalga katarları ile ifade etme yöntemidir. Elde edilen dalga katarında, kare dalgaların genişliği, sinyalin değerine göre değişmektedir. Modülasyon işlemi için çeşitli yöntemler bulunması ile beraber en yaygın olarak kullanılan teknik; modüle edilen sinyal olarak da adlandırılan orijinal sinyal ile bir testere dişi veya üçgen dalga sinyali olabilen taşıyıcı sinyalin karşılaştırılmasıdır. Şekilde 1.6’te modülasyon sonucunda elde edilen dalga katarı, diğer bir deyişle modüle edilmiş sinyal olarak da adlandırılan PWM sinyali görülmektedir.



Şekil 1.6. Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM)

Şekil 1.7.'de Darbe genişlik modülasyonu ile elde edilmiş bir sinyalin görüntüsü görülmektedir. Burada periyot T, görev çevrimi D, sinyalin en yüksek değeri V_{max} , en düşük değeri V_{min} ile ifade edilmektedir [13].



Şekil 1.7. Görev Periyodu D Olan PWM Sinyali

Bu çalışmada kullanılan PWM sinyali bir mikro denetleyici üretilmiş ve EMR'nin kontrol uygulamasında önemli bir rol oynamıştır. PWM sinyalinin mikro denetleyici aracılığı ile üretilmesine bölüm 2.5'te değinilecektir.

Bir kare dalga sinyalinin analog karşılığı o sinyalin ortalama değeri hesaplanarak bulunur [14]. Elde edilen PWM sinyalinin analog karşılığını bulmak için;

$$V_{ort} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (1.1)$$

denkleminin kullanılması gerekmektedir. Denklem, Şekil 1.2' de verilen grafik için çözüldüğünde;

$$\begin{aligned} V_{ort} &= \frac{1}{T} \left(\int_0^{t_{on}} V_{max} dt + \int_{t_{on}}^T V_{min} dt \right) \\ &= \frac{t_{on} \cdot V_{max} + T \cdot V_{min} - t_{on} \cdot V_{min}}{T} = \frac{t_{on} \cdot V_{max} + (T - t_{on}) \cdot V_{min}}{T} \end{aligned} \quad (1.2)$$

bulunmaktadır. Pwm sinyalini en düşük değeri olan V_{min} 'in sifıra eşit olduğu durumlarda ise;

$$V_{ort} = \frac{t_{on}}{T} \cdot V_{max} \quad (1.3)$$

olmaktadır.

PWM sinyali için görev periyodu (D);

$$D = \frac{t_{on}}{T} \quad (1.4)$$

ifadesi ile elde edilmektedir. Denklem 1.4, denklem 1.3' te yerine yazıldığında;

$$V_{ort} = D \cdot V_{max} \quad (1.5)$$

eşitliğine ulaşılmaktadır. Buradan da anlaşılacağı gibi bir PWM sinyalini doğru akım karşılığı, sinyalin görev çevrimi ile direkt ilişkilidir. Bu özelliği, darbe genişlik modülasyonunu motor kontrolü, anahtarlama güç kaynakları ve kodlama gibi alanlarda kullanışlı hale getirmektedir [15].

1.3. Doğru Akım Motorunun Darbe Genişlik Modülasyonu ile Kontrolü

Doğru akım motorları, oyuncaklar, endüstriyel uygulamalar, mobil robotlar ve otomotiv endüstrisi gibi pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Piyasada farklı güçlerde ve büyüklüklerde bulunabilen, hızı kolaylıkla ayarlanabilen düşük maliyetli makinelerdir [16]. Bir doğru akım motorunun hızını kontrol etmek için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Ancak sıklıkla kullanılan yöntem, armatür gerilimini değiştirerek yapılan kontroldür. Armatür gerilimini kontrol etmek için motora seri bağlanan ayarlı bir direnç kullanılabilir. Fakat bu yöntemde enerjinin bir kısmı direnç üzerinde harcandığından verimsizdir ve genellikle tercih edilmemektedir. Dolayısıyla bir DC motorun kontrolü için uygun metot; PWM sinyali kullanmaktır. Bölüm 1.2'de değinildiği gibi; analog karşılığı görev periyodu ile belirlenen PWM sinyali, hem daha verimli hem de daha hızlı cevap veren bir uygulamadır [17].

Literatürde doğru akım motorunun hızının PWM yardımı ile kontrol edildiği pek çok çalışma bulunmaktadır.

Köse ve arkadaşları sabit mıknatıslı bir doğru akım motorunun hızını PID ve bulanık mantık algoritmaları ile kontrol etmişlerdir. STM32F407 Discovery geliştirme kitinin kullanıldığı bu çalışmada kontrol algoritmalarından elde edilen sonuca göre motorun hızının belirlenmesinde PWM sinyalinden faydalanılmıştır. Bu gerçek zamanlı kontrol

uygulamasından elde edilen sonuçlar iki farklı kontrol yönteminin başarısı deney verileri üzerinden karşılaştırılmıştır [18].

Prakosa ve diğerleri kuadkopter dronun zemin testi için hızının kontrol edildiği bir uygulama geliştirmişlerdir. Dronlarda enerji pillerden karşılandığı için verimli motor seçimi uzun süreli uçuş sağlamakta önemlidir. Hafif bir motor seçimi ise dronun hızlı uçmasına yardımcı olur. Fırçasız DC motorlar hafif ve verimli motorlar oldukları için dron aktüatörü olarak seçilmiştir. İki mikro denetleyicinin kullanıldığı bu uygulamada bir mikro denetleyici motor hızını sensörler yardımıyla ölçerek bilgisayara iletirken diğer mikro denetleyici görev periyodu ile motor hızı arasındaki ilişkiyi kullanarak PWM yardımı ile motorların hızı kontrol etmektedir [19].

Dewangan ve arkadaşları ATmega8 mikrodenetleyicisi kullanarak geri beslemeli bir motor kontrol sistemi tasarlamışlardır. Bu sistemde motor, bir kıyıcı devre üzerinden PWM sinyali yardımı ile kontrol edilmektedir. Motor hızını ölçen takogeneratördeki gerilim değeri bir ayarlı direnç üzerinden ATmega8'e ulaştırılmış ve yük durumunda motor hızının istenilen değerde kalması görev periyodu değeri ile sağlanmıştır [20].

Aziz ve diğerleri DC motorun akım, hız ve tork verilerinin gösterilmesi için yapısal bir model tasarlamışlardır. Tasarlanan sistemde PWM sinyali ile sürülen motorun geri beslemesiz ve çift PID geri beslemeli durumda yükselme zamanı, oturma zamanı gibi parametreleri kıyaslanmıştır. Deneyden elde edilen sonuçlarda sisteme çift PID geri beslemesi eklenmesi ile sistem çıkışındaki iyileşmeler açıkça gözlemlenmiştir [21].

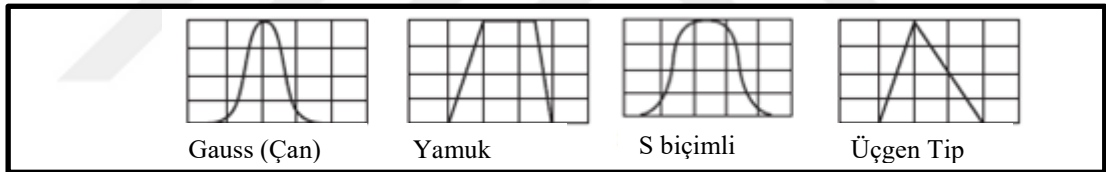
1.4. Bulanık Mantık

İlk olarak Azeri asıllı matematikçi Zadeh tarafından ortaya atılan bulanık mantık yaklaşımı bir sistemin analizi için sayısal değerler yerine (çok kısa, kısa, uzun, çok uzun gibi) dilsel değişkenleri kullanmayı önermektedir. İnsan düşüncesinin temelindeki öğelerin sayısal değil bulanık ifadeler olmasına dayanan bu yöntemde, değişkenler arasındaki basit ya da karmaşık ilişkiler bulanık kümelerle tanımlanır. Bu yöntem değişkenleri arasındaki ilişkiler çok karmaşık veya tanımlanmamış olan sistemlerde yaklaşık ve etkili bir sonuç sunmaktadır [6]. Endüstriyel bir tesiste yapılan ölçümlerde tesisin farklı noktalarındaki giriş değerlerinin doğrusal olmadığını gözlemleyen Mamdani ve Assilian tarafından ilk bulanık mantık kontrol uygulamasını

gerçekleştirilmiştir. Bir buhar kazanının ısı girişi ve buhar motorunun gaz kelebeğinin açıklığının ayarlandığı bu uygulamada bulanık mantığın sabit ayarlı kontrole göre her durumda üstünlüğü ortaya koyulmuştur [22].

Bulanık mantık temelde; bulanıklaştırma, kural tabanı, bulanık çıkarım ve durulama olmak üzere dört adımda gerçekleştirilmektedir [23].

Yöntem uygulanırken öncelikle bir sistemin sayısal olan giriş değişkenleri dilsel belirteçlerle ifade edilmektedir. Bu dilsel değişkenlere bulanık kümeler de denir. Boole cebrine göre bir elemanın bir kümeye mensupluk (üyelik) derecesi sıfır ya da bir olabilir. Bulanık mantıkta ise üyelik dereceleri sıfır ile bir aralığındadır. Giriş değişkenlerinin dilsel niteleyicilerle belirtilen bu kümelere mensupluk derecelerinin belirlenmesi ile bulanıklaştırılmış ifadeler elde edilmektedir [24, 25]. Bulanıklaştırılmış nitelemelerden elde edilen fonksiyonlara ise üyelik fonksiyonları denmektedir. Bulanık mantık üyelik fonksiyonları Şekil 1.8'de görüldüğü gibi üçgen, yamuk, gauss (çan), s-biçimli olabilir [23].



Şekil 1.8. Bulanık Mantık Üyelik Fonksiyonları

Sonraki adım olan kural tabanı oluşturma işleminde, üzerinde çalışılan sistemi uzmanlık seviyesinde tanımak gerekmektedir. Kurallar genellikle kullanılan sistemin özellikleri gözetilerek giriş verileri üzerinden eğer-ise (IF-THEN) yapısına göre şekillendirilir [26].

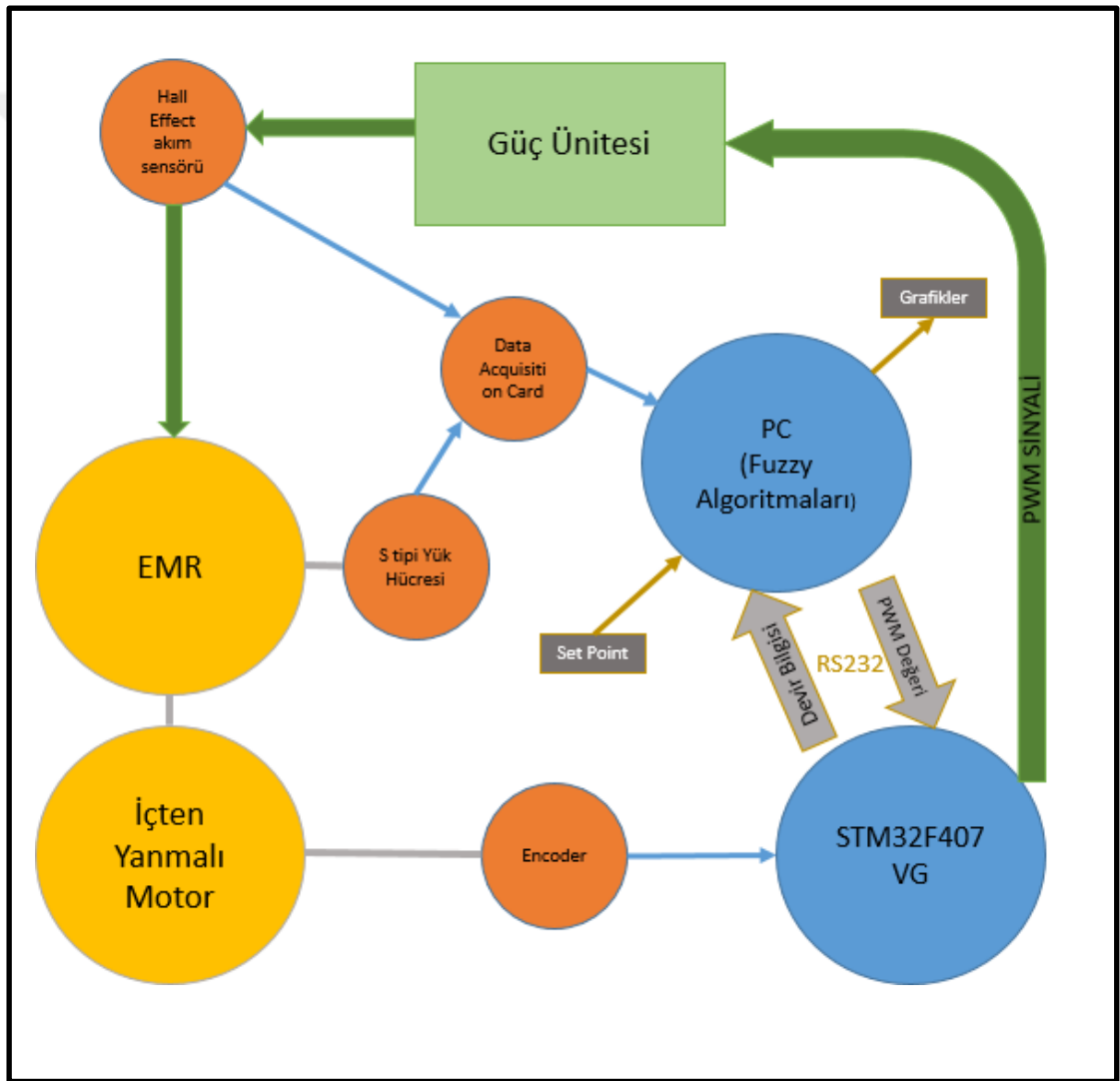
Çıkarım mekanizması kural tabanında oluşturulmuş olan kuralları bulanık giriş kümelerine uygulayarak bulanık sonuçlara ulaşır [27].

Bulanıklaştırma işleminin tam tersine ise durulama denir. Durulama işleminde dilsel değişkenler sayısal değişkenlere dönüştürülür. Durulama işleminin gerçekleştirilmesinde; maksimum ve ortalama üyelik yöntemleri, merkezi ve ortalama ağırlık yöntemleri kullanılabilir [28].

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Deney Düzeneği Genel Yapısı

Bulanık mantık kontrollü elektromanyetik retarder düzeneği şematik gösterimi Şekil 2.1' de verildiği gibidir.

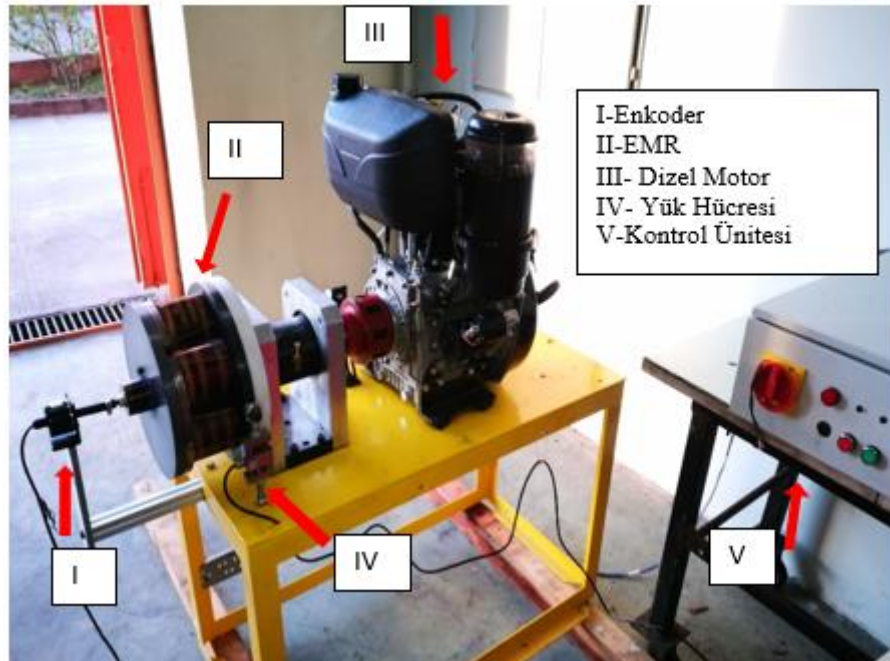


Şekil 2. 1. Bulanık Mantık Kontrollü EMR Düzeneği Şematik Gösterimi

İçten yanmalı bir motorun hızı, motora kaplin aracılığı ile bağlı EMR ile frenlenerek düzenlenmektedir. Hızın kullanıcı tarafından belirlenen değerde tutulması için geri beslemeli olarak kontrol yapılmaktadır. Motora ait devir bilgisi, motor miline bağlı enkoderdan mikrodenetleyici aracılığı ile okunarak bilgisayar üzerinde tasarlanmış olan kontrol algoritmalarına gönderilmiştir. Bilgisayar programı üzerinde yürütülen kontrol algoritmaları sonucunda elde edilen veri doğrultusunda mikrodenetleyici tarafından üretilen darbe genişlik modülasyonlu sinyal ile EMR'nin frenleme torku ayarlanmıştır. Bir akım sensörü ve bir yük hücresi üzerinden veri toplama kartı yardımıyla alınan EMR'ye ait akım ve tork verileri, bilgisayarda tasarlanan arayüz sayesinde depolanmış ve grafikler elde edilmiştir.

2.2. Mekanik Tasarım

Bir elektromanyetik retarderin bütün sektörlerdeki elektronikleşme ve otomatikleşme eğilimlerine uygun olarak geliştirilmesi amaçlanan bu uygulamada kullanılan sistem temel olarak bir reterder-içten yanmalı motor-kontrol ünitesi düzeneğinden meydana getirilmiştir. Çalışmada kullanılan altı bobinli elektromanyetik retarderin rotor disk, mili, kutup başları ve nüvesi St42 çeliğinden üretilmiştir. Deneysel çalışmaların gerçekleştirildiği deney düzeneğinin genel görünümü Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Deney Düzeneği Genel Görünümü

Şekilde “II” numara ile gösterilen elektromanyetik retarder, bir karkas üzerine konumlandırılmış ve retarderin mili kaplin yardımıyla motora bağlanmıştır. Motor, “III” numara ile işaretlenmiştir. Sistemde kullanılan motor 15 HP gücünde içten yanmalı bir dizel motordur. Sistemde kullanılan motora ilişkin bazı teknik detaylar tablo 2.1’de verildiği gibidir.

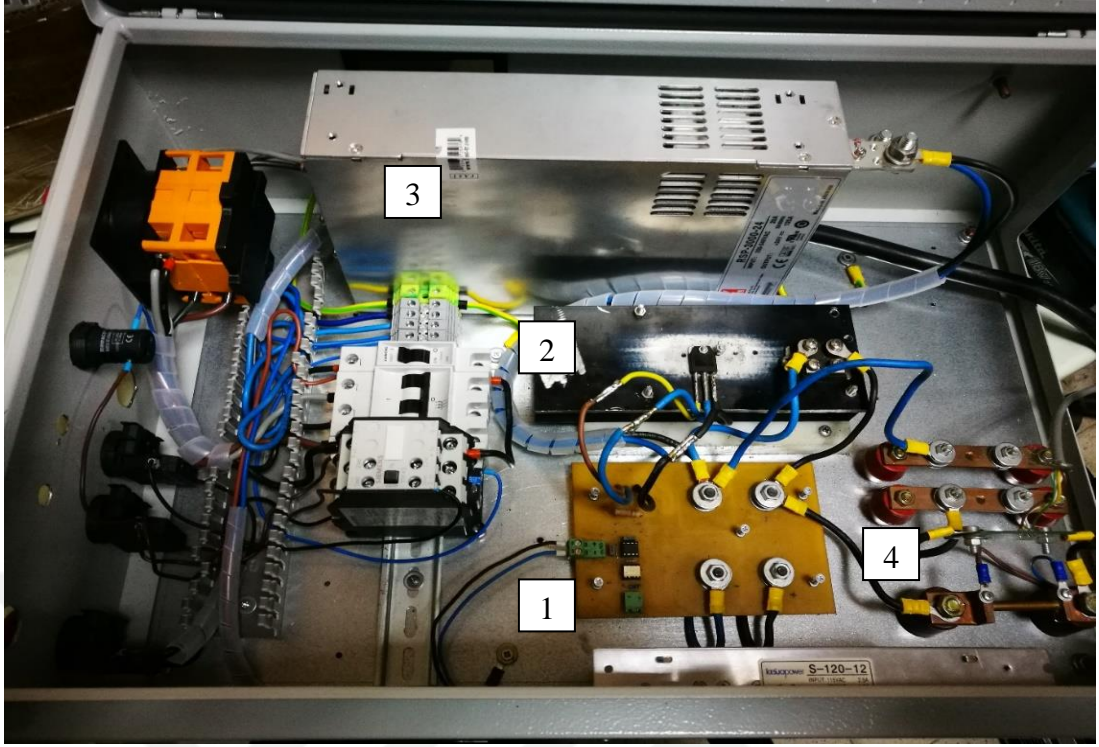
Tablo 2. 1. Motorun Teknik Özellikleri

Silindir	1	Adet
ÇapxStork	95x85	mm
Silindir Hacmi	603	cc
Devir	3000	RPM
Maksimum Tork	35/2000	Nm/RPM
Depo Hacmi	6	Litre
Yağ Karter Hacmi	2,1	Litre
Ağırlık	57	kg

Elektromanyetik retarderin bir ucu çten yanmalı motora bağlı iken milinin diğer ucu ise motorun devir bilgisini algulamak için şekilde “I” ile işaretlenmiş enkodere bağlanmıştır. Elektromanyetik retarderin motor üzerinde meydana getirdiği frenleme torkunu ölçmek için ise “S tipi” bir yük hücresi kullanılmıştır. Yük hücresi Şekil 2.1’ de “IV” ile gösterilmektedir.

2.3. Elektronik Tasarım

Sistemde bulunan elektronik donanımlar enerji dağıtımı, veri toplama ve işleme maksatlı olarak yerleştirilmiştir. Elektronik donımların pek çoğu Şekil 2.2’de verilen kontrol paneli içinde yer almaktadır.



Şekil 2.3. Kontrol Paneli İç Görünümü


Şekil 2.3’ de sistemin kontrol panosu görülmektedir. Mikrodenetleyiciden gelen PWM sinyali öncelikle “1” ile işaretli karta ulaştırılmaktadır. Bu kart, üzerinde optokuplör devresi bulunmaktadır. Optokuplörler bir devreden diğer devreye sinyal gönderiminde optik yöntem kullandıklarından bir çeşit izolasyon elemanıdır [29]. Bu sistemde optokuplörler mikrodenetleyiciyi yüksek akım tarafında oluşabilecek enerji dalgalanmalarından korumak maksadıyla kullanılmıştır. Retarder bobinleri için ihtiyaç duyulan gerilim mikrodenetleyiciden gelen TTL seviyeli PWM sinyalinin “2” numara ile gösterilen MOSFET yardımıyla 0-24 V_{dc} seviyesine kuvvetlendirilmesi ile elde edilir. Bu kart ayrıca retarderin ihtiyaç duyabileceği 75 ampere kadar olan doğru akımları tedarik etmeye muktedirdir. Pano üzerinde “3” numara ile gösterilen yerde bulunan DC güç kaynağı, devrede ihtiyaç duyulan elektrik enerjisini ve özellikle retarder bobinlerinin frenleme yaparken kullandığı yüksek akımları karşılamaktadır. Şekilde “4” ile gösterilen yerde retarder bobinlerine seri olarak bağlı Hall Effect bir akım sensörü bulunmaktadır.

Deney düzeneğinde ayrıca karkas üzerine bağlı olan yük hücresinden alınan milivoltlar mertebesindeki sinyali kuvvetlendirmek için, ESİT marka TR-3 Yük Hücresi Analog Sinyal Transmitteri kullanılmıştır. Transmitter 1-2-5-160 mV seviyesinde girişler için ayarlanabilmekte ve çıkışında 0-10V aralığında sinyal üretebilmektedir [30].

Kontrol panosu haricinde sistem üzerinde bulunan donanımlardan biri de enkoderdir. Deney düzeneğinde kullanılan Autonics firmasına ait enkoderin teknik özellikleri Tablo 2.2’de gösterilmiştir [31].

Tablo 2. 2. Enkoder Teknik Özellikleri

Teknik Özellikler	
Azami Tepki Frekansı	300kHz
Çözünürlük	360 puls
Besleme	5 V _{DC} ±5% dalgalanma
Şaft Çapı	8 mm



Motorun devir bilgisini ölçmek için her bir devirde 360 pulse TTL çıkış üreten bir enkoder tercih edilmiştir. Enkoderin TTL çıkışlı olmasının bir avantajı olarak herhangi bir sinyal dönüştürücüye ihtiyaç duymadan doğrudan mikro denetleyiciye bağlanabilmiştir.

Akım ve tork verilerinin toplanması için National Instrument firmasına ait USB 6009 seri numaralı bir veri toplama kartı kullanılmıştır. Kullanılan kart tork ve akım sensörlerinden alınan verilerin bilgisayar ortamına aktarılmasına yardımcı olmuştur. USB port üzerinden bilgisayara bağlanan kartın teknik özellikleri tablo 2.3’de gösterilmektedir [32].

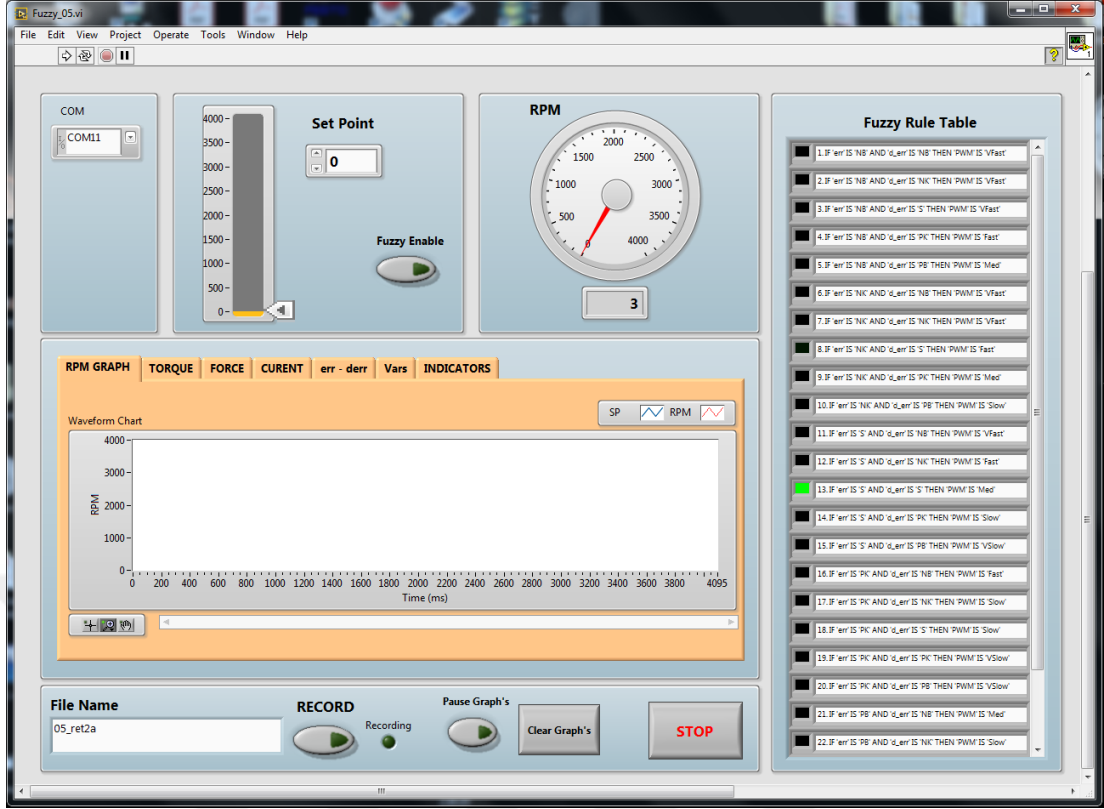
Tablo 2. 3. NI USB 6009 Kart Özellikleri

Analog Diferansiyel Giriş Sayısı	4
Analog Tek Uçlu Giriş Sayısı	8, yazılımla seçilebilir
Diferansiyel Giriş Çözünürlüğü	14 bit
Tek Uçlu Giriş Çözünürlüğü	13 bit
Zamanlama Çözünürlüğü	41.67 ns (24 MHz zamana dayalı)
Giriş Çalışma Voltajı	± 10 V
Max Analog Giriş Örnekleme Oranı	48 kS/s
Analog Çıkış Sayısı	2
Çıkış Çözünürlüğü	12 bit
Çıkış Aralığı	0 V'tan +5 V'a
Maksimum Güncelleme Oranı	150 Hz, yazılıma dayalı
Dijital Giriş/Çıkış Hattı P0.<0...7>	8 hat
Dijital Giriş/Çıkış Hattı P1.<0...3>	4 hat
Lojik Uygunluk	TTL, LVTTTL, CMOS
Mutlak Maksimum Voltaj Aralığı	GND'ye göre -0.5 V'tan 5.8 V'a

2.4. Yazılım Geliştirme

LabVIEW; donanım yapılandırması, ölçüm verileri ve hata ayıklama dâhil çeşitli uygulamaları görselleştirmeye yardımcı olan bir grafik programlama arayüzüdür. Bu görselleştirme, ölçüm donanımlarını entegre etmeyi, diyagram üzerinde karmaşık mantığı temsil etmeyi, veri analizi algoritmalarını geliştirmeyi ve özel mühendislik kullanıcı arayüzleri tasarlamayı kolaylaştırmaktadır [33].

Bu çalışma kapsamında kapsamında bulanık mantık algoritmalarının geliştirilmesi ve uygulanmasının yanında akım, tork, devir verilerinin toplanması LabVIEW görsel programlama dili aracılığı ile gerçekleştirilmiştir. Programda kullanım kolaylığı sağlaması açısından tasarlanan arayüz Şekil 2.3' te gösterilmektedir.



Şekil 2. 4.LabVIEW Arayüz Görüntüsü

Sistemin gömülü sistem ayağında kullanılan ST Microelectronics firmasının STM32F407VG seri numaralı mikro denetleyicisi için yazılım C programlama dili kullanılarak kodlanmıştır. Geliştirilen yazılım Keil µvision derleyicisi kullanılarak derlenmiş ve denetleyiciye yüklenmiştir. Enkoderden alınan verilerin yorumlanıp devir bilgisine çevirilmesi ve bilgisayar yazılımına gönderilmesi oluşturulan kodla sağlanmıştır. Ayrıca bulanık mantık kontrolünün sonuçları da mikrodenetleyici aracılığı ile PWM sinyaline dönüştürülerek sinyal kuvvetlendiriciye iletilmiştir.

2.5. Bilgisayar İçerisinde Yürütülen Algoritmalar

Deney düzeneğinin yönetimi LabVIEW programlama dili ile geliştirilen arayüz yazılımı sayesinde yapılmış ve istenilen motor devri değerleri deneyler esnasında ayar noktaları olarak bu arayüz üzerinden adım adım değiştirilmiştir. Bulanık mantık kontrolörünün aktif ve pasif duruma geçirilmesi bir buton yardımıyla sağlanmıştır. Tasarlanan arayüz sayesinde bulanık mantık kontrolör aktif edildiğinde her an için yürütülmekte olan bulanık mantık kuralı etkinlik durumları Fuzzy Rule Table sütunları aracılığıyla gözlemlenebilmektedir. Frenleme esnasında veri toplama kartı yardımıyla

retarder üzerinden frenleme torku, yük hücresi üzerinde oluşan kuvvet ve bobinler üzerinden geçen toplam akım miktarı verileri gerçek zamanlı olarak izlenmiş ve bilgisayarda bir metin dosyasına anlık olarak kaydedilmiştir.

2.6. Mikrodenetleyici İçerisinde Yürütülen Algoritmalar

C dili kullanılarak programlanan STM32F407VG denetleyicisi, enkoderden gelen sinyal yardımı ile motorun devrini hesaplamaktadır.

STM32F407 denetleyicisi 14 adet timer a sahiptir. Bu timerlar ve özellikleri Tablo 2.4'te gösterilmektedir [34].

Tablo 2. 4. Mikro Denetleyici Timer Özellikleri

Timer Tipi	Timer	Sayıcı Çözünürlüğü	Sayıcı Tipi	Ön ölçekleme Çarpanı	DMA isteği	Yakala/ Karşılaştırmalı Kanalı	Tamamlayıcı Çıkış	Max Arabirim Zamanı (MHz)	Max Timer Zamanı (MHz)
İleri Kontrol	TIM1 TIM8	16-bit	Yükselen, Düşen, Yükselen/ Düşen	1'den 65536'ya kadar tam sayılar	Var	4	Var	84	168
Genel Amaçlı	TIM2 TIM5	32-bit	Yükselen, Düşen, Yükselen/ Düşen	1'den 65536'ya kadar tam sayılar	Var	4	Yok	42	84
	TIM3 TIM4	16-bit	Yükselen, Düşen, Yükselen/ Düşen	1'den 65536'ya kadar tam sayılar	Var	4	Yok	42	84
	TIM9	16-bit	Yükselen	1'den 65536'ya kadar tam sayılar	Yok	2	Yok	84	168
	TIM10 TIM11	16-bit	Yükselen	1'den 65536'ya kadar tam sayılar	Yok	1	Yok	84	168
	TIM12	16-bit	Yükselen	1'den 65536'ya kadar tam sayılar	Yok	2	Yok	42	84
	TIM13 TIM14	16-bit	Yükselen	1'den 65536'ya kadar tam sayılar	Yok	1	Yok	42	84
	Temel	TIM6 TIM7	16-bit	Yükselen	1'den 65536'ya kadar tam sayılar	Var	0	Yok	42

Devir ölçümü STM32F407 mikrodenetleyicisinin 32 bitlik Timer2 birimi kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Timer2, 84 MHz frekansında sayacak şekilde programlanmıştır. Temelde Timer2 birimi Input Capture modunda çalıştırılmaktadır.

Enkoderden gelen iki darbenin yükselen kenarları arasında geçen sürenin ölçülmesi suretiyle devir bilgisi hesaplanmaktadır. İlk yükselen kenar ile birlikte bir kesme tetiklenmekte ve böylece Timer2 saymaya başlamaktadır. İkinci yükselen kenar ile oluşan kesme ile Timer2 'nin sayması durdurulmakta ve Timer2 'nin saydığı değer yardımıyla iki yükselen kenar arasındaki süre(T_{puls}) hesaplanmaktadır. Bu süre yardımıyla o anki devir için enkoder darbe frekansı elde edilmektedir. Enkoder bir turda 360 puls ürettiği için bu değer, 360 ile çarpılarak motorun bir devrinin saniye cinsinden süresi hesaplanmaktadır.

Motor devrinin dev/dk cinsinden değerini hesaplamak için denklem 2.1'deki;

$$RPM = \frac{60}{T_{puls} \times Enc.Res} \quad (2.1)$$

eşitliğinden faydalanılır.

STM32F407 denetleyicisi 6 adet USART birimine sahiptir. Bu birimler ve özellikleri Tablo 2.5'te gösterilmektedir [34].

Tablo 2. 5. Mikrodenetleyici USART Birimi Özellikleri

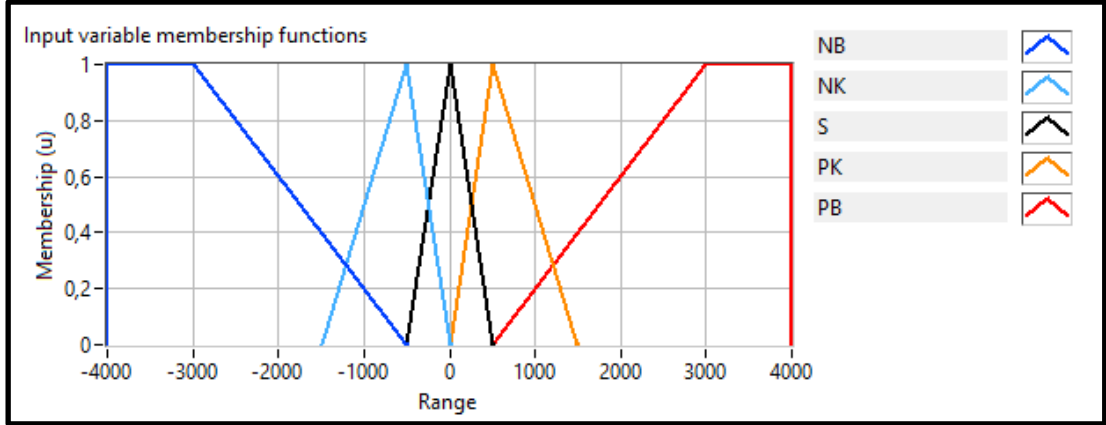
USART Adı	Standart Özellikler	Modem (RTS/CTS)	LIN	SPI master	irDA	Smartcard	Max. İletişim hızı Mbit/s (16 aşırı örnekleme)	Max. İletişim hızı Mbit/s (8 aşırı örnekleme)	APB eşleme
USART1	X	X	X	X	X	X	5.25	10.5	APB2 (max. 84 MHz)
USART2	X	X	X	X	X	X	2.62	5.25	APB1 (max. 42 MHz)
USART3	X	X	X	X	X	X	2.62	5.25	APB1 (max. 42 MHz)
UART4	X	-	X	-	X	-	2.62	5.25	APB1 (max. 42 MHz)
UART5	X	-	X	-	X	-	2.62	5.25	APB1 (max. 42 MHz)
UART6	X	X	X	X	X	X	5.25	10.5	APB2 (max. 84 MHz)

Motorun devir bilgisi verisi mikrodenetleyicinin B portunun PB6 pininin alternatif bir fonksiyonu olan USART1_Tx gönderici birimi kullanılarak RS232 haberleşme birimi ile bilgisayara gönderilmiştir. Bilgisayar üzerinden yürütülen kontrol algoritmaları sonucunda elde edilen PWM'in görev çevrimi bilgisi ise yine mikrodenetleyicinin B portunun PB7 pininin alternatif bir fonksiyonu olan USART1_Rx alıcı birimi kullanılarak RS232 haberleşmesiyle alınmıştır.

Bilgisayardan alınan PWM görev çevrimi bilgisi doğrultusunda mikrodenetleyicideki Timer4 biriminin 1 numaralı kanalının bağlı olduğu PD12 pini PWM Generation modunda kullanılarak PWM sinyali üretilmiştir. Timer4 birimi için frekans 84MHz'dir. Bu frekans değeri seçilen aralıklara bölünerek elde edilecek kare dalga sinyalinin frekansı bulunur. Mikrodenetleyicini kare dalga üretmesi işlemi, seçilen porta lojik 0 ve lojik 1 değerlerinin ihtiyaç duyulan sürelerde uygulanması ile gerçekleştirilir. Bu çalışma kapsamında sinyalin lojik 1 değerini aldığı süre kontrol algoritması sonuçlarına göre belirlenmiştir. Üretilen lojik seviyeli PWM sinyali sinyal kuvvetlendirici elektronik devrelerden geçirilerek retardere ulaştırılmıştır.

2.7. Bulanık Mantık Kontrolör Tasarımı

Çalışma kapsamında ihtiyaç duyulan bulanık mantık denetleyicisi LabVIEW programı üzerinden bloklar aracılığı ile tasarlanmıştır [35]. Tasarlanan sistemde motorun hızı seçilen ayar noktası değerine getirilmeye çalışılmıştır. Bu işlem için mikrodenetleyici, enkoderden aldığı darbe bilgisine göre anlık devir hesaplar. Hesaplanan bu değer RS232 haberleşmesi ile bilgisayara gönderilir. Alınan devir değeri ayar noktası ile karşılaştırılır. Fark, e(hata sinyali) olarak kaydedilir. Bir sonraki çevrimde kaydedilen hata sinyali ile bir önceki çevrimdeki hata sinyalinin farkı alınarak de (hatanın değişimi) değeri bulunur. Bu sistemde hata ve hatanın değişimi değerleri giriş değişkenleri olarak kullanılmıştır. Giriş değişkenleri LabVIEW programı üzerinde üçgen üyelik fonksiyonları kullanılarak bulanıklaştırılmıştır. Giriş değişkenlerinin üyelik fonksiyonları Şekil 2.5'te gösterilmektedir.



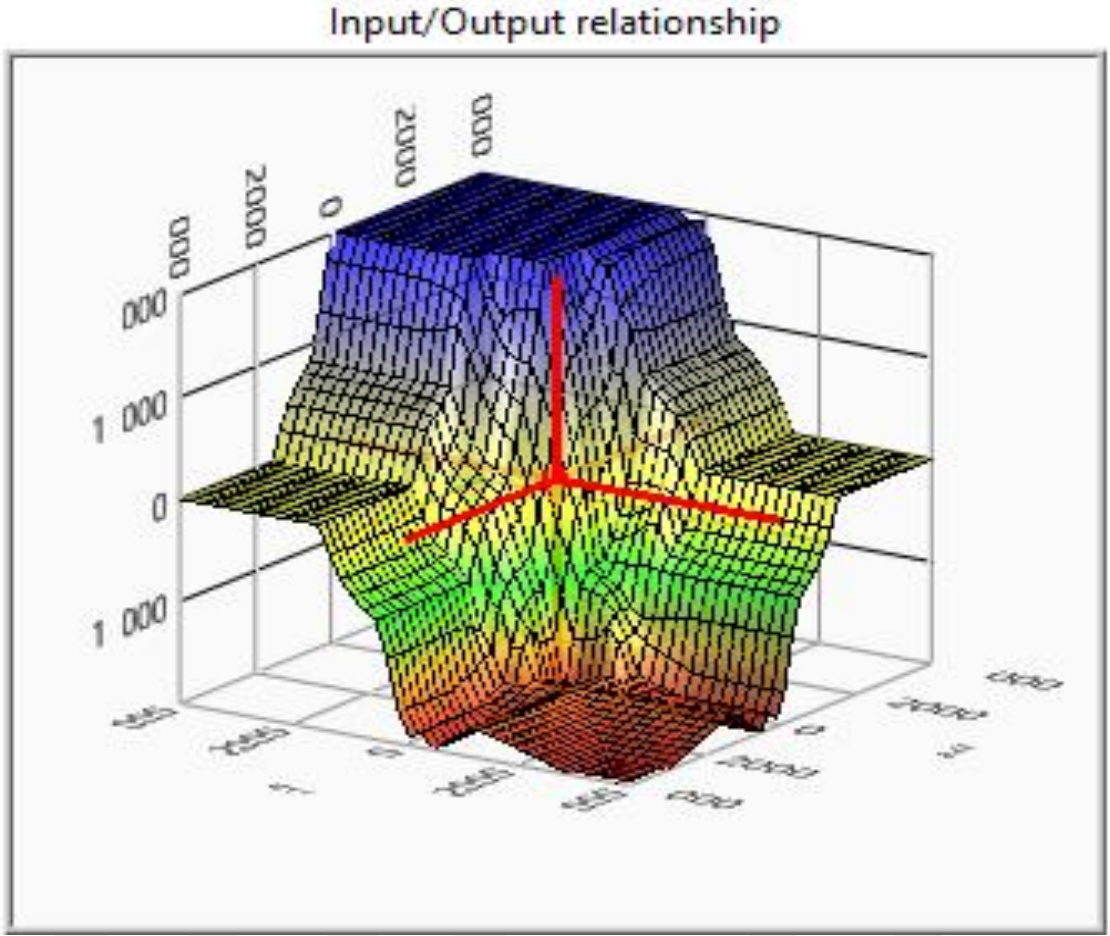
Şekil 2.5. Giriş Değişkenleri Üyelik Fonksiyonları

Bulanıklaştırma işleminden sonra giriş değerlerinin dilsel değişkenlerinin birbirlerine göre durumuna bakılarak çıkış değişkeninin dilsel değerleri belirlenir. Sisteme etki etmesi istenilen frenleme miktarlarına göre kural tablosuna karar verilir. Elektromanyetik retarderin frenleme karakteristiği göz önünde bulundurularak oluşturulmuş bulanık mantık kural tablosu Tablo 2.6' de görülmektedir.

Tablo 2. 6. Bulanık Mantık Kural Tablosu

e de	NB	NS	Z	PS	PB
NB	PB	PB	PB	PS	Z
NS	PB	PB	PS	Z	NS
Z	PB	PS	Z	NS	NB
PS	PS	Z	NS	NB	NB
PB	Z	NS	NB	NB	NB

Tablo 2.6' de görülen kural tablosu bulanık mantık giriş- çıkış değişkenleri arasındaki ilişkiyi de belirlemektedir. Kural tablosuna göre elde edilene sistemde giriş-çıkış değerlerinin ilişkisini gösteren grafik ise Şekil 2.6' te verilmiştir.



Şekil 2. 6. Bulanık Mantık Giriş Çıkış Değerleri İlişkisi

Bulanık çıkarım işleminden sonra elde edilen ifade dilsel bir değişkendir. Bu dilsel değişken yine üçgen üyelik fonksiyonları ve ağırlık merkezi yöntemi kullanılarak nümerik değerlere dönüştürülmüştür. Durulama işleminden elde edilen nümerik değerler PWM sinyalinin görev çevrimi değerinde kullanılmak üzere mikrodenetleyiciye gönderilmiştir.

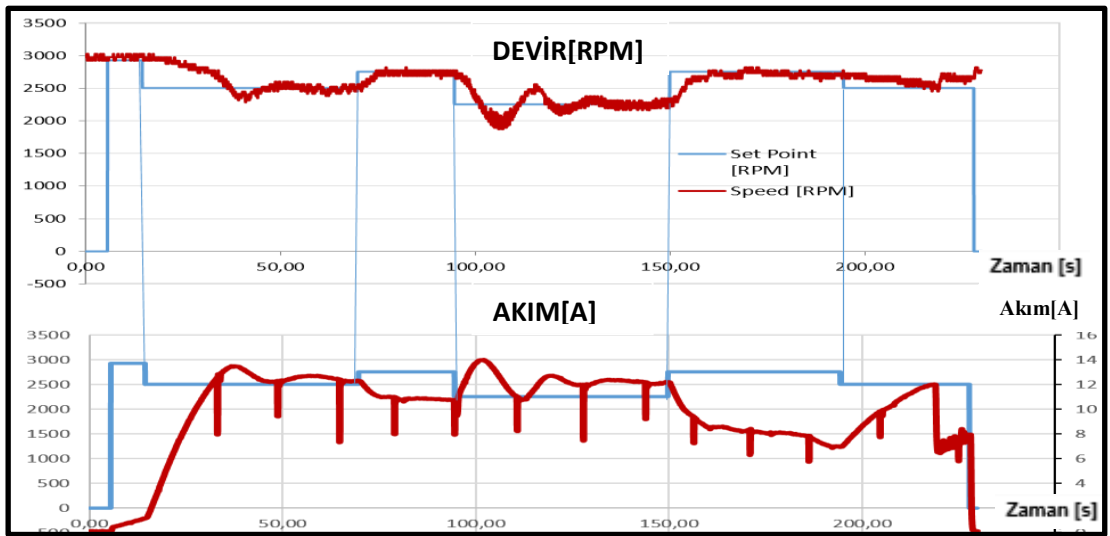
3. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

Kurulan deney düzeneği ile mikro denetleyici ve bilgisayar ortamında oluşturulan yazılımlar bir araya getirilerek bir EMR'nin gerçek zamanlı kontrol uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Deney başlangıcında motor, tam gaz kelebek açıklığında çalıştırılmış daha sonra ayar noktası değeri girilmiştir. Kontrol algoritmaları arayüz üzerinde bulunan buton aracılığıyla devreye alınmıştır. Sistem bir kalıcı durum hatası ile birlikte kararlı duruma ulaştıktan sonra yeni ayar noktası değeri belirlenerek bu adım farklı değerler için tekrarlanmıştır. Süreç boyunca elde edilen deneysel sonuçlar bilgisayar ortamında biriktirilip analiz edilerek akım verileri ve tork verileri başlıklarında sunulmuştur.

3.1. Akım Verileri

Elektromanyetik retarderlere uygulanan akım ile frenleme torku da orantılıdır [36]. EMR'nin bobinlerindeki akımın değişmesi, frenleme torkunu ve dolayısıyla içten yanmalı motorun devrini değiştirmektedir. Şekil 3.1' de deney süresinde elde edilen akım verileri, motorun aynı andaki devir verileri ile birlikte görülmektedir.

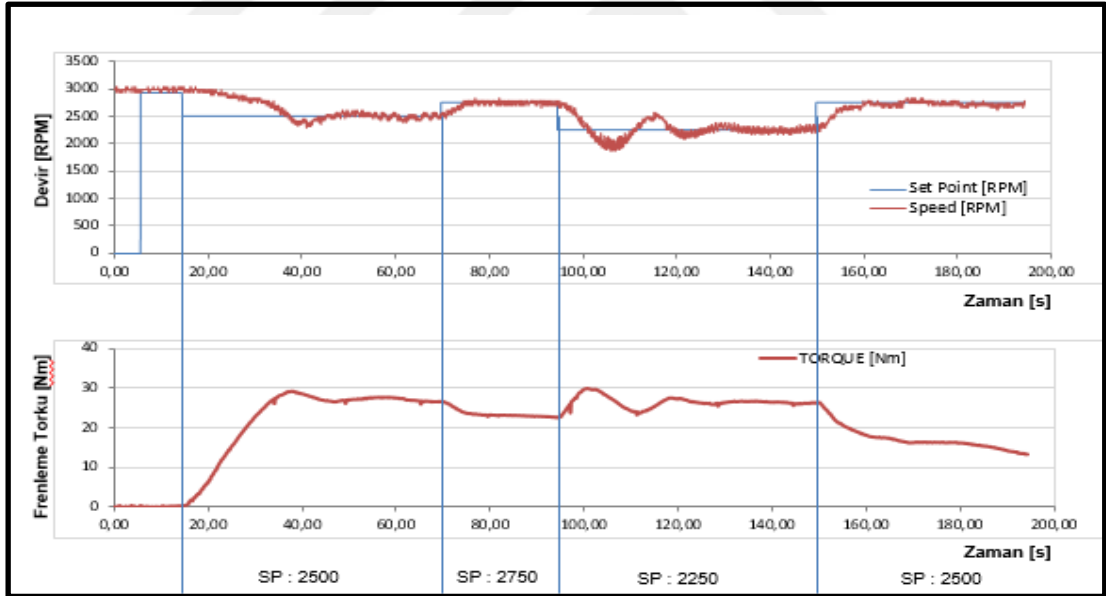


Şekil 3. 1. Retarder Devir-Akım Grafiği

Ayar noktası (set point) değerinin, içten yanmalı motor devrinden düşük olduğu durumlar taşıtın istenilenden daha yüksek hızda seyrettiği anlamına gelmektedir. Bu durumlarda retarder bobin akımları artarak yüksek bir frenlenme torku üretmektedir. Böylelikle ayar noktası değerinden daha yüksek olan motor devri düşerek ayar noktası değerine yaklaşmaktadır. Kontrol algoritması, ayar noktasının motor devrinden yüksek olduğu durumlarda, retarder akımını düşürerek motorun ayar noktası değerine kadar hızlanmasına müsaade etmektedir.

3.2. Tork Verileri

Kurulan sistemde elektromanyetik retarder motor devrini düşürmek için bir tork uygulamaktadır. Deney esnasında retarderden yük hücresi yardımıyla ölçülen kuvvet bilgisinin, kuvvet kolu mesafesiyle (retarder mil eksenine ile yük hücresi arasındaki mesafe) çarpılması ile tork verileri elde edilmiştir. Elde edilen tork verileri motorun aynı andaki devir verileri ile birlikte Şekil 3.2’te gösterilmiştir.



Şekil 3. 2. Retarder Devir-Tork Grafiği

Tork grafiği incelendiğinde akım grafiği ile benzer özelliklerde olduğu görülebilmektedir. Bu bulgu literatür verileri ile örtüşmektedir [5,36]. Devir-Zaman grafiğinde kırmızı ile gösterilen motor devrinin aynı grafikte mavi ile gösterilen ayar noktası olarak seçilen değerden yüksek olması durumunda tork değeri yükselmektedir. Retarderin torkunun artması ile birlikte motor devri düşmektedir. Kısa bir osilasyon süresinden sonra ise motorun devir değeri ayar noktasını yakalamaktadır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın konusu olan elektromanyetik retarderler taşıt güvenliğinin sağlanmasında en önemli unsurlardan biri olan frenlerin bir türüdür. Ağır vasıtalar, hızlı trenler, otobüsler gibi günden güne önemi artan ulaşım araçlarında bir kol yardımı ile manuel olarak kullanılmaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte bütün sektörlerde manuel kontrol yerini otomatik ve elektronik sistemlere bırakmaktadır. Çalışma kapsamında retarderlerin bulanık mantık yöntemleri kullanılarak kontrol edilmesi sağlanmıştır.

Deneyel çalışmalarda kullanılan içten yanmalı motorun tek silindirli dizel bir motor olması nedeniyle frenleme ile kontrol edilebilme olanağı sınırlı olup deneyel çalışmalar belirli bir devir aralığında gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda frenleme ve hızlanma durumları için farklı tepki süreleri ortaya çıkmaktadır Sürüş konforu açısından, frenleme veya hızlanma süresinin, kısa süreli hızlanma ve yavaşlama ivmelerinden kaçınabilmek için, sürücü ve yolcuların konforunu olumsuz olarak etkilemeyecek bir aralıkta olması gerekmektedir. Taşıtın hızlanma süresinin görece kısa tutulması sürüş konforunu olumsuz etkilemezken yavaşlama süresinin kısa olması ani frenleme anlamına geleceğinden istenmeyen bir durumdur. Elde edilen deney sonuçlarında motor yavaşlatılmaya çalışıldığında oturma süresi, hızlanma durumuna oranla nispeten daha uzundur. Motorun hızlanma süresi 25s (70- 95. saniyeler ve 150 – 175. saniyeler arası) yavaşlama süresi 45s (15-60. saniyeler arası ve 95-140. saniyeler arası) dir. Ayrıca bu noktada gerçek bir sistem üzerinde bulanık mantık denetleyicisinin kural tabloları düzenlenerek bu tepkilerin daha da iyileştirilebileceği öngörülmektedir.

Deneyel çalışmanın ileriki aşamalarında, kurulan deney setinde farklı durulama yöntemleri kullanılıp elde edilen sonuçlar kıyaslanarak yeni bir çalışma üretilebilir. Ayrıca bilgisayar üzerinden yürütülen kodların tamamen gömülü sisteme aktarılması ile çalışmanın gerçek sistemlere uygulanabilirliği arttırılabilir.

Deney kapsamında bilgisayar ile mikrodenetleyici haberleşmesi RS232 haberleşme ara birimi ile sağlanmıştır. Otomotiv sektöründeki elektronik donanımların haberleşmesi güvenlik gereklilikleri nedeniyle CAN BUS protokolü ile gerçekleştirilmektedir. Bu bağlamda, yöntem gerçek bir sistem üzerine uygulandığında haberleşmenin CAN BUS protokolü ile gerçekleştirilmesi daha uygun olacaktır.



KAYNAKLAR

- [1] Liu C.Y., Jiang K.J., Design and Use of an Eddy Current Retarder in an Automobile, *International Journal of Automotive Technology*, 2011, **12**(4), 611–616.
- [2] Erdem M., Motorlu Taşıtlarda Yavaşlatıcı Etkilerinin Deneysel Analizi ve Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007, 212833.
- [3] Üstün N. S., Otomotiv Endüstrisi için Bir Disk Fren Balatası Üretimi ve Performansının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2011, 295109.
- [4] Bae J.N., Kim Y.E., Son Y.W., Moon H.S., Yoo C.H., Lee J., Self-Excited Induction Generator as an Auxiliary Brake for Heavy Vehicles and Its Analog Controller, *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, 2015, **62**(5), 3091-3100.
- [5] Chengye L., Jiang K., Zhang Y., Study on Temperature Rise Performance of Eddy Current Retarder in Automobile, *International Conference on Future Information Technology and Management Engineering*, Changzhou, China, 2011.
- [6] Zadeh L. A., Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 1973.
- [7] Telma, <https://www.telmausa.com/>. (Ziyaret tarihi: 10 Mayıs 2019).
- [8] Güler Z., Ticari Karayolu Taşıtlarında Kullanılan Yavaşlatıcı (Retarder) Frenlerin Aracın Tahrik Sistemine Etkisinin Araç Dinamiği ve Malzeme Mukavemeti Açısında İncelenmesi, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2013, 374154.
- [9] Ergün R. E., Elektromanyetik Retarderin Tasarımı ve Performans Optimizasyonu, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2014, 360883.

- [10] Yaojing F., Xiangshuai X., Shoudao H., Research of High Power Oil-cooled Electrical Eddy Current Retarder for Heavy Vehicles, *19th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)*, Chiba, Japan, 2016.
- [11] Anwar, S., A Parametric Model of an Eddy Current Electric Machine for Automotive Braking Applications, *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 2004, (12), 422-427 .
- [12] Yannis L.,Ioannis D., A Practical BLDC Motor Design Procedure for Diver Propulsion Vehicle Applications, *IEEE and D. N. Stravouelllis*, 2018, 513-519 .
- [13] Şahin O. U., The Design Of A High Frequency Pulse Width Modulation Integrated Circuit With External Synchronization Capability, Middle East Technical University, School of Natural and Applied Sciences, Ankara, 2017, 461930.
- [14] Yaz O., Karakulak O., Köybaşı E., Bıçakçı S., Candan C., Akdaş D., Pwm Sinyalinin Duty Cycle Süresinin %0 ile %100 Arasında Değişimi ile Dc Motorun Hassas Kontrolü, *3. Ulusal Tasarım İmalat Ve Analiz Kongresi*, Balıkesir, 2012.
- [15] Macit N., Darbe Genişlik Modülasyon Kontrollü Üç Fazlı AA K1yıcısının Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2018, 526883.
- [16] Bayraktar H. C., Yabancı Uyarımlı ile Fırçasız DC Motorların Hız ve Tork Karakteristiklerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2015, 418494.
- [17] Liu Z., Jiang L., Pwm Speed Control System of Dc Motor Based On At89s51, *International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology*, Harbin, China, 2011.
- [18] Köse F., Kaplan K., Ertunç H. M., PID ve Bulanık Mantık ile DC Motorun Gerçek Zamanda STM32F407 Tabanlı Hız Kontrolü, *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı*, Malatya, 2013.
- [19] Prakosa J. A., Samokhvalov D. V., Ponce G. R. V., Al-Mahturi F. S., Speed Control of Brushless DC Motor for Quad Copter Drone Ground Test, *IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering*, Russia, 2019.

- [20] Dewangan A. K., Chakraborty N., Shukla S., Yadu V., PWM Based Automatic Closed Loop Speed Control of DC Motor, *International Journal of Engineering Trends and Technology*, **3**(2), India, 2012.
- [21] Aziz A. B., Albakhait M. D., Abdulkareem A. A., Multi Speed Control with Double Fed System of Dc Current Machine via Virtual Model of Pwm, *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, **9**(10), 2018, 168–174.
- [22] Mamdani E. H., Assilian S., An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller, *International Journal of Man-Machine Studies*, 1975, 7, 1-13.
- [23] Muruganandam M., Madheswaran M., Modelling and Simulation of Modified Fuzzy Logic Controller for Various types of DC Motor Drives, International Conference on “Control, Automation, Communication and energy Conservation”, India, 2009.
- [24] Bodrumlu T., Modelling and Control of the Qball X4 Quadrotor System Based on PID and Fuzzy Logic Structure, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2016, 439362.
- [25] Kayacan Y. E., Senkron Alçaltan Doğru Akım Çeviricinin PI ve Bulanık PI Kontrolünün Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2018, 518070.
- [26] Kansu A. E., Bulanık Mantık Tabanlı İklimlendirme Sistemi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2018, 520356.
- [27] Keskinılıç, F., Mühendislik Tasarım Sürecinde Bulanık Mantık ve Bulanık Yapay Sinir Ağı Kullanımı, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2018, 536608.
- [28] Yürekli, Y., Bulanık Mantık Tabanlı Görüntü İşleme Algoritması İle Ray Yüzeyindeki Kusurların Tespiti, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2019, 545294.
- [29] Cheng G., Rongrong W., Jiaoying H., Can C., Defects Simulation of Optocoupler Based on Low-Frequency Noise Analysis, *Prognostics and System Health Management Conference*, Hunan, 2014.
- [30] Yük Hücresi Analog Sinyal Transmitter Kataloğu, https://www.esit.com.tr/tr/indikatorler_ve_kontrol_cihazlari/tr_3_yuk_hucresi_analog_sinyal_transmitter/urun/62. (Ziyaret tarihi: 19 Ocak 2019).
- [31] Enkoder Kataloğu, <https://www.autoniconline.com/image/pdf/E50S.pdf>. (Ziyaret tarihi: 19 Haziran 2019).

- [32] Çok İşlevli G/Ç Aygıtı Kataloğu, <http://www.ni.com/en-tr/support/model.usb-6009.html>. (Ziyaret tarihi: 17 Eylül 2018).
- [33] National Instrument, <http://www.ni.com/en-tr/shop/labview.html>. (Ziyaret tarihi: 18 Haziran 2019).
- [34] STM32F407 Denetleyicisi Kataloğu, <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f407vg.pdf>. (Ziyaret tarihi: 06 Haziran 2019)
- [35] LabVIEW, <http://www.ni.com/pdf/manuals/372192d.pdf>. (Ziyaret tarihi: 19 Ocak 2018).
- [36] Long Z., LI C., Huang B., Wen W., Simulation Research on Braking Torque of Eddy Current Retarder, *First International Workshop on Education Technology and Computer Science*, China, 2009,



EKLER

Ek-A

MİKRODENETLEYİCİ KAYNAK KODU

```
#include "main.h"  
#include "stm32f4xx_hal.h" //CubeMX derleyicisi HAL sürücülerini projeye dahil edilmesi
```

```
//Programda kullanılacak değişkenlerin tanımlanması
```

```
char buffrec[8];  
char bufftr[10]={'2','9','7','6','3','8','9'};
```

```
__IO long IC_value;  
int32_t counter;  
__IO float freq,devir;  
__IO uint16_t xx,duty=0;  
uint8_t data_send=0;
```

```
//Kullanılacak arabirimlerin belirlenmesi
```

```
TIM_HandleTypeDef htim2;  
TIM_HandleTypeDef htim4;  
UART_HandleTypeDef huart1;
```

```
//Fonksiyon prototipleri
```

```
void SystemClock_Config(void);  
static void MX_GPIO_Init(void);  
static void MX_TIM2_Init(void);  
static void MX_TIM4_Init(void);  
static void MX_USART1_UART_Init(void);
```

```
void HAL_TIM_MspPostInit(TIM_HandleTypeDef *htim);  
void HAL_TIM_IC_CaptureCallback(TIM_HandleTypeDef *htim);
```

```
int main(void)  
{
```

```
    duty = 00;
```

```
    HAL_Init();  
    SystemClock_Config();
```

```
    MX_GPIO_Init();  
    MX_TIM2_Init();  
    MX_TIM4_Init();  
    MX_USART1_UART_Init();
```

```

HAL_TIM_PWM_Start(&htim4, TIM_CHANNEL_1);
HAL_TIM_IC_Start_IT(&htim2, TIM_CHANNEL_1);

__HAL_UART_ENABLE_IT(&huart1, UART_IT_RXNE);

while (1)// sonsuz döngü
{
    counter = __HAL_TIM_GetCounter(&htim2);

    devir=freq*60/360; // okunan süre bilgisinin RPM türüne çevirilmesi

    printf ("%5.2f\n", devir); // devir bilgisinin standart forma getirilmesi

    HAL_Delay(10);

    if (data_send == 1)
    {
        duty = atol(buffrec); // Usart üzerinden string olarak
        alınan değişkenin sayı tipine dönüştürülmesi
        htim4.Instance->CCR1 = duty;
        data_send = 0;
    }
}

/* Sistem saatinin özelliklerinin ayarlanması*/
void SystemClock_Config(void)
{
    RCC_OscInitTypeDef RCC_OscInitStruct;
    RCC_ClkInitTypeDef RCC_ClkInitStruct;

    __HAL_RCC_PWR_CLK_ENABLE();

    __HAL_PWR_VOLTAGESCALING_CONFIG(PWR_REGULATOR_VOLTAGE
    _SCALE1);

    RCC_OscInitStruct.OscillatorType = RCC_OSCILLATORTYPE_HSE;
    RCC_OscInitStruct.HSEState = RCC_HSE_ON;
    RCC_OscInitStruct.PLL.PLLState = RCC_PLL_ON;
    RCC_OscInitStruct.PLL.PLLSource = RCC_PLLSOURCE_HSE;
    RCC_OscInitStruct.PLL.PLLM = 4;
    RCC_OscInitStruct.PLL.PLLN = 168;

```

```

RCC_OscInitStruct.PLL.PLLP = RCC_PLLP_DIV2;
RCC_OscInitStruct.PLL.PLLQ = 4;
if (HAL_RCC_OscConfig(&RCC_OscInitStruct) != HAL_OK)
{
    _Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
}

RCC_ClkInitStruct.ClockType =
RCC_CLOCKTYPE_HCLK|RCC_CLOCKTYPE_SYSCLK
    |RCC_CLOCKTYPE_PCLK1|RCC_CLOCKTYPE_PCLK2;
RCC_ClkInitStruct.SYSCLKSource = RCC_SYSCLKSOURCE_PLLCLK;
RCC_ClkInitStruct.AHBCLKDivider = RCC_SYSCLK_DIV1;
RCC_ClkInitStruct.APB1CLKDivider = RCC_HCLK_DIV4;
RCC_ClkInitStruct.APB2CLKDivider = RCC_HCLK_DIV2;

if (HAL_RCC_ClockConfig(&RCC_ClkInitStruct, FLASH_LATENCY_5) !=
HAL_OK)
{
    _Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
}

HAL_SYSTICK_Config(HAL_RCC_GetHCLKFreq()/1000);
HAL_SYSTICK_CLKSourceConfig(SYSTICK_CLKSOURCE_HCLK);

HAL_NVIC_SetPriority(SysTick_IRQn, 0, 0);
}

/* Input Capture modunda kullanılmak üzere seçilen TIM2 ile ilgili yapılandırmalar
*/

static void MX_TIM2_Init(void)
{
    TIM_ClockConfigTypeDef sClockSourceConfig;
    TIM_MasterConfigTypeDef sMasterConfig;
    TIM_IC_InitTypeDef sConfigIC;

    htim2.Instance = TIM2;
    htim2.Init.Prescaler = 83;
    htim2.Init.CounterMode = TIM_COUNTERMODE_UP;
    htim2.Init.Period = 50000;
    htim2.Init.ClockDivision = TIM_CLOCKDIVISION_DIV1;
    if (HAL_TIM_Base_Init(&htim2) != HAL_OK)
    {
        _Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
    }

    sClockSourceConfig.ClockSource = TIM_CLOCKSOURCE_INTERNAL;
    if (HAL_TIM_ConfigClockSource(&htim2, &sClockSourceConfig) != HAL_OK)

```

```

{
    _Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
}

if (HAL_TIM_IC_Init(&htim2) != HAL_OK)
{
    _Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
}

sMasterConfig.MasterOutputTrigger = TIM_TRGO_RESET;
sMasterConfig.MasterSlaveMode = TIM_MASTERSLAVEMODE_DISABLE;
if (HAL_TIMEx_MasterConfigSynchronization(&htim2, &sMasterConfig) !=
HAL_OK)
{
    _Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
}

sConfigIC.ICPolarity = TIM_INPUTCHANNELPOLARITY_RISING;
sConfigIC.ICSelection = TIM_ICSELECTION_DIRECTTI;
sConfigIC.ICPrescaler = TIM_ICPSC_DIV1;
sConfigIC.ICFilter = 15;
if (HAL_TIM_IC_ConfigChannel(&htim2, &sConfigIC, TIM_CHANNEL_1) !=
HAL_OK)
{
    _Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
}

}

/* PWM üretimi için kullanılan TIM4 ile ilgili yapılandırmalar */
static void MX_TIM4_Init(void)
{
    TIM_MasterConfigTypeDef sMasterConfig;
    TIM_OC_InitTypeDef sConfigOC;

    htim4.Instance = TIM4;
    htim4.Init.Prescaler = 39;
    htim4.Init.CounterMode = TIM_COUNTERMODE_UP;
    htim4.Init.Period = 41999;
    htim4.Init.ClockDivision = TIM_CLOCKDIVISION_DIV1;
    if (HAL_TIM_PWM_Init(&htim4) != HAL_OK)
    {
        _Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
    }

    sMasterConfig.MasterOutputTrigger = TIM_TRGO_RESET;
    sMasterConfig.MasterSlaveMode = TIM_MASTERSLAVEMODE_DISABLE;
    if (HAL_TIMEx_MasterConfigSynchronization(&htim4, &sMasterConfig) !=

```

```

HAL_OK)
{
    _Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
}

sConfigOC.OCMode = TIM_OCMode_PWM1;
sConfigOC.Pulse = 21000;
sConfigOC.OCpolarity = TIM_OCPolarity_HIGH;
sConfigOC.OCFastMode = TIM_OCFAST_DISABLE;
if (HAL_TIM_PWM_ConfigChannel(&htim4, &sConfigOC, TIM_CHANNEL_1)
    != HAL_OK)
{
    _Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
}

HAL_TIM_MspPostInit(&htim4);
}

/* Bilgisayar µdenetleyici haberleşmesinde kullanılan B portunun USART1 birimi ile
ilgili yapılandırmalar */

static void MX_USART1_UART_Init(void)
{
    huart1.Instance = USART1;
    huart1.Init.BaudRate = 9600;
    huart1.Init.WordLength = UART_WORDLENGTH_8B;
    huart1.Init.StopBits = UART_STOPBITS_1;
    huart1.Init.Parity = UART_PARITY_NONE;
    huart1.Init.Mode = UART_MODE_TX_RX;
    huart1.Init.HwFlowCtl = UART_HWCONTROL_NONE;
    huart1.Init.OverSampling = UART_OVERSAMPLING_16;
    if (HAL_UART_Init(&huart1) != HAL_OK)
    {
        _Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
    }
}

static void MX_GPIO_Init(void)
{
    /* GPIO Portları için zaman algısını aktifleştirme */
    __HAL_RCC_GPIOH_CLK_ENABLE();
    __HAL_RCC_GPIOA_CLK_ENABLE();
    __HAL_RCC_GPIOD_CLK_ENABLE();
    __HAL_RCC_GPIOB_CLK_ENABLE();
}

```

```
}
```

```
// Enkoderin okunmasında kullanılan TIM2 kesmesi
```

```
void HAL_TIM_IC_CaptureCallback(TIM_HandleTypeDef *htim)
```

```
{
```

```
    if(htim->Instance == TIM2)
```

```
    {
```

```
        //Input Capture değerinin alınması
```

```
        IC_value = __HAL_TIM_GetCompare(&htim2,TIM_CHANNEL_1);
```

```
        //denetleyici frekansı gözetilerek enkoder frekansının hesaplanması
```

```
        freq = 1000000/(float)IC_value;
```

```
        __HAL_TIM_SetCounter(&htim2,0);
```

```
    }
```

```
}
```

```
void _Error_Handler(char * file, int line)
```

```
{
```

```
    /* HAL hataları için kodlar yazılabilecek alan */
```

```
    while(1)
```

```
    {
```

```
    }
```

```
}
```

```
#ifdef USE_FULL_ASSERT
```

```
void assert_failed(uint8_t* file, uint32_t line)
```

```
{
```

```
    /* Yanlış değerlerin bulunduğu dosya adı ve satırı ile işlem yapılabilecek alan */
```

```
}
```

```
#endif
```

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Gölen Altuntaş, A.**, Ergün R . E .,Bulanık Mantık Kontrollü Elektromanyetik Retarder Sisteminin Deneysel Analizi, *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi*, Kocaeli, 2018



ÖZGEÇMİŞ

1993 yılında Elazığ'da doğdu. İlk orta ve lise öğrenimini Elazığ'da tamamladı. 2010 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümüne, 2012 yılında çiftandal programı ile Mekatronik Mühendisliği Bölümüne başladı. 2014 yılında Elektrik-Elektronik Mühendisi olarak mezun oldu. 2015 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı'ndaki yüksek lisans eğitimine halen devam etmektedir.

