

Asenkron Motorların Elektriksel ve Mekaniksel Arızalarının Değerlendirilmesi

Yavuz Bahadır KOCA¹, Abdurrahman ÜNSAL²

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon MYO, Elektronik Otomasyon Bölümü, Afyonkarahisar.

²Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Kütahya

Özet: Bu çalışmada sanayide en yaygın olarak kullanılan asenkron motorlarda meydana gelen arızalar incelenmiştir. Asenkron motorlar, özellikle çok ağır çalışma koşullarında sorunsuz çalışabilmeleri ve değişken motor yüklerine çabucak adapte olabilmeleri açısından endüstri için çok önemlidir. Son yıllarda çeşitli motor tipleri geliştirilmesine rağmen maliyet ve üretimdeki kolaylıklar asenkron motorları halen daha vazgeçilmez kılmaktadır. Asenkron motorlarda arızaların erken tespiti ve analizi iş gücü, üretim kayıpları, enerji maliyetleri ve verimlilik açısından da önem arz etmektedir. Dolayısıyla arızaların önceden tahmini ve tespiti özellikle büyük güçlü ve kritik motorlarda ani arızaların önlenmesi, bakım maliyetlerinin düşürülmesi ve ürün kalitesinin yükseltilmesi için önemlidir. Bundan dolayı bu çalışma ile asenkron motorlar da meydana gelebilecek arıza tiplerinin bilinmesi ve önceden tespit edilmesi konusunda kullanıcılara referans bilgi sunulması amaçlanmaktadır.

Anahtar kelimeler: Asenkron Motor; Arıza Tipleri; Rulman arızası; Stator arızası; Rotor arızası

Evaluation of Electrical and Mechanical Faults of Induction Motors

Abstract: In this study, the types of faults that occur in induction motors which are the most commonly in the industry are reviewed. Induction motors are a very for the industry especially in that they can run smoothly under very heavy working conditions and can quickly adapt to variable engine loads. Despite the development of various types of motors in recent years, the cost and convenient production have made induction motors still more indispensable. Early detection and analysis of failures in induction motors is also important in terms of labor, manufacturing losses, energy costs and efficiency. Therefore, the prediction and detection of failures is especially important to prevent sudden failures of large, powerful and critical induction motors, reduce maintenance costs and improve product quality. Therefore, it is aimed to present reference information to the users about the identification and preliminary determination of fault types that may occur in induction motors.

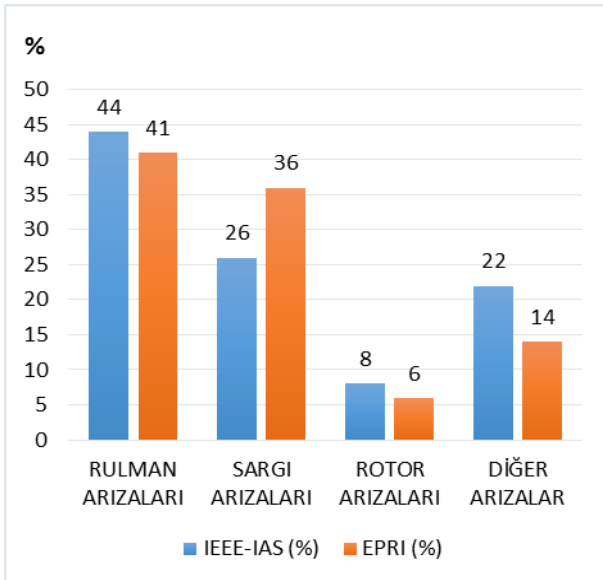
Keywords: Induction motor; Fault types; Bearing failure, Stator failure; Rotor failure

1. Giriş

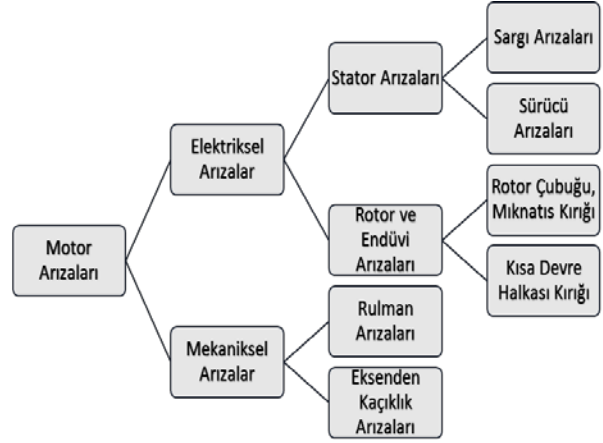
Asenkron motorlar yapılarının basit olması, fazla bakım gerektirmemeleri, ucuz olmaları ve kararlı çalışmaları özellikleriyle en çok tercih edilen elektrik makineleridirler(Akar ve Soyaslan, 2011; Benbouzid, 1998; Ünsal ve Karakaya, 2015). Sanayide her alanda kullanılan üç fazlı asenkron

motorların yanı sıra tek fazlı asenkron motorlar da küçük güçlü çamaşır makinesi, pompalar, buzdolabı gibi sistemlerde veya tek fazlı alıcılarda kullanılmaktadırlar. Çok yaygın olarak kullanılan asenkron motorlar da meydana gelen herhangi bir arızada üretim süreçlerinin aksamasının yanı sıra bakım ve masraflarının da

artması işgücü ve zaman kaybına dolayısıyla da ekonomik kayıplara neden olabilmektedir. Özellikle Türkiye’de toplam elektrik enerjisi tüketiminin yaklaşık %36’sının, sanayi de ise yaklaşık %70’inin asenkron motorlar üzerinden harcanıldığı düşünülecek olursa bunun ne kadar önemli olduğu fark edilebilir (Soy, 2016). Dolayısıyla bu motorlarda ki arızaların tespiti ve bu arızaların önlenmesi için önceden yapılacak çalışmalar önem arz etmektedir. Bu nedenle araştırmacılar bu konu üzerinde yoğunlaşmışlar ve öncelikli olarak arızaların neler olduğunu tespit etmeye çalışmışlardır. Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (IEEE) ve Enerji Güç Araştırmaları Enstitüsü (EPRI) 7500 motor üzerinde bir çalışma yaparak bu arızaların neler olduğunu belirlemiştir. Temelde asenkron motorlardaki arıza sebepleri incelendiğinde 4 ana başlıkta toplandığı görülmektedir. Bu arıza tiplerinin oransal dağılımları aşağıda Şekil 1’de görülmektedir (Yeh vd., 2008). Yapılan her iki araştırma neticesinde arızaların en çok rulman, sargı ve rotor arızalarından kaynaklandığı sonrasın da ise diğer arızalar olduğu görülmektedir. Bu arızaların ayrıntılı olarak sınıflandırması ise Şekil 2’de görülmektedir (Akar ve Soyaslan, 2011). Bu çalışmada asenkron motorlarda meydana gelen arıza tipleri incelenmiş ve bu arızalar hakkında bilgi verilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 1. Asenkron motor arızalarının uluslararası ölçütlere göre yüzdesel dağılımı.



Şekil 2. Asenkron motor arıza tipleri.

2. Materyal ve Metot

Asenkron motorlarda meydana gelen arızalar incelenecek olursa temelde ikiye ayrıldığı Şekil 2’de olduğu üzere görülmektedir. Bununla birlikte daha majör olan arıza tipleri de söz konusudur. Asenkron motorlarda ki ana arızalar incelendiğinde aşağıdaki gibi bir sınıflandırma yapılabilir (Nandi ve Toliyat, 1999).

- Bir veya daha fazla stator faz sargısının kısa devre veya açık devre olması ile sonuçlanan stator arızaları.
- Stator sargıları anormal bağlantıları
- Kırık rotor çubuğu veya çatlak rotor uç halkaları,
- Statik ve / veya dinamik bir hava boşluğu düzensizlikleri,
- Stator ve rotor arası sürtünme sonucu mil kırılması
- Rotor sargıları kısa devresi
- Rulman ve şanzıman arızaları

Asenkron motorlarda meydana gelen bu arızaları ve bunların sebepleri ile birlikte etkilerini inceleyelim.

2.1. Elektriksel Arızalar

Sanayide kullanılan elektrik enerjisinin en çok tüketildiği yer olan asenkron motorlar da meydana gelen arızalar incelendiğinde elektriksel arızaların miktarı mekaniksel arızalardan sonra gelmektedir. Elektriksel arızalarda da çoğunlukla stator ve rotor çubuğu arızaları şeklinde ortaya çıkmaktadır.

2.1.1. Stator Arızaları

Asenkron motorlarda rulman arızalarından sonra en çok meydana gelen arıza çeşidi olarak stator

arızaları görülmektedir (Yeh vd., 2008). Stator arızaları titreşim, akım imza ve durum bazlı izleme ile tespit edilebilir. Stator akımının ölçülmesi ve analizi ile birlikte arıza teşhisi yapılmaktadır. Aşağıda Şekil 3'te görüldüğü üzere stator sargılarında oluşabilecek arızaların geri dönüşü çok zordur. Dolayısıyla stator arızalarının saptanması önemlidir.



Şekil 3. Tipik bir asenkron motor stator sargı arızası.

Stator arızalarının sınıflandırılması iki kategoride incelenebilir.

- I. Laminasyonlar (çekirdek sıcaklığı, çekirdek gevşemesi), temel arızalar (titreşim, dolaşım akımı, soğutma kaybı, toprak arızaları).
- II. Stator Sargıları Arızaları / Kusurları: Stator sargılarının en yaygın kusurları / hataları, aşağıda verilen "uç sargı kısmı" veya "yiv bölümü" ile ilgilidir.
 - a. Yuva kısmı (yalıtkan bozulması, yalıtım aşınması).
 - b. Son sarım kısmı (izolasyon bölgesel arızaları, izolasyon bozulması, izolasyonun nem, yağ veya kir ile bulaşmış olması, konektöre zarar verilmesi, yalıtım çatlaması, izolasyon erozyonu, iletkenlerin deşarjı, dönüş sırasındaki arızalar) (Siddique vd., 2005).

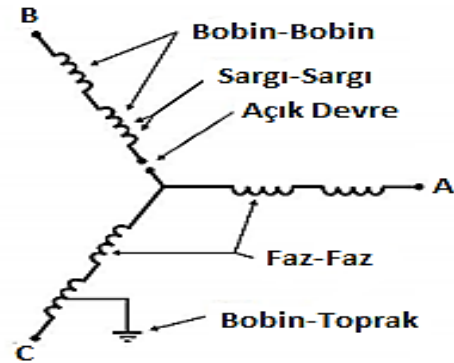
Bununla birlikte, asenkron motorlarda meydana gelen stator arızalarına yol açan sebepler ise incelendiğinde nedenleri bakımından 4 ana grupta incelenebilir. Bunlar elektriksel etkiler, ısısal etkiler, mekaniksel etkiler ve çevresel etkilerdir.

Bu etkiler aşağıda Tablo 1' de görülmektedir (Ateş, 2016; Siddique vd., 2005).

Çizelge 1. Asenkron motorlarda stator arıza nedenleri

Elektriksel Etkiler	Isısal Etkiler	Mekaniksel Etkiler	Çevresel Etkiler
Dielektrik Yaşlanma	Isısal Yaşlanma	Sargı Gevşekliliği	Nem
Yalıtım Sorunları	Gerilim Değişimleri	Rotor Sorunları	Kimyasallar
Korona	Isısal Aşırı Yükleme		Ortam Sıcaklığı
Geçici Olay Değişiklikleri	Dengesiz Gerilim		Havalandırma Sorunları

Stator sargı arızalarındaki ortaya çıkan en sık arıza yalıtım sorunlarıdır. Stator arızaları asenkron motorlarda yüksek akım akmasına sebep olur. Böylece sıcaklık artışı meydana gelerek yalıtımın bozulur. Bununla birlikte sargılarda sınır sıcaklığı aşan her 10 derece yalıtımın ömrünü yarı yarıya azaltır. Stator meydana gelen kuvvet, sargılardaki bobinler üzerinde akımın karesi ile doğru orantılı bir biçimde artar. Bu kuvvet geçici aşırı yüklenmeler durumunda kuvvetli darbelerle sebep olur. Bu darbeler de yalıtım sistemine zarar verebilir. Stator arızaları aşağıda Şekil 4'te görüldüğü üzere bobin-bobin hatası, sargı-sargı hatası, açık devre olmak üzere 5 kısma ayrılır (Eftekhari vd., 2013; Ukil vd., 2011).



Şekil 4. Stator arızalarının şematik diyagramı.

Statorda meydana gelen arızaları 4 ana grupta toplayabiliriz.

Isıl nedenler: Bu etkiler ısısal yaşlanmaya ve ısısal aşırı yüklemeye bağlı olabilir. Sıcaklığın her 10 °C artışı için ısısal yaşlanmaya bağlı olarak yalıtım ömrü yarıya iner. Çalışma sıcaklığı aşırı yüksek olmadığı sürece, ısısal yaşlanmanın normal etkisi,

yalıtım yapısında hatalara sebep olan diğer faktörlere veya sebeplere karşı asenkron motoru savunmasız hale getirmektedir. İzolasyon sistemi fiziksel bütünlüğünü kaybederse, diğer dielektrik, mekanik ve çevresel etkilere karşı koyamaz. Sıcaklığın ısıl yaşlanma üzerindeki etkisi, ya çalışma sıcaklığını düşürerek ya da kullanılan yalıtım malzemesi sınıfını arttırarak daha uzun termal ömrü sağlamak için iki yaklaşımdan herhangi birini kullanarak en aza indirilebilir. Uygulanan voltaja bağlı olarak termal aşırı yük oluşabilir (Siddique vd., 2005).

Elektriksel Nedenler: Elektriksel nedenler dielektrik, yalıtım, korona ve geçici voltaj olarak ayrılabilir. İzolasyon ömrü ile izolasyon malzemelerine uygulanan gerilim etkileri arasındaki kesin ilişki, malzemeyi seçerken ve yeterli tasarım ömrü için bobin tasarımlarını kurarken dikkate alınmalıdır. Bu etkiler faz-faz, sargı-sargı ve toprak-sargı şeklinde ayrılabilir. İyi bir şekilde sağlanamayan yalıtım durumunda, 600V üzerindeki çalışma voltajlarına sahip motorlarda, toprak arızaları oluşabilir. Gerilim etkisinin kritik bir değeri aştığı yalıtım sisteminde geçici gaz halindeki iyonizasyondan kaynaklanan bölgesel bir deşarj olan korona durumu meydana gelir. Arıza mekanizması, ısıtma, aşınma veya kimyasal reaksiyona bağlıdır, bu da sarım yalıtımının bozulmasına neden olur. Geçici voltaj koşulları, sargı ömrünün azalmasına neden olur. Tranzient voltaj durumları erken bozulmalara veya sargı ömrünün azalmasına neden olur (Siddique vd., 2005).

Mekaniksel Nedenler: Bu etkiler sargı hareketi ve rotorun statora çarpması nedeniyle olabilir. Stator sargısı akımı nedeniyle bobinler üzerindeki kuvvet bobinlerin radyal ve teğetsel yönlerde hareketi ile bobinlerin iki katı hat frekansında titreşmesini sağlamak için başlatma çevrimi boyunca maksimum seviyededir. Bu bobin hareketi yalıtımı bozabilir. Böylece üst çubukları gevşetebilir ve iletkenlere zarar verebilir. Rotor, rulman hasarları, mil sapması, rotor-stator yanlış hizalanması vb. bazı sebeplerden dolayı statora çarpabilir. Eğer, yalnızca devreye alma sırasında gerçekleşirse, rotorun kuvveti stator laminasyonlarının delinmesine neden olabilir. Buda toprak arızasına sebep olur. Başka bir durum olan motorun tam hızda çalışırken rotorun statora çarpması durumunda ise temas noktasında oluşan aşırı ısı nedeniyle stator yuvasındaki sargılarda erkenden toprak arızası meydana gelir. Tüm bunlara ilaveten rotor dengeleme ağırlıklarının gevşemesi ile statora vurması, rotor

fan kanatlarının gevşek olması ve statora çarpması, havalandırma sistemi vasıtasıyla motora giren yabancı cisimler gibi çeşitli sebeplerden de arızalar oluşabilir (Siddique vd., 2005).

Çevresel Etkiler: Nem, kimyasalların varlığı, ortamın sıcaklığı ve havalandırma problemleri gibi etmenlerde asenkron motorlarda stator arızalarına neden olmaktadır. Dolayısıyla çalışma ortamında bu tip durumların varlığı tespit edilerek çevresel etkilere kaynaklı arızaların önüne rahatlıkla geçilebilir. Bu etkiler neticesinde motorda sıcaklık artışı ile birlikte fazla akım çekme ve akabinde de sargılarda arıza durumu meydana gelecektir. Veyahut ta sıvı ile temas neticesi bir kısa devre arızası oluşarak motorda ciddi hasarlara yol açacaktır.

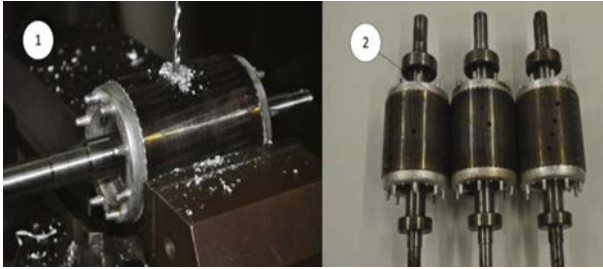
Asenkron motorlarda stator kısmında meydana gelebilecek bir arıza neticesinde motorda fazla akım çekmesi veya titreşim gibi durumlar ortaya çıkacaktır. Aşırı akım çekilmesi gibi durumlarda sıcaklık artacaktır. Bununla birlikte çekilecek akımda artacağı için de herhangi bir koruma elemanı yoksa ya da çalışmaması durumunda motor sargıları yanacaktır (Ukil vd., 2011).

2.1.2 Rotor Arızaları

Asenkron motorlarda meydana gelen arızalar incelendiğinde rotor arızalarının önemli bir paya sahip olduğu görülecektir. Bununla birlikte rotor yapıları yıllar içerisinde çok fazla değişime uğramamışlardır (Akar ve Soyaslan, 2011; Kliman vd., 1996; Ünsal ve Kabul, 2016). Sanayide, çoğunlukla sincap kafesli rotor yapısına sahip asenkron motorlar tercih edilmektedir. Yukarıda bahsedilen diğer arızalarda olduğu üzere zaman içerisinde asenkron motorların rotorlarında da bazı arızalar meydana gelmektedir. Bu oluşan arızaların sebeplerine bakacak olursak;

- I. Aşırı yüklenmeden dolayı ısıl nedenlerden oluşan kayıplar ve rotor çubuklarda oluşan gözenekler sonucu oluşan arızalar.
- II. Dengesiz manyetik alandan dolayı oluşan gürültü ve titreşim sonucu oluşan arızalar.
- III. Üretici kaynaklı hatalar.
- IV. Yükten kaynaklı dairesel dönme, merkezkaç ve torkdan dolayı motor mili kaynaklı oluşan arızalar.
- V. Çevresel etkilere (nem, toz, kir, kimyasal vb.) kaynaklı arızalardır (Akar ve Soyaslan, 2011; Nandi ve Toliyat, 1999).

Genel olarak asenkron motorlarda rotor da oluşan arızalar rotor kısa devre halkasının çatlaması veya kırılması ile rotor çubuklarının çatlaması veya kırılması olarak sıralanabilir (Ünsal ve Güçlü, 2015; Ünsal ve Kabul, 2017). Bununla birlikte rotor çubukları termal, manyetik, artık, dinamik ve mekanik zorlamalar nedeniyle kırılarak arızaya sebep olurlar (Nandi ve Toliyat, 1999; Nandi vd., 2005). Aşağıda Şekil 5’de bir çalışmada kullanılmış olan ve rotor çubuğu arızası meydana getirilen rotor örnekleri görülmektedir (Palácios vd., 2016).



Şekil 5. Matkapla delinerek oluşturulmuş rotor çubuğu arızaları (Palácios vd., 2016).

Asenkron motor da meydana gelen rotor arızası neticesinde ortaya çıkan simetrisizlik ile beraber rotor döner alanında negatif ve pozitif bileşenler ortaya çıkar. Rotor döner alanda meydana gelen negatif yöndeki bileşenin stator döner alanıyla etkileşmesi sonucu elektromanyetik tork spektrumunda kaymaya sebep olur. Bu arızalar motorun stator akımında, besleme frekansının sağında ve solunda olmak üzere yan bant frekans bileşenleri olarak tespit edilir. Rotor arızalarının sebep olduğu yan bant frekansları Eşitlik 1’ de olduğu gibi gösterilebilir. Burada s kaymayı, f_k kaynak frekansını ve k ’ da sabiti ifade etmektedir (Mustafa et al. 2016).

$$f_c = f_k(1 \pm ks) \text{ (Hz)} \quad k = 1,2,3 \dots \quad (1)$$

Asenkron motorlarda meydana gelen rotor arızaları başka bir ikinci arızayı da tetikleyebilir. Netice olarak da bu daha ciddi ve büyük arızalara sebep olabilir. Bunlara ilaveten motorda meydana gelen rotor arızaları diğer arızalarda olduğu gibi veriminin düşmesi neden olur ve bu da enerji tüketimini artırır. Dolayısıyla bir sanayi kuruluşu açısından bakıldığında da işletme maliyetlerini artırıcı yönde negatif bir etkisi olduğu görülür. Örneğin, bir rotor çubuğunda meydana gelen arıza neticesinde bitişindeki diğer çubuktaki akım % 50 oranında artar ve buda dengesiz akım

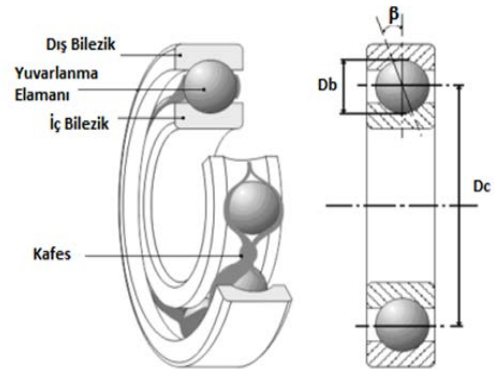
ve tork darbelerine sebep olur. Dolayısıyla ortalama torkun düşmesi beklenir. Bununla birlikte asenkron motor yanıcı ve/veya patlayıcı tehlikeli bir ortamda çalışıyor ise elektrik arkı ve kıvılcım gibi tehlikeli durumlar ortaya çıkabilir. Ayrıca kırık rotor çubuğundan akım akmayacağı için bitişik çubuktan fazla akım geçmesi gerekecek ve aşırı ısınma durumu da ortaya çıkacaktır. Tüm bunlara ilaveten bu tip bir arızanın büyümesi halinde kalıcı arıza meydana gelerek işletme açısından daha kötü durumların ortaya çıkması da söz konusu olabilecektir (Doğruer vd., 2016; Ünsal ve Kara, 2016).

2.2. Mekaniksel Arızalar

Asenkron motorların yapısını oluşturan mekanik parçalar mil, gövde, muhafaza taşı, pervane, kapaklar, yataklar ve aktarma organları şeklinde sıralanabilir. Sanayide kullanılan asenkron motorlarda meydana gelen mekanik arızaların büyük bir kısmını rulman arızaları oluşturmaktadır. Rulman arızalarına ilaveten mekanik olarak eksenden kaçıklık, aktarma organları (kaplin, redüktör, kayış kasnak sistemi), motor kapağı, motor mili vb. çeşitli arızalarda meydana gelebilmektedir.

2.2.1 Rulman Arızaları

Motorların en önemli parçalarından birisi olan rulman, iç ve dış bilezik ile arasında yuvarlanabilen makara ve bilye gibi parçalardan meydana gelir. Rulman en az sürtünmeyle dönme hareketini gerçekleştiren elemandır. Rulman yapısı kafes, dış bilezik, iç bilezik ve yuvarlanma elemanlarından oluşur. Şekil 6’ da bir rulman yapısı görülmektedir (Boudinar vd., 2015, 2016). Burada D_b yuvarlanma elemanı (bilye) çapı, D_c kafes dairesi çapı ve β ’ da temas açısıdır.



Şekil 6. Tipik bir rulman yapısı.

Elektrik motorlarındaki rulmanların sadece %34’ünün kendi ömrünü tamamladığı

belirlenmiştir. Bunun haricinde ise rulmanlar bir arıza nedeniyle değiştirilmek zorunda kalmaktadır (Shunt Technologies, 2016). Çalışma şartları nedeniyle çok güçlü mekanik zorlanmalara dayanabilecek şekilde üretilen rulmanlar da arızalar her iki bilezik, kafes veya yuvarlanma elemanından kaynaklanmaktadır. Bunun sebebi olarak rulmanlarda gerekli bakımların yapılmaması ve ön koruyucu tedbirlerin alınmaması önem arz etmektedir. Bununla birlikte kötü kullanımdan dolayı veya yanlış montaj gibi etkenlerden de arıza oluşabilmektedir.

Rulmanlarda bir hasar meydana gelmesi durumunda hasarı karakterize eden dört çeşit hasar frekansı vardır. Bunlar her iki bilezik, kafes ve yuvarlanma elemanı frekanslarıdır. Bu frekanslar Şekil 6' da ki gösterim baz alınarak aşağıdaki eşitlikler ile ifade edilmişlerdir (Boudinar vd., 2015; Immovilli vd., 2013; Orhan, 2011).

$$F_{kafes} = \frac{1}{2} F_r \left(1 - \frac{Db \cos\beta}{Dc}\right) \quad (2)$$

$$F_{diş} = \frac{n}{2} F_r \left(1 - \frac{Db \cos\beta}{Dc}\right) \quad (3)$$

$$F_{iç} = \frac{n}{2} F_r \left(1 + \frac{Db \cos\beta}{Dc}\right) \quad (4)$$

$$F_{bilye} = \frac{Dc}{Db} F_r \left[1 - \left(\frac{Db \cos\beta}{Dc}\right)^2\right] \quad (5)$$

Yukarıdaki ifadelerde n yuvarlanma elemanı (bilye) sayısını, F_r ise mil devrini ifade etmektedir. Bu denklemler kullanılarak teorik rulman hasar frekansları hesaplanır. Bu hesaplamalarda rulman elemanlarında arıza belirlemelerinde kullanılır.

Bununla birlikte Schoen ve arkadaşları rulman arızalarının stator akım spektrumundaki frekans yansımaları aşağıdaki denklem 5 ile ifade etmişlerdir (Schoen vd., 1995).

$$f_{rulman} = |f_k \pm k \cdot f_h| \text{ (Hz)} \quad k = 1,2,3 \dots \quad (6)$$

Burada f_k kaynak frekansını, f_h hata karakteristik frekansını (f_{bilye} , $f_{iç}$, $f_{diş}$, f_{kafes}) ifade etmektedir. Rulman bozulmalarında genellikle ilk aşama yük bölgesinde küçük oyuklar ve bileziklerde aşınma şeklinde ortaya çıkmaktadır. Yük bölgesindeki küçük oyukların çalışma ömrünü etkilememesine

rağmen arıza durumunun da ilk belirtileri olarak kabul edilebilir. Bununla birlikte belli bazı başlıca rulman arızalarından da söz etmek gerekirse bunlar; gevşeklik, ön yükleme hasarı, aşırı yükleme, aşırı ısınma, elektrik kaçağı, yalancı veya gerçek karıncalanma, eksen kaçıklığı, yağlama, kirlenme, ters yükleme, korozyon, montaj hataları olarak sıralanabilir (Orhan, 2002). Yapılan çalışmalarda çoğunlukla asenkron motorlarda rulman arıza tespiti amacıyla titreşim ve akım bilgileri alınarak yapay zeka, bulanık mantık, dalgacık analizi vb. yöntemleri ile arıza ön kestirimleri yapılmaya çalışılmıştır (Ayaz, 2015; Boudinar vd., 2016; Delgado-Arredondo vd., 2016; Devaney ve Eren, 2004; Farajzadeh-Zanjani vd., 2016; Immovilli vd., 2013; Jin vd., 2014; Orhan vd., 2003).

Asenkron motorlarda meydana gelen rulman arızalarının oluşum aşamaları ve meydana gelen arıza çeşitlerinin motor üzerinde bazı etkileri olmaktadır. Rulman arıza aşamalarını inceleyecek olursak 4 aşamada ele alınabilir (Orhan, 2002).

1. Aşama: Rulmanın çalışma koşulları açısından iyi olduğu evredir. Belli bir süre sonra rulmanın bileziklerinde küçük çukurlar ve rulmanda küçük oyuklar meydana gelir. Bunlar küçük hasarlar olup, normal çalışma hızlarında titreşim oluşturacak kadar büyüklükte değildirler. Bilyeler oluşan hasarlı kısım ile temas ettikçe buradaki hasar frekansının harmonikleri FFT (Hızlı Fourier Dönüşümü) spektrumunda görülebilir.

2. Aşama: Oluşan harmoniklerden dolayı rulman aşınmaya başlamıştır ancak değiştirilmeye ihtiyaç henüz yoktur. Rulmanın sökülmesiyle bileziklerde kabarma şeklinde hasar görülecektir. Bu evrede harmoniklerin genliği artmaya başlayacağı için daha sık ölçüm yapılmalıdır. Rulman arızasının zamanla değişimi doğrusal olmasına rağmen çalışma ömrünün azalmasıyla bu durumda arızanın doğrusal değişimi ortadan kalkar.

3. Aşama: Bu aşamada rulman ömrünün azalmasından dolayı FFT spektrumu temel arıza frekansını gösterir ve harmonikler mil dönme hızının yan bantlarını gösterirler. Arıza yük bölgesine girdiğinde titreşim artar. Sinyal ise mil dönme hızında ve katlarında yan bantlar oluşturarak modülasyona uğrar. Genellikle yuvarlanma elemanı geçiş sinyali ise sabit yük altında meydana gelir. Eğik mil, eksen kaçıklığı, dengesizlik veya mekanik gevşeklik gibi

durumlar ise mil dönme devri ve katlarında yan bantlar oluştururlar. Buda hasar sinyalinin genlik modülasyonuna uğratar.

4. Aşama: Hemen bakım yapılması gereken rulmanın iyice ömrünün azaldığı son evredir. Bu evrede hız ve ivme spektrumunda, rulman bozulma kısmında geniş bant gürültüsü olarak görülür. İvme spektrumunda bilye elemanı geçiş frekansının yan bantlarını oluşturmasının yanı sıra yüksek genlikli arıza frekans bileşenleri de meydana gelecektir. Kafes arıza frekans bileşenleri ise hasarın son durumunda görülecektir (Orhan, 2002).

Asenkron motorlarda meydana gelen rulman arızaları yukarıda bahsedilen tüm mekaniksel olaylardan dolayı motordaki sürtünme kayıplarını doğrudan etkiler. Bu arızalar neticesinde motorda titreşimler ve/veya aşırı ısınma gibi problemler meydana gelebilir. Bu durumda motorun verimini doğrudan etkilemektedir. Çünkü motorlarda mekanik gücün en az sürtünmeyle aktarılması gereklidir. Tüm bunlar da enerji tüketiminin artmasına sebep olur. Dolayısıyla aşırı yük, aşırı dönüş hızı, yetersiz veya fazla yağlama, küçük iç boşluğunun fazlalığı, kirlenme, su girmesi, döküntü, aksel kaçıklık, balanssızlık, motor yatak hassasiyetinin zayıflığı veya kaplin ayarı gibi sebeplerden dolayı rulman arızaları meydana gelebilir. (Shunt Technologies, 2016).

2.2.2. Diğer Arızalar

Asenkron motorlarda meydana gelen üç ana arıza tipinin dışında mekaniksel olarak eksenden kaçıklık, aktarma organları (kaplin, redüktör, kayış kasnak sistemi), motor kapağı, motor mili vb. çeşitli arızalarda meydana gelebilmektedir.

Asenkron motorlarda meydana gelen bu arıza çeşitlerinden aksel kaçıklık arızası diğerlerine oranla daha çok meydana gelen bir arıza tipidir. Aksel kaçıklık arızası genellikle rotor dengesizliğinden dolayı rotor milinin bükülmesi, rotorun stator içinde düzgün yerleştirilememesi, stator ile rotor yüzeylerinin tam silindirik olmaması ve rulman yataklarının zayıf olması vb. durumlarından meydana gelebilir. Normal şartlar altında çalışan sağlam bir asenkron motorda stator, dönüş merkezi ve rotor aynı eksendedirler. Dolayısıyla stator-rotor arası hava boşluğu da her noktada aynıdır. Eksenden kaçıklık ise bu hava boşluğunun her noktada aynı olmaması yani stator-rotor arasında dengesiz hava aralığının olması şeklinde ifade edilebilir. Dolayısıyla asenkron motorda mekanik bir arıza oluşması

halinde stator ile rotor arasındaki hava aralığı değişir. Bir başka ifade ile aksel kaçıklık arızası oluştuğunda rotor, stator merkezinden uzaklaşır ve diğer tarafa doğru daha çok yaklaşır. Elektrik enerjisinin stator sargılarına uygulanması manyetik akı indüklenir. Bu manyetik akı hava aralığı üzerinden rotora yansır ve rotor dönmeye başlar. Hava aralığında oluşabilecek en küçük değişiklikler bile elektrik enerjisinin statorun rotora geçişini etkiler. Buda asenkron motorun verimini etkileyerek verimsiz çalışmasına sebep olur.

Asenkron motorlarda meydana gelen bir diğer arıza çeşidi ise aktarma organlarında meydana gelen arızalardır. Aktarma organları yaptıkları iş bakımından hatasız ve doğru bir şekilde çalışmalıdırlar. Çünkü bu durum direkt olarak verimi etkilemektedir. Aktarma organlarında oluşan balans bozuklukları, paralel ve aksel kaçıklıklar motorun performansını düşürerek verimi de olumsuz yönde etkiler. Ayrıca kayış kasnak sisteminin, kaplinin ve rulmanların ömrünü azaltır. Bunlara ilaveten bu tip arızalar yüksek maliyetli durumlar da ortaya çıkarabilir.

Asenkron motorlarda mile uygulanabilecek aşırı büyük ve/veya ani yüklemeler ya da mili etkileyecek mekanik zorlamalar nedeniyle milin kırılması veya burulması meydana gelebilir. Asenkron motorlarda nadir olarak rastlanmasına karşın yuvarlanma elemanında oluşan yatak aşınması, kama arızası, kama yuvasının bozulması veya kullanılan milin güç bakımından zayıf yetersiz olması vb. sebeplerden dolayı da asenkron motorlarda mil arızaları oluşabilir ve neticesinde de motor milinin değiştirilmesi gerekir. Uzun süre motorun çalışması sonucu aşırı ısınma nedeniyle soğutucu pervanesinin devamlı çalışmasından dolayı göbeği erir ve bollaşır. Ayrıca bakım onarım çalışmaları esnasında çeşitli sebeplerden dolayı soğutucu fan gövdesinde çatlama veya kanatçıklar da kırılma gibi durumlardan ötürü de rotor balansında bozulmalar görülebilir.

Motor kapaklarındaki yatak yuvalarında oluşan aşırı aşınmalar sonucu da yataklarda boşluklar oluşur. Oluşan bu boşluklardan dolayı verim azalır. Ayrıca motor kapağının gövdeyle birleşme kısımlarında oluşabilecek aşınmalar sonucu eşit hava aralığı kaybolur ve rotorun statora sürtme durumu ortaya çıkar. Asenkron motorların bakımları ve onarımları sırasında kapakların çatlaması veya kırılması sebebiyle de rotorda

balans bozuklukları meydana gelir (Shunt Technologies, 2016).

2.3 Asenkron Motor Arıza Tespitinde Kullanılan Yöntemler

Bir asenkron motorun çalışma koşullarının izlenmesi, arızaları teşhis etmek ve önceden meydana gelebilecek arızaları öngörmek için çok önemlidir. Bu nedenle son yıllarda birçok araştırmacı tarafından en verimli arıza tespit yöntemleri ve izleme konularında çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bunun nedeni, bu motorların sayısız sanayi süreçlerinde kullanılmasıdır (Godoy vd., 2015).

Asenkron motor arızaları için tahmini bakım teknikleri olarak durum izleme ve sistem teşhisi son yıllarda önemli bir ivme kazanmıştır. Durum izleme süreçleri güvenilirlik, kullanılabilirlik ve işletme verimini büyük ölçüde artırabilir. Durum izlemesi sürekli olarak ya da periyodik aralıklar ile de gerçekleştirilebilir (Eftekhari vd., 2013). Meydana gelebilecek dolaylı arızaları, verim kayıplarını ve işletim maliyetlerini azaltarak endüstriye katkı sağlar.

Test ve izleme yöntemleri, genellikle yükte ve yüksüz olarak ikiye ayrılabilir. Ancak sürekli izleme genellikle yükte yapılır. Farklı araştırmacılar çeşitli yöntemleri kullanarak asenkron motorlarda meydana gelen arızalarının tespiti ve izlenmesi için bazı teknikler kullanmışlardır. Bu teknikler temelde sıcaklık, ses ve titreşim analizi, hava aralığı momenti, motor akımlarının analizi, manyetik akı ve sıra bileşenleri şeklindedir. Bu teknikler son yıllarda yapay zekâ, genetik algoritmalar, bulanık mantık, entropi gibi yöntemler ile irdelenmiş ve bu çalışmaların sonuçlarının arıza tespit ve izleme açısından performansları ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Asenkron motor arıza tespiti üzerine Soualhi ve arkadaşları sinyal tabanlı bir yöntem kullanarak hata tespiti ve teşhisi için yeni bir yaklaşım metodu kullanmışlardır. Bu çalışma sinyal işleme ve yapay karınca kümelemesi olarak adlandırılan denetlenmemiş bir sınıflandırma tekniğine dayanmaktadır. Bu yöntem de işletim modları hakkında bilgi sınırlı veya elde edilmesi zor olsa bile arızaların tespit edilmesi sağlanmıştır (Soualhi vd., 2013).

Povinelli ve arkadaşları yaptıkları çalışmada asenkron motorlarda eksantriklik, rotor gibi çeşitli arızaları tespit etmek amacıyla zaman serisi veri madenciliği metodunu kullanmışlardır. Kullanılan yöntemde sonlu elemanlar metodu ile elde edilen moment verisi zaman serisi olarak alınmıştır. Moment verisinin elde etmenin zorluğu ve maliyetini nedeniyle moment bilgisinin kullanımı arıza tespitinde çok fazla tercih edilmemesidir. (Povinelli vd., 2002).

Yeh ve arkadaşları ise arıza tespiti için veri madenciliği yöntemini kullanan farklı bir metod önermişlerdir. Bu yöntemde stator sargılarının kısa devre arızaları birden altıya kadar incelenmiş ve tespit edilmiştir (Yeh vd., 2008). Bu bağlamda sanayi sektöründe çok önemli bir yer teşkil eden asenkron motorlar ile ilgili olarak literatürde yer alan diğer çalışmalar da incelendiğinde çeşitli yöntemler kullanılarak arıza teşhisi ve izlenmesi üzerine tespitler gerçekleştirilmiştir.

3. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada asenkron motorlarda meydana gelen arıza tipleri incelenmiştir. Oluşan arıza tipleri hakkında bilgi verilerek oluşma nedenleri ve sonuca etkileri ortaya konulmaya çalışılmıştır. Tüm bu arızaların verim ve enerji maliyetlerine yansıdığı düşünülecek olursa motorlarının izlenmesi ve önceden yapılacak olan kestirimci bakımın önemi ortaya çıkmaktadır. Meydana gelen arızaların önlenmesi ekonomik kayıpların azaltılması ve sanayi tesislerinin güvenli çalışması açısından oldukça önemlidir.

Kaynaklar

Akar, M., Fenercioğlu, A. ve Soyaslan, M., 2011. Asenkron Motorlarda Rotor Çubuğu Kırık Arızasının Elektromanyetik Tork ile Tespiti. *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, 142-146.

Ateş M.C. 2016. Asenkron motorlarda elektriksel arızalar. <http://www.voltimum.com.tr/haberler/asenkr-on-motorlarda-elektriksel-arizalar> (Erişim Tarihi: 18.11.2016)

Ayaz, E., 2002. Elektrik Motorlarında Dalgacık Analizi Yaklaşımı ile Rulman Arıza Tanısı ve Yapay Zeka Tabanlı Bir Durum İzleme Sistemi. Doktora Tezi, İstanbul

Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 134.

Benbouzid, M. E. H. 2000. A review of induction motors signature analysis as a medium for faults detection. *IEEE transactions on industrial electronics*, **47(5)**, 984-993.

Boudinar, A. H., Benouzza, N., Bendiabdellah, A., & Khodja, M., 2015. Induction motor bearing fault analysis using Root-MUSIC method. In *2015 Intl Aegean Conference on Electrical Machines & Power Electronics (ACEMP), 2015 Intl Conference on Optimization of Electrical & Electronic Equipment (OPTIM) & 2015 Intl Symposium on Advanced Electromechanical Motion Systems (ELECTROMOTION)*, 87-92.

Boudinar, A.H., Benouzza N., Bendiabdellah A., & Khodja M., 2016. Induction Motor Bearing Fault Analysis Using a Root-MUSIC Method. *IEEE Transactions on Industry Applications*, **52(5)**, 3851-60.

Delgado-Arredondo, P. A., Morinigo-Sotelo, D., Osornio-Rios, R. A., Avina-Cervantes, J. G., Rostro-Gonzalez, H., & de Jesus Romero-Troncoso, R. 2017. *Methodology for fault detection in induction motors via sound and vibration signals. Mechanical Systems and Signal Processing*, **83**, 568-589.

Devaney, M. J., Eren L., 2004. Detecting Motor Bearing Faults: Monitoring an Induction Motor's Current and Detecting Bearing Failure. *IEEE Instrumentation and Measurement Magazine*, **7(4)**, 30-36.

Doğruer, T., Akar, M., 2016. İndüksiyon Motorlarında Durağan Olmayan Çalışma Şartlarında Kırık Rotor Çubuğu Arızasının Tespiti. *EEB 2016 Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu*, 253-258.

Eftekhari, M., M. Moallem, S. Sadri, and A. Shojaei. 2013. Review of Induction Motor Testing and Monitoring Methods for Inter-Turn Stator Winding Faults. *2013 21st Iranian Conference on Electrical Engineering*, ICEE 2013, 13-18.

Farajzadeh-Zanjani, M., Razavi-Far, R., Saif, M., Zarei, J., & Palade, V., 2015. Diagnosis

of Bearing Defects in Induction Motors by Fuzzy-Neighborhood Density-Based Clustering. In *2015 IEEE 14th International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA)*, 935-940

Godoy W. F., Da Silva I. N., Goedel A. and Cunha Palácios R. H., "Evaluation of stator winding faults severity in inverter-fed induction motors," *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 32, pp. 420-431, 2015.

Immovilli, F., Bianchini, C., Cocconcelli, M., Bellini, A., & Rubini, R. 2013. Bearing fault model for induction motor with externally induced vibration. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, **60(8)**, 3408-3418.

Jin, X., Zhao, M., Chow, T. W., & Pecht, M., 2014. Motor bearing fault diagnosis using trace ratio linear discriminant analysis. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, **61(5)**, 2441-2451.

Kliman, G.B., W.J. Premerlani, R.A. Koegl, and D. Hoeweler. 1996. A New Approach to on-Line Turn Fault Detection in AC Motors. *IAS '96. Conference Record of the 1996 IEEE Industry Applications Conference Thirty-First IAS Annual Meeting I*: 687-693.

Mustafa, M. O., Varagnolo, D., Nikolakopoulos, G., & Gustafsson, T., 2016. Detecting broken rotor bars in induction motors with model-based support vector classifiers. *Control Engineering Practice*, **52**, 15-23.

Nandi, S., Toliyat, H. A., 1999. Fault Diagnosis of Electrical Machines a Review. In *Electric Machines and Drives, 1999. International Conference IEMD'99*, 219-221.

Nandi, S., Toliyat H. A., Li, X., 2005. Condition Monitoring and Fault Diagnosis of Electrical Motors-a Review. *IEEE Transactions on Energy Conversion* **20(4)**, 719-29.

Orhan, S., 2002. Rulmanlarla Yataklanmış Dinamik Sistemlerin Titreşim Analiziyle Kestirimci Bakımı. Doktora Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, .

- Orhan, S., 2011. Balanssızlık ve Rulman Arızası Saha Örnekleri. *V. Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi* **10**, 1–13.
- Orhan, S., Arslan H., Aktürk. N., 2003. Titreşim Analiziyle Rulman Arızalarının Belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* **18(2)**, 39–48.
- Palácios, R. H. C., da Silva, I. N., Goedel, A., Godoy, W. F., 2016. A novel multi-agent approach to identify faults in line connected three-phase induction motors. *Applied Soft Computing*, **45**, 1-10.
- Povinelli, R. J., Bangura, J. F., Demerdash, N. A., & Brown, R. H. (2002). Diagnostics of bar and end-ring connector breakage faults in polyphase induction motors through a novel dual track of time-series data mining and time-stepping coupled FE-state space modeling. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, **17(1)**, 39-46.
- Schoen, R. R., Habetler, T. G., Kamran, F., Bartfield, R. G., 1995. Motor bearing damage detection using stator current monitoring. *IEEE transactions on industry applications*, **31(6)**, 1274-1279.
- Shunt Technologies. <http://www.shunttech.com/asenكرون-motorlarda-mekanik-arizalar-2/> (Erişim Tarihi: 24.11.2016)
- Siddique, A., Yadava, G. S., Singh, B., 2005. A Review of Stator Fault Monitoring Techniques of Induction Motors. *IEEE Transactions on Energy Conversion* **20(1)**, 106–14.
- Soualhi A., Clerc G. and H. Razik, “Detection and Diagnosis of Faults in Induction Motor Using an Improved Ant Clustering Technique,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 60, no. 9, pp. 4053–4062, 2013.
- Soy, O., 2016. Sanayide Kullanılan 7,5 kW ve üzeri AC Motorlara İlişkin Envanter Çalışması. *T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Verimlilik Genel Müdürlüğü, Anahtar Dergisi*, **3**, 237.
- Ukil, A., Chen, S., Andenna, A., 2011. Detection of stator short circuit faults in three-phase induction motors using motor current zero crossing instants. *Electric Power Systems Research*, **81(4)**, 1036-1044.
- Ünsal A., Güçlü S., “Asenkron Motorlarda Rotor Çubuğu Kırıklarının Mann-Whitney U-Testi İle İncelenmesi;”, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **35**:79-92, (2015).
- Ünsal, A., Karakaya, O., 2015. Asenkron Motor Rotor Arızalarının Analizi. *Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **34**.
- Ünsal A., Kabul A., Asenkron Motor Rotor Arızalarının İstatistiksel Analiz Yöntemi İle Değerlendirilmesi, *Politeknik Dergisi*, 2017; **20 (2)** : 283-289
- Ünsal A., Kabul A., Detection of the broken rotor bars of squirrel-cage induction motors based on normalized least mean square filter and Hilbert envelope analysis, *Electrical Engineering*, **98**: 245-256, (2016).
- Ünsal A., Kara Ö., Detection and Classification of the Broken Rotor Bars in Squirrel-Cage Induction Motors, *International Journal of Engineering Research And Management*, **03**: 59-64, (2016).
- Yeh, C. C., Sizov, G. Y., Sayed-Ahmed, A., Demerdash, N. A., Povinelli, R. J., Yaz, E. E., Ionel, D. M., 2008. A reconfigurable motor for experimental emulation of stator winding interturn and broken bar faults in polyphase induction machines. *IEEE transactions on energy conversion*, **23(4)**, 1005-1014.