

Atıf İçin: Mamur H, İz A, Şimşek H, Çıra F, 2022. Asenkron Motorlar İçin Endüstriyel Nesnelerin İnterneti Tabanlı Sensör Kartı Uygulaması. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(4): 2064 - 2074.

To Cite: Mamur H, İz A, Şimşek H, Çıra F, 2022. Application of Industrial Internet of Things Based Sensor Card for Asynchronous Motors. Journal of the Institute of Science and Technology, 12(4): 2064 - 2074.

Asenkron Motorlar İçin Endüstriyel Nesnelerin İnterneti Tabanlı Sensör Kartı Uygulaması

Hayati MAMUR^{1*}, Atanur İZ², Haydar ŞİMŞEK³, Ferhat ÇIRA⁴

ÖZET: Bu çalışmada, endüstride yaygın bir şekilde kullanılan ve bu nedenle kestirimci bakım tedbirlerinin alınması önem arz eden asenkron motorlarda (ASM) meydana gelebilecek arızaların ön kestirimlerinin yapılması için endüstriyel nesnelerin interneti (IIoT) tabanlı bir sensör kartı sistemi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen sistem 3 fazlı 250 kW gücünde ve 315L gövde yapısındaki bir ASM üzerinde denenmiştir. Bu ASM'un bulunduğu şartlar geliştirilen gömülü sistemde bulunan sensörlerle algılanmış, gömülü sistem ile bir bulut ağına aktarılmıştır. Sensör kartı uygulamasında Wi-Fi ve Bluetooth haberleşme protokollerini içeren ESP-WROOM-32 mikrodenetleyicisi, frekansa bağlı oluşan titreşim verilerini üç eksenle tespit eden bir LIS3DH ivmeölçer ve sıcaklık verileri için 10 KΩ değerinde NTC ASM'un üzerine montajlanmıştır. Bu sensör verileri değerlendirilerek ASM'da oluşabilecek kestirimci bakım tespitleri yapılmış ve ASM için bu tespitler ile kullanıcılara uyarı gönderecek kestirimci bakım kararları oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Asenkron motor, kestirimci bakım, gömülü sistem, endüstriyel nesnelerin interneti, IIoT

Application of Industrial Internet of Things Based Sensor Card for Asynchronous Motors

ABSTRACT: In this study, an industrial internet of things (IIoT) based sensor card system has been developed to predict the failures that may occur in induction motors (IMs), which is widely used in the industry and therefore it is important to take predictive maintenance measures. The realized system has been tested on a 3-phase IM with 250 kW power and 315L body structure. The conditions of this IM were detected by the sensors in the embedded system and transferred to a cloud network with the embedded system. The ESP-WROOM-32 microcontroller, which includes Wi-Fi and Bluetooth communication protocols in the sensor card application, is mounted on a LIS3DH accelerometer that detects frequency-dependent vibration data in three axes and NTC IM at 10 KΩ for temperature data. By evaluating these sensor data, predictive maintenance determinations that may occur in the IM were made and predictive maintenance decisions were made for the IM to send warnings to the users with these detections.

Keywords: Induction motor, predictive maintenance, embedded system, industrial internet of things, IIoT

¹ Hayati MAMUR ([Orcid ID: 0000-0001-7555-5826](https://orcid.org/0000-0001-7555-5826)), Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye

² Atanur İZ ([Orcid ID: 0000-0001-5102-9792](https://orcid.org/0000-0001-5102-9792)), Volt Elektrik Motor San. Tic. A. Ş., İzmir, Türkiye

³ Haydar ŞİMŞEK ([Orcid ID: 0000-0001-7673-7365](https://orcid.org/0000-0001-7673-7365)), Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye

⁴ Ferhat ÇIRA ([Orcid ID: 0000-0001-6729-1736](https://orcid.org/0000-0001-6729-1736)), Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Hayati MAMUR, e-mail: hayati.mamur@cbu.edu.tr

Bu çalışma Atanur İZ ve Haydar ŞİMŞEK'in Tasarım Projesinden üretilmiştir.

GİRİŞ

Asenkron motorlar (ASM) sağlam ve güvenilir özelliklerinden dolayı endüstride en yaygın kullanılan motorlardır ve endüstride harcanan elektrik enerjisinin yaklaşık %70'i ASM'lar tarafından kullanılmaktadır (Koca ve Ünsal, 2017). Bunların arıza yapma riskleri diğer motorlara göre daha azdır. Çalıştıkları makinelerde kesintisiz olmaları istenir (Yetgin, 2017). Üretim için kritik pozisyonlarda çalışan ASM'larda meydana gelen arızalar üretimin aksamasına neden olmaktadır. Bu arızaların %40'ı rulman, %35'i stator, %10'u rotor ve %15'i diğer arızalar şeklinde gruplandığı görülmektedir (Kabul ve Ünsal, 2021).

Üretimin aksamaması için ASM'ların periyodik koruyucu bakımları yapılır. Periyodik bakımlarının yapılmasına rağmen kullanıldıkları üretim süreçleri ve çevre koşulları nedeniyle düzensiz aralıklarla arıza oluşturabilmektedirler (Kaya ve Ünsal, 2021). Dolayısıyla kritik üretim pozisyonlarında kullanılan ASM'ların çalışma performanslarının en iyi seviyede tutulması sıcaklık, titreşim ve yük gibi değişimlerinin sürekli izlenmesi önemli olmaktadır (Çira, 2018a).

Günümüzde, gömülü sistemler, sensörler ve internet teknolojilerindeki ilerlemeler gerçek zamanlı izleme ve sisteme müdahale etme imkânını sunmaktadır (Taşdelen ve ark., 2018). Bu gelişmeler sayesinde temelini dijital dönüşümün oluşturduğu bir süreç yaşanmaktadır (Türk ve Lüy, 2021). Bu süreç Endüstri 4.0 olarak isimlendirilmiştir (Zhang ve Chen, 2020). Sensörlerden alınan veriler kolaylıkla gömülü sisteme kablolu veya kablosuz sensör ağları ile iletilmektedir (Yüksel, 2019). Bu veriler akıllı algoritmalar ile değerlendirmekte ve sisteme kontrol sinyalleri iletilmektedir (Duran ve Teke, 2019). Ayrıca, gömülü sistemler yardımıyla üretim sürecine ait olan veriler bulut ağlarına aktarmaktadır. Bu durum nesnelerin interneti (IoT) kavramını oluşturmuştur (Erdal ve Ergüzen, 2020). Böylece IoT sayesinde uzaktan kontrol, izleme ve denetleme kolaylaşmıştır. IoT akıllı evler (Yalçinkaya ve ark., 2020), akıllı fabrikalar (Şekkeli ve Bakan, 2018) ve yenilenebilir enerji kaynaklarından (Demircan ve Akyüz, 2019) eğitim (Ayşegül ve Uludağ, 2018) ve ziraata (Altın ve ark.) kadar hemen hemen her kademede kullanılır hale gelmiştir (Khanna ve Kaur, 2020).

IoT'de kullanılan cihazların kabiliyetlerine dikkat edildiğinde; ağ kurabilme, topladıkları bilgileri depolama, analiz etme ve verilerini bulut ağlarına aktarabilme yeteneklerinin olduğu görülmektedir (Alagheband ve Mashatan, 2022). Bu sistemlerde kullanılan mikrodenetleyici teknolojilerinin ucuzlaması endüstriyel IoT (IIoT) uygulamalarının artmasını beraberinde getirmiştir (Patel ve ark., 2021).

Üretim sorumlularından fabrika teknisyenlerine kadar her çalışan sistem için verilen izinlere bağlı olarak IIoT'nin avantaj olarak sunduğu kolay kullanımlı web servisleri aracılığı ile üretim süreçlerine rahatlıkla ulaşabilmektedir (Ercan ve Kutay, 2016). Böylece IIoT, üretim kalitesi ve verimliliğin artmasını sağlamaktadır (Hossein ve ark., 2020).

IIoT teknolojilerinde mikrodenetleyiciler ve programlanabilir lojik denetleyiciler (PLC) kullanılabilir. Mikrodenetleyiciler, PLC'lere nazaran ucuz, esnek ve nesnelere odaklı çözümler sunabilmektedir (Kunikowski ve ark., 2015). Bu nedenle günümüzde diğer endüstriyel makinelerin izlenmesinde, kontrolünde ve kestirimci bakımlarının yapılmasında oldukça yaygınlaşmaya başlamıştır.

ASM'ların kestirimci bakımlarının belirlenmesi ile ilgili çalışmalar mühendisler ve araştırmacılar tarafından yapılmaktadır. Chong ve ark. (Do ve Chong, 2011), ASM'lar için uygulanan titreşim sinyaline dayalı arıza tespit ve teşhis sistemi için bir yaklaşım önermişlerdir. Yaklaşımlarını, arıza tespit süreci ve arıza teşhis süreci olmak üzere iki ardışık süreçten oluşturmuşlardır. Schoen ve ark. (Schoen ve ark., 1995) ASM arıza tespitinde, motorun spektral özelliklerini öğrenmek için yapay sinir ağlarını kullanmışlardır. Bu sayede motor veya yük özellikleri hakkında bilgi gerektirmeden çevrimiçi arıza

tahminini mümkün kılmışlardır. Sun ve ark. (Sun ve ark., 2017), ASM arıza teşhisi için ayırt edici özellikli öğrenme yöntemi sunmuşlardır. Diğer taraftan, Banarjee ve ark. (Banerjee ve ark., 2012), yaptıkları çalışmada ASM arızalarını tespit etmek ve tanımlamak için titreşim, ses, akım, voltaj ve sıcaklık gibi birden fazla sensörden toplanan bilgilerin kullanılmasını içeren tanımdan bahsetmişlerdir. Bir diğer çalışmada, Çeven ve Bayir (Çeven ve Bayir, 2020), bir ASM'un farklı hızlarında mekanik vibrasyonların ölçülmesi için bir deneysel çalışma tasarlamış ve gerçekleştirilmiştir. ASM'larda öngörülebilir rulman hatalarının özelliklerini ortaya koyabilecek yapay zekâ tabanlı bir durum izleme sistemini Ayaz (Ayaz, 2002) önermiştir. Kuş (Kuş, 2019) üç fazlı bir ASM'da parametrik arıza harmoniklerini içeren titreşim sinyallerini değerlendirilerek kırık rotor çubuk arızasını tespit etmiştir. Benhusein (Benhusein, 2019) ise, IoT kullanarak üç fazlı ASM'un gerçek zamanlı izlenmesi ve kontrolünü sağlamıştır. Geliştirdiği Web uygulamasıyla, internet bağlantısının sağlandığı her yerden ASM'un çevrimiçi izlenmesi ve kontrolünü yapmıştır. Çıra (Çıra, 2018b), bir ASM'a ait akım uzay örüntü tanıma sistemini kullanarak ASM'un arıza tespitini gerçekleştirmiştir. ASM'larda meydana gelen rotor kırıklarından kaynaklanan arızaların analizleri Ünsal ve Karakaya (Ünsal ve Karakaya, 2015) tarafından yapılmıştır. Ayrıca, Ünsal ve Kabul (Ünsal ve Kabul, 2017) tarafından yapılan başka bir çalışmada, ASM'un rotorundan kaynaklanan arızaların analizleri istatistiki olarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçta, tüm bu çalışmalara dikkat edildiğinde, ASM'ların kestirimci bakımlarının belirlenmesi ile ilgili çalışmaların süreceği düşünülmektedir.

ASM'ların vazgeçilmez bir şekilde kullanıldığı endüstriyel üretim sistemleri sürekli çalışır durumdadırlar ve pahalı sistemlerdir. Kısa bir üretim kesintisinin yaşanması kayıplar ile neticelenir. Bu kayıpları önlemek için koruyucu bakımlar yapılır. Öte yandan, periyodik koruyucu bakımlar dışında meydana gelen arızalar istenmeyen ve planlanmamış üretim kesintilerini netice verir. IIoT üretimde kullanılan kritik sistemlerin sensörler ile izlenmesini ve kestirimci bakım tespitlerinin yapılmasını sağlar.

Bu çalışmada, ASM'larda sıkça karşılaşılan mekaniksel ve elektriksel arızaların geliştirilen sensör kartı ile ön kestirimi yapılmıştır. ASM'daki arıza, gömülü sistem ile veri ağı yolu ile bulut sistemine aktarılmış ve kayıt altına alınmıştır. IIoT ile ASM'un verileri gerçek zamanlı izlenmiştir. Titreşim ve sıcaklık aynı anda izlenerek titreşim ve sıcaklığın neden olabileceği arızanın ön kestirimi yapılmıştır.

Bu bölümde çalışmanın genel bir bilgisi ve literatür araştırması verildikten sonra ikinci bölümde kullanılan materyal ve yöntem sunulmuştur. Üçüncü bölümde IIoT tabanlı sistemin sonuçları verilerek değerlendirmelerde bulunulmuş ve sistemin sağladığı faydalar verilmiştir. Son olarak çalışmanın sonuçlarından elde edilen çıkarımlara değinilmiştir.

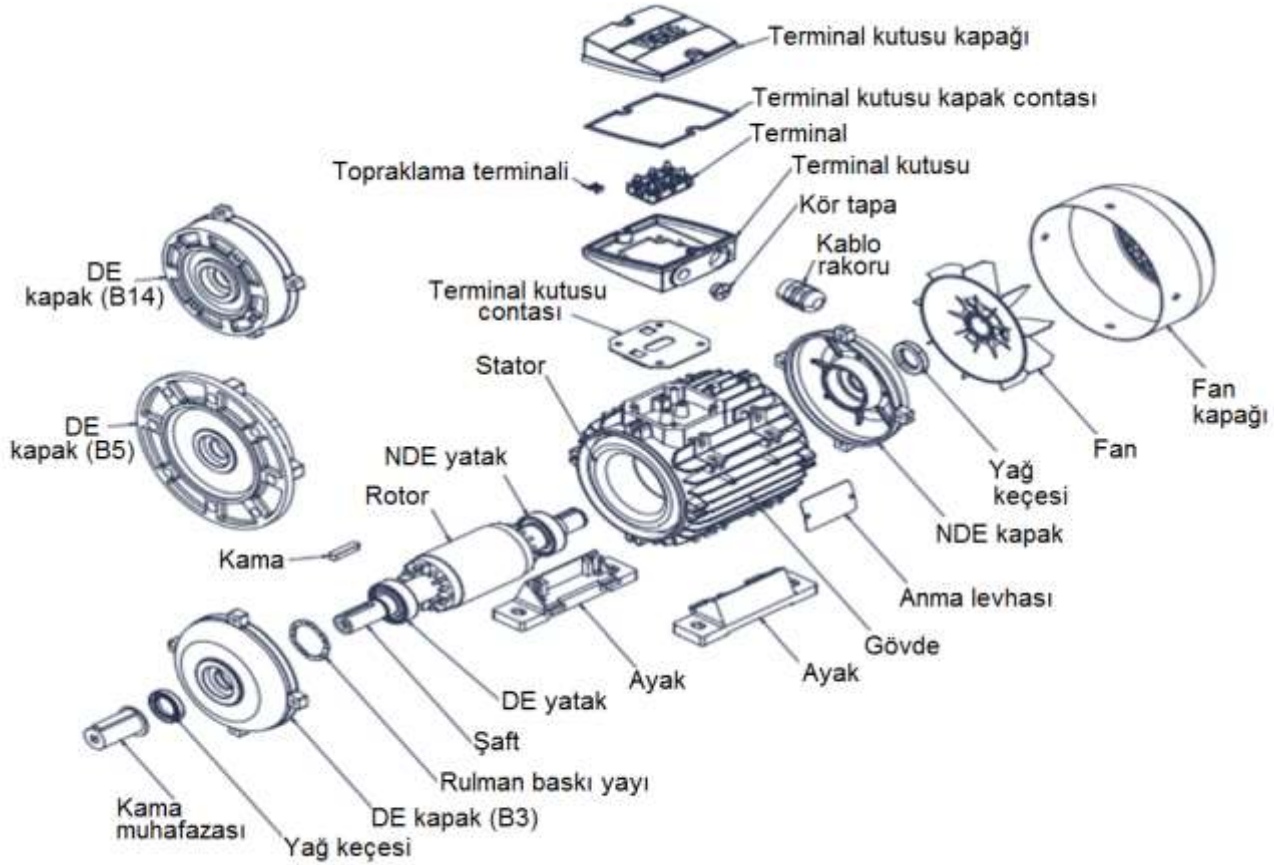
MATERYAL ve METOT

Materyal

ASM'ların çalışması için alternatif akım kaynağının olması yeterlidir. Tek uyarımlı motorlar sınıfına girerler. Üç fazlı ASM'lar stator, rotor, rulman, pervane, mil ve yan kapaklardan meydana gelmektedir. Tipik bir ASM'a ait tüm parçaların sökülmüş hali Şekil 1'de gösterilmiştir.

Bu motorlarda kırık rotor çubuğu, rulman, sargı ve hava boşluğu eksantrikliği arızaları meydana gelmektedir. ASM'un dönmesi esnasında titreşimler oluşur. Bu titreşimlerin izlenmesi arıza tespiti için önemli bir veri olmaktadır. Merkezinde mil bulunan rotor, stator içinde döner. Mile takılan rulmanlar ile rotorun dönme hareketi kolaylaştırılır. ASM'da oluşan titreşimler iki türdür. Bunlardan biri, milin hareketinden kaynaklanan titreşimdir. Diğeri, süreçte kullanılan ASM-makine arasındaki bağlantıdan kaynaklanan titreşimdir.

ASM'larda meydana gelen titreşimlerle ilgili hatalar, mil dönme frekansının çarpanları olan frekanslarla belirlenir. Frekans birimi Hertz (devir sayısı/saniye) ise dönme frekansı $f_r = \text{motor hızı (devir/dak.)} / 60$ 'tır. Bu frekans, titreşim spektrumunda çeşitli arızalardan meydana gelen frekans bileşenlerini belirlemek için titreşim analizinde kullanılır. Böylece rulman, dengesizlik hizalama, gevşeklik ve yağ girdabı gibi arızalar tespit edilebilir.



Şekil 1. Üç fazlı ASM'a ait tüm parçalar

Rulmanlar rotor dönme hareketini sağlayan ASM parçalarıdır. Bir rulman geometrisi Şekil 2'de gösterilmiştir. Dört temel parçadan oluşur; kapaklar, bilyeler, iç ve dış bilezikler ve kafes. Dönen rulmanda bir arıza meydana gelmeye başladığında titreşimde değişme olur. Bu darbeler halinde gerçekleşir. Bunların frekanslarının büyüklüğü farklı olabilmektedir. Bilye kafesindeki arıza frekansı $f_r / 2$, dış bilezikteki arıza frekansı f_o , iç bilezikteki arıza frekansı f_i , bilye arıza frekansı f_b olmak üzere dört farklı frekans olur. Bunların eşitlikleri sırası ile aşağıda verilmiştir.

$$\frac{f_r}{2} = \left(1 - \frac{BD}{PD} \cos \beta\right) \quad (1)$$

$$f_o = \frac{n}{2} f_r \left(1 - \frac{BD}{PD} \cos \beta\right) \quad (2)$$

$$f_i = \frac{n}{2} f_r \left(1 + \frac{BD}{PD} \cos \beta\right) \quad (3)$$

$$f_b = \frac{PD}{BD} f_r \left[1 - \left(\frac{BD}{PD}\right)^2 \cos^2 \beta\right] \quad (4)$$

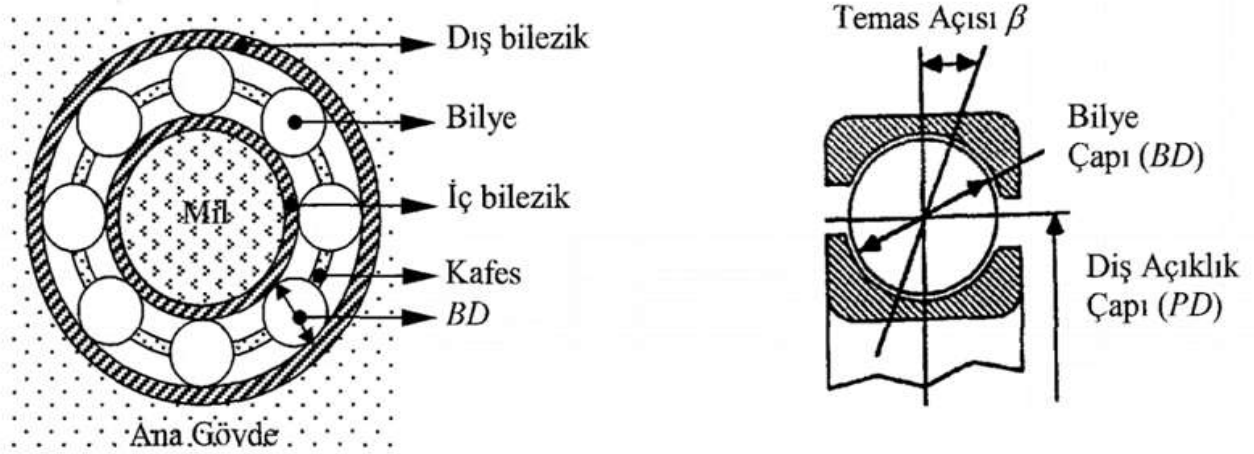
Burada, BD bilye çapı, PD diş açıklık çapı, n rulman bilye sayısıdır. Alt harmonik ya da tam katı rulman frekansları f_{rulman} aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$f_{rulman} = M \times (\text{alt harmonik ya da tam katı karakteristik rulman frekansları}) \quad (5)$$

Burada, M kutup sayısı olarak ifade edilir ve $M = 1, 2, 3, \dots$ değerleri alabilir (Ayaz, 2002). Diğer rulman problemleri yağ girdabı $f_{yağ_girdabı}$ ve rulman hizalama hatasıdır. Yağ girdabı temel dönme frekansının %38–49'unun tam katlarında oluşur ve aşağıdaki eşitlikle verilir.

$$f_{yağ_girdabı} = K \times M \times f_r \quad (6)$$

Burada, $0,38 \leq K \leq 0,49$ arasındadır. Rulmanın hatalı hizalanması $f_{hizalama}$, rulmanda yüksek eksenel yüklerle neden olur ve aşağıdaki eşitlikle verilen frekansta titreşim üretir.



Şekil 2. Rulman geometrisi (Ayaz, 2002)

$$f_{hizalama} = N \times f_r \quad (7)$$

Burada N dizi uzunluğunu gösterir. Rotor-mil sisteminin ortalanmaması sonucu dengesizlik frekansı $f_{dengesizlik}$ oluşur. Aşağıdaki eşitlikle verilir.

$$f_{dengesizlik} = 1 \times f_r \quad (8)$$

Motorun uygun bir şekilde tespit edilememesi ve motor tabanının uygun bir şekilde beraber oturmaması sonucu gevşeklik oluşur. Gevşeklik frekansı $f_{gevşeklik}$ aşağıdaki gibi verilir.

$$f_{gevşeklik} = N \times f_r \quad (9)$$

ASM'larda meydana gelen arızalara neden olan bir diğer hata hizalama hatasıdır. İki milin merkez eksenlerinin birbirine paralel olmamasından kaynaklanır. Açısal ve paralel hizalama hataları olarak iki kısımdır. Bunlardan açısal hizalama kusuru temel frekans değerinde tepe frekans oluşturur, $1 \times f_r$. Paralel hizalama hatası tepe frekansının iki katı tepe değeri oluşturur, $2 \times f_r$.

ASM'un kullanıldığı alandaki değişkenlerin sensörlerle elde edilip mikrodenetleyici kartına aktarılması için frekansa bağlı oluşan titreşim verilerini üç eksenle tespit eden bir LIS3DH ivmeölçer ve sıcaklıkla değeri azalan direnç (NTC) kullanılır. Tüm bu değişkenlerin değerleri mikrodenetleyici programı ile dijital sinyallere çevrilir. İvmeölçer üç eksen titreşimlerini algılayıp doğrudan dijital sinyallere çevirirken, NTC sıcaklığı analog sinyale çevirir.

Yöntem

Gerçekleştirilen çalışmada, ASM'un değişkenleri sensörlerle algılanıp gömülü sistem mikrodenetleyici sensör kartına gönderilmiştir. Bu kart yardımıyla kablosuz bir ağ ile bulut sistemine iletilen veriler arıza teşhisi ve analiz için kayıt altına alınmıştır. Sensör verilerinin alımında ve aktarımında WiFi ve Bluetooth haberleşme protokollerini içeren ESP-WROOM-32 kullanılmıştır. Kayıt altındaki veriler daha önceden IIoT sistemine ASM'un boşta, yarım yükte ve tam yükte çalışma koşullarında öğretilen veriler ile sürekli karşılaştırılmıştır. Böylece arızalı çalışma durumları kolaylıkla

belirlenebilmiştir. Oluşan arıza verilerinin saklanması için bulut veri tabanı kullanılmıştır. Bu veriler daha sonradan ürün iyileştirmesinde kullanılabilecek formda tutulmuştur. Şekil 3a'da Volt Elektrik firmasının Ar-Ge laboratuvar bölümünde kurulan uygulama bağlantısı ve Şekil 3b'de verilerin izlenmesi için kurulan düzenek gösterilmiştir. Çizelge 1'de deneylerde kullanılan ASM'un etiket değerleri verilmiştir.

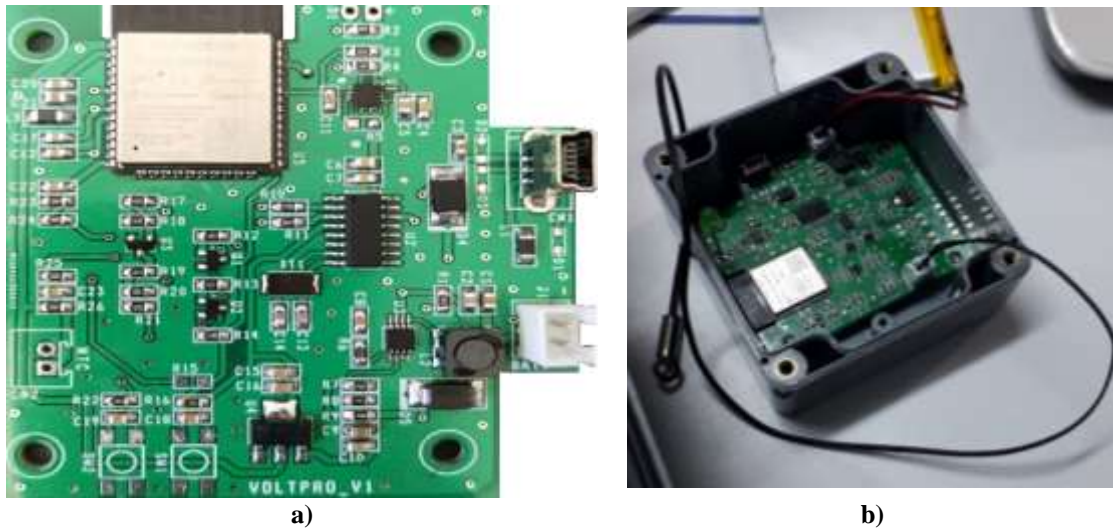


a) b)
Şekil 3. Üç fazlı ASM a) sensör yerleşimi ve b) izleme düzeniği

Çizelge 1. 3 fazlı ASM etiket değerleri

Özellik	Değer	Özellik	Değer
Faz sayısı	3 fazlı	Gerilim	400 V
Güç	250 kW	Akım	330 A
Gövde yapısı	315L	Hız	2980 rpm

Sistemde, ASM üzerine yerleştirilen gömülü sistem mikrodenetleyici sensör kartı geçici olarak çalışabilirliğinin kontrolü için monte edilmiştir. 80×82 mm boyutlarında tasarlanan baskı devre kartı (PCB) ASM gövde yapısı 250L ve üzeri büyüklüklerde olan motorlar için kullanışlıdır. Gömülü sistem mikrodenetleyici kartı, ASM yük altında çalışırken titreşimler ve sıcaklıklara dayanıklı hassas donanımlar dikkate alınarak uygun yapıda tasarlanmıştır. ASM'un titreşim verileri için üç farklı yönde titreşim sinyali alan üç yönlü ivmeölçer kullanılmıştır. Sensör kartının kapladığı alanın küçük olmasına dikkat edilmiştir. Bunun için PCB kart üzerine en uygun komponentler belirlenmiştir. Şekil 4a'da tasarlanan gömülü sistem mikrodenetleyici sensör kartı ve Şekil 4b'de plastik içerisinde yerleştirilmesi gösterilmiştir. Gömülü sistem mikrodenetleyici sensör kartı güç devresi, USB arayüz devresi, ivmeölçer devresi, sıcaklık sensörü devresi, pil düzeyi okuma devresi bulunmaktadır.

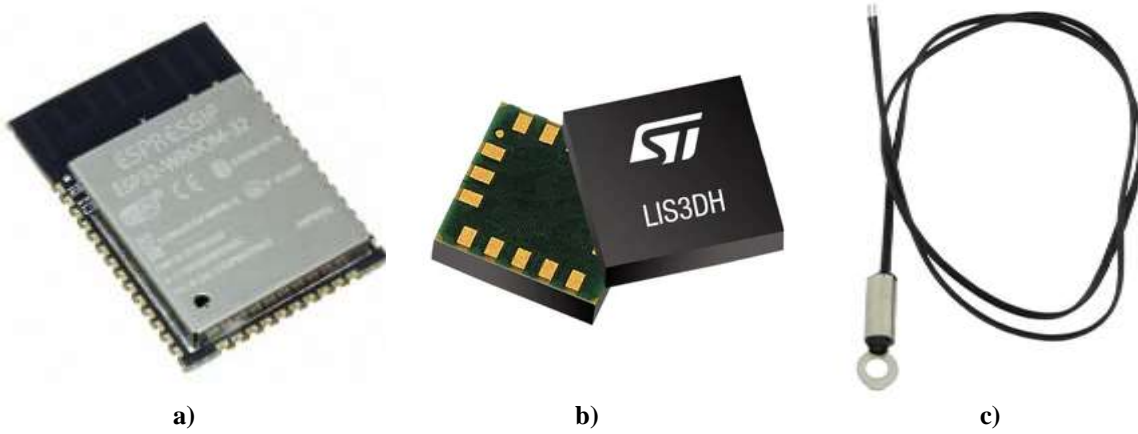


a) b)
Şekil 4. Tasarlanan gömülü sistem a) mikrodenetleyici sensör kartı ve b) plastik içerisinde yerleştirilmesi

Gömülü sistem mikrodenetleyici sensör kartında güç katı olarak devre donanımlarının beslenmesinde hem 3,7 V hem de 3,3 V kullanılmıştır. Gerilim regülasyonu LM2622 entegresi ile

sağlanmıştır. Bu entegre 1,6 A 0,2 Ω dahili anahtara ve pin seçilebilir frekansa sahiptir. Bunun çıkışına bağlanan XB1117 entegresi ile çıkış gerilimi 3,3 VDC ile sabitlenmiştir. USB katında, bilgisayar programlama bağlantısı ve CH340G entegresi ile USB arayüz seri bağlantısı için tercih edilmiştir. Pil düzeyinin belirlenmesi için mikrodenetleyici kartının pil düzeyi aktif edilerek sağlanmıştır. ASM'un akım değerlerinin algılanmasında Signaltec MCTS akım dönüştürücüsü kullanılmıştır. Bu dönüştürücü 60–1000 A AC değerine kadar çok kanallı yüksek hassasiyetli akım dönüştürmesini sağlamaktadır.

Titreşim verilerini üç eksende alan LIS3DH ivmeölçeri tercih edilmiştir. Bu entegre kullanıcı tarafından seçilebilen $\pm 2g/\pm 4g/\pm 8g/\pm 16g$ ölçeklerine sahiptir ve 1 Hz – 5 kHz arasında çıkış veri hızında ivme ölçebilir. Kullanılan titreşim sensörü dijital olarak verileri ESP kartına iletmektedir. Sıcaklık verileri için 10 K Ω değerinde NTC sensörü kullanılmıştır. Bu sensör ile ASM'un -30°C ile +115°C arasında sıcaklık değerleri ölçülebilmştir. Esnek yapısı nedeniyle ASM'un istenilen bölgesine yerleştirilebilmiştir. PCB kartının çiziminde açık kaynak OrCad Capture 10.5 kullanılmıştır. Sistemde kullanılan bileşenler Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Gömülü sistem mikrodenetleyici sensör kartı bileşenleri; a) ESP-WROOM-32, b) LIS3DH ve c) NTC

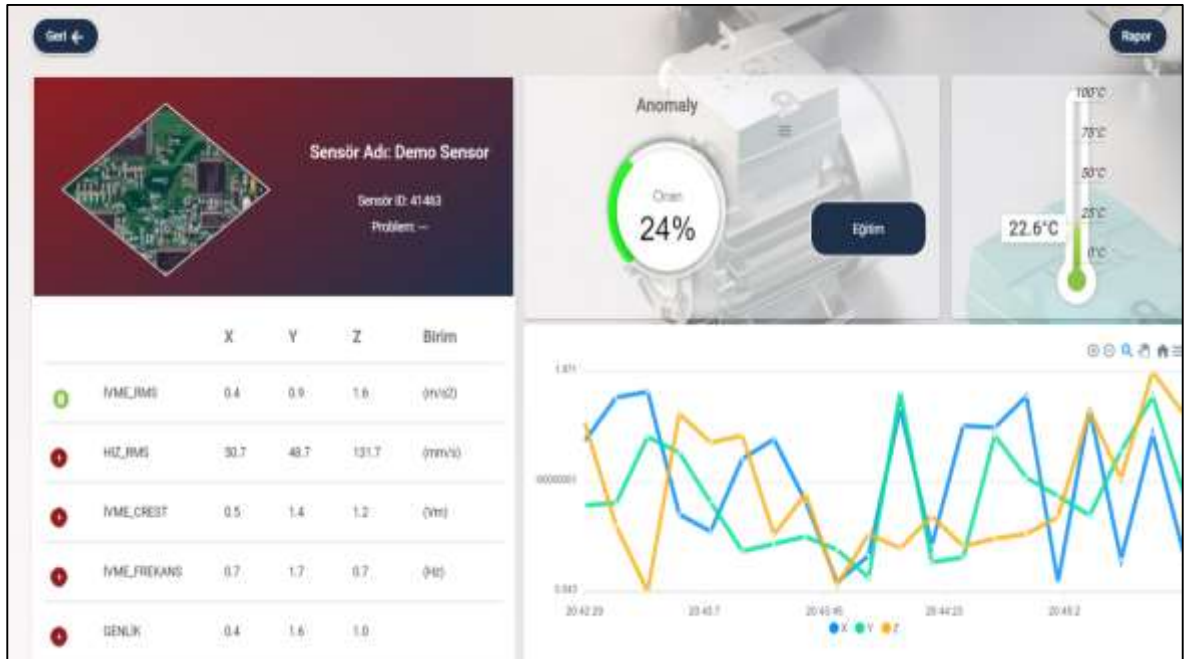
ASM gerçek verileri ile öğretilen verilerin karşılaştırılmasında sisteme yüklenen normal çalışma verileri kullanılmıştır. Oluşan arıza ortamında belirsizlik dâhilinde kanıta dayalı tahminler yapan bir model geliştirilmiştir. Sistemdeki her hata durumu sisteme öğretilmiş olup hata öncesi titreşim ve frekans verileri oluştuğunda sistem ilerleyen süreçte oluşacak hata hakkında kullanıcıyı uyaracak niteliktedir. ASM'un testinde Yokogawa marka WT1800 ölçüm cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz verileri ile ölçüm sensörlerinden gelen veriler karşılaştırılmıştır.

Bulut ağına gelen verilerin görselleştirilmesi için kişisel bilgisayarlara yazılan programlar kullanılmıştır. ASM'a bağlanan test donanımları ile çalışma bilgileri görselleştirilebilmiştir. Böylelikle gerçek zamanlı olarak sistemin izlenmesi ve kontrol edilmesi sağlanmıştır. Elde edilen veriler veritabanında tutulmuştur. Kişisel bilgisayarda verilerin gözlemlenmesi için web tasarımı oluşturulmuştur. Sistemde birden fazla ASM takibi için esnek bir web tasarımı yapılmıştır. Yazılımın önyüzünde Angular (Java-Script Framework) tercih edilmiştir. Veritabanı olarak PostgreSQL kullanılmıştır. Yazılımın esp ve idf kütüphaneleri barındıran Python ile yapılmıştır. Python yapay zekâ ve veri bilimlerinde oldukça kullanışlı bir dildir. Kullanıcı adı ve şifresi girilerek ASM verileri elde edilebilmekte ve sisteme müdahale imkânına kavuşulabilmektedir. Kullanıcı arayüzü ve test ekranı Şekil 6'da verilmiştir. Program sayesinde birden fazla sensör verileri için farklı giriş tanımlamaları yapılmıştır. Tüm sensörler tanımlı ağ adresleri ile iletişime geçerek veri gönderebilecek özelliktedir. Her sensöre ayrı bir isim verilerek verilerin hangi ASM'dan geldiği tespit edilebilmektedir. Yazılan test ekranı sayesinde ASM üzerindeki algılayıcıların verileri ile gerçek verileri karşılaştırılabilmektedir.



BULGULAR VE TARTIŞMA

DeneySEL çalışmalar Volt Elektrik Motorları firmasının bünyesinde bulundurduğu test laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Gömülü sistem mikrodenetleyici sensör kartı ile veriler 315L gövdesine sahip ASM üzerinden alınmıştır. Kullanılan mikrodenetleyicinin kablosuz veri iletmesi ile algılayıcı verilerinin bulut sistemine iletiminde kablo kullanılmamıştır. Kullanılan sistemden elde edilen sonuçlardan örnek bir grafik ve veri seti Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7. Gömülü sistem mikrodenetleyici sensör kartından buluta ulaştırılan titreşim verileri

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde ivme verilerinin üç eksen için birbirinden farklı olduğu görülmektedir. Bu değerler hem sayısal olarak hem de grafik formatında zamana bağlı olarak ifade edilmiştir. Fakat bu veri farklılıklarının anlamlandırılması için sisteme kazandırılan yapay zekâ algoritmalarının daha iyi düzenlenmesi gerekmektedir. Algılayıcılardan her 15 saniyede bir veri bulut ağına gönderilmiştir. Ekranda hem titreşim verileri hem de sıcaklık verileri gösterilmiştir. Sistem ilk önce dört dakikada bir veri alacak şekilde planlanmıştır. Bu sayının değiştirilebilmesi için bir fonksiyon sisteme konulmuştur. Ayrıca kullanıcı ekranlarında gösterilen verilerin anlamlandırılabilmesi için çeşitli fonksiyonların eklenmesi daha iyi olacaktır. Sistem kullanımında ASM’un boşa, yarım yükte ve tam yükte fonksiyonlarının öğretilmesinde diğer algoritmalara yer verilmesi sistemin işlevselliğini artıracaktır. Yapılan bu çalışmada, kestirimci bakım kararlarının verilmesi uyarılar şeklinde ekrana yansımaktadır. Bu verilerin birikmesi ile değişik gövde yapılarındaki ASM’ların arıza teşhisleri için büyük bir veri havuzu oluşacaktır.

Gerçekleştirilen bu çalışma, ASM'ların sensörlerle izlenmesinin ileride olabilecek hataları engelleyebilmek için çok elverişli bir yol olduğunu göstermiştir. Ayrıca ASM'un çalışma saatlerini takip etmeyi mümkün kılmıştır. Ek olarak hatanın nereden kaynaklandığının bulunabilmesine imkân vermiştir. Böylece ASM'ların çalışma veya çalışmama durumlarına ilişkin istatistiksel veriler gelecekteki tasarımlar için geliştirme fırsatlarını netice vereceği düşünülmektedir. Bu veriler geliştirilecek diğer motor tipleri için bir referans deposu olabilecektir. Böylece belirli tasarım problemleri için referans veri havuzları oluşturulabilecektir. Tasarımcılar bu verileri analiz ederek sorunlar hakkında da fikir edinebileceklerdir.

SONUÇ

Bu çalışmada, IIoT tabanlı ASM arıza tespit sistemi için gömülü sistem mikrodenetleyici sensör kartı geliştirilmesi yapılmıştır. Bu sistem üretim süreçlerinde önlem almak için koşullara bağlı bakım tedbirleri için önemli olmaktadır. Çalışma 315L yapısında bir üç fazlı ASM üzerinde denenmiştir. Elde edilen veriler bulut ağına iletilerek veritabanında değerlendirmeler için kaydedilmiştir. Ayrıca kullanıcılar için bir web ekranı oluşturularak sistemin izlenmesi ve kontrol edilmesi sağlanmıştır. Sisteme girilen ön veriler ile ASM'un arıza önleyici kestirimci bakım kararlarının alınması gerçekleştirilmiştir. Bunun sonucunda, meydana gelecek üretim, iş gücü ve verimlilik kayıplarının önüne geçilmesi sağlanması planlanmıştır. Sonuçta geliştirilen bu sistem sayesinde kullanıcı memnuniyeti, servis süreç yönetiminde iyileştirme, ürün geliştirme süreci için geri bildirim ve rekabet avantajları sağlanmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Bilim İnsanı Destek Programları Başkanlığı (BİDEB) 2209-B Üniversite Öğrencileri Sanayiye Yönelik Araştırma Projeleri Desteği Programı tarafından 1139B412100216 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Alagheband M R, Mashatan A, 2022. Advanced digital signatures for preserving privacy and trust management in hierarchical heterogeneous IoT: Taxonomy, capabilities, and objectives. *Internet of Things*, 100492.
- Altın C, Ulutaş H, Orhan E, Er O, Akdoğan V, 2021. Internet of things technology based agricultural spraying drone design for remote farming applications. *Celal Bayar University Journal of Science*, 17: 253–260.
- Ayaz E, 2002. Elektrik motorlarında dalgacık analizi yaklaşımı ile rulman arıza tanısı ve yapay zeka tabanlı bir durum izleme sistemi (Thesis), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ayşegül U, Uludağ M H, 2018. Nesnelerin interneti (IoT) ile akıllı sınıf ve öğrenci takip sistemi tasarımı. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 9: 591–600.
- Banerjee T P, Das S, 2012. Multi-sensor data fusion using support vector machine for motor fault detection. *Information Sciences*, 217: 96–107.
- Benhusein A H, 2019. Nesnelerin internetini kullanarak üç fazlı asenkron motorun gerçek zamanlı izlenmesi ve denetimi (Thesis), Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çeven S, Bayir R, 2020. Bir asenkron motorun mekanik titreşim sinyallerinin ölçülerek arıza analizinin yapılması. *European Journal of Science and Technology*, 312–322.

- Çıra F, 2018a. Asenkron motor arıza tespitinde akım uzay örüntü tanıma sisteminin kullanılması. Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7: 88–94.
- Çıra F, 2018b. Asenkron motorlarda gerçek zamanlı durum izleme ve arıza tespiti. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, 7: 12–24.
- Demircan B, Akyüz E, 2019. IoT and cloud based remote monitoring of wind turbine. Celal Bayar University Journal of Science, 15: 337–342.
- 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 – Journal of Mechanical Engineering, 57: 655–666.
- Duran F, Teke M, 2019. Akıllı yol durum sensörü tasarımı. International Journal of Engineering Research and Development, 11: 396–401.
- Ercan T, Kutay M, 2016. Endüstride nesnelerin interneti (IoT) uygulamaları. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16: 599–607.
- Erdal E, Ergüzen A, 2020. Nesnelerin interneti (IoT). International Journal of Engineering Research and Development, 12; 24–34.
- Hossein Motlagh N, Mohammadrezaei M, Hunt J, Zakeri B, 2020. Internet of things (IoT) and the energy sector. Energies, 13: 494.
- 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: 2011–2014.
- Kaya K, Ünsal A, 2021. Yapay sinir ağlarıyla asenkron motor çoklu arızalarının tespiti ve sınıflandırılması. Politeknik Dergisi, 1–1, [Basımda].
- Khanna A, Kaur S, 2020. Internet of things (IoT), applications and challenges: A comprehensive review. Wireless Personal Communications, 114: 1687–1762.
- Koca Y B, Ünsal A, 2017. Asenkron motor arızalarının değerlendirilmesi. Teknik Bilimler Dergisi, 7: 37–46.
- Kunikowski W, Czerwiński E, Olejnik P, Awrejcewicz J, 2015. An overview of ATmega AVR microcontrollers used in scientific research and industrial applications. Pomiar Automatyka Robotyka, 19.
- Kuş M, 2019. Asenkron motorlarda kırık rotor çubuk arızasının vibrasyon sinyali ile tespiti. Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 4: 36–43.
- Patel S A, Patel S P, Adhyaru Y B K, Maheshwari S, Kumar P, Soni M, 2021. Developing smart devices with automated machine learning approach: A review. Materials Today: Proceedings 2021.
- 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: 1280–1286.
- 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: 1350–1359.
- Şekkeli Z H, Bakan İ, 2018. Akıllı fabrikalar. Journal of Life Economics, 5: 203–220.
- Taşdelen K, Şimşek M A, Günaydin A, Küçüksille, 2018. EU denetleyici alan ağı tabanlı motor ve sensör kartlarının kontrolü ve izlenmesi. Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology, 6: 277–282.
- Türk F, Lüy M, 2021. Embedded systems and application areas in engineering. International Journal of Engineering Research and Development, 13: 256–265.
- Ünsal A., Kabul A, 2017. Asenkron motor rotor arızalarının istatistiksel analiz yöntemi ile değerlendirilmesi. Politeknik Dergisi, 20: 283–289.
- Ünsal A, Karakaya O, 2015. Asenkron motor rotor arızalarının analizi. Journal of Science and Technology of Dumlupınar University, 34: 69–86.

- Yalçinkaya F, Aydilek H, Erten M Y, İnanç N, 2020. IoT based smart home testbed using MQTT communication protocol. *International Journal of Engineering Research and Development*, 12: 317–324.
- Yetgin, A G, 2017. Asenkron motor mil apının motor performansına etkisi. *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21: 604–608.
- Yüksel M E, 2019. The design and implementation of a batteryless wireless embedded system for IoT applications. *Electrica*, 19: 1–11.
- Zhang C, Chen Y, 2020. A review of research relevant to the emerging industry trends: Industry 4.0, IoT, blockchain, and business analytics. *Journal of Industrial Integration and Management*, 5: 165–180.