



IJEASED

INTERNATIONAL JOURNAL OF EASTERN ANATOLIA  
SCIENCE ENGINEERING AND DESIGN

*Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi*  
ISSN: 2667-8764 , 1(2), 122-134 , 2019  
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/ijeased>





Araştırma Makalesi / *Research Article*

## Sürücüden Beslenen Asenkron Motorlarda Rulman Arızalarının Stator Akımı Kullanılarak Tespiti

İbrahim AKKURT <sup>1\*</sup>, Hayri ARABACI <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, 42075, Konya, Türkiye.

<sup>2</sup> Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 42075, Konya, Türkiye.

Yazar Kimliği / <i>Author ID (ORCID Number)</i>	Makale Süreci / <i>Article Process</i>
*Sorumlu Yazar / <i>Corresponding author</i> : <a href="mailto:akkurt_207@hotmail.com">akkurt_207@hotmail.com</a>  <a href="https://orcid.org/0000-0003-4197-0006">https://orcid.org/0000-0003-4197-0006</a> , İ. Akkurt  <a href="https://orcid.org/0000-0002-9212-0784">https://orcid.org/0000-0002-9212-0784</a> , H. Arabacı	Geliş Tarihi / <i>Received Date</i> : 16.06.2019 Revizyon Tarihi / <i>Revision Date</i> : 18.07.2019 Kabul Tarihi / <i>Accepted Date</i> : 18.07.2019 Yayın Tarihi / <i>Published Date</i> : 15.12.2019
Alıntı / <i>Cite</i> : Akkurt, İ., Arabacı, H. (2019). Sürücüden Beslenen Asenkron Motorlarda Rulman Arızalarının Stator Akımı Kullanılarak Tespiti, Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi, 1(2), 122-134.	

### Özet

Bu çalışmada sürücüden beslenen asenkron motorlardaki rulman arızalarının tespiti akım işaret analizi ve yapay sinir ağı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyde kullanılan rulmanların çeşitli bölgelerine hasarlar verilerek yapay arızalar oluşturulmuştur. Hatalı rulmana ait motordan alınan akım sinyalleri, zaman ve frekans boyutunda incelenmiştir. Elde edilen veriler sağlam rulmana ait akım sinyali ile karşılaştırılarak farklılıklar araştırılmıştır. Her rulmana ait baskın özellikler istatistiksel ve spektral olarak belirlenerek özellik çıkarımı yapılmıştır. Belirlenen bu özellikler sayesinde yapay sinir ağı eğitilerek hata tespiti ve sınıflandırması gerçekleştirilmiştir. Rulman arızaları sınıflandırmasında %95.3 doğruluk oranına ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Akım analizi, Asenkron motor, Hata tespit, Rulman arızası.

## *Detection of Bearing Faults by Using Stator Current in Inverter-Fed Induction Motor*

### Abstract

*In this study, inverter-fed induction motor of bearing fault detection is realized by stator current analysis and artificial neural network. Artificial failures are created by damaging various parts of the bearings used in the experiment. Current signals received from the motor of the faulty bearing are examined in time and frequency dimension. The differences are investigated by comparing the obtained data with the current signal of the robust bearing. The dominant*

*characteristics of each bearing are determined as statistical and spectral so that feature extraction are performed. Failure detection and classification are realized by artificial neural network trained with these determined features. Failure detection are completed by classifying 95.3% accuracy rate.*

**Keywords:** *Bearing fault, Current analysis, Fault detection, Induction motor.*

## 1. Giriş

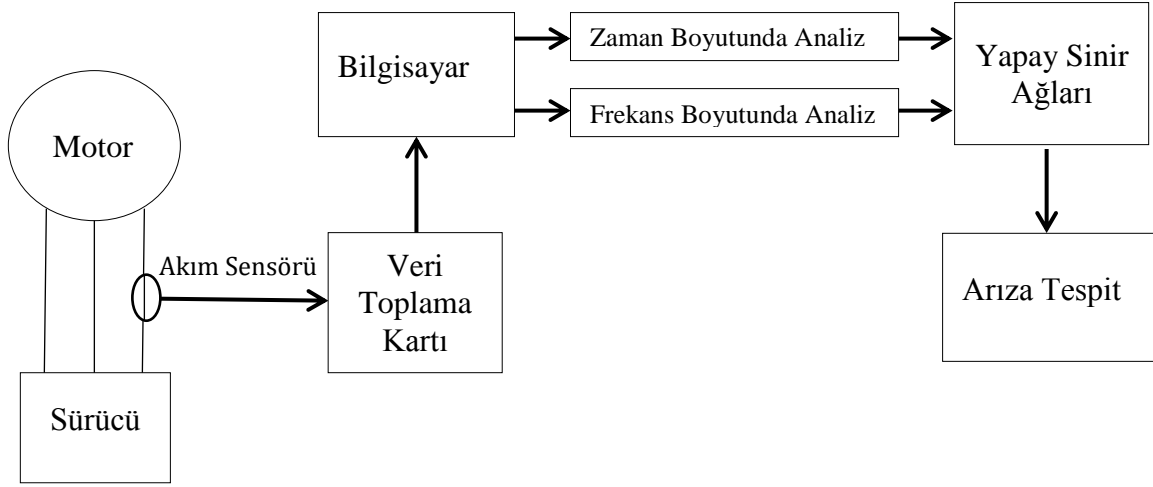
Asenkron motorlar, sağlam ve ucuz olmaları, yüksek performans değerleri ve kullanışlı olmaları nedeniyle endüstriyel sürecin vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Üretim yapan tesislere bakıldığında kullanılan motorların çoğunu asenkron motorlar oluşturmaktadır. Bu motorlar zorlu üretim şartlarında çevresel faktörlerden dolayı stator, rotor ve rulmanda kendini gösteren çeşitli arızalara maruz kalırlar. Bu arızaları önceden tespit edebilmek endüstriyel sürecin sağlıklı ve kesintisiz işletilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Günümüz endüstrisinde asenkron motorların kontrolü çoğunlukla değişken hızlı sürücüler ile gerçekleştirilmektedir. Motorda oluşacak herhangi bir arızadan dolayı sürücü alarma geçse bile zamansız kesintiyi önlemek mümkün değildir. Meydana gelen arıza son safhasına geldiğinden dolayı sistemi durdurup tamir etmek gerekmektedir. Geçmişten günümüze üretim yapan sistemlerde, teknolojik gelişmelere ve zaman şartlarına göre değişik bakım yöntemleri geliştirilip uygulanmıştır. Düzeltici ya da arıza sonrası bakım, periyodik ya da zaman tabanlı bakım ve öngörülü ya da durum tabanlı bakım olmak üzere uygulanan üç çeşit bakım yöntemi vardır (Zhou, 2016). Düzeltici bakım çalışması, arıza öncesinde müdahale yapılamadığı ve müdahale etmek mümkün olmadığı için arıza meydana geldikten sonra yapılan bakım çalışmasıdır. Bu bakım yönteminde arızalanan parça yenisi ile değiştirilmek suretiyle arıza giderilir. Periyodik bakım çalışması, üretim sisteminde bulunan bir eleman üzerinde belli aralıklarda ya da üretim ve sipariş yoğunluğunun durumuna göre duruş zamanlarında sistem elemanlarının sağlamlık kontrolü gerçekleştirilerek yapılan bakımdır. Öngörülü bakım çalışması, kontrol edilecek sistem elemanlarının performans parametrelerinin izlenmesi ve bunların daha önceden belirlenmiş sağlam eleman parametreleriyle karşılaştırılması esasına dayanır. Bu yöntem sayesinde sürecin çalışmasını devam ettirebilmek için alınabilecek önlemleri belirlemek mümkündür. Diğer bakım çalışmalarından farkı, elemanın davranışındaki başlamakta olan değişiklikleri izleyerek arıza oluşmadan önce arızaya sebep olabilecek durumların belirlenmesi ve bakımın gerektiği zaman yapılmasıdır (Orhan, 2003). Asenkron motorlarda rulman arızaları üzerinde literatürde bulunan çalışmalara bakıldığında gelişim sürecinin devam ettiği görülmektedir. Asenkron motorlarda bölgesel rulman arızaları üzerinde bir yöntem önerilmiştir. Motor akım işaret analizi yapılarak rulmanı arızalı motorun stator akımından örnekler toplanmıştır. Spektral Kurtois ve Envelope Spektrum tabanlı algoritma ile arıza tespiti gerçekleştirilmiştir (Leite ve ark., 2015).

Başka bir çalışmada üç fazlı asenkron motorlarda stator akımını kullanarak rulmanda bulunan kafes ve dış bilezik arızaları üzerinde deneyler yapılmıştır. Motordan toplanan akım sinyalleri frekans spektrumuna aktarılmış ve dalgacık dönüşüm tekniğini kullanarak arıza tespiti yapılmıştır (Kompella ve ark., 2018). Diğer bir çalışmada asenkron motorlarda rulman arızalarının tespitinde akım spektrumu yöntemini önerilmiştir. Akım sinyali Hızlı Fourier Dönüşüm yöntemi ile frekans düzlemine aktarılmış ve Support Vector yöntemiyle rulmanda oluşan noktasal hatalar tespit edilmiştir (Pandarakone ve ark., 2016). Diğer bir çalışmada ise asenkron motorlarda rulman arızalarını belirlemek için akım spektrum yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmanın amacı karakteristik hata frekanslarını açıklamak ve stator akımının güç spektral yoğunluğunun zamansal değişimini değerlendirmektir (Kanemaru ve ark., 2018).

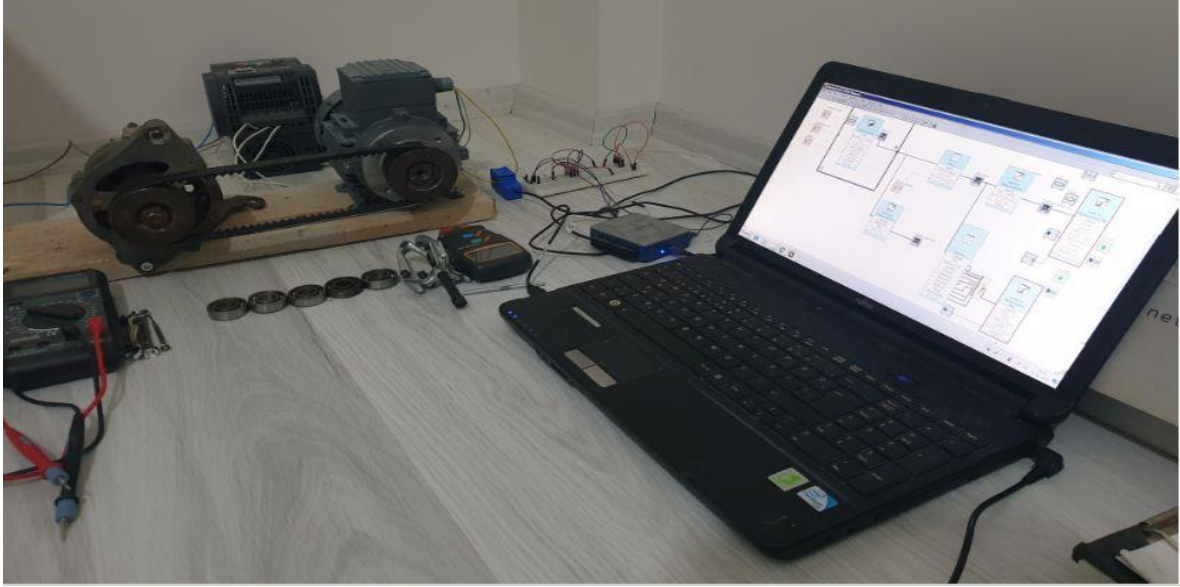
Bu çalışmada da durum izleme tabanlı bakım amaçlanmış olup sürücüden beslenen asenkron motorlarda rulman arızalarının tespiti için akım örnekleri toplanmıştır. Rulman parçalarına ait dış bilezik, iç bilezik ve kafeste yapay olarak hatalar oluşturulmuştur. Her bir durum için akım sensörü yardımıyla toplanan sinyaller veri toplama kartı ile bilgisayara aktarılmıştır. Elde edilen akım sinyallerinin zaman bölgesinde istatistiksel özellikleri ve frekans bölgesinde spektral özellikleri çıkarılmıştır. Bu özellikler çok katmanlı sinir ağının giriş parametreleri olarak kullanılıp ağ eğitilmiştir ve arıza tespit süreci tamamlanmıştır.

## **2. Rulman Arıza Tespit Sistemi**

Asenkron motorlarda öngörülü bakım çalışmaları incelendiğinde stator akımı yardımıyla durum izleme yönteminin kullanımı kolay ve sistem maliyetinin düşük olması nedeniyle yaygın olarak kullanıldığı gözlenmiştir. Bu çalışma için hazırlanan deney düzeneğinde sürücüden beslenen 0.37 kW güce sahip üç fazlı asenkron motorun tek fazına akım transformatörü yerleştirilerek akım sinyalinden örnekler toplanmıştır. Bu örnekler sinyal işleme teknikleri kullanılarak zaman ve frekans bölgesinde analiz edilmiştir. Hatalı rulman ve sağlam rulman durumuna ait özellikler belirlenip sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 1’de rulman arıza tespit sisteminin blok diyagramı ve Şekil 2’de deney düzeneğinin fotoğrafı verilmiştir.



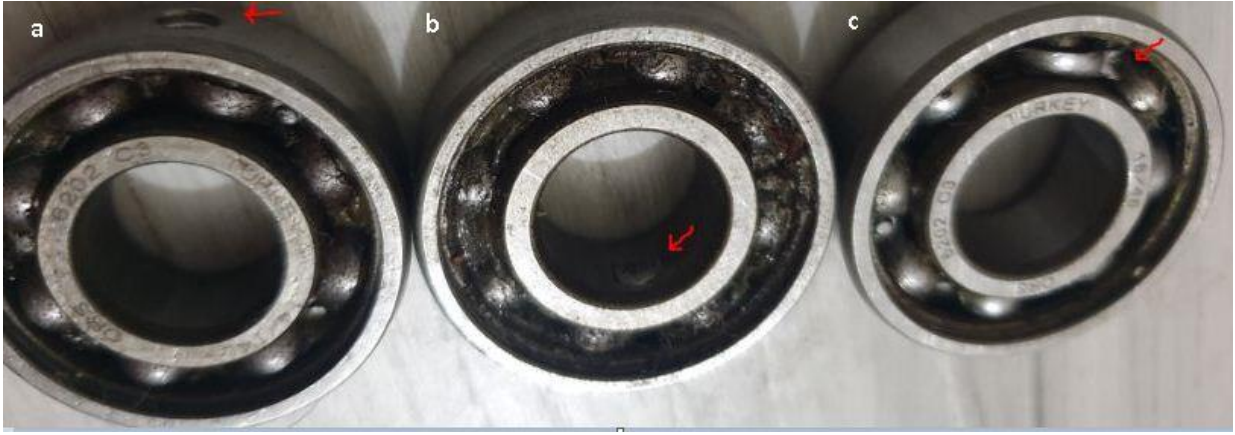
Şekil 1. Rulman arıza tespit sistemi blok gösterimi



Şekil 2. Deney düzeneğinin fotoğrafı

## 2.1. Rulman Arızalarının Oluşturulması ve Verilerin Toplanması

Rulmanlarda oluşabilecek bölgesel hataları incelemek için deneyde kullanılan 6202 kod numaralı rulmanların dış bilezik, iç bilezik ve kafesinde yapay olarak arızalar oluşturulmuştur. Birinci rulmanın dış bileziğinde 1 mm derinliğinde delik açılıp motora yerleştirilerek akım örnekleri toplanmıştır. Birinci rulmana ait zaman ve frekans düzlemindeki özellikleri belirlenmiştir ve kaydedilmiştir. İkinci rulmanın iç bileziğinde 1 mm derinliğinde delik açılıp motora yerleştirilerek akım örnekleri toplanmıştır ve aynı işlemler tekrarlanmıştır. Üçüncü rulmanda iki kafesi birbirine bağlayan pim çıkartılarak motora yerleştirilmiştir ve akım örnekleri toplanmıştır. Şekil 3’de hatalı rulmanlara ait fotoğraf verilmiştir.

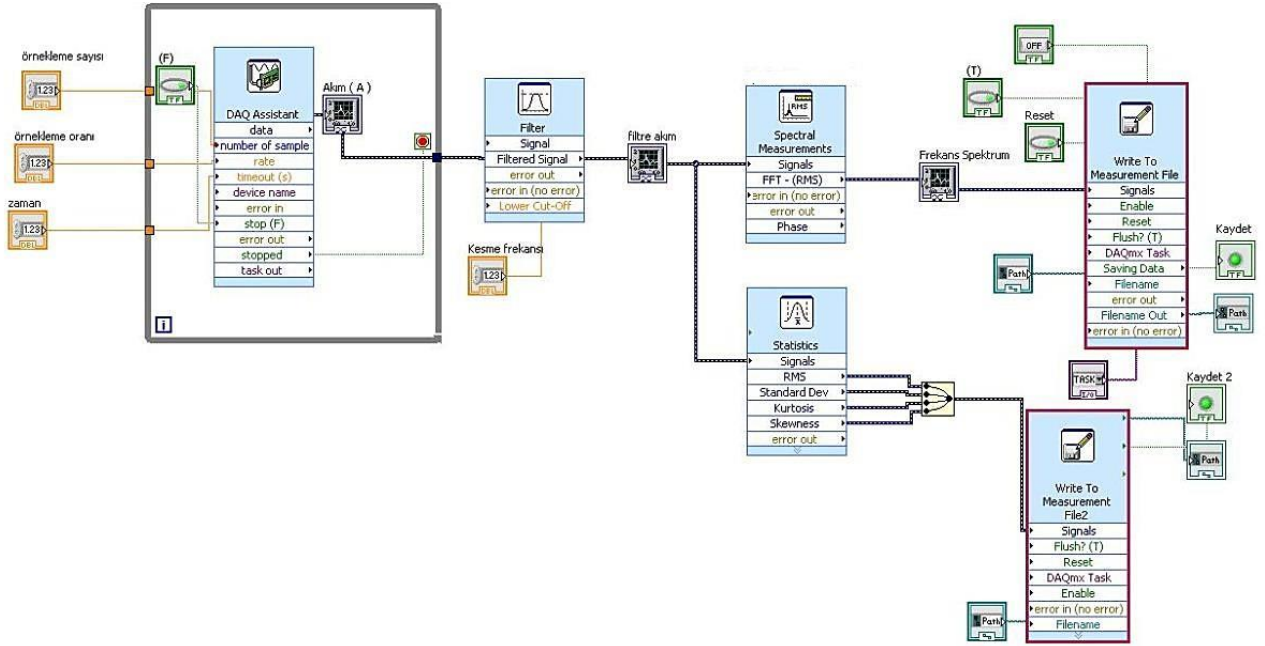


**Şekil 3.** (a) dış bileziği hatalı rulman, (b) iç bileziği hatalı rulman, (c) kafesi hatalı rulman

Motordan alınan her bir akım sinyalinden 20 kHz örnekleme frekansında 10 saniyelik veriler toplanmıştır ve 200000 veri uzunluğunda kaydedilmiştir. Sinyal, yükseltme ve filtreleme işleminden geçirilen akım örneklerinin zaman boyutunda; etkin değer, çarpıklık, basıklık ve standart sapma gibi istatistiksel özellikleri; frekans boyutunda 10000 noktalı Hızlı Fourier Dönüşümü (HFD) kullanılarak hesaplanmıştır ve kaydedilmiştir. Bu işlemler her hatalı rulman ve sağlam durum için tekrar edilmiştir. Şekil 4’de verilerin toplanması ve sinyallerin analiz edilmesi için Labview ortamında hazırlanan programın blok gösterimi verilmiştir.

## **2.2. Zaman Boyutunda Analiz**

Zaman boyutunda analiz, asenkron motorlarda arıza tespiti için güçlü bir araçtır. Sensörler kullanılarak motorlardan alınan verilerin; zaman boyutunda yapılacak her türlü analizinin en temel ve en ucuz yöntem olacağı söylenebilir. Lineer olmayan sinyallerde bile hesap kolaylığı yönüyle zaman kazancı sağladığından bu tür analiz faydalı bir şekilde kullanılmaktadır. Zaman boyutunda bir sinyali analiz etmede en basit yöntem, analiz edilecek sinyallerin karakteristiğine uygun istatistiksel işlemler uygulanarak sinyalden belirli parametreleri elde etme yoluyla sinyalin değerlendirilmesidir (Bellini ve ark., 2008). Asenkron motorlarda arıza tespiti için zaman tanımlı birçok yöntem olsa da en çok kullanılan yöntemler çarpıklık, basıklık, etkin değer ve standart sapmadır.



Şekil 4. Veri toplama ve sinyal analiz blok gösterim

### 2.2.1. Etkin Değer

Kuadratik ortalama olarak da bilinen karelerin ortalamasının karekökü, değişken verinin genliğini ölçen istatistiksel bir yöntemdir. RMS değeri eşitlik (1)'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır (Ghate ve Dudul, 2010).

$$RMS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2 \quad (1)$$

$x_i$ : akım sinyalinin genliği

$N$ : ölçülen toplam genlik sayısı

### 2.2.2. Çarpıklık

İstatistiksel olarak dağılımın üçüncü momenti olan çarpıklık, reel değerli bir değişkenin olasılık dağılımının asimetri ölçüsüdür. Aynı zamanda verilerin, aritmetik ortalama çevresindeki dengeden uzaklaşma eğilimini gösterir. Eşitlik (2)'de standart sapma ve eşitlik (3)'te çarpıklık hesaplanması gösterilmiştir (Ghate ve Dudul, 2010).

$$\text{standart sapma } (\sigma) = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\bar{x} - x_i)^2} \quad (2)$$

$$\text{çarpıklık} = \frac{1}{N\sigma^3} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^3 \quad (3)$$

### 2.2.3. Basıklık

Basıklık, istatistiksel olarak dağılımın 4. momentidir ve verilerin normal dağılımına göre basıklık veya sivrilik derecesini gösterir. Basıklık, dağılım büyüklüğünün ölçülmesini sağlar ve verinin içindeki başlıca tepeleri göstermektedir ve eşitlik (4)'te gösterildiği gibi hesaplanmaktadır (Samanta ve Al-balushi, 2003).

$$\text{basıklık} = \frac{1}{N\sigma^4} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^3 \quad (4)$$

## 2.3. Frekans Boyutunda Analiz

Akım sinyallerinin güç spektrumunda frekans bileşenlerine bakarak, hasar hakkında bilgi alınabilmektedir. Rulmandan elde edilen sinyalinin frekans spektrumu elde edilerek yerel hataların frekans analizi yapılabilmektedir. Bu yöntemde rulmanın geometrik değerleri ve mil dönme frekansı bilirse rulman hasar frekansları hesaplanabilmektedir. Hasarın boyutuna bağlı olarak hasar frekanslarının genliklerinin arttığı görülmektedir (Aliustaoğlu, 2008). Bu uygulamada da akım sinyalinin spektrum grafiği incelenmiş olup sağlam ve hatalı rulmana göre tepe değerler arasındaki farklar gözlemlenmiştir. Sağlam rulmanın spektrum grafiğinde motor sürme frekansı, şebeke frekansı ve harmoniklerinde tepe değerler görülmüştür. Hatalı rulmana ait spektrum grafiğinde bunların dışında hesaplanan karakteristik hata frekanslarına denk gelen tepe değerler görülmüştür.

### 2.3.1. Motor Akım İşaret Analizi

Endüstride akım ve gerilim sinyallerinin harmonik taşımaları nedeniyle dalga şekillerinde bozulmalar meydana gelir. Bu sinyallerdeki değişimler izlenerek motorlarda meydana gelen çeşitli hatalar tespit edilebilir. Motor akım işaret analizinde stator ile rotor arasındaki hava aralığındaki değişimler hava akısı aracılığı ile stator akımını etkiler. Akıma etki edecek bu durumun izlenmesi

ile asenkron motorlarda hem mekanik hem de elektriksel arızalar tespit edilebilir. Akım sinyali motor parçalarında bir hata olmadığında ideal sinüs dalgasına yakın olmalıdır. Zaman ve frekans aralığında gösterebildiğimiz akım sinyali motorda olumsuz bir durum meydana geldiğinde bozulur. Frekans aralığında bulunan bir sinüs dalgaının tepe genliği ile zaman aralığındaki etkin değerin tepe değeri eş olmalıdır. Bu nedenle harmonik taşımayan bir sinyalin frekans spektrumunda yalnızca bir adet tepe görülmelidir. Motor akımı birçok harmonik taşınması nedeniyle frekans spektrumunda birden fazla tepe değerler görülür. Akım imza analizi, motordan toplanan akım örneklerinin daha önceden belirlenmiş çeşitli hata sinyalleri ile karşılaştırma yöntemidir ve HFD kullanılarak gerçekleştirilir (Ateş, 2016). Bu uygulamada da zaman bölgesindeki akım sinyalini frekans bölgesine aktarırken HFD yöntemi kullanılmıştır. Tek başına bu yöntem uygulandığında istenilen spektral genlik değerlere ulaşılamamıştır. Bu yöntemle spektrum grafiği tek bir çizgi halini almıştır. Hanning Pencereleme metodu uygulanarak hatalı rulmanlara ait spektrum grafikleri incelendiğinde şebeke frekansı, motor sürme frekansı ve bunların harmonik katları dışındaki genlik değerlerinde artışlar görülmüştür.

### 2.3.2. Rulman Hata Frekansı

Rulmandaki bir hata motordaki hava aralığının değişmesine neden olur ve stator akımında kaynak frekansı ve daha önce tanımlanan karakteristik rulman frekansları ile ilişkili olan eşitlik (5)'deki bağıntıyla verilen frekansları üretir (Zarei, 2007).

$$f_{rulman} = |f_r \pm m * f_{o,i,c}| \quad (5)$$

$m = 1,2,3,\dots$ , harmonik kat sayı

$f_r$  = şebeke frekansı

$f_{o,i,c}$  = dış bilezik, iç bilezik, kafes karakteristik rulman titreşim frekansları

$f_{rulman}$  = akımda oluşan rulman hata frekansı

Şebekeden beslenen asenkron motorlarda akım spektrumunda şebeke frekansı ve yan bantlarında tepe değerler görülmektedir. Sürücüden beslenen asenkron motorlarda şebeke frekansıyla birlikte harmonik katlarını da hesaplamak gerekmektedir. Bu nedenle hatalı rulmanlar eşitlik (6)'da gösterildiği gibi frekanslar üretir.

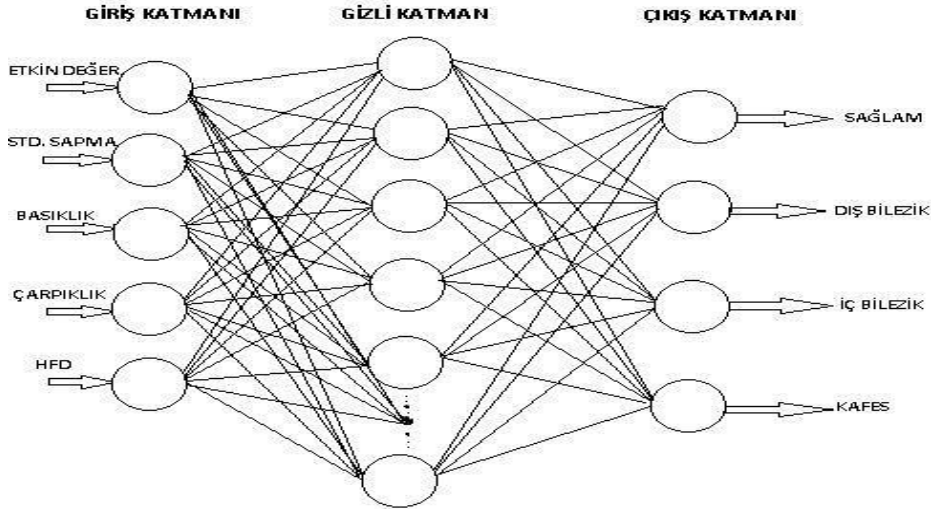


$$f_{rulman} = |n * f_r \pm m * f_{o,i,c}| \quad (6)$$

n, m = harmonik kat sayıları

## 2.4. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları, insan beyninin işlevlerine benzer şekilde öğrenerek yeni bilgiler türetebilme, keşfetme ve yeni şartlara uygun kararlar oluşturma gibi üstün yetenekleri otomatik olarak gerçekleştirmek için geliştirilmiş bilgisayar sistemidir (Öztemel, 2003). Yapay sinir ağları, doğrusal olmama, öğrenme, genelleme, hızlı işlem yeteneği, optimizasyon, sınıflandırma, tahmin gibi özellikleri olması nedeniyle birçok uygulamada tercih edilir (Sağiroğlu, 2003). Bu özelliklere göre farklı yapay sinir ağı modelleri geliştirilmiştir. Bu çalışma için 5 girişli, tek gizli katmanlı ve 4 çıkışlı yapay sinir ağı modeli kullanılmıştır. Şekil 5’de bu çalışma için oluşturulan yapay sinir ağı modeli verilmiştir.



Şekil 5. Uygulamada kullanılan çok katmanlı yapay sinir ağı modeli

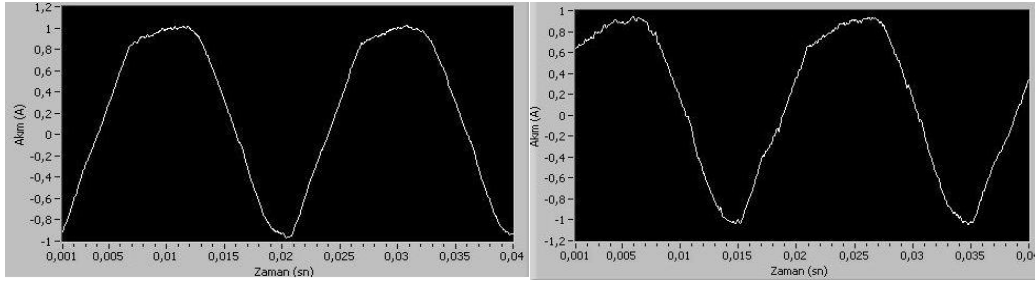
Giriş parametreleri olarak standart sapma, basıklık, çarpıklık, etkin değer ve toplam HFD değerleri 5 sütuna yerleştirilmiştir. Gizli katman sayısının belirli bir standardı olmadığından denemeler sonucunda en iyi sonuçlara 50 gizli katman seçildiğinde ulaşılmıştır ve aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. Çıkış katmanına sağlam durum, dış bilezik arızası, iç bilezik arızası ve kafes arızasını temsil edecek şekilde hedef matris atanmıştır ve Tablo 1’de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Yapay sinir ağı hedef matris

Sağlam Rulman	1	0	0	0
Dış Bilezik Arızası	0	1	0	0
İç Bilezik Arızası	0	0	1	0
Kafes Arızası	0	0	0	1

### 3. Bulgular ve Tartışma

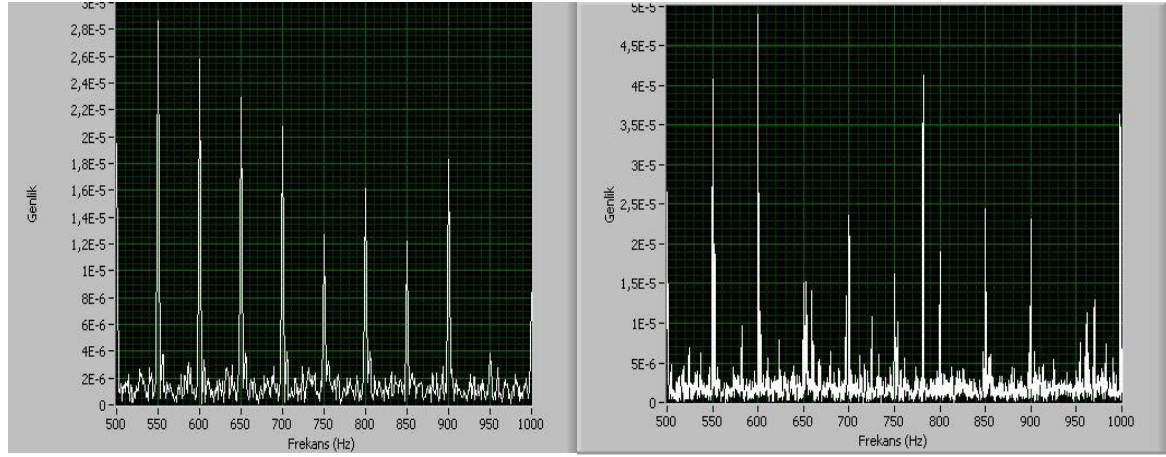
Bu uygulamada sağlam rulman ve hatalı rulmana ait akım sinyalleri toplanarak sinyal analiz teknikleriyle incelemeler yapılmıştır. Zaman ve frekans boyutundan çıkarılan özellikler kullanılarak yapay sinir ağı eğitilmiştir ve sınıflandırma işlemi tamamlanmıştır. Motordan toplanan akım sinyalleri sağlam rulmana sahip motor ile karşılaştırıldığında gürültü oranında artış ve sinyalde bozulmalar görülmüştür. Ancak arızaya sebep olabilecek birçok durum olması nedeniyle arızanın kaynağını tespit etmek mümkün değildir. Akım sinyalini daha detaylı incelemek için ileri sinyal işleme teknikleri kullanılmıştır. Şekil 6'da sağlam ve hatalı rulmana ait sinyal yükseltme ve filtreleme uygulanmış akım sinyalinden bir kesit verilmiştir.



**Şekil 6.** Sağlam ve hatalı rulmana ait akım sinyali

Labview ortamında toplanan akım sinyallerinin zaman düzleminde standart sapma, etkin değer, basıklık ve çarpıklık değerleri hesaplanıp kaydedilmiştir. HFD tekniği kullanılarak frekans düzlemine aktarılan sinyalde rulman hata frekansları araştırılmıştır. Hatalı rulmana ait spektrum grafiğinde şebeke frekansı ve harmonik katları dışında da genlik değerlerinde artışlar görülmüştür. Hesaplanan değerler ile karşılaştırma yapılarak rulman hata frekansları doğrulanmıştır. Ancak sürücünden kaynaklanan harmoniklerde artış nedeniyle ve motor şebeke frekansından farklı hızlarda kontrol edildiğinde tepe değerlerde artış görülmüştür ve hatayı tespit etmek zorlaşmıştır. Bu nedenle ileri teşhis yöntemi olarak yapay sinir ağı kullanılmıştır. Şekil 7'de sağlam rulman ve hatalı rulmanın normalize edilmiş spektrum grafiğinden kesitler verilmiştir. Hatalı rulmanların spektrum grafikleri incelendiğinde rulman hata frekanslarının 500-1000 Hz aralığında belirgin olarak

görülmüştür. Diğer frekans aralıklarında harmonik bozulmalarının artması nedeniyle hata frekanslarını tespit etmek zorlaşmıştır.



**Şekil 7.** Sağlam ve hatalı rulmana ait spektrum grafiği

Sağlam ve hatalı rulmanın akım spektrumlarında belirgin farklar bulunduğu Şekil 7'de görülmektedir. Her hatalı durum ve sağlam durum için akım sinyalinin 10000 noktalı HFD'si bilgisayar ortamında hesaplanarak kaydedilmiştir. Zaman sinyalinden çıkarılan özellikler ve frekans düzleminden çıkan özellikler birleştirilerek yapay sinir ağının giriş verisi hazırlanmıştır. Sinyal analizinden elde edilen parametreler Tablo 2'de verilmiştir. Sonuçların güvenilirliği ve verilerin zenginleştirilmesi amacıyla; sağlam durum için 10, hatalı durumlar için 11'er defa hesaplanan bu parametreler Tablo 2'deki sıraya göre yapay sinir ağının giriş kısmına toplam 43 satır ve 5 sütun olarak yerleştirilmiştir. Verilerin %60'ı eğitim, %20'si doğrulama ve %20'si test verisi olarak ayrılmıştır ve ağ eğitilmiştir.

**Tablo 2.** Yapay sinir ağı giriş parametreleri

Rulman Durumu	Etkin Değer	Standart Sap.	Basıklık	Çarpıklık	Toplam HFD
Sağlam	0.007988	0.007749	1.621911	-0.300860	0.018950
Dış Bilezik Arızası	0.005446	0.005347	1.858921	-0.376580	0.046197
İç Bilezik Arızası	0.006564	0.006396	1.944526	-0.374050	0.035492
Kafes Arızası	0.005949	0.005770	1.923561	-0.385584	0.031877

Yapay sinir ağının eğitiminden elde edilen sınıflandırma sonuçlarının gösterimi için karışıklık matrisi yöntemi kullanılmıştır. Şekil 8'de yapay sinir ağının eğitim, test ve doğruluk sonuçlarını kapsayan karışıklık matrisi verilmiştir.

10 23.3%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
0 0.0%	10 23.3%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
0 0.0%	1 2.3%	11 25.6%	1 2.3%	84.6% 15.4%
0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	10 23.3%	100% 0.0%
100% 0.0%	90.9% 9.1%	100% 0.0%	90.9% 9.1%	95.3% 4.7%
SAGLAM	DIŞ BİLEZİK	İÇ BİLEZİK	KAFES	DOĞRULUK

Şekil 8. Karışıklık matrisi sınıflandırma sonucu

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada asenkron motorlardaki rulman durumlarının stator akımı yardımıyla izlenmesi ve arıza tespiti gerçekleştirilmiştir. Motordan toplanan akım verilerinin zaman ve frekans boyutunda örnekleri toplanıp sağlam ve hatalı rulman özellikleri ayırt edilebilmiştir. Bu özellikler kullanılarak yapay sinir ağları eğitilmiş ve sınıflandırma gerçekleştirilmiştir. Sürücünden beslenen asenkron motorlarda rulman arızalarının stator akımı yardımıyla izlenmesi ve hata tespitinin mümkün olduğu önerilen yöntemle gösterilmiş ve deneysel çalışma ile gerçekleştirilmiştir. Eğitim sonuçlarını içeren karışıklık matrisi incelendiğinde %95.3 doğruluk oranıyla yapay sinir ağlarının hata ve sınıflandırma uygulamalarında etkili bir yöntem olduğu görülmektedir.

Ayrıca akım yardımıyla durum izleme yöntemi kullanılarak sinyalde oluşacak harmoniklerin izlenmesi sayesinde asenkron motorun çeşitli arızaları da tespit edilebilir. Endüstride kullanılan motorların çoğunluğunu oluşturulan asenkron motorlarda akım sinyalini kullanarak öngörülü bakım çalışması yapılabileceği görülmüştür. Bu çalışmada rulman durumunu izlerken bir motor kullanılmıştır. Aynı özelliklere sahip birden fazla motorun bulunduğu üretim yapan sistemlerde stator akımı ile aynı anda motorların durumunu izlenip hata tespiti yapılabilir. Böylece üretim yapan sistemlerde zamansız kesintiler önlenebilir ve motor bakım maliyetleri düşürülebilir.

## **Kaynaklar**

- Aliustaoğlu, C., (2008). *Rulman arızalarının gerçek zamanda analizi ve arıza kaynaklarının tespit edilmesi*, Yüksek Lisans Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- Ateş, M.C. (2016). Motor akım imza analizi, Voltimum Elektrik <https://www.voltimum.com.tr/haberler/akim-imza-analizi-nedir>. (Erişim Tarihi: 10 Temmuz 2019).
- Bellini, A., Filippetti, F., Tassoni, C., ve Capolino, G.A., (2008). Advances in Diagnostic Techniques for Induction Machine, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 55(12), 4109-4126.
- Ghate, V.N. ve Dudul, S.V., (2010). Optimal MLP neural network classifier for fault detection of three phase induction motor, *Expert Systems with Applications*, 37(4), 3468-3481.
- Kanemaru, M., Tsukima, M., Miyauchi, T., ve Hayashi, K., (2018). Bearing Fault Detection in Induction Machine Based on Stator Current Spectrum Monitoring. *IEEEJ Journal of Industry Application*, 7(3), 282-288.
- Kompella, K., Rao, M.V., ve Rao, R.S. (2018). Bearing fault detection in a 3 phase induction motor using stator current frequency spectral subtraction with various wavelet decomposition techniques. *Ain Shams Engineering Journal*, 9(4), 2427-2439.
- Leite, Valéria C.M.N., Silva, J.G. Borges da, Veloso, G.F.C., ve Eduardo, L., (2015). Detection of localized bearing faults in induction machines by spectral kurtosis and envelope analysis of stator current. *IEEE Trans. Ind. Electron.*, 62(3), 1855-1865.
- Orhan, S., (2003). Dönen makinelerde oluşan arızalar ve titreşim ilişkisi, *Teknoloji*, 6(3-4), 41-48.
- Öztemel, E., (2003). *Yapay Sinir Ağları*, Papatya Yayıncılık, İstanbul.
- Pandarakone, S.E., Mizuno, Y., ve Nakamura, H., (2016). Distinct Fault Analysis of Induction Motor Bearing Using Frequency Spectrum Determination and Support Vector Machine. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 53(3), 3049-3056.
- Sağiroğlu, S., (2003). *Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları*, Ufuk Kitabevi, 32, Kayseri.
- Samanta, B. ve Al-balushi, K.R., (2003). Artificial neural network based fault diagnostics of rolling element bearings using time-domain features, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 17(2), 317–328.
- Zarei, J., ve Poshtan, J., (2007). Bearing fault detection using wavelet packet transform of induction motor stator current, *Tribology International*, 763–769.
- Zhou, W., Habetler, T. G., ve Harley, R.G., (2007). Bearing condition monitoring methods for electric machines, A General Review, *IEEE international symposium on diagnostics for electric machines, power electronics and drives (pp. 3-6)*, Cracow, Poland, Sep. 6-8.