T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

DENETİMLİ MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE ASENKRON MOTORLARDA KESTİRİMCİ BAKIM TAHMİNİ

Atanur İZ

Prof. Dr. Hayati MAMUR

MANİSA–2023

AtanurİZ	DENETİMLİ MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE ASENKRON MOTORLARDA KESTİRİMCİ BAKIM TAHMİNİ	2023

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ III
ŞEKİLLER DİZİNİ IV
TABLOLAR DİZİNİ V
TEŞEKKÜR VI
ÖZET VII
ABSTRACT VIII
1. GİRİŞ 1
2. GENEL BİLGİLER 11
2.1. Elektrik Motoru 11
2.2. Asenkron Elektrik Motoru Çeşitleri 12
2.3. Asenkron Elektrik Motor Parçaları 13
2.3.1. Stator 14
2.3.2. Rotor 15
2.3.3. Mil 15
2.3.4. Kapak 16
2.3.5. Gövde 17
2.3.6. Rulman 17
2.4. Endüstri 4.0 18
2.5. Endüstri 4.0 Bileşenleri 19
2.6. Makine Öğrenmesi 20
2.6.1. Denetimsiz Makine Öğrenmesi 20
2.6.2. Denetimli Makine Öğrenmesi 20
2.7. Nesnelerin İnterneti 21
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER 23
3.1. Materyaller 23
3.1.1. AC-AC Çevirici Transformatör 24
3.1.2. AC-DC Çevirme 25
3.1.3. DC-DC Gerilim Regülasyon Entegreleri 26
3.1.4. Filtre Devresi 27
3.1.5. ATmega328P Mikrodenetleyici 27
3.1.6. JTN1aS-PA-F-DC12V Röle 29
3.1.7. MPU6050 İvmeölçer Entegresi 30
3.1.8. DS1302 Zamanlayıcı Entegresi 31
3.1.9. HC-06 Bluetooth Modülü 32
3.1.10. Devre Tasarım Yazılımı 33
3.1.11. Yazılım Tasarım Programı 33
3.1.12. Cep Telefonu Aplikasyon Tasarım Programı 34
3.2. Yöntem 35
3.2.1. Güç Katı 36
3.2.2. Atmega328P Mikroişlemci Katı 37
3.2.3. Röle Devresi 38
3.2.4. Titreşim Sensörü 39
3.2.5. Sıcaklık Sensörü 39
3.2.6. Gerçek Zamanlı Saat Devresi 40
3.2.7. Bluetooth Modülü 40
3.2.8. Denetimli Makine Öğrenmesi Uygulaması 41

3.2.9. Devrenin Baskı Devre Tasarımı 44
3.2.10. Tasarımı Yapılan Kartın Dizgisi ve Montajı 45
3.2.11. Mobil Ekran Tasarımı 46
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA 47
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 54
KAYNAKLAR 57
ÖZGEÇMİŞ 61
EKLER 62
EK A. Titreşim bilgilerinin EEPROM'a kodlanması 62
EK B. KiCad Ebom Listesi 63

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	Amper
AC	Alternatif Akım (Alternative Current)
ADC	Analog Dijital Dönüştürücü (Analog Digital Convertor)
AI	Yapay Zeka (Artificial Intelligence)
AM	Eklemeli İmalat (Additive Manufacturing)
ASM	Asenkron Elektrik Motoru
AutoML	Otonom Makine Öğrenimi (Autonomous Machine Learning)
CPS	Siber Fiziksel Sistem (Cyber Physical System)
CPU	Merkezi İşlem Birimi (Central Processing Unit)
DC	Doğru Akım (Direct Current)
DIP	Çift Sıralı Paket (Double Row Package)
EDA	Elektronik Tasarım Otomasyonu (Electronic Design Automation)
IoT	Nesnelerin İnterneti (Internet of Things)
I/O	Giriş/Çıkış (Input/Output)
PCB	Baskı Devre Kartı (Printed Circuit Board)
RTC	Gerçek Zaman Saati (Real Time Clock)
SMD	Tek Sıralı Paket (Single Row Package)
SML	Denetimli Makine Öğrenmesi (Supervised Machine Learning)
V	Volt
VCC	DC Besleme Gerilimi (DC Supply Voltage)
VA	Volt-Amper

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. ASM genel görünümü 12
Şekil 2.2. Asenkron elektrik motor parçaları 14
Şekil 2.3. ASM statoru 14
Şekil 2.4. ASM rotoru 15
Şekil 2.5. ASM mili 16
Şekil 2.6. ASM arka ve ön kapak 16
Şekil 2.7. ASM alüminyum motor gövdesi 17
Şekil 2.8. ASM rulmanı 17
Şekil 3.1. Güç regülasyon katı blok diyagramı 23
Şekil 3.2. MCU katı blok diyagramı 23
Şekil 3.3. Haberleşme katı blok diyagramı 23
Şekil 3.4. 230/12 V AC düşürücü transformatör [36] 24
Şekil 3.5. MC78M12CDTRKG çevirici [37] 25
Şekil 3.6. TLV70433DBVR entegresi [38] 26
Şekil 3.7. ATmega328P MCU [39] 28
Şekil 3.8. JTN1aS-PA-F-DC12V röle [40] 29
Şekil 3.9. MPU6050 entegresi [44] 30
Şekil 3.10. DS1302Z RTC [45] 31
Şekil 3.11. HC-06 bluetooth modülü [47] 32
Şekil 3.12. Geliştirilen yazılımın mobil arayüzü 34
Şekil 3.13. Sistem bağlantısı 35
Şekil 3.14. AC-DC güç çevirici birimi 36
Şekil 3.15. Atmega328P bağlantıları 37
Şekil 3.16. Röle devresi 38
Şekil 3.17. Titreşim sensörü bağlantısı 39
Şekil 3.18. Sıcaklık sensörü devresi 39
Şekil 3.19. Gerçek zamanlı saat devresi 40
Şekil 3.20. Bluetooth modül bağlantısı 40
Şekil 3.21. Sistem Algoritması 41
Şekil 3.22. Denetimli makine öğrenmesi 42
Şekil 3.23. Devrenin üç boyutlu görünümü 44
Şekil 3.24. Dizilmemiş PCB 44
Şekil 3.25. Elemanları yerleştirilmiş PCB 45
Şekil 3.26. Sistemin ASM klemens kutusuna yerleşimi 45
Şekil 3.27. MIT APP INVENTOR tasarım ekranı 46
Şekil 4.1. ASM sargı sıcaklığı ekranı 47
Şekil 4.2. ASM titreşim ekranı 48
Şekil 4.3. ASM titreşim sinyali uyarısı mobil ekran görünümü 48
Şekil 4.4. ASM bulunduğu ortamın titreşim sinyali 49
Şekil 4.5. ASM titreşim ekranı 49
Şekil 4.6. Sıcaklık ve titreşim bilgileri ekranı 51
Şekil 4.7. Sıcaklık ve titreşim bilgileri ekranı 52

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 3.1. EI30/24 model transformatör özellikleri 24
Tablo 3.2. MC78M12CDTRKG çevirici teknik özellikleri 25
Tablo 3.3. TLV70433DBVR teknik özellikleri 26
Tablo 3.4. ATmega328P MCU teknik özellikleri 28
Tablo 3.5. JTN1aS-PA-F-DC12V röle teknik özellikleri 29
Tablo 3.6. MPU6050 teknik özellikleri 30
Tablo 3.7. DS1302Z RTC teknik özellikleri 31
Tablo 3.8. HC-06 bluetooth modülü teknik özellikleri 32

TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında yüksek lisans hayatıma başladığım ilk dersten itibaren akademisyen-öğrenci ilişkisini farklı bir boyuta taşıyan, bana hem akademik, hem iş, hem de sosyal hayatta bir abi, bir arkadaş gibi yaklaşan değerli danışmanım Prof. Dr. Hayati MAMUR'a tüm özverileri ve yol göstermelerinden dolayı sonsuz teşekkür ederim. Ayrıca beni bu yaşlara getiren her kararımda arkamda duran ailem ve özellikle uzun yıllardır hayatımda olan daima beni seven ve seveceğim sevgili eşim Mine'ye ve eğitim sürecinde hayatıma dahil olan ve bize aile olmanın önemini bir kez daha hatırlatan kızım Azra'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Atanur İZ
Manisa, 2023

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DENETİMLİ MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE ASENKRON MOTORLARDA KESTİRİMCİ BAKIM TAHMİNİ

Atanur İZ
Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hayati MAMUR

Asenkron motorlar (ASM) endüstride en kritik proseslerde yaygın bir şekilde kullanılırlar. Bu proseslerdeki ASM'ların arıza yapması, maliyet ve üretim kayıplarına neden olacağı için istenilmez. Bunun önlenmesi veya en aza indirilmesi için ASM'ların sürekli izlenmesi ile kestirimci bakım tahminlerinin yapılması önemlidir. Bu çalışmada, denetimli makine öğrenmesi (SML) kullanılarak ASM'ların kestirimci bakım tahmininin yapılması amaçlanmıştır. Bu amaçla ASM'un sıcaklık ve titreşim değişkenleri pozitif sıcaklık sabiteli (PTC) termistör ve MPU6050 ivmeölçer ile Atmega328P mikrodenetleyicisine (MCU) taşınmıştır. İlk olarak Atmega328P MCU'ya sağlam bir ASM'un sıcaklık ve titreşim bilgileri SML tabanlı algoritma ile öğretilmiştir. Sonra, öğretilen bu bilgilerin maksimum %20 değerini aştığında uyarı oluşturulması bilgisi girilmiştir. Daha sonra SML algoritmasını test etmek için ASM'a değişik değerlerde titreşim ve sıcaklıklar uygulanmış ve SML tabanlı ASM kestirimci bakım sisteminin çalışması izlenmiştir. SML'ye öğretilen bilgilerin gelen bilgiler ile sürekli karşılaştırma sonuçları mobil cihaza Bluetooth iletişimi ile Atmega328P MCU tarafından uyarılar şeklinde gönderilmiştir. Bu Android tabanlı mobil cihazın kontrol yazılımı sayesinde ASM'un durdurulması, çalıştırılması ve yakınındaki operatöre bilgi akışının sürekli olması sağlanmıştır. Böylece SML tabanlı bir ASM kestirimci bakım tahminin yapılması ve mobil cihaz ile operatörlerin uyarılması başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Asenkron motor, bluetooth, denetimli makine öğrenmesi, kestirimci bakım, MCU, ATmega

2023, 64 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

PREDICTIVE MAINTENANCE FORECASTING IN ASYNCHRONOUS MOTORS WITH SUPERVISED MACHINE LEARNING

Atanur İZ
Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Hayati MAMUR

Asynchronous motors (ASM) are widely used in the most critical processes in industry. Failure of ASMs in these processes is not desired as it will cause cost and production losses. To prevent or minimize this, it is important to make predictive maintenance estimates with continuous monitoring of ASMs. In this study, it is aimed to make predictive maintenance estimation of ASMs using supervised machine learning (SML). For this purpose, the temperature and vibration variables of the ASM were transferred to the Atmega328P microcontroller (MCU) with a positive temperature constant (PTC) thermistor and MPU6050 accelerometer. First, the temperature and vibration information of a robust ASM was taught to the Atmega328P MCU with an SML-based algorithm. Then, when the taught information exceeds the maximum 20% value, the information to generate a warning is entered. Then, to test the SML algorithm, vibration and temperatures at different values were applied to the ASM and the operation of the SML-based ASM predictive maintenance system was monitored. The results of continuous comparison of the information taught to the SML with the incoming information are sent to the mobile device in the form of alerts by Bluetooth communication by the Atmega328P MCU. Thanks to the control software of this Android-based mobile device, it is ensured that the ASM is stopped, started and the information flow to the nearby operator is continuous. Thus, making an SML-based ASM predictive maintenance estimation and alerting operators with a mobile device has been successfully accomplished.

Keywords: Asynchronous motor, bluetooth, supervised machine learning, predictive maintenance, MCU, ATmega

2023, 64 pages

1. GİRİŞ

Günümüzde, toplum, ticaret ve çalışma ortamları ayrımının giderek daha şeffaf hale geldiği dijitalleşen ve küreselleşen dünyamızda, bu ortamların kesiştiği sektörün yeni bir tanımlamaya ihtiyacı olmuştur. Bu ihtiyacı karşılayan ve dördüncü sanayi devrimi olarak isimlendirilen Endüstri 4.0, üretimi ve malzeme akışını uzaktan kontrol ederek hem toplumun hem de çalışma ortamlarının dönüşümünü sağlamıştır. Önceki üç sanayi devrimi makineleşme, elektrik ve bilgi teknolojisine dayalı üretimde hızlı bir artışı netice vermiştir [1].

Endüstri 4.0'ın temelini proseste çalışan makinelerin verilerinin internet ortamına taşınması oluşturur. Bu verilerin internet ortamında saklanması için bulut sistemlerdeki büyük veri tabanları kullanılır. Bu sistemlerdeki verileri kullanarak yazılan akıllı algoritmalar ile makineler için kontrol sinyalleri oluşturulabilir ve operatörlere uyarı sinyalleri gönderilebilir. İşte bu verilerin internete taşınması ve akıllı algoritmalar ile kontrollerinin sağlanması nesnelerin interneti (IoT – Internet of Things) kavramını ortaya çıkarmıştır [2]. Böylece üretim süreçlerini modüler ve değişken hale getiren fiziksel bir sistemin veya makinenin bilgisayar veya mobil kontrollü akıllı algoritmalar ile izlenmesi avantajı sağlanmıştır.

Fabrikalar için endüstriyel dönüşümün en önemli faydalarından biri akıllı ürünler kavramının oluşmasıdır. Böylece ürünler son kullanıcı ile tanışana kadar geçen süreçte IoT altyapısı ile takip edilebilmektedir. Dahası bu ürünlerin verilerine IoT teknolojileri sayesinde kullanıldıkları süreç boyunca erişim sağlanabilmektedir. Bunun sonucunda hem kullanıcıya hem üreticiye geri bildirim akışı sürekli olmaktadır [3].

Bir diğer açıdan bakıldığında, IoT altyapısı üreticilere yeni olanaklar getirmiştir. Üreticiler ürettikleri ürünlerini kullanıcıların ortamlarında izleyerek bunların verilerine ulaşabilmektedirler. Böylece ürünlerinin performansları ve kullanımları hakkında geri döngüler alabilmektedirler. Ayrıca, IoT'nin sağladığı birden fazla uzaktan erişim seçeneği karmaşık ürün operasyonları için ürünleri kullanıcıların yönetimine bırakabilme imkanını sunmaktadır.

IoT ile hem üreticiler hem de kullanıcılar ürünlerine ulaşılması zor veya tehlikeli alanlarda performanslarını ve işlevlerini değiştirerek ürünleri kontrol etme olanağına sahip olmuşlardır [4]. Böylece bir sistemin verilerini uzaktan izleme ve kontrol yeteneğinin birleşimi, ürünlerin performans kullanımını önemli ölçüde geliştirerek algoritma ve optimizasyon için yeni fırsatlar oluşturmuştur. Aynı zamanda, optimizasyon ve algoritma fonksiyonlarının kombinasyonu ise cihazları "akıllı" hale getirerek, bağımsız olarak çalışmasına izin vermiştir.

Endüstride çalışan cihazların verilerinin bulut ağına taşınmasında en önemli görevlerden birini mikrodenetleyiciler (MCU – Microcontroller Unit) üstlenir. MCU'lar sensörlerden aldıkları verileri işleyip sonrasında haberleşme birimleri ile bulut sistemine iletirler. Bir MCU bünyesinde bir bilgisayarda bulunan temel birimleri barındırır. Bunlar; merkezi işlem birimi (CPU – Central Processing Unit), rastgele erişimli bellek (RAM – Random Access Memory), program belleği, analog dijital çevirici (ADC – Analog Digital Converter) ve giriş çıkış (I/O – Input/Output) birimleri gibi temel birimlerdir. Günümüzde MCU'ların fiyatlarının makul düzeylere gelmiş olması IoT sistemlerinin ve mobil kontrollerin gelişimine büyük katkıda bulunmuştur.

IoT teknolojilerindeki gelişmeler sanayinin en çok kullanılan ürünlerinden birisi olan asenkron motorların (ASM) verilerinin izlenmesini de sağlamıştır. Bu ASM'lar endüstride en yaygın kullanılan motor türlerindendir. Bunlar az arıza yapan, az bakım gerektiren, ucuz olan ve çalıştırılmaları için pek fazla donanıma ihtiyaç duymayan motor türlerindendir. Bu özellikleri sayesinde proseslerin vazgeçilmez enstrümanları haline gelmişlerdir [5].

ASM'ların kullanıldıkları proseslerde arıza yapması üretim kaybına neden olmakta ve üretim verimliliğini etkilemektedir. Bu nedenle üretim sürecinde iken ASM'un arızasının önceden tespit edilebilmesi önem taşımaktadır. Bu ASM'larda meydana gelen arızalar elektriksel ve makeniksel olarak sınıflandırılabilir [6]. Mekaniksel arızalar çoğunlukla rulmanlardan kaynaklanmaktadır. Rulman arızalarında ASM'un titreşim sinyallerinde değişimler meydana gelmektedir. Bu durum ASM'un titreşiminin ve sıcaklığının artmasına, mekanik sıkışmalara ve şebekeden çok akım çekmesine sebep olmaktadır.

ASM performansının takip edilmesi için sıcaklık algılama sensörleri ve titreşim sensörleri yaygın olarak kullanılır. Bu sıcaklık sensörlerinden en yaygın kullanımı olan pozitif sıcaklık katsayılı (PTC – Positive Temperature Coefficient) termistörlerdir [7]. ASM'un sıcaklığı arttıkça PTC'nin direnç değeri artar. Diğer taraftan, titreşim sensörleri olarak çok yönlü atalet sensörleri tercih edilir [8]. Bunlar hem pozisyon bilgisi hem de ivmelenme bilgisi üreten küçük yapılı sensörlerdir.

Türkiye'de evlerdeki toplam elektrik enerjisinin %36'sı ASM'lar tarafından harcanmaktadır. Endüstride ise bu oran %70'ler civarındadır ve oldukça yüksek bir değerdir [9]. Dolayısı ile bu ASM'ların arızalarının tespit edilmesi ve koruyucu bakımlarının yapılması büyük önem taşımaktadır [10]. Üstelik büyük güçlü bir ASM'un bir üretim prosesinin en önemli yerinde kullanıldığı düşünüldüğünde bu ASM'un arıza yapması hiç istenilmeyecek ve sürekli çalışması arzulanacaktır. Eğer arıza meydana gelirse üretim kayıpları ve maliyetleri artacaktır. Bu nedenle bu tür kritik pozisyonlarda kullanılan ASM'ların hemen hemen hiç arıza yapmaması için proses sorumluları her önlemi almak isteyeceklerdir. Hatta endüstri işletmecileri bu tür faaliyetlerde bulunanları teşvik edecektir.

ASM'ların ilave ekipmanlarının az olması nedeniyle diğer motorlara nazaran az arıza yapmaları ile avantaj sağlarlar. Bunlarda meydana gelen arızalar genelde mekanik ve elektriksel arızalar olarak karşımıza çıkmaktadır [11]. Bu mekanik arızaların nedenlerinin başında rulman bozulmaları ve eksen kaçıklıkları gelmektedir [12]. Öte yandan, ASM'lardaki bir diğer arıza tipi elektriksel arızalar olarak incelenebilir. Bu elektriksel arızalar statorda ve rotorda meydana gelenler olarak gruplandırılır [13]. Stator arızaları ise sargılarda meydana gelmektedir. Bir diğer rotor arızaları ise rotor çubuklarında ve kısa devre halkasında oluşmaktadır.

Bir ASM'da arıza oluşacağının en büyük göstergesi sıcaklığın anormal bir şekilde değişmesi ve titreşimlerinin artmasıdır. Hemen hemen her arızada sıcaklıkta bir değişim görülmektedir. Bu arızaların önlenmesi ve periyodik bakımlarının belirlenmesi için bu sıcaklık ve titreşim değişkenlerinin takip edilmesi büyük öneme sahiptir [14].

ASM'ların önleyici ve periyodik bakımlarının belirlenmesine yönelik bazı çalışmalar mühendisler ve araştırmacılar tarafından yapılmaktadır. Bu çalışmalar hala sıcaklığını korumakta ve yeni algoritmalarla kestirimci bakım tahminleri yapılmaktadır. Yapılan bu çalışmaya yardımcı olacak bazı literatür araştırmaları aşağıda verilmiştir.

Do ve Chong [15], ASM'lar için titreşim sinyali tabanlı bir arıza tespiti ve teşhisi sistemi yaklaşımı önermişlerdir. Yaklaşımlarını arıza tespit süreci ve arıza teşhis süreci olmak üzere iki ardışık süreçten oluşturmuşlardır. Hata algılama sürecinde hatalı durumları oluşturmak için ölçekte değişmeyen özellik dönüştürme algoritmasını benimseyerek titreşim sinyallerinden önemli özellikler çıkartmışlardır. Örüntü sınıflandırma tekniğini hata teşhis sürecine uygulayarak titreşim sinyalini analiz etmek yerine titreşim sinyali ilgili arıza sınıfına göre ayrılmıştır. Yaptıkları test sonuçlarının, geliştirdikleri yaklaşımlarının ASM arıza sınıflandırmasında ve ASM sağlamlığında iyi bir performans sergilediğini ifade etmişlerdir.

Schoen ve ark. [16], çevrim içi çalışan ve sağlam bir ASM'un spektral özelliklerini öğrenmek için bir yapay sinir ağını (ANN – Artificial Neural Networks) eğitmişlerdir. Bu eğitilen ANN ASM'un sürekli çalışma koşullarında yapıldığı için çok sayıda harmonik içermiştir. Bu harmoniklerin yönetilebilir bir sayıya indirilmesi için seçici frekans filtresi kullanarak bu frekans filtresi ile arıza tespitinde önemli olan harmonikleri bir sinir ağı kümesine iletmişlerdir. Yeterli bir eğitim sürecinden sonra ANN bir arıza ile karşılaştığında sinyal üretmiştir. Bu ANN sağlam bir motorun verileri ile öğretildiği için yük özellikleri hakkında bilgi gerekmeden çevrim içi çalışan bir ASM'un arıza tahminini mümkün kılmıştır. Ayrıca bu eğitilen ANN farklı arızalar için başka bir ASM üzerinde denenerek önerilen yöntemin doğrulaması yapılmıştır.

Sun ve ark. [17], ASM arıza teşhisi için karakteristik bir öğrenme yöntemi sunmuşlardır. Onlar çalışmalarında, ASM'daki arıza ayırt edici bilgileri yakalayan yerel filtreleri öğrenmek için geri yayılım tabanlı bir ANN kullanmışlardır. Bu yerel filtreleri kullanarak ASM'un son özelliklerini çıkartmak için ileri beslemeleri ve evirimli havuzlama mimarisini oluşturmuşlardır. Bu öğretilen yerel filtreler, potansiyel ayırt edici özellikleri bulabilmişlerdir. Bundan sonra bir makine arıza simülatörünü kullanarak geliştirdikleri algoritmayı teyit etme fırsatı bulmuşlardır.

Banerjee ve Das [18], dinamik durumdaki ASM arıza teşhisinin yapılmasının çok sensör verilerinin birleştirilmesi ile olabileceğini ifade etmişlerdir. Bu çoklu sensör verilerinin titreşim, ses, akım, gerilim ve sıcaklık gibi değişkenler olabileceğini söylemişlerdir. Bu değişkenler kanıt teorisi açısından değerlendirildiğinde her bir sensörden elde edilen verinin kanıt olduğunu ve bunların çoklu sensör tabanlı ASM arıza teşhisi için kullanılabileceğini vurgulamışlardır. Daha sonra bunun çoklu sensör verilerinin her birinin kanıt birleştirme problemi olarak değerlendirilebileceğini ifade etmişlerdir. Bunlara bağlı olarak çalışmalarında destek vektör makinesi (SVM – Support Vector Machine) ve kısa süreli Fourier dönüşümü (STFT – Short Term Fourier Transform) tekniklerini kullanarak sensör verilerini birleştirmişler ve hibrit bir arıza teşhis yöntemi önermişlerdir. Çalışmalarının sonucunda elde ettikleri çıkarımlarını bazı standart hata sınıflandırma teknikleri ile karşılaştırmışlardır.

Ayaz [19], elektrik motorlarında dalgacık analizi yaklaşımını kullanarak rulman arızalarının belirlenmesi için ve yapay zeka (AI – Artificial Intelligent) tabanlı bir durum izleme sistemi gerçekleştirmiştir. Rulman arızalarını hızlandırılmış eskitme yöntemi ile yapay bir şekilde meydana getirerek işaretli ana yatak arızası oluşturmuştur. Bu arızayı dalgacık analizi kullanarak rulman arızası ile ilişkili özellik çıkarma işlemi yapmıştır. Bunun ile koruyucu bakım için erken uyarı sistemini geliştirmiştir. Daha sonra motor akım ve titreşim sinyallerini kullanarak frekans uyumluluğu işlevi tanımlayıp rotor eksenel bozukluğunu gösteren frekansının yakalanmasını sağlamıştır. Böylece tam olarak arızanın rulmanda olduğunu gösteren baskın frekansı elde etmiştir. Son olarak bu gerilim ve akım arasındaki ilişkiyi yinelemeli yaprak ANN'ye öğretip arıza frekanslarının bu ANN ile belirlenmesini sağlamıştır. Ayrıca yinelemeli yaprak ANN çıkışlarındaki maksimum hatayı bulmak için genetik yaklaşımı çalışmasında kullanmıştır. Sonuçta ASM için yinelemeli ANN ve genetik genişleme tabanlı bir hibrit yaklaşım ile AI durum izleme sistemi geliştirmiştir.

Kuş [20], ASM'larda meydana gelen kırık rotor çubuk arızasının belirlenmesi için moment ve hız salınımlarının neden olduğunu titreşim sinyallerini kullanmıştır. Arızalı ve sağlam motorlar üzerindeki titreşim siyyallerini belirleyerek çalışmalarını yürütmüştür.

Benhusein [21], IoT kullanarak üç fazlı bir ASM'un gerçek zamanlı izlenmesi ve denetimini gerçekleştirmiştir. ASM'da olası hataların tespiti için parametre analizlerinin yapılmasını sağlayan bir veri tabanına ASM verilerini toplamıştır. Bunun ile ASM'un çalışma performansı ve kullanım endeksini çıkartmıştır. Geliştirdikleri IoT sistemi ile ilgili ASM kontrolünün lokal değil global ölçekte kontrolünün ve izlemesinin yapılabileceğini ifade etmiştir.

Wu ve ark. [22], Çin Demiryolları'nda çalışmakta olan ve hızlı trenlerde kullanılan elektrik motorlarındaki stator ve rotor sargı hatalarını başlangıç aşamasında algılamak için bir teşhis tasarımı önermişlerdir. Onlar ilk olarak d-q koordinat sisteminde sincap kafesli ASM için dinamik bir model kurmuşlardır. Daha sonra yeni başlayan kırık rotor çubuğu arızası ve sargı dönüşleri arası kısa devre arıza modellerini ve özelliklerini analiz etmişlerdir. Sonrasında olası yeni başlayan stator ve rotor arızaları için sağlam bir teşhis tasarımı önererek deneysel analizlerini yapmışlardır. Bunların sonucunda geliştirdikleri tasarım modelinin yeni başlayan sargı arızalarına karşı yüksek bir hassasiyet ve doğru izolasyon sağladığını söylemişlerdir.

Kabul ve Ünsal [23], ASM'larda meydana gelen kırık rotor çubukları ve eksenel kaçıklıktan kaynaklanan arızaların tespiti için stator akımını ve titreşim sinyallerini kullanmışlardır. ASM'u %25, %50, %75 ve %100 olan dört faklı yük kademesinde çalıştırarak akım ve titreşim sinyallerini kaydetmişlerdir. Daha sonra bu sinyalleri Hilbert zarf analizi yöntemi ile incelemişlerdir. Sonrasında bu sonuçlara ait karakteristik frekansları ve bunlara ait genlikleri zarf spektrumunda işaretlemişlerdir. Bu sayede ASM'da aynı anda oluşabilecek rotor çubuğu ve eksenel kaçıklık arızalarının tespit edilebileceğini vurgulamışlardır.

Akbayır ve ark. [24], ASM'larda sıklıkla rastlanan sarım-sarım arası kısa devre arızalarının ASM elektriksel, mekaniksel ve manyetiksel değişkenlerine etkisini araştırmışlardır. ANSYS@Maxwell-2D yazılımından yararlanarak sonlu elemanlar yöntemini (FEM – Finite Element Method) kullanmışlardır. 2,2 kW'lık sağlam ASM'u modelleyip verilerini toplamışlardır ve bunun üzerinde sarım-sarım kısa devre arızaları oluşturmuşlardır. Edinilen verilerin hızlı Fourier dönüşümünü (FFT – Fast Fourier Transform) kullanarak stator akımı, ters elektromotor kuvvet çıkış momenti ve kaçak akıyı hem zaman hem de frekans alanında incelemişlerdir.

Zaman ve Liang [25], grafik tabanlı yarı denetimli öğrenmeyi kullanan bir ASM arıza teşhis sistemi önermişlerdir. Denetimli makine öğrenmesi (SML – Supervised Machine Learning) ve derin öğrenmenin (DL – Deep Learning) birleştirilip makine öğreniminde (ML – Machine Learning) kullanılarak ASM arıza teşhisi yapılabileceğini açıklamışlardır. Bu iki öğrenme modelinin çok sayıda veriye ihtiyacı olduğunu vurgulamışlardır. Bu durumun gerçek uygulamada zorluklara sebep olabileceğini ifade etmişlerdir. Bu sorunun üstesinden önerdikleri grafik tabanlı yarı denetimli öğrenmenin kullanılarak gelinebileceğini söylemişlerdir. Bu öğrenme algoritmasının az sayıda etiketlenmiş veriye ihtiyaç duyduğunu ve böylece doğrudan çevrimiçi ASM'lar için arıza teşhis yöntemi geliştirmek üzere kullanılabileceğini açıklamışlardır. Daha sonra bu algoritmanın uygunluğunu kontrol etmek için açgözlü gradyan maksimum kesim (GGMC – Greedy-Gradient Max Cut) algoritmasını seçmişler ve iki ASM için laboratuvarda kaydedilen deneysel stator akımlarını kullanarak etkili bir sonuç gösterdiğini belirtmişlerdir. Geliştirdikleri yaklaşımın çalışan ASM'lar için ikili ve çoklu sınıflandırmalar yapabileceğini iddia etmişlerdir.

Choudhary ve ark. [26], ML kullanarak ASM yataklarında kızılötesi termografi tabanlı arıza teşhisi gerçekleştirmişlerdir. Onlar çalışmalarında kızılötesi termografinin döner makinelerdeki yatak kusurlarını tespit etmek için tahribatsız ve temassız olarak kullanımının olabileceğini vurgulamışlardır. Ama bu yöntemin performansını kızılötesi termal görüntüde bulunan dizi gürültüsünün düşürdüğünü ifade etmişlerdir. Onlar ASM'daki iç ve dış yatak kusurları ve yağlama eksikliğini bulmak için iki boyutlu dalgacık dönüşümü tabanlı bir kızılötesi termografi yöntemini önermişlerdir. Geliştirdikleri algoritma ile ilk olarak elde edilen özniteliklerin boyutunu temel bileşen analizi ile azaltmışlardır. Sonrasında belirledikleri öznitelikleri en uygun öznitelik kümesini elde etmek için Mahalanobil mesafesi yöntemi ile en ilgili özniteliklerin sırasına göre dizmişlerdir. Daha sonra seçtikleri bu özelikleri hata sınıflandırması ve performans değerlendirmesi için karmaşık karar ağacında (CDT – Complex Decision Tree), doğrusal diskriminant analizinde (LDA – Linear Discriminant Analysis) ve destek vektör makinesinde (SVM – Support Vector Machine) değerlendirmişlerdir. Bunların sonucunda SVM'nin CDT ve LDA'dan daha iyi bir sonuç ortaya koyduğunu ifade etmişlerdir. Önerdikleri sistemin ASM'lardaki plansızca gerçekleşen ve istenmeyen sistem durdurmalarının önüne geçerek rulman arızalarını otomatik olarak tanıyabileceğini öne sürmüşlerdir.

Esakimuthu Pandarakone ve ark. [27], ASM'ların küçük rulman arızasının bulunmasında kullanılabilecek yöntemler arasında olan ML algoritması ve AI arasında karşılaştırmalı bir çalışma yapmışlardır. ASM'larda yatak arızalarının en yaygın arıza tipleri arasında olduğunu vurguladıktan sonra bu arızanın tespiti için sürekli izleme yapılmasının gerekliliğini belirtmişlerdir. ML ve AI'yı dikkate alarak ASM yatağındaki küçük bir çiziğin ve deliğin tespitindeki etkinliklerini karşılaştırmışlardır. ASM yük akımını kullanarak FFT analizlerini yapmışlar ve buradan elde ettikleri veriler ile algoritmayı eğitmişlerdir. Sonuçta ML algoritmalarının eğitilebilirliği sayesinde birçok avantaja sahip olduğunu açıklamışlardır. Parametre ayarlanmasında programlama gerektirmediklerini ve zaman harcamasının az olduğunu vurgulamışlardır.

Shao ve ark. [28], ASM'ların imalatındaki hata teşhisleri için DL yaklaşımını kullanmışlardır. ASM'ların arıza teşhisinde orijinal sinyallerinden özelliklerinin belirlenmesinin geleneksel arıza teşhisinde kullanıldığını belirttikten sonra ASM yüksek kaliteli özelliklerinin uzman bilgisine ve insan müdahalesine ihtiyaç duyduğunu vurgulamışlardır. Onlar ASM'un çalışma durumunu karakterize etmek için titreşim sinyallerinin frekans dağılımlarından faydalanarak derin inanç ağlarına (DBN – Deep Belief Networks) dayalı bir DL yaklaşımı uygulamışlardır. Bu yaklaşımın otomatik ve akıllı hata teşhisi elde etmek için özellik çıkartma prosedürünü sınıflandırma görevi ile birleştirdiğini söylemişlerdir. DBN'nin kısıtlanmış Boltzmann makinesinin (RBM – Restricted Boltzmann Machine) birçok birimini yığarak oluşturulduğunu ve katman katman ön eğitim algoritması ile eğitildiğini açıklamışlardır. Sonrasında bu öznitelik çıkarımının gerekli olduğu geleneksel teşhis yaklaşımları ile karşılaştırıldığında önerilen algoritmanın arıza sınıflandırması için uygun olan hiyerarşik temsilleri doğrudan ölçüm verilerinin frekans dağılımından öğrenme yeteneğine sahip olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Nakamura ve Mizuno [29], seçici özellikler ve ML kombinasyonu üzerine dayalı ASM hafif rulman arızası teşhisi çalışması yapmışlardır. Bu amaçla, onlar ML tabanlı teşhis yöntemlerini önermişlerdir. ASM dönme hızı sürekli değişirken sağlam ve arızalı ASM'ların yük akımlarını ölçmüşler ve kaydetmişlerdir. Bu özniteliği kullanarak SVM, rastgele orman (RF – Random Forest) ve AI algoritmaları ile hata belirleme çalışmalarını yapmışlardır.

Toma ve ark. [30], ASM'lar için genetik algoritma (GA) ve ML sınıflandırıcılarını kullanarak rulman arıza teşhis algoritması önermişlerdir. ASM'ların rulman arıza teşhislerinde titreşim sensörlerinin kullanılabileceğini ifade etmişler fakat bunların sinyallerinin toplanmasının pahalı ve pratik olmadığını öne sürmüşlerdir. Ayrıca kullanılan harici sensörlerin ASM üzerinde bir alan kapladığını ifade etmişlerdir. Bunun yerine motor akımı sinyalleri ile rulman arıza teşhisinin daha ekonomik olduğunu iddia etmişlerdir. Bunun için istatiksel özellikler, GA ve ML modellerini birlikte kullanan hibrit bir arıza teşhis yaklaşımı sunmuşlardır. İlk önce istatistiki bilgilerle akım sinyallerini değerlendirmişlerdir. Sonra özellik sayısını azaltmak ve özellik verilerinden en önemlilerini seçmek için GA'yı kullanmışlardır. Son olarak yatak hatalarını teşhis etmek için K-en yakın komşu (KNN – K-Nearest Neighbor), karar ağacı ve RF sınıflandırma algoritmalarını kullanan üç farklı sınıflandırma algoritması ile sistem eğitilmiş ve test edilmiştir. Bu kombinasyonun karışıklığı azalttığı ve doğruluğu artırdığını öne sürmüşler ve üç sınıflandırıcının %97 bir doğruluk elde ettiğini açıklamışlardır.

Ali ve ark. [31], stator akımı ve titreşim sinyalleri ölçümü ile ASM'lardaki tekli ve çoklu hataları ML tabanlı algoritma ile belirlemeye çalışmışlar ve deneysel veriler ile doğrulamasını yapmışlardır. Bunun için iki özdeş ASM'a çeşitli tekli ve çoklu elektriksel ve mekaniksel arızalar uygulamışlardır. ASM'un titreşim sinyallerini ve elektrik akımını aynı anda ölçmüşlerdir. Özellik çıkarımında eşleştirme takibi ve ayrık dalgacık dönüşümü tekniklerini kullanmışlardır. ASM arıza sınıflandırması için MATLAB yazılımındaki SVM, KNN ve topluluk algoritmalarını kullanmışlardır. MATLAB'daki hassas Gauss SVM, hassas KNN, ağırlıklı KNN, torbalı ağaçlar ve altuzay KNN sınıflandırıcılarının arıza teşhisinde %100 doğru sonuç verdiğini ve diğerlerinin hassas sonuca ulaştırmadığını açıklamışlardır.

Das ve ark. [32], değişken yük durumları için ASM'da küçük stator sargısı arızasındaki arıza önem derecesini algılama için DL yaklaşımı geliştirmişlerdir. Bu önerilerinin dikkati çeken bölümünün ASM'daki küçük stator sargısı ara dönüşü hatasını yük seviyesi bilgisine sahip olmadan algılamak için DL tabanlı algoritma ile belirlenebileceğini açıklamışlardır. Geliştirdikleri algoritmalarını hem gürültülü hem de gürültüsüz ortamlarda test ederek doğruluğunu teyit etmişler ve pratik bir uygulama olduğunu savunmuşlardır.

Sakallı ve Koyuncu [33], transfer öğrenme tabanlı DL mimarilerini kullanarak ASM ve trafoların durumlarının belirlenmesi için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Onlar ASM'un durum bilgilerini almak için termal görüntü analizlerini yapmışlardır. Çalışmalarını soğutma fanı arızası, rotor arızası, motor içerisinde farklı fazlarda ve çeşitli oranlarda kısa devre arızası, transformatör, yüksüz motor ve yüksüz transformatör içerisinde farklı oranlarda kısa devre arızasına yoğunlaştırmışlardır. Transfer öğrenme görevini gerçekleştirmek, modellerin ana bölümünü bozmamak, termal görüntü sınıflandırması ve uygun modeli ortaya çıkarmak için mini parti boyutu, öğrenme oranı, öğrenme oranı düşme faktörü ve optimize edici tipini değerlendirmişlerdir.

Yukarıdaki çalışmalar bir bütün olarak değerlendirildiğinde ASM'ların mekanik ve elektriksel arızalarının bulunması veya erken teşhis edilmesi için stator akımları, titreşim sinyalleri ve sıcaklık bilgilerinden faydalanılmaktadır. ASM test kurulumlarında bu bilgilerin toplanması için akım sensörleri, titreşim sensörleri ve termistörler kullanılmaktadır. Arıza teşhisinde ise ML, ANN, AI, DL, SVM ve KNN algoritmalarından sıklıkla faydalanılmaktadır. Mühendisler ve akademisyenler yaptığı ana çalışmalarını ML'ler üzerine yoğunlaştırmaktadırlar.

Bu tezin amacı, SML ile ASM'larda kestirimci bakım tahmini yapmaktır. Bunun için bir sağlam bir ASM'un sıcaklık ve titreşim verileri sensörler yardımıyla bir MCU'ya alınmış ve burada bu veriler SML algoritmasına öğretilmiştir. Daha sonra çalışan bir ASM verileri sürekli bu verilerle karşılaştırılmıştır. ASM'da oluşabilecek arızalar, operatörlere veya sistem kullanıcılarına kestirimci bakım uyarıları şeklinde mobil cihazlarına bluetooth iletişimi ile ulaştırılmıştır. Yazılan mobil cihaz arayüzü ile ASM'un kontrolü çalıştırma durdurma şeklinde gerçekleştirmiştir. Sonuçta bu sistemler bir prototip haline getirilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Elektrik Motoru

Elektrik motorları elektrik enerjisinin mekanik enerjiye dönüştürülmesini sağlayan elektrik makineleridir. Genel olarak doğru akım (DC – Direct Current) ve alternatif akım (AC – Alternating Current) ile çalışan olmak üzere iki çeşittir.

DC motorlar, DC ile çalışan elektrik motorlarıdır. Elektrikli araçlardan robotlara ve diğer uygulamalara kadar birçok sistemin önemli bileşenidir. DC motorlar, oyuncaklardaki küçük motorlardan endüstriyel ekipmanlardaki büyük güçlü motorlara kadar çeşitli boyutlarda ve performans seviyelerinde imal edilirler. Temelindeki teknoloji oldukça basittir; motorun dönmesi sağlayan bir kuvvet oluşturmak için bir manyetik alan kullanarak çalışırlar. Oldukça verimlidirler ve yaygın kullanım alanları vardır.

AC motorlar, bir stator ve bir rotordan oluşan ve AC ile çalışan elektrik motorlarıdır. Çeşitli uygulamalarda kullanılırlar ve üstün moment yoğunlukları, hız aralıkları ve sağlamlıkları ile bilinirler. Bir AC motorda stator sabit kısımdır ve rotor dönen kısımdır. Rotor manyetik alanı kalıcı mıknatıslar, relüktans çıkıntısı, DC veya AC elektrik sargıları tarafından oluşturulabilir. Genellikle, üstün tork yoğunluklarından, hız aralıklarından ve sağlamlıklarından dolayı daha gelişmiş kontrol sistemleri gerektiren değişken hızlı sürücülerle donatılırlar [34].

Ucuz, sağlam, güvenilir ve bakımı az olan ASM'ların kullanımı endüstride yaygındır. DC motorlarda meydana gelen ark ASM'larda olmaz. ASM'lar senkron hızdan belirli bir kayma değeri ile çalışırlar ve hızları sabittir. ASM'un hız denklemi (2.1)'de verilmiştir.

$$n_s = \frac{120f}{p} \tag{2.1}$$

Burada n_s stator manyetik alanının dönüş devri (devir/dak.), f motor beslemesinin frekansı (Hz) ve p manyetik tek kutup sayısıdır. ASM'daki hızda meydana gelen kayma (2.2) ile açıklanır.

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \tag{2.2}$$

Burada s kayma (devir/dak.) ve n_r rotor hızıdır (devir/dak.). ASM hızının değiştirilmesi için frekansın veya kutup sayısının değiştirilmesi gerekir. Bu nedenle sabit hızlı motorlar sınıfına dahil edilirler. Günümüzde frekansın değiştirilmesi için invertörler kullanılmaktadır. Şekil 2.1'de bir ASM'un genel görünümü gösterilmiştir.



Şekil 2.1. ASM genel görünümü

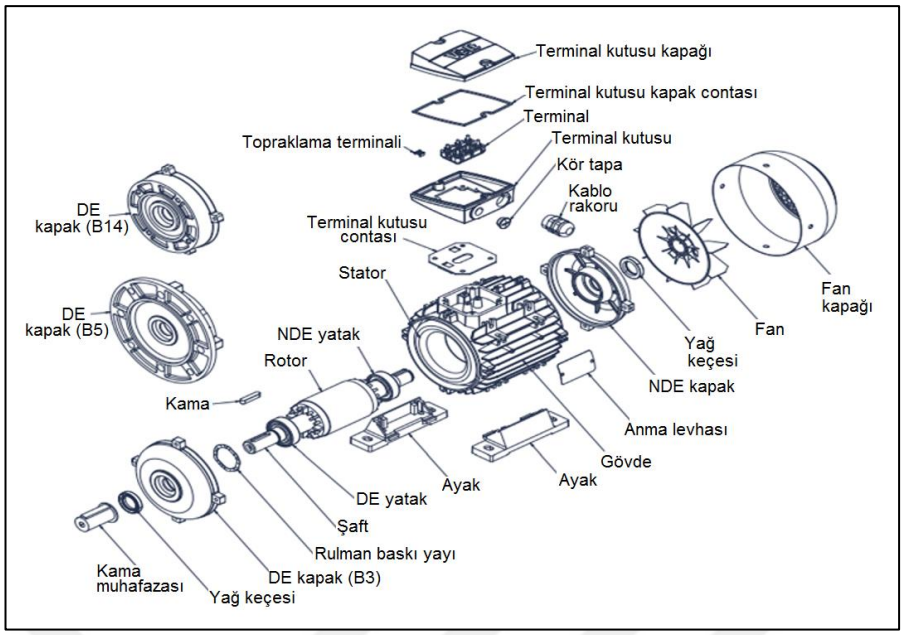
2.2. Asenkron Elektrik Motoru Çeşitleri

ASM'lar rotor yapısına göre kısa devre rotorlu ve bilezikli rotorlu olmak üzere ikiye ayrılır. Kısa devre rotorlu ASM'larda rotor saç paketinin üzerine rotor çubuklarını yerleştirmek için oluklar açılır. Bu oluklara alüminyum dökülerek rotor çubukları oluşturulur. Sonrasında rotor preslenerek tek parça haline getirilir. Rotor çubuklarının her iki tarafında bulunan uçları alüminyum halkalar kullanılarak kısa devre edilir. Yüzüklerin üzerine kanatçıklar konulup motorun çalışma esnasında soğuması kolaylaştırılır. Bu motorlara sincap kafesli ASM'lar denir, çünkü rotor çubukları kısa devredir [35]. Üç fazlı sincap kafesli ASM'lar çok az bakım gerektirirler. Bu motorların yapımı basittir. Aynı zamanda sincap kafeslerinden dolayı bunlar ucuz ve dayanıklıdırlar.

ASM'ların bir dezavantajı kalkış karakteristiklerinin iyi olmamasıdır. Dönme hareketini kolaylaştırmak için yüksek çubuklu veya çift kafesli olarak yapılırlar. Yapıları basittir ve bu nedenle ucuzdurlar. Böylece oldukça fazla tercih edilirler. Üç fazlı ASM'larda rotor oluklarından kaynaklanan uğultu, ıslık vb. rotorun hareketinden kaynaklanır ve farklı sesler oluşur. Rotor ve stator dişleri stator üzerindeki bir noktada üst üste geldiğinde, ikisi arasında mıknatıslanmadan dolayı yönlü bir çekme kuvveti oluşur. Bu kuvvetler ASM'un sarsılmasına neden olduğu için sarsıcı kuvvetler olarak isimlendirilir. ASM'un çalışmasına etki eden bu sarsma kuvvetlerinin etkisini en aza indirmek için rotor ve stator yivleri eğimli ve zikzak olarak yapılır. Bilezikli ASM'larda rotor üzerinde açılan oluklara izoleli sargılar monte edilir. Sargıların yerleştirilmesinde 120° elektriki faz farkı olacak şekilde hesaplamaları yapılır. Bunlar sonrasında yıldız bağlanırlar. Sargıların çıkış uçları, rotor mili üzerinde bulunan üç halka ile bağlanır. Rotor mili üzerindeki üç halka, rotorla birlikte döner. Halkalara bağlı fırçalar vasıtasıyla rotor sargılarına bir AC kaynağından değişen genlik veya frekansta bir gerilim uygulanabilir. Bununla birlikte empedans olarak rotor sargılarına haricen bir kaynak bağlanabilir. Bu rotor sargıları genellikle tam matris sargılardır [34].

2.3. Asenkron Elektrik Motor Parçaları

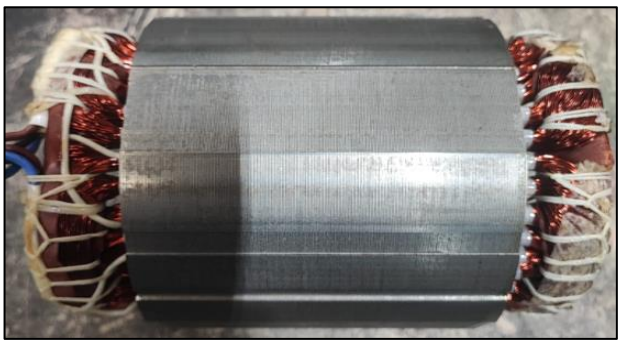
Bir ASM Şekil 2.2'de gösterildiği gibi yaklaşık olarak 27 adet farklı parçadan oluşur. Ancak işlev olarak baktığımızda olmazsa olmaz olarak nitelendirilen parçalar: stator, rotor, mil, kapak, gövde ve rulmandır. Saçlardan meydana getirilen stator alüminyum gövdenin içerisine yerleştirilir. Gövdenin alt tarafında sabit durması ve montajlama yapılması için ayaklar bulunur. Rotor ise rulmanlar, ön ve arka kapak ile stator içerisine yerleştirilen ASM'un dönen kısmıdır. Rotor üzerinde rotor miline yerleştirilmiş kama ile ASM'daki momentin alınması sağlanır. Stator sargılarına güç verilebilmesi için bu stator sargılarının uçları terminal kutusuna bağlanır. Buradaki yıldız ve üçgen bağlantıya göre ASM'a gerilim verilir. Bir ASM'un gerilimi, akımı, gücü, hızı, kutup sayısı ve bağlantı şekli gibi bilgileri bulunduran anma levhası gövdeye yapıştırılır. ASM'daki ısınmayı en aza indirmek için gövde alüminyumdan yapılır. Ayrıca gövdenin arka tarafına bir fan yerleştirilir. Bu fanın dönmesinden tehlikeli durumların oluşmaması için fan kapağı gövdeye montajlanır.



Şekil 2.2. Asenkron elektrik motor parçaları

2.3.1. Stator

Bir stator, dönen bir manyetik alanın üretilmesinden sorumlu olan ASM'ların önemli bir parçasıdır. Tipik olarak, bir silindir oluşturmak üzere birbirine bağlanan birkaç lamine çelik levhadan oluşur. Statorun merkezinde, motorun asıl işini yapan rotor bulunur. Stator genellikle bir ASM'un sabit kısmıdır, rotor ise içinde döner. Ana görevi, rotorun dönmesine izin veren döner bir manyetik alan oluşturmaktır. Bu manyetik alanı oluşturmak için stator sargısından AC geçirilir. Bu akım, rotor üzerinde bir moment oluşturur ve böylece dönmesine neden olan bir manyetik alan gerçekleşir. Şekil 2.3'te bir ASM'un statoru gösterilmiştir.

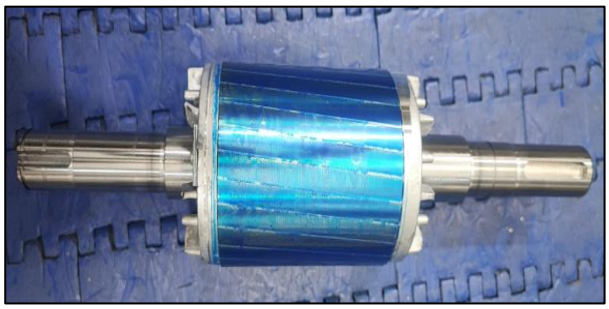


Şekil 2.3. ASM statoru

Stator ayrıca motorun başlangıç momentinde de rol oynar. Bir ASM çalıştırıldığında, statorun manyetik alanı rotor sargılarında bir moment oluşturan bir akımı indükler. Bu moment, rotorun ilk hareketinden sorumludur ve başlangıç momenti olarak bilinir. Stator, döner manyetik alanı oluşturmaktan ve gerekli başlangıç momentini sağlamaktan sorumlu olduğundan, her bir ASM'un önemli bir parçasıdır.

2.3.2. Rotor

ASM'daki rotor, motorun dönmesini sağlamaktan sorumlu dönen elektrikli parçadır. Rotor, stator ve armatür olmak üzere iki kısımdan oluşur. Stator, sabit bir manyetik alan oluşturan bir dizi bobinden meydana gelirken, armatür bir dizi elektromıknatıstan oluşur. Armatür enerjilendiğinde, stator tarafından üretilen manyetik alan, rotorun dönmesini sağlamak için armatür tarafından üretilen alan ile etkileşime girer. Bu dönüş daha sonra motora bağlı bir tahrik miline veya başka bir mekanik sisteme aktarılır. Bu nedenle rotor, elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürmekten sorumludur ve bu onu elektrik motorunun önemli bir parçası yapar. Şekil 2.4'te ASM rotoru gösterilmiştir.

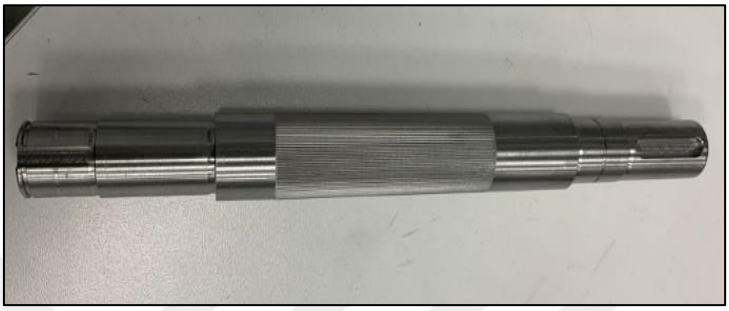


Şekil 2.4. ASM rotoru

2.3.3. Mil

ASM'da kullanılan mil, motorun sağlıklı çalışması için çok önemli bir bileşendir. Motora bağlı dönen bir dingilden oluşur ve motorun çalışması için gerekli olan dönme kuvvetini sağlar. Mil tipik olarak çelikten yapılır ve motorun uygulamasına bağlı olarak çeşitli şekil ve boyutlarda tasarlanır.

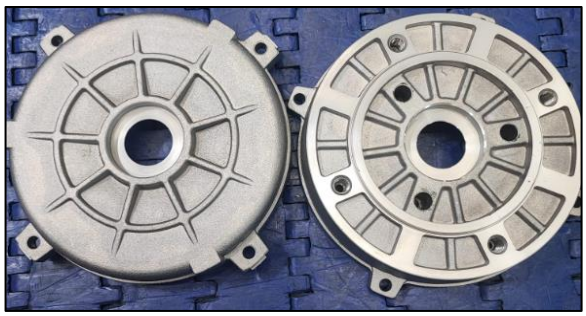
Milin boyutu önemlidir, çünkü motora yeterli momenti sağlamaya devam ederken motorun yataklarına ve diğer mekanik bileşenlere uyabilmelidir. Yanlış hizalama ve aşırı sürtünme, motor bileşenlerinde verimliliğin düşmesine ve aşınmanın artmasına neden olabileceğinden, milin tasarımı motorun verimliliğini ve performansını etkiler. Motorun optimum şekilde çalışmaya devam etmesini sağlamak için milin uygun şekilde bakımı önemlidir. Şekil 2.5'te ASM mili verilmiştir.



Şekil 2.5. ASM mili

2.3.4. Kapak

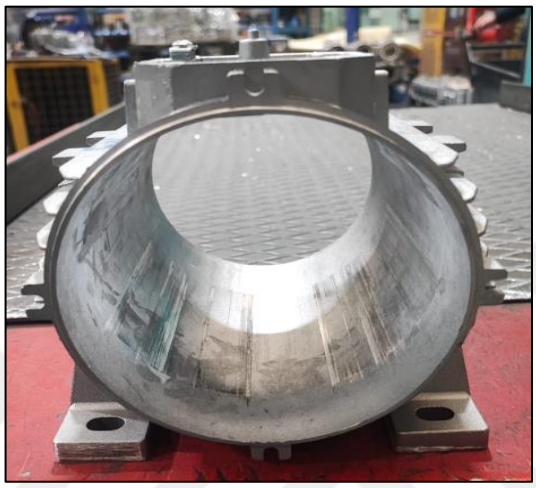
Ön kapak ve arka kapak, bir ASM'un temel bileşenleridir. Arka kapak, rotoru çevreleyen ve yabancı cisimlerin motora girmesini önleyen metal bir plakadır. Ayrıca rotorun yerinde kalmasına yardımcı olur ve motorun hizasını korumasını sağlar. Ön kapak ise motorun toz, kir ve motora girebilecek diğer yabancı cisimlerden korunmasına yardımcı olan ek bir koruma katmanıdır. Ön kapak ayrıca kullanıcı ile motor arasında bir bariyer sağlayarak elektrik çarpma riskini azaltmaya yardımcı olur. ASM'un düzgün çalışması için bu bileşenlerin her ikisi de gereklidir. Şekil 2.6'da ASM arka ve ön kapak gösterilmiştir.



Şekil 2.6. ASM arka ve ön kapak

2.3.5. Gövde

Bir ASM'un gövdesinin içerisine motorun sabit bileşeni olan stator ve dönen bileşeni olan rotor yerleştirilir. Gövde genellikle statoru sabitlemek ve motoru dış etkilerden korumak üzere kullanılır. Genel olarak soğutmayı sağlamak için alüminyum ve pik olarak iki çeşit üretilir. Şekil 2.7'de bir ASM alüminyum gövdesi verilmiştir.



Şekil 2.7. ASM alüminyum motor gövdesi

2.3.6. Rulman

ASM'un milinin döndürülmesi için rulmanlar kullanılır. Şekil 2.8'de ASM rulmanı sunulmuştur.



Şekil 2.8. ASM rulmanı

Tipik olarak, motor milinin çalışma sırasında maruz kaldığı eksenel ve radyal yükleri kaldırabilmelerini sağlayan bilyeli veya makaralı rulmanlar tercih edilir. Bu rulmanlar, aşınmaya ve yırtılmaya karşı oldukça dirençli olacak şekilde tasarlanırlar ve genellikle krom çelik gibi dayanıklı malzemelerden yapılırlar. Milin dönme hareketini desteklemek için yataklar kullanılır. Rulmanlar bu yataklara yerleştirilir. Yatakların uzun ömürlü olması ve sürtünmeden doğabilecek zararlı etkilerin önlenmesi için belirli aralıklarda yağlama yapılır.

2.4. Endüstri 4.0

Dördüncü sanayi devrimi olarak da bilinen Endüstri 4.0, bilişim teknolojileri ile endüstriyi bütünleştirmeyi amaçlamaktadır. Bu dönüşüm, üretim sürecinin ihtiyaçlarına daha fazla uyarlanabilen daha akıllı fabrikalar oluşturmak için siber-fiziksel sistemler, IoT, AI, eklemeli üretim, büyük veriler ve diğer yenilikleri kullanır. Bu yeni devrimin amacı verimliliği ve çıktı kalitesini artırmaktır. Ayrıca yeni hizmetler ve iş modelleri oluşturmaktır. Bu teknolojiden en fazla yararlanması muhtemel sektörler arasında lojistik, inşaat, enerji ve müşteri hizmetleri sektörleri gelir. Çalışma ve yaşam alışkanlıklarımızı değiştirecek niteliktedir [1]. Endüstri 4.0'ın yeni ekonomik fırsatlar oluşturması beklenmektedir. Maliyetleri azaltabilir, üretim süreçlerini otomatikleştirebilir ve yeni pazarlar açabilir. İmalat sektöründe olduğu kadar sağlık, eğitim ve diğer hizmetler gibi alanlarda olumlu bir etkisi olduğuna inanılmaktadır.

Öte yandan, Endüstri 4.0 birçok zorluğu beraberinde getirmektedir. İş kayıpları, eşitsizliğin artması ve sosyalleşmenin azalması gibi riskleri barındırmaktadır. Bu potansiyel riskleri azaltmak için kamu-özel ortaklıkları ve endüstri düzenlemeleri yapılmaktadır.

Sonuç olarak, Endüstri 4.0 iş dünyası ve toplum için heyecan verici bir fırsat oluşturmaktadır. Ancak tüm topluma fayda sağlaması için dikkatle yönetilmesi gerekmektedir. Endüstri 4.0'a güvenli ve sağlıklı bir geçiş sağlamak için kamu-özel ortaklıkları ve endüstri düzenlemeleri esas olacaktır.

2.5. Endüstri 4.0 Bileşenleri

Endüstri 4.0'ın temel bileşenleri arasında eklemeli imalat, siber-fiziksel sistemler, bulut robot teknolojisi, otonom karar verme süreçleri, ML ve IoT bileşenleri yer alır. Bu bileşenler, üreticilerin üretim süreçleri verimliliğini ve çıktı kalitesini artırmalarını ve yeni hizmetler ve iş modelleri oluşturmalarını sağlar [1].

3D baskı olarak da bilinen eklemeli üretim, dijital bir 3D modelden fiziksel nesneler üretme yöntemidir. Bu üretim türü, bir nesne oluşturmak için katman katman olan yapıyı kullanır ve istenen şekil veya nesne tamamlanana kadar kesin artışlarla malzeme eklenir. Eklemeli imalat, parçaların hızlı ve hassas bir şekilde uygun maliyetller ile üretilmesini sağladığından, Endüstri 4.0'ın önemli bir bileşeni haline gelmiştir.

Siber-fiziksel sistemler, Endüstri 4.0 kavramının temel bir unsurudur. Pompalar, kompresörler, dönüştürücüler, sensörler, kontrolörler ve bilgisayarlar gibi internete bağlı gömülü fiziksel varlıkları ifade eder. Siber-fiziksel sistemlerin temel amacı belirli bir görevi yerine getirmek olan farklı yapıdaki birkaç sistemin birleşimini sağlayan hesaplama, ağ ve fiziksel süreçlerin bir arada toplanmasını gerçekleştirmektir [1].

Bulut robotik, robotik cihazların yeteneklerini geliştirmek için bulut bilgi işlem, bulut depolama ve diğer internet teknolojilerini kullanan bir robotik alanıdır. Doğrudan yerleşik bellek dahil etmek zorunda kalmadan robotik cihazlara büyük miktarda veri sağlayabilen bir Endüstri 4.0 bileşenidir. Buluttaki modern veri merkezinin güçlü hesaplama, depolama ve iletişim kaynaklarını kullanan robotlar, bulut verilerinden çeşitli şekillerde yararlanabilir.

Otonom karar alma süreçleri, Endüstri 4.0'da insan girdisi olmadan karar vermek için kullanılan algoritmalar ve sistemlerdir. Bu sistemler kalıpları, eğilimleri ve korelasyonları belirlemek için verileri ve analitiği kullanır ve ardından herhangi bir insan müdahalesi olmadan kararlar almak için bu analizlerden elde edilen içgörüleri değerlendirir.

2.6. Makine Öğrenmesi

Otonom makine öğrenimi (AutoML – Automatic Machine Learning), makine öğrenimi modellerini oluşturma ve optimize etme sürecini otomatikleştiren ve basitleştiren bir AI teknolojisidir. Bu teknoloji, AI'nın gücünden yararlanmak isteyen ancak karmaşık modeller oluşturmak ve yönetmek için gerekli kaynaklara sahip olmayan şirketler için yararlıdır. AutoML denetimsiz makine öğrenmesi ve SML olarak iki grupta incelenir. AutoML ile şirketler, gelişmiş doğruluk, hız ve ölçeklenebilirliğe sahip modelleri hızlı bir şekilde oluşturup dağıtabilir. Ayrıca AutoML, geliştirme ve bakım için daha az kaynak ve daha az zaman gerektirdiğinden AI çözümlerini geliştirme ve dağıtma maliyetini azaltmak için kullanılabilir [31].

2.6.1. Denetimsiz Makine Öğrenmesi

Denetimsiz makine öğrenimi, herhangi bir etikete veya önceden belirlenmiş kategorilere dayanmadan büyük miktarda veriyi işlemek için algoritmalar kullanan bir AI biçimidir. Genellikle verilerden gizli kalıpları, korelasyonları ve diğer içgörüleri ortaya çıkarmak için kullanılır. Yapısı gereği kendi kendini organize etme fikrine dayanır. Yani algoritma kalıpları, korelasyonları ve eğilimleri aramak için verilerin kendisini kullanır. SML'den farklı olarak algoritmalarını eğitmek için etiketlere veya sınıflara güvenmez. Bunun yerine, verilerdeki kayıpları bulmak için kümeleme ve diğer teknikleri kullanır. Etiket gerektirmeden büyük verileri analiz etmesi ile uygun maliyetli bir yol sağlaması ve verilerdeki aykırı değerleri tespit etmesi ile avantaj sağlar. Bunun dezavantajları arasında sonuçları yorumlamanın zorluğu vardır. Bu algoritma verilerdeki normal olmayan durumların algılanması ve verileri benzerliklerine göre kümelemede yaygın kullanılır [16].

2.6.2. Denetimli Makine Öğrenmesi

SML, tahmine dayalı modeller oluşturmak için etiketlenmiş verileri kullanan bir AI türüdür. Verilerin etiketlenmemiş olduğu ve algoritmaların verilerden kendi kendine öğrendiği denetimsiz öğrenmenin aksine, SML kullanıcının AI sistemine ne araması gerektiği konusunda açık talimatlar vermesini gerektirir.

SML, bir makinenin kalıpları tanıması ve etiketli verilere dayalı olarak tahminler yapması için "eğitildiği" bir süreçtir. Eğitim verileri genellikle bir dizi girdi değişkeninden ve istenen çıktı değerlerinden oluşur. Makine daha sonra girdiyi işler ve ne kadar doğru olduğunu belirlemek için çıktıyla karşılaştırır. SML'de, kullanıcı esasen makineye etiketli veri kümeleri sağlayarak kalıpları tanımayı öğretir. Makine daha sonra girdiye dayalı çıktıyı tahmin edebilir, bu nedenle kullanıcının verileri ve istenen çıktıyı anlaması önemlidir.

SML'nin en yaygın türü sınıflandırmadır. Bu, önceden tanımlanmış sınıflara bir dizi veri noktası atamayı içerir. Örneğin, kullanıcı bir e-postanın spam olup olmadığını tahmin etmeye çalışıyorsa, makineye spam olarak işaretlenmiş e-postaları ve spam değil olarak işaretlenmiş e-postaları içeren etiketli veri kümelerini sağlaması gerekir.

Regresyon, SML'nin başka bir türüdür. Bu, bir hisse senedinin fiyatını tahmin etmek gibi sürekli bir çıktıyı tahmin etmeyi içerir. Kullanıcı, makineye girdi ve çıktı değerlerini içeren veri kümeleri sağlar ve makine girdiye dayalı olarak çıktıyı nasıl tahmin edeceğini öğrenir.

SML, eğitilmiş veri kümelerine dayalı olarak tahminler ve kararlar almamıza izin verdiği için son derece güçlü bir ML'dir. SML'nin düzgün çalışması için önemli miktarda veri ve etiketlenmiş veri kümeleri gerektirdiğini dikkate almak gerekir. Bu nedenle, verilerin doğru olduğundan ve girdi ve çıktı değerlerinin açıkça tanımlandığından emin olmak önemlidir [25].

2.7. Nesnelerin İnterneti

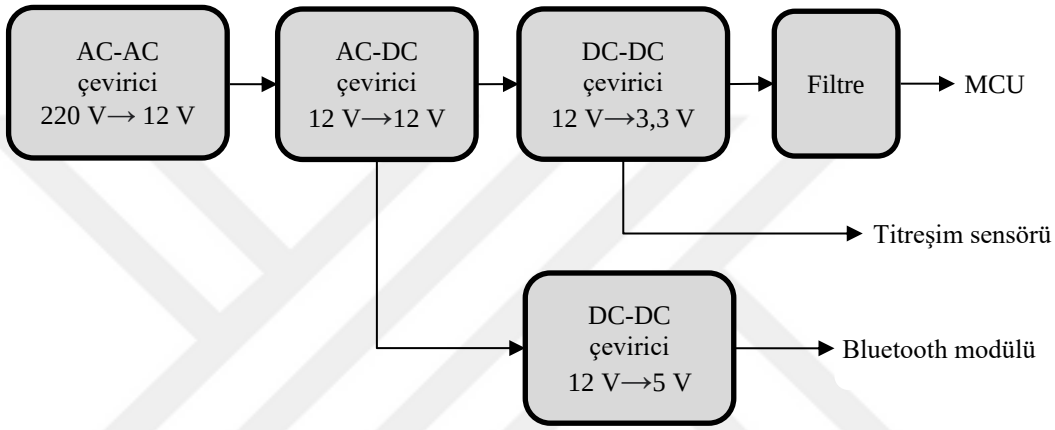
IoT, verileri toplayabilen, değiş tokuş edebilen ve analiz edebilen birbirine bağlı fiziksel nesnelerden oluşan bir ağdır. Çeşitli cihazların birbirine bağlanmasını sağlar, herhangi bir uzak konumdan bağlanmayı ve kontrol etmeyi mümkün kılar. IoT, Endüstri 4.0 için vazgeçilmez bir teknolojidir. Akıllı ürünlerin, süreçlerin ve hizmetlerin geliştirilmesini kolaylaştırır. Otomotiv, sağlık, tarım, perakende ve imalat gibi sektörlerde yaygın olarak kullanılır. Maliyetleri düşürmeye, verimliliği artırmaya ve müşteri deneyimini iyileştirmeye yardımcı olur [21].

IoT veri toplayabilen ve değiş tokuş edebilen donanım, sensörler ve diğer bileşenleri içeren birbirine bağlı cihazlardan oluşan bir ağdır. Günlük nesneleri daha akıllı ve daha bağlantılı hale getirme yeteneği nedeniyle giderek daha popüler bir kavram haline gelmektedir. Genel anlamda IoT, bir bulut ağını kullanarak bu bulut ağına bağlı cihazların verilerini biriktiren, bunların verilerini başka cihazlara aktarabilen, cihazların birbirleri ile bilgi alış verişini sağlayabilen ve verilerin analiz edilmesine olana sağlayan bir sistem olarak ifade edilebilir. Örneğin, akıllı bir evde bulunan termostatlar, ışıklar, kapı kilitleri ve ısıtıcılar gibi birbiriyle iletişim kurabilen bir dizi IoT nesneleridir.

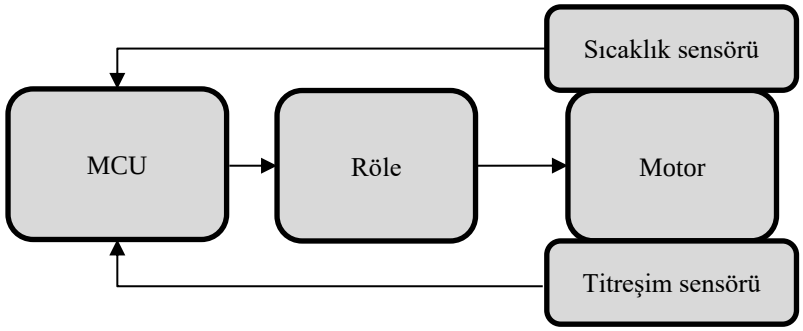
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

3.1. Materyaller

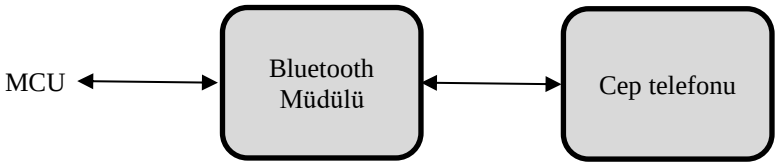
Tasarlanan ve gerçekleştirilen “SML ile ASM’da kestirimci bakım tahmini” sisteminin yapılandırmasını üç kısım ile ifade etmek mümkündür. Bunlar güç regülasyon katı, MCU katı ve haberleşme katıdır. Bunlar sırasıyla Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’te verilmiştir.



Şekil 3.1. Güç regülasyon katı blok diyagramı



Şekil 3.2. MCU katı blok diyagramı



Şekil 3.3. Haberleşme katı blok diyagramı

3.1.1. AC-AC Çevirici Transformatör

Sistem katının giriş besleme gerilimi ASM'un beslemesinin yapıldığı klemens kutusundan alınmıştır. 220 V AC bu klemenste motor besleme gerilimi olarak hali hazırda yapılmış durumdadır. Bu 220 V AC beslemenin sistemde bulunan MCU, titreşim sensörü ve Bluetooth modülü için ihtiyaç duyulan 3,3 V DC ve 5 V DC değerlerine çevrilmesi gerekmiştir. Bunun için ilk olarak 230/12 V AC düşürme işlemi yapan Aslan marka ve EI30/24 model vakum dolgulu iki bölmeli sarım izolasyon transformatörü kullanılarak gerilim dönüştürmesi gerçekleştirilmiştir. Bu transformatörün temel özellikleri Tablo 3.1'de ve genel görünümü Şekil 3.4'te verilmiştir.

Tablo 3.1. EI30/24 model transformatör özellikleri

Özellik	Değer
Montaj tipi	Eklemeli montaj
Pin sayısı	4
Giriş gerilimi	230 V AC
Çıkış gerilimi	12 V AC
Güç	2,6 VA



Şekil 3.4. 230/12 V AC düşürücü transformatör [36]

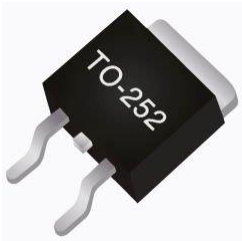
3.1.2. AC-DC Çevirme

Transformatörden elde edilen 12 V AC gerilimin elektronik ekipmanlara DC olarak ulaştırılması gerekmektedir. Bunun için bir MB105-HT köprü diyot kullanılmıştır. Bu köprü diyot ile AC-DC çevrimi yapılmıştır.

Köprü diyottan çıkan regülesiz DC gerilim filtre devrelerinden geçirildikten sonra ONS/MC78M12CDTRKG marka/model pozitif doğrusal gerilim düzenleyici entegresi kullanılarak regüle edilmiştir. Bu entegre DPAK-3 paketine tamamen montajlı olduğundan, diğer voltaj regülatörlerinden daha küçük ve daha verimlidir. Bu entegre sayesinde sistemde bulunan iki tane DC-DC çeviricinin giriş gerilimleri sağlanmıştır. Bu entegrenin maksimum giriş gerilim değeri oldukça yüksektir. Çeşitli kılıflarda imal edilerek montaj kolaylığı sağlar. Teknik özellikleri Tablo 3.2'de ve görünümü Şekil 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.2. MC78M12CDTRKG çevirici teknik özellikleri

Özellik	Değer
Montaj tipi	SMT
Paket tipi	TO-252-3
Regülatör tipi	Pozitif
Minimum giriş gerilimi	14 V
Maksimum giriş gerilimi	35 V
Çıkış gerilimi	12 V
Çıkış pini	1 tane
Çıkış akımı	500 mA
Yük regülasyonu	240 mV
Hat regülasyonu	50 mV
Sızıntı akımı	3,2 mA
Çalışma sıcaklığı	0°C ~ +125°C



Şekil 3.5. MC78M12CDTRKG çevirici [37]

3.1.3. DC-DC Gerilim Regülasyon Entegreleri

TLV70433DBVR DC-DC gerilim regülasyon entegresi, Texas Instruments'ın ürettiği gerilim regülatörü görevi görecek şekilde tasarlanmış bir entegre devredir. Bu entegreden sistemde bir adet kullanılmıştır. Bu entegre 3,3 V'luk düzenlenmiş bir gerilim sağlamak üzere tasarlanmıştır. Titreşim sensörü olan ivmeölçerin ve MCU'nun beslemesi 3,3 V olduğu için bunların gerilim regülatörü olarak kullanılmıştır. TLV70433DBVR teknik özellikleri Tablo 3.3'te ve genel görünümü Şekil 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.3. TLV70433DBVR teknik özellikleri

Özellik	Değer
Giriş gerilimi	2,5-24 V
Çıkış gerilimi	1,8 V – 3 V – 3,3 V – 3,6 V ve 5 V
Çıkış akım	150 mA'e kadar
Sızıntı akımı	3,2 µA
Paket tipi	5 pin SOT-23
Aşırı akım koruması	Var
Toprak pin akımı	100 mA çıkış akımında 3,4 µA
Çalışma sıcaklığı	–40°C ~ +125°C



Şekil 3.6. TLV70433DBVR entegresi [38]

Ayrıca 12 V'un 5 V'a düşürülmesi için 7805 gerilim regülatörü Bluetooth modülünün beslemesini sağlamak için kullanılmıştır. Bu gerilim regülatörü üç pine sahiptir. Soğutucu ile birlikte kullanıldığında 1 A'e kadar akım çıkışı verebilmektedir. Sabit gerilim kaynağı gibi kullanabilmek ile birlikte bu entegre uygun komponent bağlantıları ile ayarlanabilir 5 V gerilim kaynağı olarak da kullanılabilmektedir. Giriş pinine 7 V ile 35 V arasında gerilim girişi uygulanabilmektedir. Ortadaki pini toprağa bağlanır. Sonuncu pinden sabit 5 V gerilim çıkışı alınır.

3.1.4. Filtre Devresi

Dirençler ve kapasitörler, birçok elektronik devre tipindeki temel bileşenlerdir ve genellikle istenmeyen gürültüden korunmak için sinyalleri filtrelemek için birlikte kullanılırlar. Direnç ve kapasitörün kombinasyonu, harici bir güç kaynağına dayanmadıkları için pasif filtre olarak bilinir. Dirençler, devreye direnç sağlayarak akımın akışını sınırlama görevi görür. Bu, bir sinyalin genliğini çok büyük olmayacak ve bileşenlere zarar vermeyecek şekilde azaltmak için kullanılabilir.

Kapasitörler, enerji depolamak için kullanılırlar. AC akımın geçmesine izin verirken DC akımın akışını önlerler. Sistemde filtreleme amaçlı kullanılmıştır. Bir tane 1000 µF 25 V ve bir tane 100 µF 25 V kondansatör köprü diyotun çıkışına bağlanmıştır. MC78M12 gerilim regülatörünün girişinde üç tane kondansatör giriş gerilimi regülasyonunu sağlamıştır. Ayrıca bu regülatörün çıkışına yine gerilim regülasyonu için iki tane kondansatör bağlanmıştır. Yine sistemde parazitlerin önlenmesi ve gerilim düzenlemeleri için diğer kondansatörlere yer verilmiştir.

Dirençlerin ve kapasitörlerin kombinasyonu, hem yüksek geçiren hem de alçak geçiren filtreler oluşturmak için kullanılabilir. Herhangi bir düşük frekanslı sinyali engellemek için yüksek geçiren bir filtre kullanılabilirken, alçak geçiren bir filtre yüksek frekanslı sinyalleri engelleyecektir. Bu, bir sinyaldeki istenmeyen gürültüyü filtrelemek ve devreyi hasardan korumak için kullanılmıştır.

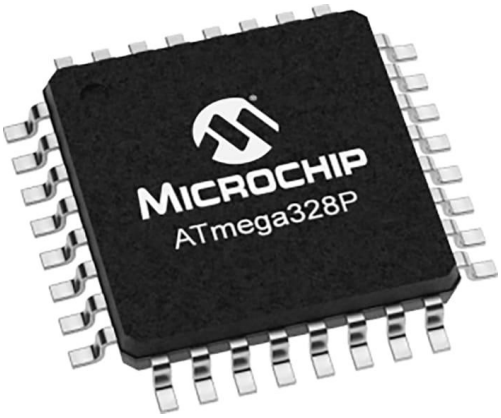
3.1.5. ATmega328P Mikrodenetleyici

IoT sistemler ve denetleme sistemleri için MCU'lar vazgeçilmez ünitelerdendir. Gömülü sistemler olarak da bilinirler. Her MCU'lu sistem bir gömülü sistem olarak adlandırılabilir. Fakat her bilgisayarlı sistem gömülü sistem olarak isimlendirilemez. Gerçekleştirilen sistemde Microchip/ATmega328P marka/model MCU olarak kullanılmıştır. Bu MCU sekiz bitlik düşük güçlü bir denetleyicidir. Flash bellek yapısına sahiptir. Azaltılmış komut seti (RISC – Reduced Instruction Set Computer) mimarisi ile üretildiği için 131 tane komut seti içerir. 32 tane her biri sekiz bitlik olmak üzere genel amaçlı çalışma saklayıcıları bulunur.

ATmega328P MCU içerisinde dahili elektriksel olarak silinip yazılabilen bellek (EEPROM – Electronically Erasable Programmable Read-Only Memory), seri haberleşme arayüzü (SPI – Serial Peripheral Interface), evrensel senkron asenkron alıcı verici birimi (USART – Universal Synchronous Asynchronous Reciever Transmitter), pals genişlik çıkışı (PWM – Pals With Modulation), ADC, analog karşılaştırıcı, zamanlayıcılar, sayıcılar ve dahili osilatör gibi birimleri bulundurur. ATmega328P MCU teknik özellikleri Tablo 3.4'te ve genel görünümü Şekil 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.4. ATmega328P MCU teknik özellikleri

Özellik	Değer
Besleme gerilimi	2,7-5,5 V
Pin sayısı	32 pin
Çalışma frekansı	16 MHz
Program belleği	32 Kbyte
EEPROM kapasitesi	1 KByte
Statik RAM	2 KByte
8 bitlik zamanlayıcı	1 adet
16 bitlik zamanlayıcı	2 adet
Gerçek zaman sayacı	Var
PWM çıkışı	8 adet
ADC	8 kanal 10 bit
SPI, USART, I^2C haberleşmesi	Var
Analog karşılaştırıcı	Var
I/O sayısı	23
Aktif modda çalışırken düşük güç harcaması	4 MHz, 3 V'ta 1,5 mA
Pasif modda çalışırken düşük güç harcaması	4 MHz, 3 V'ta 1 µA
Çalışma sıcaklığı	–40°C ~ +125°C



Şekil 3.7. ATmega328P MCU [39]

3.1.6. JTN1aS-PA-F-DC12V Röle

Tek fazlı ASM'un kontrolünün sağlanarak gerekli durumlarda açılıp kapatılması için 12 V ile beslenen Panasonic/JTN1aS-PA-F-DC12V marka/model röle kullanılmıştır. Bu röle hem baskı devre plaketine (PCB – Printed Circuit Board) hem de sokete montaj yapılabilecek şekilde üretilmektedir. Ev uygulamaları olan fırınlarda ve hava ısıtma ekipmanlarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bunun ile birlikte endüstriyel alanlar olan aydınlatma kontrolünde, güç kaynaklarında ve invertör devrelerinde tercih edilmektedir. Kullanılan sistemdeki rölenin kontrol sinyali MCU'dan bir optoizolatör yardımı ile gönderilmiştir. JTN1aS-PA-F-DC12V rölenin teknik özellikleri Tablo 3.5'te ve genel görünümü Şekil 3.8'de verilmiştir.

Tablo 3.5. JTN1aS-PA-F-DC12V röle teknik özellikleri

Özellik	Değer
Montaj tipi	PCB
Bobin gerilimi	12 V DC
Bobin akımı	66,70 mA
Kontak gerilimi	277 V AC
Montaj tipi	PCB
Kontak	1 NO ve 1 NC ortak kontak
Çalışma sıcaklığı	–40°C ~ +125°C



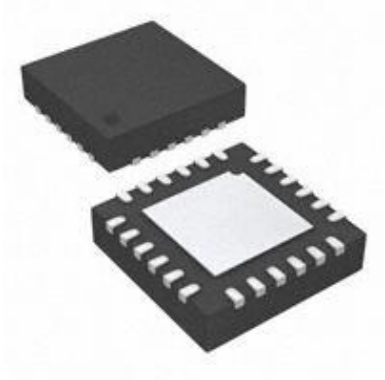
Şekil 3.8. JTN1aS-PA-F-DC12V röle [40]

3.1.7. MPU6050 İvmeölçer Entegresi

MPU6050 entegresi, 3 eksenli yön belirlemek için kullanılan bir jiroskop ile 3 eksenli ivme ölçeri birleştiren 6 eksenli entegre bir hareket izleme cihazıdır [41]. Bir nesnenin üç boyutlu uzaydaki hareketini algılamak ve ölçmek için kullanılır. Bu onu robotik, oyun, sanal gerçeklik ve hareket izlemeyi içeren diğer projelerde kullanıma uygun hale getirmiştir. MPU6050, ivme ve açısal hareket hızı verilerini dijital formata dönüştürebilen 16 bit ADC ile donatılmıştır [42]. Ayrıca, basınç sensörleri ve manyetometreler gibi harici sensörlerin cihazla entegre olmasına izin veren yardımcı bir ara entegre devre (I^2C – Inter-Integrated Circuit) seri veri yoluna sahiptir. Ek olarak, MPU6050, karmaşık hareket izleme algoritmalarını uygulamak için bir kontrol işlemcisi ile kullanılabilir. MPU6050, ±2g, ±4g ve ±8g aralığında ivmenin yanı sıra ±250°/s, ±500°/s ve ±1000°/s aralığında açısal hızları ölçebilir [43]. Gerçekleştirilen sistemde ASM'un titreşimini ölçmek için kullanılmıştır. MPU6050 teknik özellikleri Tablo 3.6'da ve genel görünümü Şekil 3.9'da verilmiştir.

Tablo 3.6. MPU6050 teknik özellikleri

Özellik	Değer
Besleme gerilimi	3-5 V
Pin sayısı	24 pin
Seri arayüz desteği	6 veya 9 eksenli I^2C
Üç eksenli açısal oran sensörü (cayro)	Var
Üç eksenli ivmeölçer	Var
Dijital hareket işleme	Var
Çalışma sıcaklığı	–40°C ~ +85°C



Şekil 3.9. MPU6050 entegresi [44]

3.1.8. DS1302 Zamanlayıcı Entegresi

DS1302 entegresi zaman işlemlerinde kullanılan elektronik bir komponenttir. Bu yapılan sistemde zaman değerinin belirlenmesi için kullanılmıştır. Gerçek zaman saati (RTC – Real Time Clock); saniye, dakika, saat, ayın günü, ay, haftanın günü, dört yılda bir olan artık yıllı değerleri 2 bin 100 yılına kadar tutmaya yarar. Sekiz bitlik 31 tane genel amaçlı rastgele erişimli bellek (RAM – Random Access Memory) bulundurur. Entegre üzerinde seri haberleşme için I/O vardır. Gerçekleştirilen sistemde DS1302Z serisi yüzeye montaj yapılabilen entegre kullanılmıştır. Bu entegrenin zaman başlama işlemlerinin olması için 32 kHz'lik kristal osilatör bağlanması gerekir. Ayrıca enerji kesilmelerinde zamanın devam etmesi için 2 V DC pil bağlantısı yapılır. Toplamda üç pin ile MCU haberleşmesini gerçekleştirir. Gün bilgisini 24 saatlik veya 12 saatlik MCU'ya gönderme seçeneği barındırır. MCU ile USART iletişimi kurar. DS1302Z RTC teknik özellikleri Tablo 3.7'de ve genel görünümü Şekil 3.10'da verilmiştir.

Tablo 3.7. DS1302Z RTC teknik özellikleri

Özellik	Değer
Besleme gerilimi	2,0-5,5 V
Pin sayısı	8 pin
Zaman için kristal gereksinimi	32 kHz
RAM	31 Byte
SPI, USART, I^2C haberleşmesi	USART
I/O sayısı	1
Pasif modda çalışırken düşük güç harcaması	2 V'ta 300 nA'den daha az
Çalışma sıcaklığı	–40°C ~ +85°C



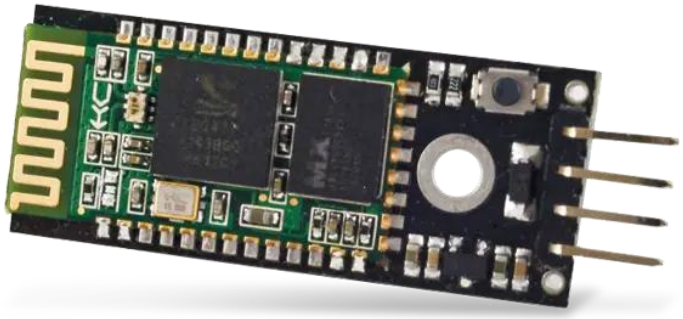
Şekil 3.10. DS1302Z RTC [45]

3.1.9. HC-06 Bluetooth Modülü

MCU ve mobil iletişim cihazı arasındaki haberleşmeyi sağlamak için Arduino/HC-06 marka/modül bluetooth haberleşme modülü kullanılmıştır. Bu modül kısa menzilli bir kablosuz veri aktarım modülüdür. Bluetooth 2.0 iletişim protokolü üzerinden çalıştırılmıştır. Diğer cihazlarla etkileşimi önlemek için frekans atlamalı yayılı spektrum tekniğini (FHSS – Frequency Hopping Spread Spectrum Technique) kullanarak yalnızca bağımlı bir cihaz olarak hareket edebilir [46]. Dört tanesi arabirim için ve iki tanesi güç ve toprak bağlantıları için olmak üzere altı pine sahiptir. Güç tüketimi açısından, çalışması için çok az enerji gerektirir. Modül, maksimum 100 m menzil ile kısa menzilli kablosuz iletişim için idealdir. Ayrıca, arayüzü düzenlemesi ve iletişim kurması çok kolaydır. HC-06 bluetooth modülü teknik özellikleri Tablo 3.8'de ve genel görünümü Şekil 3.11'de verilmiştir.

Tablo 3.8. HC-06 bluetooth modülü teknik özellikleri

Özellik	Değer
Besleme gerilimi	3,3 V
Pin sayısı	5 pin
Varsayılan baud hızı	9600, 8, 1, n
Anten	Dahili
Kapsama alanı	30 fit
Bluetooth sürümü	V2.0 + EDR
Çalışma sıcaklığı	–40°C ~ +85°C



Şekil 3.11. HC-06 bluetooth modülü [47]

3.1.10. Devre Tasarım Yazılımı

Sistemin tasarlanması için KiCad yazılımı kullanılmıştır. KiCad elektronik devrelerin ve PCB şemalarını tasarlamak için tercih edilen açık kaynaklı bir elektronik tasarım otomasyonu yazılım paketidir [34]. KiCad Developers Team tarafından geliştirilmiş ve piyasaya sürülmüştür. Elektronik mühendisleri ve meraklıları için en popüler ücretsiz kullanım imkanı sunan yazılımdır. KiCad, şematik yakalama, kitaplık ve sembol yönetimi, malzeme listesi, ağ listeleme, 3B görüntüleyici ve daha fazlası gibi çok çeşitli özellikler içerir [48].

KiCad'in kullanımı kolay, güvenilir ve Windows, Linux ve macOS dahil olmak üzere birçok işletim sisteminde kullanılabilir. Ayrıca, kullanıcıların entegre betik dili kullanarak tasarımları özelleştirmelerine olanak tanır. KiCad, karmaşık elektronik şemalar ve panolar tasarlamak için kapsamlı bir araç seti sağlar ve bu onu elektronik mühendisleri ve meraklıları için ideal bir seçim haline getirir.

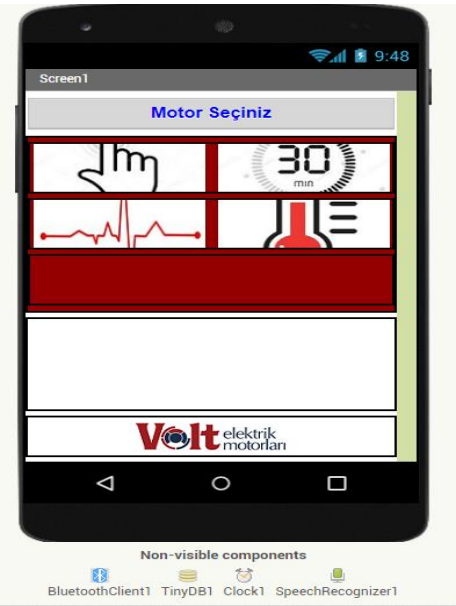
3.1.11. Yazılım Tasarım Programı

Arduino IDE, Arduino platformuna dayalı dijital cihazları programlamak için kullanılan açık kaynaklı, platformlar arası bir geliştirme ortamıdır. Bir metin düzenleyici, bir derleyici ve bir hata ayıklayıcı içeren entegre bir geliştirme platformu imkanı sunar. Çeşitli MCU türlerinin yanı sıra çok çeşitli iletişim protokolleri ve sensörleri destekler. Otomasyon, robotik, IoT ve ev otomasyonu ile ilgili projeler için idealdir.

Arduino IDE ile kullanıcılar MCU'lara bağlı donanımları kontrol etmek için kod yazabilir, gerçek zamanlı uygulamalar oluşturabilir. Butonlar, sensörler, ışık yayan diyotlar (LED – Light Emitting Diode) ve likit kristal display (LCD – Liquid Crystal Display) ekranlar gibi etkileşimli bileşenlerle performanslı projeler oluşturabilirler. Seri, I^2C, SPI ve bluetooth haberleşmeleri dahil olmak üzere çeşitli iletişim türlerini destekler. Ayrıca Arduino, Raspberry Pi ve BeagleBone gibi çok çeşitli platformları desteklemektedir [49].

3.1.12. Cep Telefonu Aplikasyon Tasarım Programı

Gerçekleştirilen sistemde ASM'un çalıştırılıp durdurulması için mobil haberleşme cihazı kullanılmıştır. Ayrıca kestirimci bakım uyarıları bu telefona yapılan yazılım vasıtası ile gelmiştir. MIT App Inventor, Android cep telefonu uygulamaları için açık kaynaklı, görsel bir programlama ortamıdır [50]. Grafik bloklarını çalışma alanına sürükleyip bırakarak kullanıcıların önceden programlama bilgisi olmadan karmaşık uygulamalar oluşturmasına olanak tanır. Şekil 3.12'de geliştirilen yazılımın arayüzü verilmiştir.

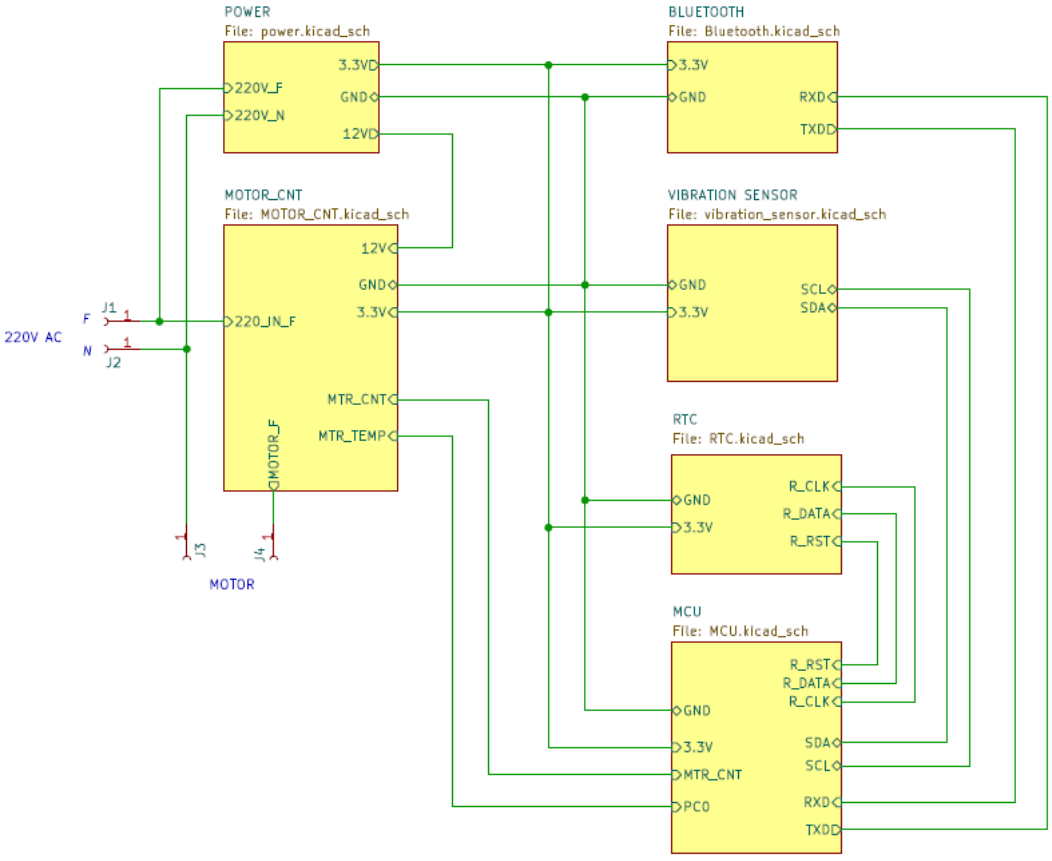


Şekil 3.12. Geliştirilen yazılımın mobil arayüzü

Hem yeni başlayanlara hem de deneyimli geliştiricilere yöneliktir. Küçük uygulama prototiplerinden tam üretim düzeyinde, profesyonel düzeyde uygulamalara kadar her şeyi geliştirmek için kullanılabilir. App Inventor, Android 2.3 (Gingerbread) veya sonraki sürümleri çalıştıran cihazlarla uyumludur. Hatta kullanıcıların bir web tarayıcısı aracılığıyla geliştirme ortamına bağlanmasına olanak tanır. App Inventor, MIT'deki bir açık kaynak ekibi tarafından geliştirilerek yaygın olarak kullanılabilir ve kullanımı kolay hale gelir. Ayrıca, kullanıcıların uygulamaları diğer kullanıcılarla kolayca paylaşmasına olanak tanıyarak onu hem amatörler hem de profesyonel geliştiriciler için ideal bir platform haline getirir.

3.2. Yöntem

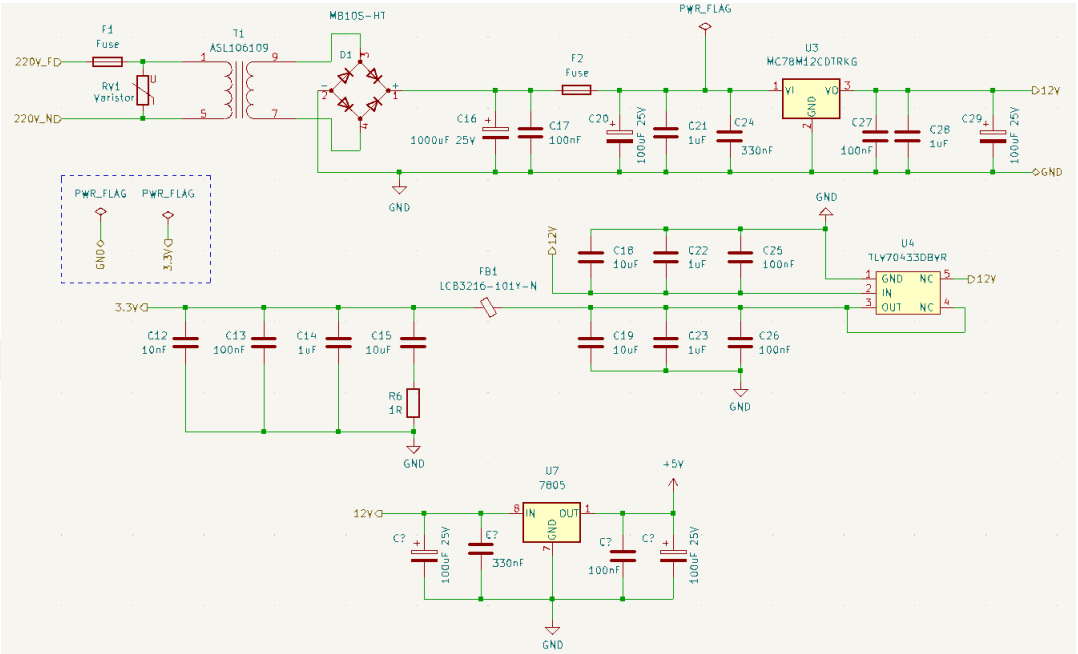
Çalışmanın ana amacı ASM kestirimci bakımlarına yönelik titreşim ve sıcaklık verilerini alarak bu verileri SML algoritması ile kontrol eden ve bir harici cihazla haberleşerek kullanıcının ilgili verileri kolaylıkla kontrol edebilmesini sağlayan bir sistemi kurmaktır. Bunun ile birlikte gerektiğinde operatöre gelen uyarılara bağlı olarak ASM'un kontrol edebilmesine imkân veren özelliklerin oluşturulmasıdır. Bu amaçları gerçekleştirmek için Şekil 3.13'teki sistem bağlantı yapısı yukarıda detayları verilen materyaller ile oluşturulmuştur. Bu sistemde ASM'a 220 V AC gelmiştir. Bu gerilim güç katında istenen gerilim değerlerine düşürülmüştür. Daha sonra bu gerilimler Bluetooth, titreşim sensörü, RTC ve MCU'ya verilmiştir. Buradaki MCU tüm sistemin kontrolünü sağlayan birim olarak SML algoritmasının ve diğer kontrol algoritmalarının bulunduğu birimdir. Bu birimlerin bağlantıları ve ilgili açıklamalar takip eden bölümlerde verilmiştir.



Şekil 3.13. Sistem bağlantısı

3.2.1. Güç Katı

Şekil 3.14'te gösterilen devrede 220 V AC şehir şebekesi gerilimi 12 V, 5 V ve 3,3 V DC gerilim değerlerine dönüştürülmüştür.



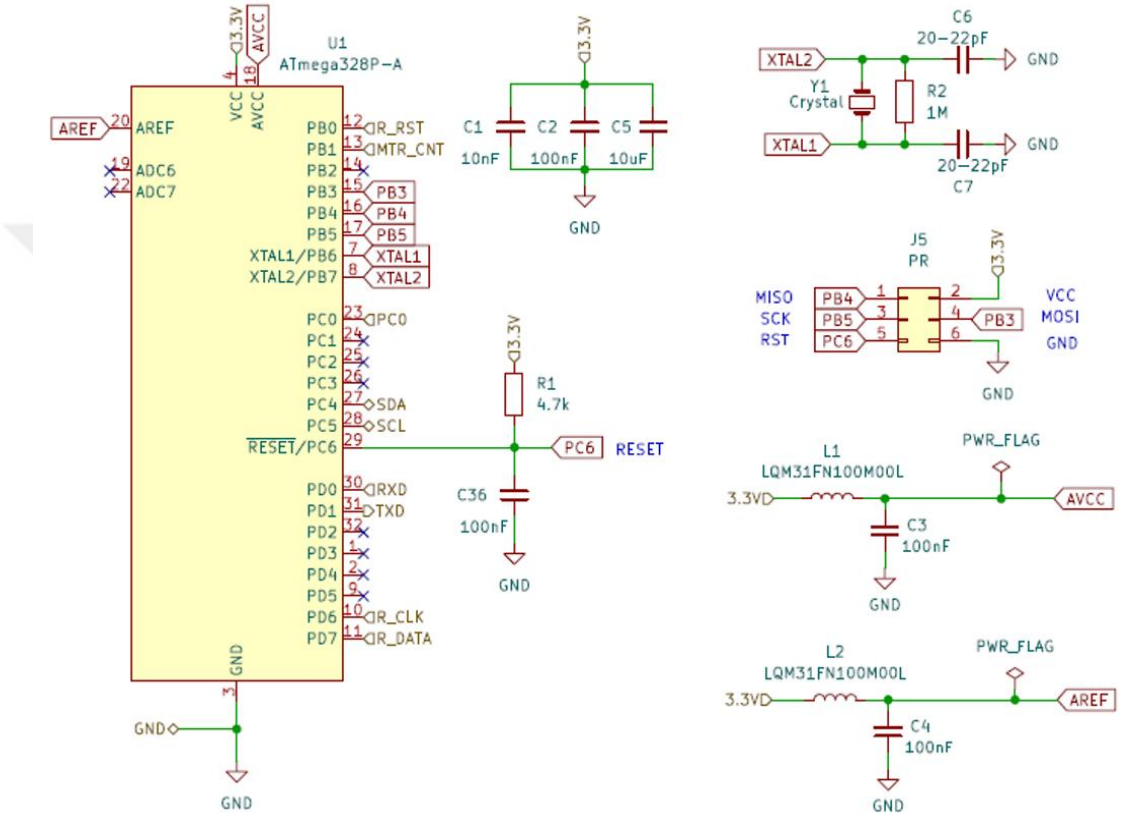
Şekil 3.14. AC-DC güç çevirici birimi

Devrenin güç ihtiyacını sağlayacak 2,6 VA transformatör ile 220 V AC değeri 12 V AC'ye düşürülmüştür. Sonrasında ise bir köprü diyot bağlantısı ile AC gerilim doğrultulmuş ve filtre edildikten sonra MC78M12CDTRKG entegre girişine gerilmiştir. Bu entegre ile DC-DC gerilim regülasyonu yapılmıştır. Bunun ile regüleli 12 V DC gerilim elde edilmiştir. Aynı zamanda 12 V DC gerilim değeri TLV70433DBVR gerilim regülatörü ile 3,3 V DC saat modülü ve MCU'nun beslenmesi sağlanmıştır. Ek olarak, 12 V DC gerilim değeri 7805 entegresi ile 5 V DC değerine regüle edilerek Bluetooth modülünün beslenmesi sağlanmıştır.

Elektronik elemanları istenmeyen gürültülerden korumak için FB1 ferrit boncuk, C12-15 kondansatörleri ve R6 direnci ile birlikte filtrasyon yapılarak 3,3 V DC ve 5 V DC besleme gerilimleri sağlanmıştır. Böylece gerilim dalgalanmalarının en aza indirilmesi başarılmıştır.

3.2.2. Atmega328P Mikroişlemci Katı

Sistemde Atmel ailesine ait Atmega328P genel MCU kullanılmıştır. ASM'un SML algoritması ile kestirimci bakımlarının kontrolünün yapılması, sıcaklık yorumlaması, titreşim yorumlaması ve haberleşme bu MCU üzerinden sağlanmıştır. Atmega328P bağlantısı Şekil 3.15'te verilmiştir.



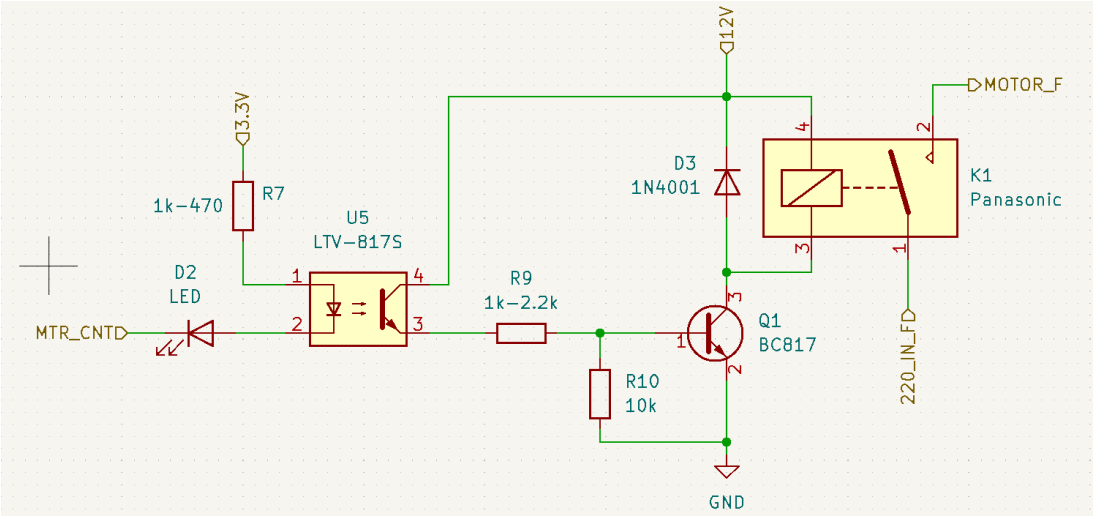
Şekil 3.15. Atmega328P bağlantıları

Sistemde sıcaklık kontrolü için Atmega328P MCU'nun A0 analog giriş pini kullanılmıştır. Sıcaklık sensöründen gelen analog veriyi MCU içinde anlamlandırarak sıcaklık değerinin hangi değerde olduğu yazılan Android yazılım ile mobil cihaza iletilmiştir. Bu MCU ve cep telefonu haberleşmesi bluetooth üzerinden gerçekleştirilmiştir. Haberleşme için MCU'nun TX-RX haberleşme pinleri kullanılmıştır. Rölenin kontrol edilmesi ve bunun ile motorun çalıştırılıp durdurulması D9 dijital pini vasıtası ile yapılmıştır.

3.2.3. Röle Devresi

ASM'un kontrolünün sağlanarak gerekli durumlarda açılıp kapatılması için 12 V ile beslenen röle kullanılmıştır. Bu rölenin doğrudan MCU'ya bağlanması mümkün değildir. Çünkü bu bobinli elemanlar devreden fazla akım çekerler MCU'nun gücü bunu çalıştıramaz. MCU'nun dijital output pininden gelen 3,3 V sinyal, güç devresi ile optik izolasyonu sağlayan LTV817 optokuplörden geçirildikten sonra BC817 transistör yardımıyla 12 V anahtarlama yapılarak 12 V rölenin çalıştırılıp durdurulması başarılmıştır. Atmega328P entegresinin PB1 nolu pini Lojik-0 yapıldığında U5 optokuplörün LED'i yanarak içindeki transistör bir anahtar gibi davranmış ve Q1 transistörünün polarması gerçekleştirilmiştir. Optokuplördeki LED sinyalin olup olmadığı hakkında bilgi alınmasında oldukça kullanışlı olmuştur.

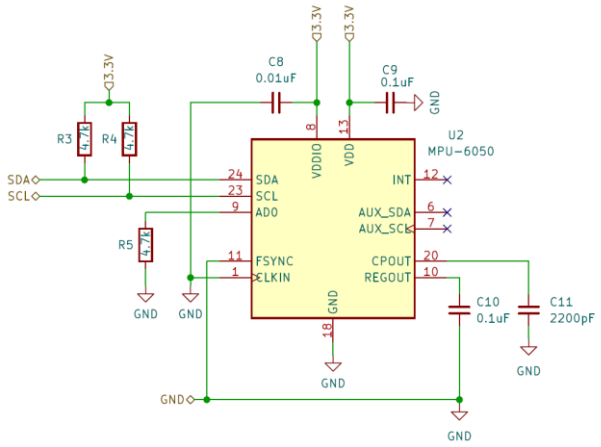
Rölenin çalıştırılmasında oluşan bazı riskler vardır. Bunlardan biri röle bobinlerinde zıt elektro motor kuvvetten (emk) dolayı dolayı oluşan ters gerilimdir. Bunu sönümlemek içinde D3 diyotu devreye ters bağlanmıştır. Genel olarak optokuplör kullanılmasının amacı optik izolasyonun sağlanmasıdır. Bu izolasyon güç katı ile kontrol katını birbirinden ayırır. Böylece güç katında aşırı akımdan kaynaklanan bir arıza olduğunda kontrol katı bundan etkilenmez. Transistörün beyzinde bir gerilim dengesizliği olmaması için R10 direnci bağlanmıştır. Rölenin bağlantısı Şekil 3.16'da verilmiştir.



Şekil 3.16. Röle devresi

3.2.4. Titreşim Sensörü

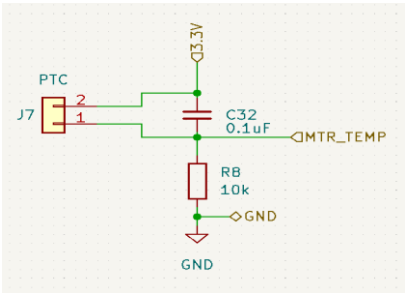
ASM titreşimini ölçmek için kullanılan MPU6050 ivmeölçer sensörün bağlantısı Şekil 3.17'de verilmiştir. Bunun beslemesi 3,3 V ile yapılmıştır. Bu sensör sayesinde motorun titreşim verileri sekiz bit dijital sinyal olarak MCU'ya iletilmiştir. Bu MCU'da SML algoritması ile anlamlandırılan veri Android uygulamaya aktarılmıştır. Burada X, Y ve Z ekseninde ilk olarak veri SML algoritması ile öğretilmiştir. Öğrenilen veri dijital olarak toleranslar dahilinde sürekli karşılaştırmaya tabi tutularak geri dönüş vermiştir.



Şekil 3.17. Titreşim sensörü bağlantısı

3.2.5. Sıcaklık Sensörü

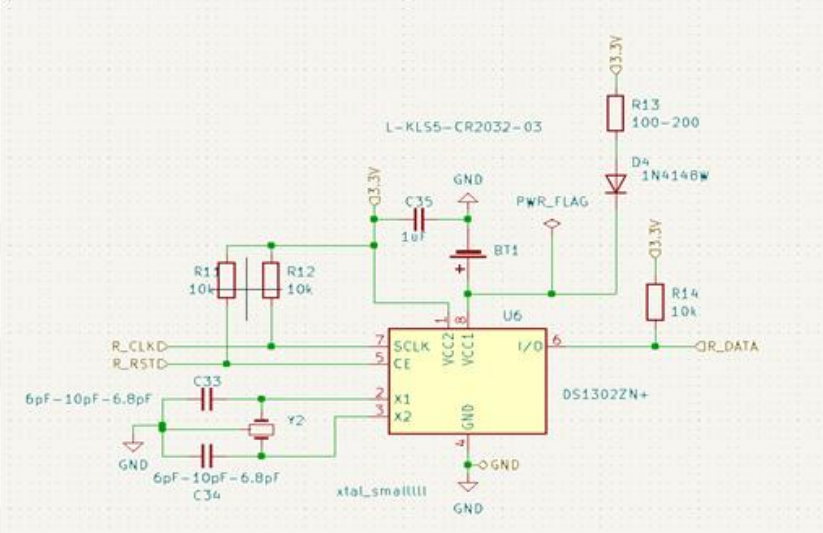
Şekil 3.18'de gösterildiği gibi çalışmakta olan motor ısısını PTC yardımı ile okumak için gelen veri Atmega328P entegresinin PC0 pini ADC giriş olarak PTC'nin üzerindeki ısı okunur.



Şekil 3.18. Sıcaklık sensörü devresi

3.2.6. Gerçek Zamanlı Saat Devresi

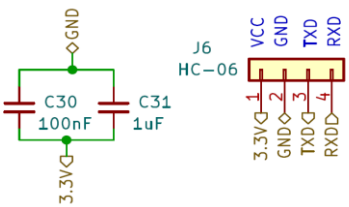
Şekil 3.19'daki devre, tasarlanan bu sistem için RTC devresi olup saat bilgisini anlık ve sürekli olarak okumak için kullanılmıştır. Devredeki kullanım amacı belirli sürelerde çalışıp durma veya verinin zamanını belirlemek içindir. Seri olarak SCLK pini üzerinden sürekli olarak çıkış alınmıştır.



Şekil 3.19. Gerçek zamanlı saat devresi

3.2.7. Bluetooth Modülü

Haberleşme için HC-06 bluetooth modülü 5 V DC ile beslenmiştir. Şekil 3.20'de bağlantısı verilmiştir. RXD, TXD bacakları üzerinden MCU ile haberleştirilmiştir. MCU'dan aldığı veriyi Android uygulama üzerinden telefona aktarmıştır. Aynı durum çift yönlü olarak MCU'ya veri beslemesi olarak geri döndüğünden çift yönlü haberleşme yapılmıştır.



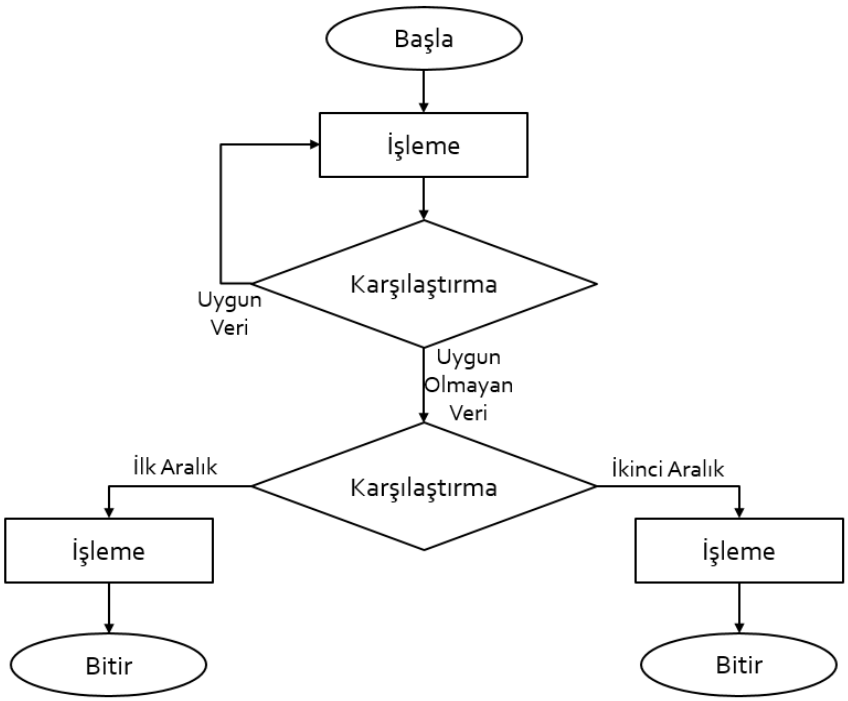
Şekil 3.20. Bluetooth modül bağlantısı

3.2.8. Denetimli Makine Öğrenmesi Uygulaması

Gerçekleştirilen çalışmada SML algoritmasındaki ilk adım sağlam bir ASM'un verilerini elde etmektir. Bu veriler etiketlenmeli ve MCU tarafından kolayca okunabilecek bir formata getirilmelidir.

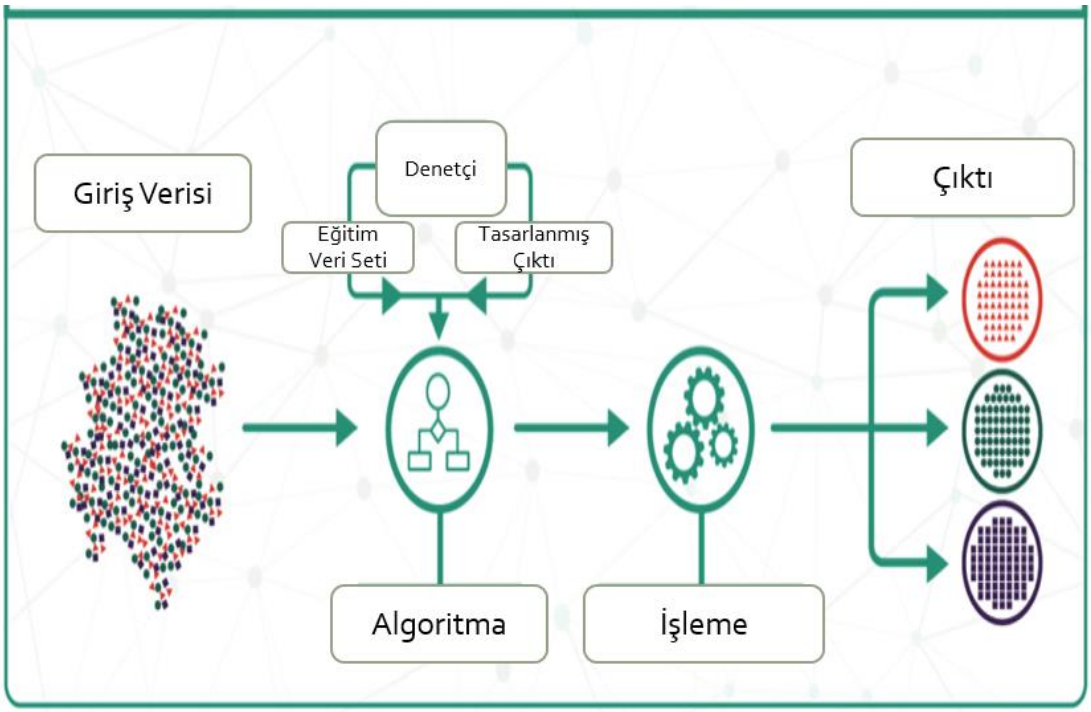
ASM titreşim ve sıcaklık verilerini toplamak için bir MPU6050 titreşim sensörü ve PTC termistörü kullanılmıştır. Bu titreşim sensörü X, Y, Z eksenlerinde çok sayıda titreşim frekansını algılamak üzere tasarlanmıştır ve titreşim kalıplarını algılamak üzere MCU'ya programlanabilen eşlenmiş bir veri seti sağlamıştır. Sıcaklık sensörü verileri analog olarak algılanmıştır. Bu analog sinyal ADC'ye tabi tutularak dijital değerler olarak işlenmiştir.

Algoritma Şekil 3.21'de olduğu gibi çalıştıtılmıştır. İlk olarak sistem başlangıçtan sonra öğrenme süreci başlatılmıştır. Devamında karar verme sürecinin çıktısına göre ya sistem çalışmaya devam edecek ya da uyarı verecek şekilde ayrıma giderek ilerlemiştir.



Şekil 3.21. Sistem Algoritması

SML'nin öğretilmesi ve çalıştırılması Şekil 3.22'de verilmiştir. Ham giriş verisi bir denetçi tarafından sürekli olarak karşılaştırmaya tabi tutularak işlenmekte ve çıktı olarak verinin sınıflandırılması sağlanmaktadır.



Şekil 3.22. Denetimli makine öğrenmesi

Elde edilen verilerin değerlendirilmesi, yorumlanması ve karşılaştırılması Atmega328P MCU'suna yazılan SML yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. MCU ile haberleşme tek kanal üzerinden sağlanmıştır. Verilerin toplanması için ilk olarak MCU'ya beş bitlik önceden belirlenen sabit bir değer gönderilmiştir. Bu değer sayesinde mevcut titreşim verileri için öğrenme başlamıştır. Belirli bir süre boyunca alınan veriler EEPROM alanında tutulmuştur. Bu alana yazmanın bitirilmesi ve öğrenmenin sonuçlandırılması için yedi bitlik sabit değer gönderilmiş ve sağlıklı bir ASM için titreşim verileri kaydedilmiştir.

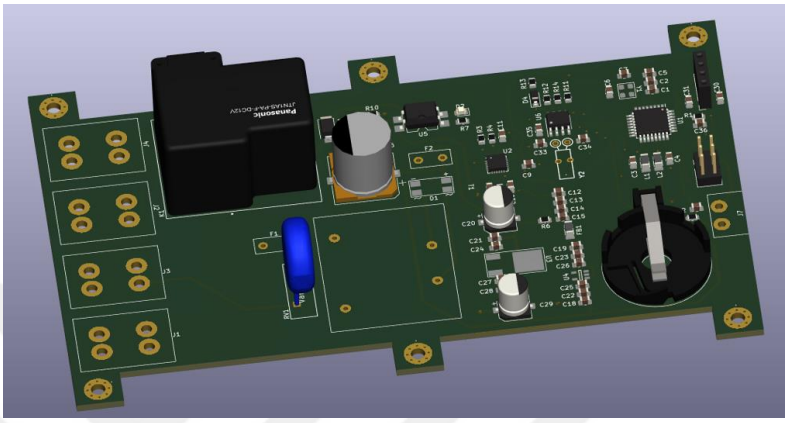
Sıcaklık verileri için ASM'ların kullanıldıkları yerler dikkate alınarak Volt Elektrik A.Ş. uzman kişi bilgisine başvurulmuştur. Bu uzmanın verdiği sıcaklık değerleri SML algoritmasına girilmiştir. Verilen sıcaklık değerini SML algoritması karşılaştırma değeri olarak kabul etmiştir. Öğretilen titreşim ve sıcaklık verileri sağlam bir ASM'un verileri olarak SML tarafından değerlendirilmiştir.

Sağlam ASM'un titreşim verileri EEPROM'a kaydedilirken titreşim verisine ait değer 0 ile 17500 G olacağından dolayı veriler sekiz bitlik kaydırmaya tabii olarak toplanmıştır. Kaydedilen veriler standart titreşim verisi olarak değerlendirilmiştir. Sıcaklık verilerinde EEPROM veri alanı kullanılmıştır. Böylece ASM'un kullanıldığı alan dikkate alınarak silinmeyen veriler oluşturulmuştur. ASM yapısı gereği her sektörde kullanılmakta ve farklı değer aralıklarında titreşim göstermektedir. Bu durumda, titreşim verilerinin bir değer aralığına eşlenmesini içeren veriler normalleştirilmiştir. Böylece verilerin MCU tarafından okunması ve anlaşılması kolaylaştırılmıştır. Veriler işlendikten sonra, SML modelini eğitmek için kullanılmaya hazırlanmıştır. Bu, gelecekteki sonuçları doğru bir şekilde tahmin etmek için kullanılabilecek bir model üretecek olan destek vektör makinesi gibi bir algoritma kullanılarak yapılmıştır [51].

Destek vektör makine algoritması eğitim verilerindeki herhangi bir noktadan bu noktaya en uzak iki tane noktanın arasında bir sınır değeri bulan makine öğrenim yöntemidir. Bu algoritma ile doğrusal veya doğrusal olmayan verilerin sınıflandırması yapılabilir. Bunun ile birlikte destek vektör makine algoritması çok verili girdileri sınıflandırması ile bir avantaj sağlar. Bu algoritma genelde iki veri grubunun sınıflandırılması için elverişlidir. Bu iki veri grubundan birine veriyi yazamaz ise bu algoritma bu alınan veri için işlevsiz olur. Bu algoritmada sınıflandırma için bire çok yaklaşımı ve bire bir yaklaşımı tercih edilebilir. Bu gerçekleştirilen çalışmada bire bir destek vektör algoritması yaklaşımı kullanılmıştır. Bunun için program içerisinde bir döngü oluşturulmuştur. Model eğitildikten sonra, tahminlerde bulunmak için kullanılabilir duruma gelmiştir. Eğitilen SML algoritması tahminlerde bulunmak için kullanılabilir duruma getirildikten sonra sisteme ait titreşim verileri üç eksene ait ilk olarak %20 aralık dışında karşılaştırma yapılmıştır. Daha sonra farklı bir değer olarak %40 aralık dışındaki nominal değere göre karşılaştırma gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla sistem sürekli olarak gelen titreşim sinyalini öğrenilmiş sinyalle karşılaştırarak herhangi bir sapma durumunda sapma oranına bağlı olarak değer döndürmüştür. Döndürülen değer eğer 1 ise normal durumunun devam ettiği bilgisi, eğer döndürülen değer 12 ise arıza öngörülen çalışma bilgisi ve son olarak 123 ise arıza oluşmuş bilgisi oluşturularak acil bakım gerektiren bir çalışma titreşim bilgisini MIT APP aracılığıyla mobil kullanıcıya SML algoritmalı MCU iletmiştir.

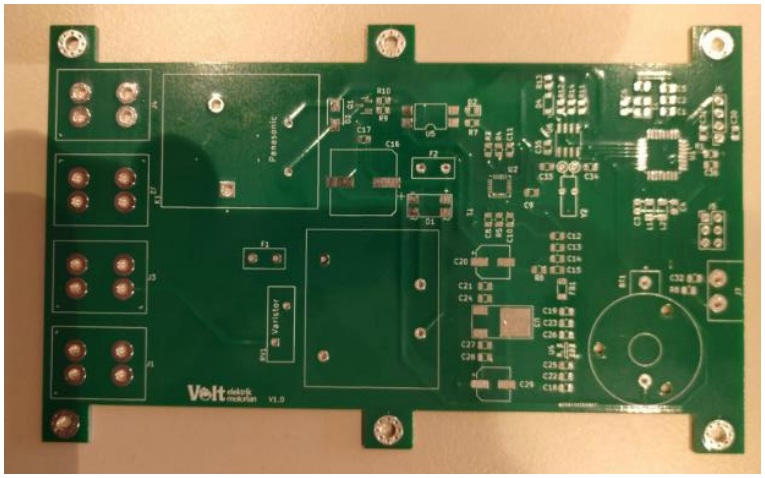
3.2.9. Devrenin Baskı Devre Tasarımı

Devre tasarımında KiCad programı kullanılmıştır. Şemaya ait pin bağlantıları yapılmış ve buna bağlı olarak devrenin Şekil 3.23'deki üç boyutlu görünümüne ulaşılmıştır.



Şekil 3.23. Devrenin üç boyutlu görünümü

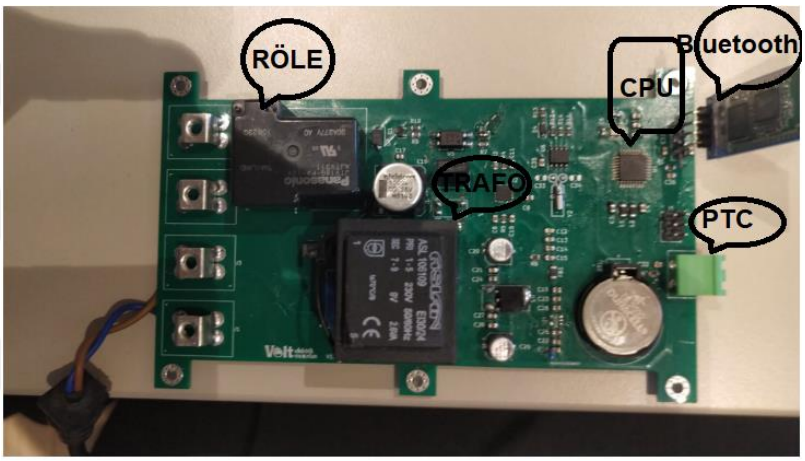
Daha sonra bu şemanın yine KiCad yardımıyla PCB şeması çizdirilmiştir. Çizdirilen şema baskı devre olarak çıkarılmış olup yüzey montaj tasarımı (SMD – Surface Mount Devices) malzemeleri tedarik edilerek sistemin üretimi gerçekleştirilmiştir. Dizilmemiş PCB Şekil 3.24'de gösterilmiştir.



Şekil 3.24. Dizilmemiş PCB

3.2.10. Tasarımı Yapılan Kartın Dizgisi ve Montajı

Kart dizgisi için ilk olarak KiCad çıktısı kart baskısı gerçekleştirilmiş ve buna maskeleme işlemi yapılmıştır. Devamında ise kullanılan malzemeler genellikle SMD olduğundan dolayı sıcak hava, DIP kılıflı malzemeler ise havya yardımıyla lehimlemesi gerçekleştirilmiştir. Burada özellikle hem sıcak hava hem de havya hassas olarak seçilmiştir. Elemanlar yaklaşık 370°C sıcaklığa maruz kalmıştır. Dolayısıyla burada hızlı olmak malzeme bozulmasını engellemek açısından önemli olmuştur. Dizilmiş kart Şekil 3.25'te verilmiştir.



Şekil 3.25. Elemanları yerleştirilmiş PCB

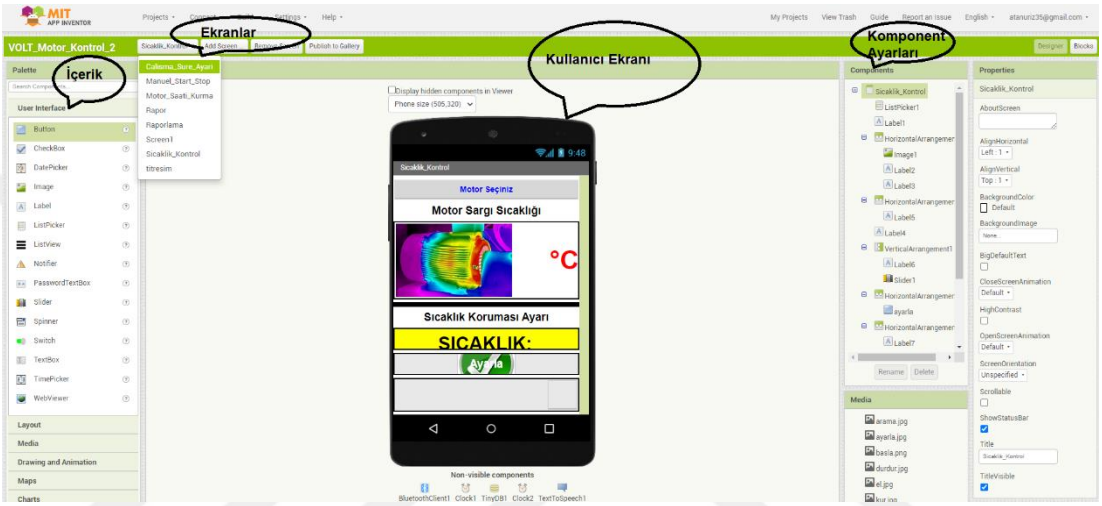
Son aşamada ilgili MCU programlanmış ve sistem tek fazlı bir ASM içerisinde klemens kutusuna Şekil 3.26'daki gibi yerleştirilmiştir.



Şekil 3.26. Sistemin ASM klemens kutusuna yerleşimi

3.2.11. Mobil Ekran Tasarımı

Sistemin donanım tarafı hazırlandıktan sonra operatörün kullanacağı yazılım kısmı MIT APP INVENTOR üzerinde gerçekleştirilmiştir. Burada sürükle bırak olarak işlemler seçilmiş ve gerekli bağlantılar sağlanmıştır. Sonrasında oluşturulan programın yüklenmesi cep telefonuna yapılarak kontrol işlemleri gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Şekil 3.27'de MIT APP INVENTOR tasarım ekranı verilmiştir.



Şekil 3.27. MIT APP INVENTOR tasarım ekranı

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Gerçekleştirilen SML tabanlı ASM kestirimci bakım sistemi bir fazlı 1,5 kW'lık bir ASM üzerinde uygulanmıştır. İlk olarak bir fazlı ASM'un normal çalışma şartları titreşim ve sıcaklık çalışma bilgileri SML'ye öğretilmiştir. Daha sonra bir fazlı ASM farklı sıcaklık ve titreşim koşullarında çalıştırılmıştır. Bu farklı giriş koşullarına göre SML tabanlı ASM kestirimci bakım algoritmasının çıkışları gözlemlenmiştir.

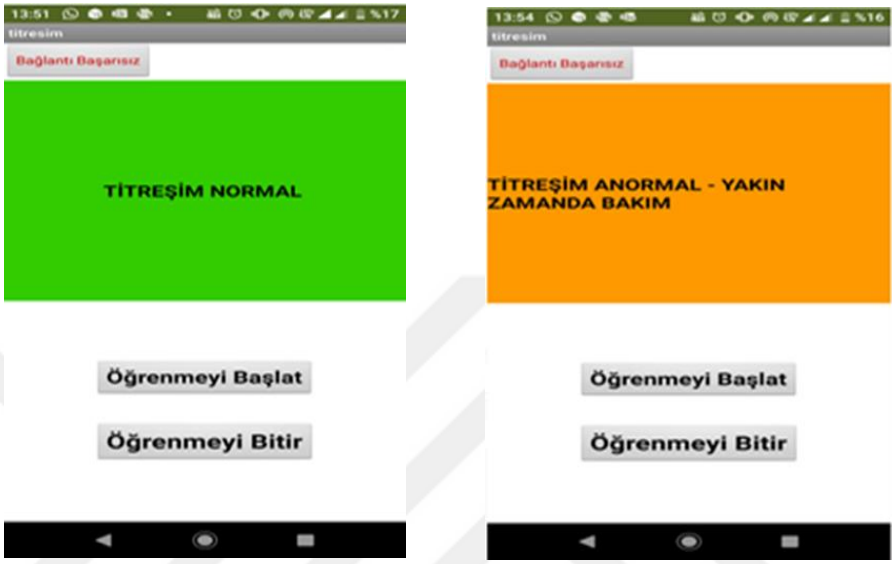
Bir fazlı ASM'un normal çalışma sıcaklığı test amaçlı olarak 50°C değerine ayarlanmıştır. Bu sıcaklık çalışma koşulu için sistem cep telefonu üzerinden MIT APP ile ayarlanmış ve mikrodenetleyici programlanmıştır. Daha sonra sistem çalıştırılmıştır. Sistemdeki sıcaklığı algılayan PTC'nin yanına bir sıcaklık kaynağı yaklaştırılarak sistemin sıcaklığı 90°C değerine çıkarılmıştır. Bu durumda ATmega MCU hemen kullanıcıya HC-06 iletişim cihazı ile bir uyarı göndermiştir. Bu uyarı sonucunda sistem otomatik olarak kapatılmıştır. Uyarı ekranı Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. ASM sargı sıcaklığı ekranı

Bir sonraki aşamada SML tabanlı ASM kestirimci bakım sistemine bir fazlı ASM'un titreşim bilgileri öğretilmiştir. Bu bilgiler öğretim esnasında EEPROM belleğe kaydedilmiştir. Bu değerler nominal değerler olarak kaydedilmiş ve %20 üzerindeki titreşim değerlerinde ASM bakım sistemi uyarısı olarak sisteme öğretilmiştir. Bu öğretilen verilerin kodları EK-A'da verilmiştir.

Bunlar öğretildikten sonra ASM'a vektörel yönde + ve – yönlü kuvvetler uygulanmıştır. Sonucunda ise mevcut G değerlerinin dışına çıkıldığından dolayı sistem uyarısı bluetooth iletişimi ile operatöre iletilmiştir. Bu durumda motor çalışmaya devam etmiş meydana gelen operatör uyarı ekran görünümü Şekil 4.2'de verilmiştir.



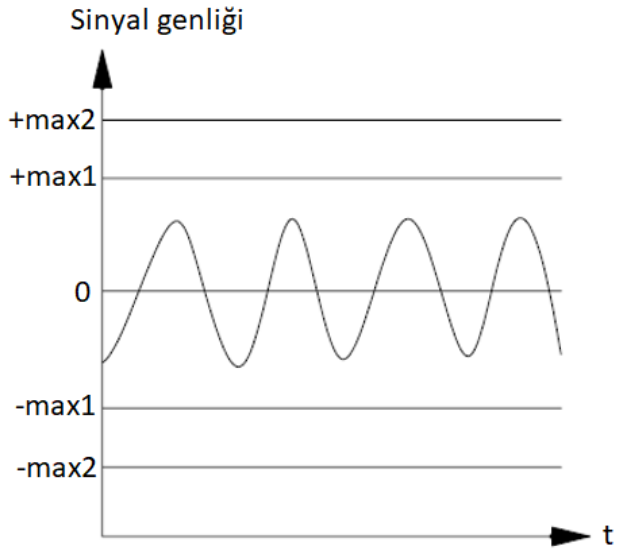
Şekil 4.2. ASM titreşim ekranı

Bir sonraki aşamada ise titreşim bilgilerinin %40 sınır dışına çıktığı durum simüle edilmiştir. Bu aşamadan itibaren ASM artık hataya geçmiş ve acil bakım uyarısını kullanıcıya iletmiştir. Ekran görünümü Şekil 4.3'te verilmiştir.



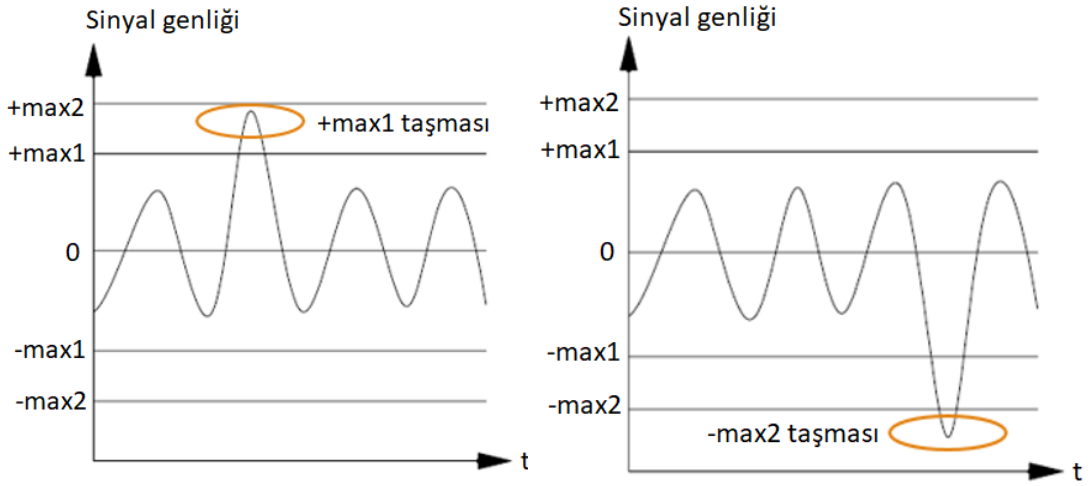
Şekil 4.3. ASM titreşim sinyali uyarısı mobil ekran görünümü

Burada yapılan işlemde ilk olarak Şekil 4.4'teki gibi bir titreşim verisi öğretilmiştir. Bu titreşimin bu şekilde öğretilmesinin sebebi motorun kullanılacağı sektör nedeniyledir.



Şekil 4.4. ASM bulunduğu ortamın titreşim sinyali

Diğer titreşim verilerinde motora uygulanan eksenel yöndeki kuvvetler nedeniyle Şekil 4.5'teki gibi görüleceği üzere belirlenen sınır değerlerinin dışına çıkmasıyla birlikte sistem kullanıcıya uyarı vermiştir.



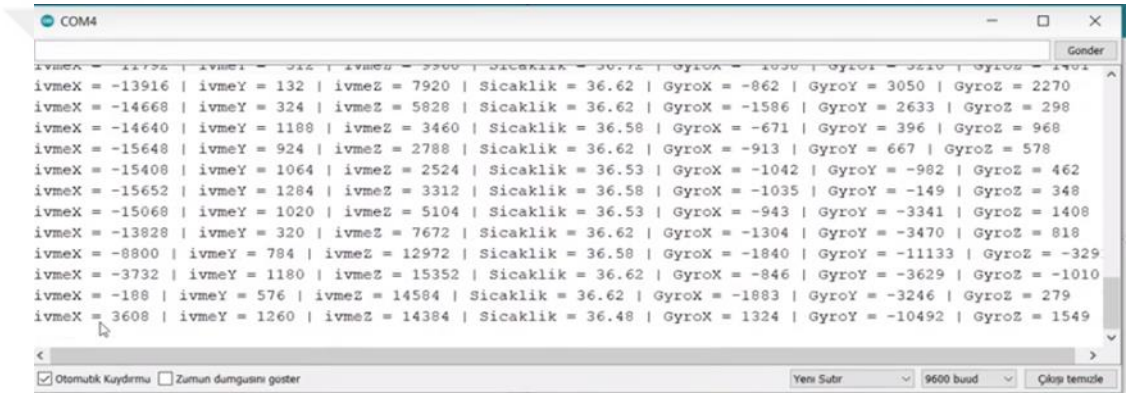
Şekil 4.5. ASM titreşim ekranı

Gerçekleştirilen sistemde oluşturulan prototip kartın bir ASM üzerinde bağımsız bir şekilde çalışması hedeflenmiştir. Tasarlanan sistemin ASM ile birlikte ticari olarak sunulabilecek yapıda olması için besleme gerilimi ASM üzerinden alınmıştır. Bu nedenle giriş olarak sağlanan 220 V AC geriliminin DC'ye dönüşmesi için ilk olarak 12 V AC'ye indirilmesi gerekmiştir. Tam dalga doğrultucudan geçirildikten sonra DC gerilim regülatörleri ile ihtiyaç duyulan 12 V, 5 V ve 3,3 V DC gerilimleri elde edilmiştir. Genel olarak dönüşümde AC-AC, AC-DC, DC-DC ve ADC çevrimleri yapılmıştır. Çünkü sistemde analog veriler alınıp bunların dijital ortamda işlenip kullanıcı bilgisine sunulmuştur. ADC işleme ve anlamlandırma olacağı için transformatörlerden sensörlere kadar sistemin tasarımında elektronik tasarımların rolü en iyi performans için uygun bileşen seçimi, kablolama ve programlama olarak önemli olmuştur.

Güç katında D1 MB105-HT köprü diyotunun giriş gerilimi yaklaşık 13 V AC olmuştur. Bu gerilim doğrultma diyotlarından geçtikten sonra, iki diyottaki 0,7 V gerilim düşümü dikkate alınmıştır. Bunun çıkış gerilimi 18,2 V DC gerilime doğrultulmuştur. Köprü diyot çıkışındaki yukarı yönlü yarım sinüs dalgalarını regüle etmek için C16, C17 ve C20 kondansatörleri kullanılmıştır. Bu kondansatörlerin çıkışında 18,2 V DC gerilim görülmüştür. Elektronik ekipmanlarda ASM'un çalışacağı çevre koşulları göz önünde bulundurularak X7R kapasitörler tercih edilmiştir. Bu kapasitörler -55°C ve +125°C derece arasında çalışabilmektedir.

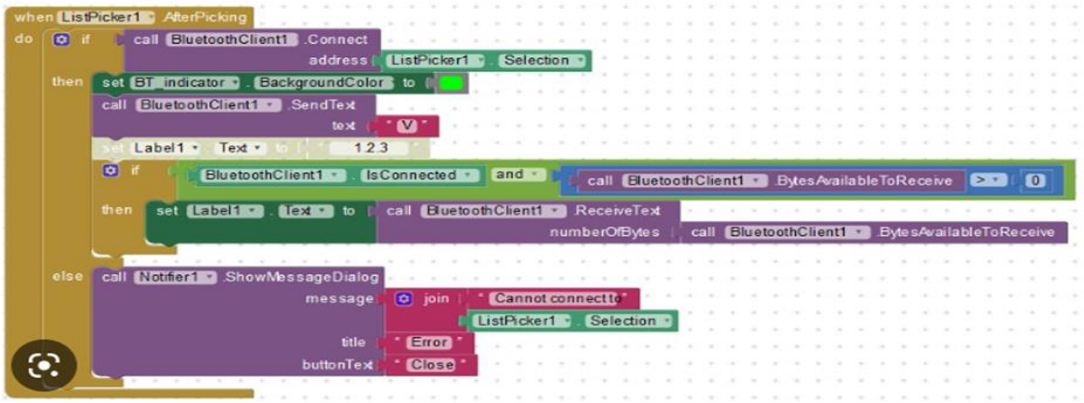
Sistemde kullanılan haberleşme için bluetooth modülü, ASM'un çalıştığı ortamlar göz önünde bulundurulup ve internetin olmadığı lokasyonlar düşünülüp 8-10 m çekim mesafesinde yeterli olacak şekilde tasarlanmıştır. MCU ile bluetooth modülün haberleşmesini sağladıktan sonra MIT APP INVENTOR uygulaması telefonda bluetooth olduğu için ilave herhangi bir iletişim aracına ihtiyaç olmadan telefon ile MCU arasındaki bağlantıyı sağlayan bir arayüz tasarım programı olmuştur. Bluetooth kullanımı sayesinde operatörler ASM'un yanına gitmeden ve herhangi bir kablolama yapmadan ASM'u kontrol edebilmiştir. Ayrıca uzaktan ASM'un sıcaklık, titreşim ve çalışma zaman ayarlarını yaptıktan sonra ASM ile bağlantı kesilse dahi veya ortamdan ayrılsalar dahi ASM aldığı komutlar ile çalışmasına devam etmiştir.

Elektrik motorlarında motorların ömrünü belirleyen en önemli iki kritik parametre sıcaklık ve titreşimdir. Kullanıcılar bu değerleri izlemek ve arıza olasılığı durumlarını önceden bilmek istemektedirler. Bu çalışmada motorlar arızalanmadan veya öngörülemeyen arızalanmalarda motoru ve sistemi korumak amaçlanmıştır. ASM'un sargılarına yerleştirilen PTC 0-3V arası MCU'ya analog gerilim sinyali göndermiştir. MCU ilk önce analog sinyali dijitale sonra bu dijital bilgiyi gerçek sıcaklık verisine santigrat derece cinsinden dönüştürmüştür. Titreşim ise 0-16000 G değerleri arasında sinyal bilgiler göndermiştir. Alınan sıcaklık ve titreşim bilgilerinden örnek bir ekran çıktısı Şekil 4.6'da verilmiştir. MCU'da herhangi bir dönüşüm yapmadan bu değer ile titreşim analizi yapılmıştır.



Şekil 4.6. Sıcaklık ve titreşim bilgileri ekranı

Sistemde MIT APP INVENTOR mobil kullanıcı arayüzü tasarlamak amacıyla kullanılmıştır. Bu yazılım içerisindeki bluetooth modülünün paket olarak bulunması tasarım için oldukça kolaylık sağlamıştır. Şekil 4.7'de MIT APP program bloğu ile devre üzerindeki HC-06 bluetooth modüle bağlantı kurulması sağlanmıştır.



Şekil 4.7. Sıcaklık ve titreşim bilgileri ekranı

Bluetooth bağlantısı kurulduktan sonra MCU'dan HC-06 module TX-RX kanalı ile bir byte yazı metni gönderilmiştir. Bu bir byte yazı metni sıcaklık bilgisi içermiştir. Ayrıca MIT APP üzerinden ise kullanıcı başlat veya durdur butonuna bastığında bu sefer MIT APP uygulaması HC-06 üzerinden bir byte yazı göndermiştir. MCU'dan gelen yazı içeriğine göre motor röle ile çalıştırılmış ve durdurulmuştur.

Tercih edilen PTC ASM sargılarının içerisine konulmuştur. Sargı izolasyon sınıfı F olduğu göz önünde bulundurularak 10 KΩ 155°C PTC tercih edilmiştir. Titreşim sensörü motorun ürettiği titreşim kaynağı X, Y, Z eksenindeki hareketler olduğu için MPU6050 üç eksenli ivmeölçer tercih edilmiştir. MCU denetleyici görevi görmüştür. Seçilen ATmega serisi MCU fiyat ve performans avantajı sağladığından dolayı tercih edilmiştir. Kullanıcı dostu arayüzü ve kullanım kolaylığı sebebiyle Android programlama tarafında MIT APP INVENTOR tercih edilmiştir. MCU programı Arduino IDE'de ve Android yazılımı MIT APP WEB uygulamasında yazılmıştır. ASM'un çalıştığı kırsal kesimler ve internet olmayan fabrikalar göz önünde bulundurularak sistemde bluetooth kullanılması uygun görülmüştür.

ASM'lar 220 V ve 380 V AC ile çalıştıklarından yapılan devrede harici DC güç kaynağı, pil veya akü kullanmak yerine şebeke gerilimi devrenin kendi içinde istenilen gerilim değerlerine regüle edilmiştir. Dolayısıyla ASM için bulunan şebeke gerilimi olması sistemin çalışması için yeterli olmuştur. Bu devre ASM klemens kutusunun içine yerleştirilecek şekildeki kullanıma uygun tasarlanmıştır.

Nihai olarak, ASM'ların sağlığını etkileyen en kritik iki parametre olan sıcaklık ve titreşime yönelik kestirimci bakım koruma bu çalışma ile sağlanmıştır. Yapılan tasarımlar prototip ürün haline getirilmiştir. Bunların sonucunda gerçekleştirilen sistemin endüstride kullanım veya tüketicilere satışı için ticarileştirme potansiyeli taşıdığı öngörülmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Söz konusu sistem, SML tabanlı algoritma temelinde ASM'ların kestirimci bakım durumlarını izlemenin uygun ve verimli bir yolunu sağlamak için tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Sistem ASM'daki olası arızaları tespit etmek için hem titreşim hem de sıcaklık verilerini sensörlerden almış ve SML algoritması ile öğretilenlere göre bu veriler değerlendirildikten sonra bluetooth aracılığıyla kullanıcının mobil cihazına durum bilgilerini göndermiştir.

Bu sistem, hataları otomatik olarak algılayabildiği ve uyarılar gönderebildiği için manuel izleme ihtiyacını ortadan kaldırmıştır. Böylece geliştirilen sistem ile kullanıcılara yakın mesafeden bilgiler gönderilebilmiş ve ASM'un başlatma ve durdurması gerçekleştirilebilmiştir. Sistemin öğrenme kabiliyeti olduğu için diğer ASM'lara uygulamasının kolay olduğu belirlenmiştir.

Tasarlanan bu sistemi ASM üzerinde kullanmak gelişmiş güvenlik, enerji verimliliği ve artan üretkenlik dahil olmak üzere bir dizi avantaj sağlamıştır. Sistem, ASM'dan sıcaklık ve titreşim verileri alarak ASM'un durumunu daha iyi izlemeye ve arıza durumunda maliyeti önlemeye yardımcı olma kabiliyetini sunmuştur. Bu, ASM'un ömrünü uzatmaya yardımcı olması ile bakım maliyetlerini düşürme kapasitesine sahiptir. Ek olarak, sistem motorun çalışmasındaki herhangi bir aksaklığın tespit edilmesine ve olası sorunların geri döndürülemez hale gelmeden önce tespit edilmesine imkan vermiştir.

Uygulamayı bir cep telefonunda çalıştırmak sayesinde operatörler verilere motora belirli bir uzaklıktan erişebilmiştir. Motorun performansını gerçek zamanlı olarak mobil uygulama sayesinde izleyebilmiştir. Bu durum proseste çalışan motorun operasyonel verimliliğini artırmıştır. Geliştirilen sistem sayesinde proseste çalışan ASM'un bir sorunu olması durumunda operatöre zamanında müdahale seçeneğini sağlayabilmiştir. Ayrıca, uygulama yararlı bildirimler ve uyarılar sunarak operatörlerin bunlara hızlı bir şekilde yanıt vermesine ve olası arıza sürelerini azaltmasına olanak tanımıştır. En genel itibariyle bakıldığında tasarlanan bu sistem fonksiyonel ve uygulama açısından birçok Endüstri 4.0 bileşenini barındırmıştır.

Sistem, sezgisel bir kullanıcı arabirimi, ayarlanabilir değerler ve özelleştirilebilir bildirim ayarları gibi çeşitli özelliklere sahip bir şekilde tasarlanmıştır. Dâhili sensörleri ile termal aşırı sıcaklıklar, gevşek bağlantılar ve yatak-rulman sorunları gibi çeşitli arızaları tespit edebilecek kabiliyette olmuştur.

Bu sistem otomotiv, imalat ve enerji üretimi gibi çeşitli sektörlerde kullanılabilir düzeydedir. Kullanım kolaylığı, arıza süresini azaltabileceği, kazaları önleyebileceği ve verimliliği artırabileceği için bu geliştirilen sistemi elektrik motorlarının kestirimci bakım izlemeleri için ideal bir seçim haline getirmiştir. Ayrıca, geliştirilen sistemin satın alınabilirliği, onu çok çeşitli kullanıcılar ve operatörler için erişilebilir pratik bir çözüm olarak sunmuştur.

Bu sistemin bir dezavantajı, karmaşık problemlere kapsamlı çözümler sunamaması ve yakın mesafeden bilgi akışının sağlanmasıdır. SML, bilgi tabanıyla sınırlı olduğundan, çözümleri bir insan uzmanın sunduğu kadar kapsamlı olmayabilir. SML'yi programlamanın ve eğitmenin karmaşıklığı nedeniyle ortaya çıkabilecek hataları ayıklamak zor olabilir. Son olarak, SML çözümleri, tahmin edilemeyen ve modellenmesi zor olabilen insan davranışını hesaba katamayabilir.

Zorlu endüstriyel koşullarda çalışan bir motordan gelen titreşim ve sıcaklık verilerini yorumlayan sistemin uygulanabilirliğini analiz etmek, hem elektronik çözümün hem de maliyetinin dikkatle değerlendirilmesini gerektiren karmaşık bir çabadır. Yapılacak iş için en uygun sistemi belirlemek, ASM'un teknik özelliklerinin, toplayacağı veri türlerinin ve çalışacağı ortamın kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi önemlidir. Sonuç olarak, doğru sistem yalnızca güvenilir veriler sağlamakla kalmaz, aynı zamanda motorun ve operatörlerin ihtiyaçlarını karşılayan uygun maliyetli bir çözüm de sağlayabilir.

Bu teknoloji çeşitli şekillerde kullanılabilir ve geleneksel yöntemlere göre birçok avantaj sağlayabilir. Örneğin SML bir çözüm bulmak için gereken süreyi ve çabayı azaltmaya ve elde edilen çözümün doğruluğunu artırmaya yardımcı olabilir. Ayrıca SML süreçlerin otomatikleştirilmesine yardımcı olabilir ve bu maliyet tasarrufu sağlayabilir.

Bu sistem her şeyden önce, sistemdeki olası tutarsızlıkları veya hataları filtrelemek ve tespit etmek için tasarlandığından, kullanıcılar için ek güvenlik seçeneği sunar. Bu, kullanıcılara daha fazla gönül rahatlığı verecek ve sistemi daha güvenli kullanmalarını sağlayacaktır. Ayrıca MCU ve bluetooth teknolojisinin kullanılması uygulama ile sistem arasında daha hızlı ve verimli veri akışını sağlayacaktır. Bu, sistemin çeşitli bileşenlerini izlemeyi ve kontrol etmeyi kolaylaştırabilir.

Son olarak bu sistem çok çeşitli olası uygulamalar sunabilir. Süreçlerin iyileştirilmesine ve verimliliğin artırılmasına yardımcı olmak için sistemden toplanan veriler imalat ve mühendislik gibi çeşitli sektörlerde kullanılabilir. Bu, daha iyi ürün ve hizmetlerin yanı sıra maliyet tasarruflarını sağlar. Ayrıca toplanan veriler, hem sistemi iyileştirmek hem de yeni uygulamalar ve teknolojiler geliştirmek için kullanılabilir.

KAYNAKLAR

[1] Yıldız, A. (2018). Endüstri 4.0 ve akıllı fabrikalar. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22(2), 546-556.

[2] Erdal, E., & Ergüzen, A. (2020). Nesnelerin interneti (IoT). International Journal of Engineering Research and Development, 12(3), 24-34.

[3] Kayar, A., Ayvaz, B., & Öztürk, F. (2018, November). Akıllı fabrikalar, akıllı üretim: endüstri 4.0'a genel bakış. In International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology (EurasianSciEnTech) (pp. 22-23).

[4] Toker, K. (2018). Endüstri 4.0 ve sürdürülebilirliğe etkileri. İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme İktisadı Enstitüsü Yönetim Dergisi, 29(84), 51-64.

[5] Garcia-Calva, T., Morinigo-Sotelo, D., Fernandez-Cavero, V., & Romero-Troncoso, R. (2022). Early detection of faults in induction motors—a review. Energies, 15(21), 7855.

[6] Kılıç, R. H. (2022). Asenkron motor rulman hatalarının uzun-kısa süreli bellek tipi derin sinir ağları ile sınıflandırılması (Master's thesis, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

[7] Feng, J., Xu, J., Liao, W., & Liu, Y. (2017). Review on the traction system sensor technology of a rail transit train. Sensors, 17(6), 1356.

[8] Taj, M., & Vikram, G. N. V. R. (2021). Design and simulations of high-sensitivity multi-directional inertial sensor. IEEE Sensors Journal, 22(1), 190-194.

[9] Soy, O. (2016). Sanayide kullanılan 7, 5 kW ve üzeri AC motorlara ilişkin envanter çalışması. TC Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Verimlilik Genel Müdürlüğü, Anahtar Dergisi, 3, 237.

[10] Kumar, P., & Hati, A. S. (2021). Review on machine learning algorithm based fault detection in induction motors. Archives of Computational Methods in Engineering, 28, 1929-1940.

[11] Yakhni, M. F., Cauet, S., Sakout, A., Assoum, H., Etien, E., Rambault, L., & El-Gohary, M. (2023). Variable speed induction motors' fault detection based on transient motor current signatures analysis: A review. Mechanical Systems and Signal Processing, 184, 109737.

[12] Koca, Y. B., & Ünsal, A. (2017). Asenkron motor arızalarının değerlendirilmesi. Teknik Bilimler Dergisi, 7(2), 37-46.

[13] Çeven, S., & Bayır, R. (2020). Bir asenkron motorun mekanik titreşim sinyallerinin ölçülerek arıza analizinin yapılması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 312-322.

[14] Kalemoğlu, Y. (2023). Haddehanelerde sıcaklık ve titreşim ölçümü ile kestirimci bakım uygulamaları (Master's thesis, Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü).

[15] Do, V. T., & Chong, U-P. (2011). Signal model-based fault detection and diagnosis for induction motors using features of vibration signal in two-dimension domain. Strojniški vestnik, 57(9), 655-666.

[16] Schoen, R. R., Lin, B. K., Habetler, T. G., Schlag, J. H., & Farag, S. (1995). An unsupervised, on-line system for induction motor fault detection using stator current monitoring. IEEE Transactions on Industry Applications, 31(6), 1280-1286.

[17] Sun, W., Zhao, R., Yan, R., Shao, S., & Chen, X. (2017). Convolutional discriminative feature learning for induction motor fault diagnosis. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 13(3), 1350-1359.

[18] Banerjee, T. P., & Das, S. (2012). Multi-sensor data fusion using support vector machine for motor fault detection. Information Sciences, 217, 96-107.

[19] Ayaz, E. (2002). Elektrik motorlarında dalgacık analizi yaklaşımı ile rulman arıza tanısı ve yapay zeka tabanlı bir durum izleme sistemi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

[20] Kuş, M. (2019). Asenkron motorlarda kırık rotor çubuk arızasının vibrasyon sinyali ile tespiti. Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 4(2), 36-43.

[21] Benhusein, A. H. (2019). Nesnelerin internetini kullanarak üç fazlı asenkron motorun gerçek zamanlı izlenmesi ve denetimi (Doctoral dissertation, Kastamonu Üniversitesi).

[22] Wu, Y., Jiang, B., & Wang, Y. (2020). Incipient winding fault detection and diagnosis for squirrel-cage induction motors equipped on CRH trains. ISA transactions, 99, 488-495.

[23] Kabul, A., & Ünsal, A. (2021). Asenkron motorlarda eşzamanlı kırık rotor çubukları ve statik eksenel kaçıklık arızalarının stator akımı ve titreşim sinyalleri analizi ile tespiti. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 36(4), 2011-2024.

[24] Akbayır, K., Göktaş, T., & Arkan, M. (2022). Asenkron motorlarda stator sarım-sarım arası kısa devre arızasının elektriksel, mekaniksel ve manyetiksel motor parametrelerine dinamik etkileri. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 24(72), 815-824.

[25] Zaman, S. M. K., Liang, X. (2021). An effective induction motor fault diagnosis approach using graph-based semi-supervised learning. IEEE Access, 9, 7471-7482.

[26] Choudhary, A., Goyal, D., & Letha, S. S. (2020). Infrared thermography-based fault diagnosis of induction motor bearings using machine learning. IEEE Sensors Journal, 21(2), 1727-1734.

[27] Esakimuthu Pandarakone, S., Mizuno, Y., & Nakamura, H. (2019). A comparative study between machine learning algorithm and artificial intelligence neural network in detecting minor bearing fault of induction motors. Energies, 12(11), 2105.

[28] Shao, S. Y., Sun, W. J., Yan, R. Q., Wang, P., & Gao, R. X. (2017). A deep learning approach for fault diagnosis of induction motors in manufacturing. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 30(6), 1347-1356.

[29] Nakamura, H., & Mizuno, Y. (2022). Diagnosis for slight bearing fault in induction motor based on combination of selective features and machine learning. Energies, 15(2), 453.

[30] Toma, R. N., Prosvirin, A. E., & Kim, J. M. (2020). Bearing fault diagnosis of induction motors using a genetic algorithm and machine learning classifiers. Sensors, 20(7), 1884.

[31] Ali, M. Z., Shabbir, M. N. S. K., Liang, X., Zhang, Y., & Hu, T. (2019). Machine learning-based fault diagnosis for single-and multi-faults in induction motors using measured stator currents and vibration signals. IEEE Transactions on Industry Applications, 55(3), 2378-2391.

[32] Das, A. K., Das, S., Pradhan, A. K., Chatterjee, B., & Dalai, S. (2023). RPCNNet: A deep learning approach to sense minor stator winding ınter-turn fault severity in ınduction motor under variable load condition. IEEE Sensors Journal.

[33] Sakallı, G., & Koyuncu, H. (2023). Identification of asynchronous motor and transformer situations in thermal images by utilizing transfer learning-based deep learning architectures. Measurement, 207, 112380.

[34] Çolak, İ. (2001). Asenkron motorlar. Nobel Yayın dağıtım.

[35] Özdemir, A. (2022). Elektrik Motorları ve Sürücüleri. Ali Özdemir.

[36] https://www.ozdisan.com/pasif-komponentler/trafolar/trafolar/ASL106109 (17.02.2023 ulaşıldı).

[37] https://ozdisan.com/entegre-devreler-ics/guc-entegreleri/lineer-voltaj-regulatorleri/MC78M12CDTRKG (17.02.2023 ulaşıldı).

[38] https://ozdisan.com/entegre-devreler-ics/guc-entegreleri/lineer-voltaj-regulatorleri/TLV70433DBVR (18.02.2023 ulaşıldı).

[39] https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf (17.02.2023 ulaşıldı).

[40] https://www.ozdisan.com/elektromekanik-komponentler/role-role-soketleri/guc-roleleri/JTN1AS-PA-F-DC12V (18.02.2023 ulaşıldı).

[41] Fedorov, D. S., Ivoilov, A. Y., Zhmud, V. A., & Trubin, V. G. (2015). Using of measuring system MPU6050 for the determination of the angular velocities and linear accelerations. Automatics & Software Enginery, 11(1), 75-80.

[42] Liu, L., Zheng, D., & Liu, X. (2015). Design of fall detection system for elderly people based on MPU6050 sensor. Zhongguo yi liao qi xie za zhi= Chinese journal of medical instrumentation, 39(5), 327-330.

[43] Al-Dahan, Z. T., Bachache, N. K., & Bachache, L. N. (2016). Design and implementation of fall detection system using MPU6050 Arduino. In Inclusive Smart Cities and Digital Health: 14th International Conference on Smart Homes and Health Telematics, ICOST 2016, Wuhan, China, May 25-27, 2016. Proceedings 14 (pp. 180-187). Springer International Publishing.

[44] https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/517744/ETC1/MPU-6050.html (18.02.2023 ulaşıldı).

[45] https://www.ozdisan.com/entegre-devreler-ics/zamanlama-entegreleri/ic-gercek-zamanli-saat-devreleri/DS1302ZNTR (18.02.2023 ulaşıldı).

[46] Adelita, I. (2015). Sistem pengendali beban listrik 220 VAC menggunakan bluetooth HC-06 memanfaatkan voice command pada android (Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Sriwijaya).

[47] https://www.mouser.com.tr/new/osepp/osepp-hc-06-bluetooth-module/ (18.02.2023 ulaşıldı).

[48] https://www.kicad.org/ (18.02.2023 ulaşıldı).

[49] https://www.arduino.cc/en/software (18.02.2023 ulaşıldı).

[50] https://appinventor.mit.edu/ (18.02.2023 ulaşıldı).

[51] Korkmaz, M., Doğan, A., & Kirmaci, V. (2022). Karşıt akışlı ranque–hilsch vorteks tüpünün lineer regresyon, destek vektör makineleri ve gauss süreç regresyonu yöntemi ile performans analizi. Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8(2), 361-370.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Atanur İZ

Doğum Yeri ve Yılı :

Medeni Hali :

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta :

Eğitim Durumu

Lise :

Lisans :Kocaeli Üniversitesi / Teknik Eğitim Fakültesi / Elektronik Öğretmenliği, 2011

Yüksek Lisans :Ege Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü/ İşletme(YL) 2018

Lisans :Anadolu Üniversitesi/ Açıköğretim Fakültesi/ Yönetim Bilişim Sistemleri, 2021

Lisans :Manisa Celâl Bayar Üniversitesi/ Mühendislik Fakültesi/ Elektrik – Elektronik Mühendisliği, 2021

Mesleki Deneyim

Volt Elektrik Motorları, Üretim Müdürü	(2021 –Halen)
Sinaps AR-GE&Proje Derneji, Yönetim Kurulu Üyesi	(2022 – Halen)
Öztekfen Redüktör, Üretim Danışmanı	(2020 – 2022)
Volt Elektrik Motorları, Üretim Yöneticisi	(2017 – 2021)
Volt Elektrik Motorları, Üretim Uzmanı	(2016 – 2017)
Volt Elektrik Motorları, Üretim Mühendisi	(2014 – 2016)
Volt Elektrik Motorları, Şef Yardımcısı	(2012 – 2014)
Kocaeli Üniversitesi, Bilgi işlem Personeli (Part Time)	(2008 - 2011)

Yayınları

1. Mamur, H., Atanur, İ. Z., Şimşek, H., & Ferhat, Çıra (2022). Asenkron motorlar için endüstriyel nesnelerin interneti tabanlı sensör kartı uygulaması. Journal of the Institute of Science and Technology, 12(4), 2064-2074.

EKLER

EK A. Titreşim bilgilerinin EEPROM'a kodlanması

```
   if(data.length()==7){  // Öğrenme ve kaydetme için.
   EEPROM.write(25,lowByte(maksX)); EEPROM.write(31,highByte(maksX));
   EEPROM.write(26,lowByte(minX)); EEPROM.write(32,highByte(minX));
   EEPROM.write(27,lowByte(maksY)); EEPROM.write(33,highByte(maksY));
   EEPROM.write(28,lowByte(minY)); EEPROM.write(34,highByte(minY));
   EEPROM.write(29,lowByte(maksZ)); EEPROM.write(35,highByte(maksZ));
   EEPROM.write(30,lowByte(minZ)); EEPROM.write(36,highByte(minZ));


a= EEPROM.read(25) + (EEPROM.read(31) << 8) ;
b= EEPROM.read(26) + (EEPROM.read(32) << 8) ;
c= EEPROM.read(27) + (EEPROM.read(33) << 8) ;
d= EEPROM.read(28) + (EEPROM.read(34) << 8) ;
e= EEPROM.read(29) + (EEPROM.read(35) << 8) ;
f= EEPROM.read(30) + (EEPROM.read(36) << 8) ;

if(b < aX < a && d < aY < c && f < aZ < e) { Serial.print("1");  }  //
titreşim için karşılaştırma.
 if ( aX < (b*0.8) || aX > (a*1.2) || aY < (d*0.8) || aY > (c*1.2) ||
aZ < (f*0.8) || aZ > (e*1.2)) { Serial.print("12");
  }

 if ( aX < (b*0.6) || aX > (a*1.4) || aY < (d*0.6) || aY > (c*1.4) ||
aZ < (f*0.6) || aZ > (e*1.4)) { Serial.print("123");

   } }
```

EK B. KiCad Ebom Listesi

Component Count:,"79"
Ref,"Qnty","Value","Cmp name","Footprint","Description","Vendor"
BT1, ,"1","L-KLS5-CR2032-03 ","Battery_Cell","","Single-cell battery",""
C1, C12, ,"2","10nF","C","Capacitor_SMD:C_0805_2012Metric_Pad1.18x1.45mm_HandSolder","Unpolarized capacitor",""
C2, C3, C4, C13, C17, C25, C26, C27, C30, C36, ,"10","100nF","C_Small","Capacitor_SMD:C_0805_2012Metric_Pad1.18x1.45mm_HandSolder","Unpolarized capacitor, small symbol",""
C5, C15, C18, C19, ,"4","10uF","C","Capacitor_SMD:C_0805_2012Metric_Pad1.18x1.45mm_HandSolder","Unpolarized capacitor",""
C6, C7, ,"2","20-22pF","C_Small","Capacitor_SMD:C_0805_2012Metric_Pad1.18x1.45mm_HandSolder","Unpolarized capacitor, small symbol",""
C8, ,"1","0.01uF","C_Small","Capacitor_SMD:C_0805_2012Metric_Pad1.18x1.45mm_HandSolder","Unpolarized capacitor, small symbol",""
C9, C10, C32, ,"3","0.1uF","C_Small","Capacitor_SMD:C_0805_2012Metric_Pad1.18x1.45mm_HandSolder","Unpolarized capacitor, small symbol",""
C11, ,"1","2200pF","C_Small","Capacitor_SMD:C_0805_2012Metric_Pad1.18x1.45mm_HandSolder","Unpolarized capacitor, small symbol",""
C14, C21, C22, C23, C28, C31, C35, ,"7","1uF","C_Small","Capacitor_SMD:C_0805_2012Metric_Pad1.18x1.45mm_HandSolder","Unpolarized capacitor, small symbol",""
C16, ,"1","1000uF 25V","C_Polarized","","Polarized capacitor",""
C20, C29, ,"2","100uF 25V","C_Polarized","","Polarized capacitor",""
C24, ,"1","330nF","C","Capacitor_SMD:C_0805_2012Metric_Pad1.18x1.45mm_HandSolder","Unpolarized capacitor",""
C33, ,"1","C_","C_Small","Capacitor_SMD:C_0805_2012Metric_Pad1.18x1.45mm_HandSolder","Unpolarized capacitor, small symbol",""
C34, ,"1","6pF-10pF-6.8pF","C_Small","Capacitor_SMD:C_0805_2012Metric_Pad1.18x1.45mm_HandSolder","Unpolarized capacitor, small symbol",""
D1, ,"1","MB10S-HT ","D_Bridge_+-AA","Volt_Library:MB10S","Diode bridge, +ve/-ve/AC/AC",""
D2, ,"1","LED","LED","","Light emitting diode",""
D3, ,"1","1N4001","1N4001","Diode_THT:D_DO-41_SOD81_P10.16mm_Horizontal","50V 1A General Purpose Rectifier Diode, DO-41",""
D4, ,"1","1N4148W","1N4148W","Diode_SMD:D_SOD-123","75V 0.15A Fast Switching Diode, SOD-123",""
F1, F2, ,"2","Fuse","Fuse","","Fuse",""

FB1, ,"1","LCB3216-101Y-N","FerriteBead_Small","","Ferrite bead, small symbol",""
J1, J2, J3, J4, ,"4"," K31-00AH ","Conn_01x01_Female","","Generic connector, single row, 01x01, script generated (kicad-library-utils/schlib/autogen/connector/)",""
J5, ,"1","PR","Conn_02x03_Odd_Even","Connector_PinHeader_2.54mm:PinHeader_2x03_P2.54mm_Vertical","Generic connector, double row, 02x03, odd/even pin numbering scheme (row 1 odd numbers, row 2 even numbers), script generated (kicad-library-utils/schlib/autogen/connector/)",""
J6, ,"1","HC-06","Conn_01x04","Connector_PinSocket_2.54mm:PinSocket_1x04_P2.54mm_Vertical","Generic connector, single row, 01x04, script generated (kicad-library-utils/schlib/autogen/connector/)",""
J7, ,"1","PTC","Conn_01x02","","Generic connector, single row, 01x02, script generated (kicad-library-utils/schlib/autogen/connector/)",""
K1, ,"1","JTN1AS-PA-F-DC12V ","FINDER-36.11-4301","Relay_THT:Relay_SPST_Finder_32.21-x300","FINDER 36.11-4301, Single Pole Relay SPST-NO Sugar Cube, 10A",""
L1, L2, ,"2","LQM31FN100M00L","L","","Inductor",""
Q1, ,"1","BC817","BC817","Package_TO_SOT_SMD:SOT-23","0.8A Ic, 45V Vce, NPN Transistor, SOT-23",""
R1, R3, R4, R5, ,"4","4.7k","R","Resistor_SMD:R_0805_2012Metric","Resistor",""
R6, ,"1","1R","R","Resistor_SMD:R_0805_2012Metric","Resistor",""
R7, R9, ,"2","1k","R","Resistor_SMD:R_0805_2012Metric","Resistor",""
R8, R10, R11, R12, R14, ,"5","10k","R","Resistor_SMD:R_0805_2012Metric","Resistor",""
R13, ,"1","100-200","R","Resistor_SMD:R_0805_2012Metric","Resistor",""
RV1, ,"1","Varistor","Varistor","","Voltage dependent resistor",""
T1, ,"1","ASL106109","ASL106109","","Transformer, single primary, single secondary",""
U1, ,"1","ATmega328P-A","ATmega328P-A","Package_QFP:TQFP-32_7x7mm_P0.8mm","20MHz, 32kB Flash, 2kB SRAM, 1kB EEPROM, TQFP-32",""
U2, ,"1","MPU-6050","MPU-6050","Sensor_Motion:InvenSense_QFN-24_4x4mm_P0.5mm","InvenSense 6-Axis Motion Sensor, Gyroscope, Accelerometer, I2C",""
U3, ,"1","MC78M12CDTRKG","LM7812_TO220","Volt_Library:DPAK-3","Positive 1A 35V Linear Regulator, Fixed Output 12V, TO-220",""
U4, ,"1","TLV70433DBVR","TLV70433DBVR","","",""
U5, ,"1","LTV-817S","LTV-817S","Package_DIP:SMDIP-4_W9.53mm","DC Optocoupler, Vce 35V, CTR 50%, SMDIP-4",""
U6, ,"1","DS1302ZN+","DS1302ZN+","Package_SO:SOIC-8_3.9x4.9mm_P1.27mm","Trickle-Charge Timekeeping Chip, 2.0V to 5.5V VCC, -40Ã‚Â°C to +85Ã‚Â°C, SOIC-8",""
Y1, ,"1","Crystal","Crystal_Small","","Two pin crystal, small symbol",""
Y2, ,"1","32768","Crystal_Small","","Two pin crystal, small symbol",""