



ASENKRON MOTORLARDA ROTOR ÇUBUĞU KIRIKLARININ MANN-WHITNEY U-TESTİ İLE İNCELENMESİ

*Abdurrahman ÜNSAL¹, Selahattin GÜÇLÜ²

¹Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kütahya, unsal@dpu.edu.tr

²Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kütahya, selahattin.guclu@dpu.edu.tr

Geliş Tarihi: 06.04.2015

Kabul Tarihi: 04.09.2015

ÖZ

Bu çalışmada üç fazlı sincap kafesli asenkron motorların rotorlarında meydana gelen kırık rotor çubuğu arızalarının teşhisi için istatistiksel verilerin analizi gerçekleştirilmiştir. Motor, 50 Hz şebeke gerilimi ile beslenmektedir. Motor stator akımı bara tipi ampermetre ile Labview bilgisayar programı kullanılarak bilgisayara aktarılmıştır. Motorun yüklemek için bir adet üç fazlı kendinden uyarımlı senkron generatör kullanıldı. Generatör çıkışında da üç fazlı kademeli bir resistif yük kullanıldı. Elde edilen veriler IBM SPSS Statistics paket programıyla analiz edildi. Verilerin analizinde sağlam motor ile kırık rotor çubuğu olan motorlar arasındaki farkların tespit edilmesi için Mann Whitney U testi kullanıldı. Analiz sonucunda R, S ve T fazları arasındaki farkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulunmuştur ($p<.05$). Ayrıca sağlam motorun sıra ortalamalarının S fazında da üç kırıklı motorunkinden daha yüksek olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: *asenكرون motor, istatistiksel analiz, kırık rotor çubuğu.*

ANALYSIS OF BROKEN ROTOR BARS OF INDUCTION MOTORS WITH MANN-WHITNEY U-TEST

ABSTRACT

In this study, a statistical analysis method is used to detect the broken rotor bars of a three-phase squirrel cage induction motor. The motor is supplied by 50 Hz main power system. The stator current signals were recorded and transferred to the computer by using National Data Acquisition hardware and Labview software tool. The motor is loaded by a three-phase, permanent magnet, self excited synchronous generator. A three-phase resistive load is connected to the output of the generator for different loading levels. The current data is analyzed by using IBM SPSS Statistics tool. The data analysis is performed to detect the differences between the healthy motor and the motor with broken rotor bars by using Mann Whitney U test. The results indicates differences currents of phases between R, S and T phases as statistically significant ($p<.05$). The statistical analysis method can be used to analyze the induction motor current signals for potential broken rotor bars.

Keywords: *broken rotor bar, induction machine, statistic.*

1. GİRİŞ

Elektrik motorlarında arıza tespiti ve motor koruma ile ilgili çalışmalar elektrik makinelerinin kullanılmaya başlamasından bu yana devam etmektedir. Elektrik motorlarında kullanılan en eski arıza bulma ve koruma yöntemleri aşırı akım koruması ve kontrolü, yüksek gerilim, toprak hatası vb. basit koruma yöntemlerini kapsamaktadır. Sanayinin gelişmesine paralel olarak elektrik motorlarının kullanımı da yaygınlaşmaya başladı. Günümüzde elektrik motorları çok yağın basit uygulamalardan karmaşık proseslere kadar geniş bir alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde kullanımı yaygınlaşarak artan elektrik motorlarının arıza çeşitleri ve arıza bulma yöntemleri de teknolojinin gelişmesine bağlı olarak artarak ve gelişerek devam etmektedir.

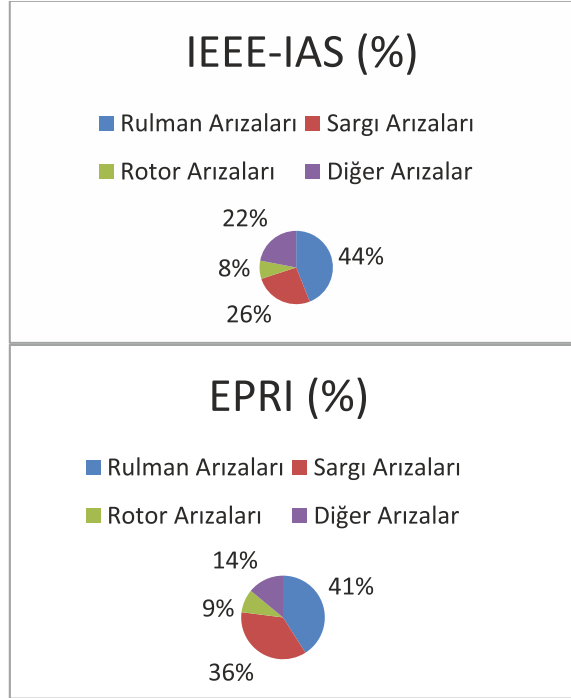
Piyasada kullanılan elektrik motorlarının önemli bir kısmını asenkron motorlar oluşturmaktadır. Bu çalışmada da elektrik motoru olarak asenkron motorlar kastedilmektedir. Asenkron motorların yoğun olarak kullanıldığı yarı iletken, kâğıt, tekstil, cam endüstrisi, madencilik sektörü vb uygulamalarda motor arızaları önemli ölçüde kaza ve kayıplara sebep olabilmektedir. Bundan dolayı motorların durumlarının izlenmesi ve arızaların daha başlangıç aşamasında tespit edilmesi oldukça önemlidir.

Asenkron motorlarında meydana gelen arızalar genel olarak aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

A-Stator arızaları: Stator arızaları genelde stator sargılarından kaynaklanan faz-faz- faz nötr, sargı sarımları arızaları, sargı dengesizlikleri vb arızalardan oluşmaktadır.

B-Rotor arızaları: Sincap kafesli rotorlarda meydana gelen rotor arızaları kırık rotor çubukları ve kırık kısa-devre halkası arızalarından oluşmaktadır. Rotoru sargılı rotorlarda meydana gelen arızalar ise stator arızalarına benzerlik göstermektedir.

C-Diğer arızalar: Bu arıza grubuna genelde mekanik arızalar dahil edilebilir. Hava boşluğu dengesizlikleri, rotordaki mekanik dengesizlikleri, rulman arızaları, mil arızaları vb. örnek olarak verilebilir. Motor arızaları motorların performansını doğrudan etkilerler. Yaygın etkiler dengesiz gerilimler ve akımlar, moment titreşimleri, moment azalması, aşırı ısınma, kayıplarda artış ve verim düşüklüğü olarak verilebilir [1]. Elektrik motorlarında meydana gelen arızaların dağılımı Şekil 1’de verilmektedir [2]. İki farklı kuruluş tarafından yapılan çalışma sonuçlarına göre arızaların en büyük oranının mekanik arızalardan oluştuğu, mekanik arızalarını oransal olarak sırasıyla sargı arızaları, diğer arızalar ve rotor arızalarının takip ettiği görülmektedir.



Şekil 1. Asenkron motor arızalarının dağılımı

Motorlarda meydana gelen arızalar stator akımına harmonik olarak yansımaktadır. Bunun yanında elektromanyetik alan dağılımı, moment, kayıplar ve verimde de değişimlere sebep olmaktadır. Değişime uğrayan motor parametreleri izlenerek meydana gelen değişiklikten motor arızaları tespit edilmeye çalışılır. Motorlarda meydana gelen arızaların tespit edilmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemler aşağıda verilmektedir. Yaygın olarak kullanılan arıza izleme ve bulma yöntemlerine elektromagnetik alan izleme, sıcaklık ölçümleri (termal harita vb), kızılötesi tanıma yöntemleri, radyo frekans (RF) emisyonların izlenmesi, gürültü ve titreşim izleme, kimyasal analiz yöntemleri, akustik gürültü ölçümü ve analizi, motor akım imza analizi ve yapay zeka ve sinir ağları tabanlı yöntemler örnek olarak verilebilir [3-4]. Bu çalışmada asenkron motorlarda kırık rotor çubuklarının etkiler stator akımında istatistiksel olarak analiz edilmektedir. Rotor kırıklarının etkileri sonraki bölümde verilmektedir.

Rotor Çubuk Kırıkları

Asenkron motorlar doğal olarak en güvenli ve minimum bakım gerektiren elektromekanik elektrik makinalardır. Ancak diğer motor türleri gibi onlarda da arızalar meydana gelir. Asenkron motorlarda stator tasarımı, sincap kafesli rotor tasarımı ve konstrüksiyonu farklı olarak yıllar içinde pek az değişiklik geçirmiştir [6]. Rotor arızaları, motor arızaları içerisinde önemsenecek bir yüzdede sahiptir. Sincap kafesli rotor genelde döküm ve fabrikasyon olmak üzere iki türü vardır. Daha önce döküm rotor, küçük elektrik makinelerinde kullanıldı. Ancak, döküm kanallı rotorlar ile döküm teknolojisi, 3000 kW'a kadar

motorların rotorları için kullanılabilir [1]. Fabrikasyon rotorları genellikle daha büyük veya özel uygulamalardaki motorlarda kullanılır. Döküm rotorların çatlak veya kırık rotor çubuğu arızasının bir kez bile asla tamir edilememesine rağmen fabrikasyon rotordardan daha sağlamdır.

Rotor çubuklarının kırılması en yaygın rotor arızası çeşididir. Motorun ısınma ve soğumadan kaynaklı termal stres ve dengesizlikler, aşırı yüklenmeler sonucu meydana gelen gerilmeler, elektromanyetik gürültü, dengesizlik ve harmonik kaynaklı olarak rotorda meydana gelen moment salınımları ve manyetik gerilmeler, üretimden kaynaklı gerilmeler, rotor milindeki aksel ve radyal bozukluklar, rotor malzemesinde nemden dolayı meydana gelen aşınmalar, rulman arızalarından dolayı rotorda meydana gelen mekanik gerilmeler, ve aşırı sıcaklıktan dolayı rotor yüzeyinde meydana gelen erimeleri rotor çubuklarının kırılmasının sebepleri olarak sayılabilir [5].

Bir asenkron motorun rotorunda kırık rotor arızası oluşması durumunda rotor döner alanına ters yönde bir döner alan meydana gelir. Ters yöndeki bu döner alan stator akımında şebeke frekansının sağında ve solunda (kaymaya bağlı olarak) yan-band frekans bileşenleri oluşturur. Bu yan-band frekans bileşenleri eşitlik 1’de ifade edilmiştir.

$$f_b = (1 \pm k2s)f, \quad k = 1, 2, 3, 4 \quad (1)$$

f_b yan-band frekanslarını, ‘s’ kaymayı, ‘f’ kaynak veya şebeke frekansını ifade etmektedir [7]. Motor stator akımı analiz edilerek yan-band harmonik bileşenlerinin genliği ve frekansı kırık rotor çubuklarının tespit edilmesinde kullanılır.

2. DENEY DÜZENEGİ

Deneysel veriler Dumlupınar Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde yürütülen 2012-29 nolu BAP projesi kapsamında kullanılan donanım kullanılarak elde edildi (DPÜ-BAP 2012-29). Veri toplama deney düzeneğinin blok şeması Şekil 2’de görülmektedir. Kırık rotor çubuklarının tespit edilmesinde kullanılan asenkron motorun özellikleri Çizelge 1’de verilmektedir. Rotor kırıkları rotor üzerinde matkapla delik açılarak oluşturuldu. Motor önce sağlam bir rotor ile test edildi. Daha sonra bir kırıklı rotor ve üç kırıklı rotor ile test edildi. Her çalışma durumu için stator akımı kaydedilerek analiz edildi.

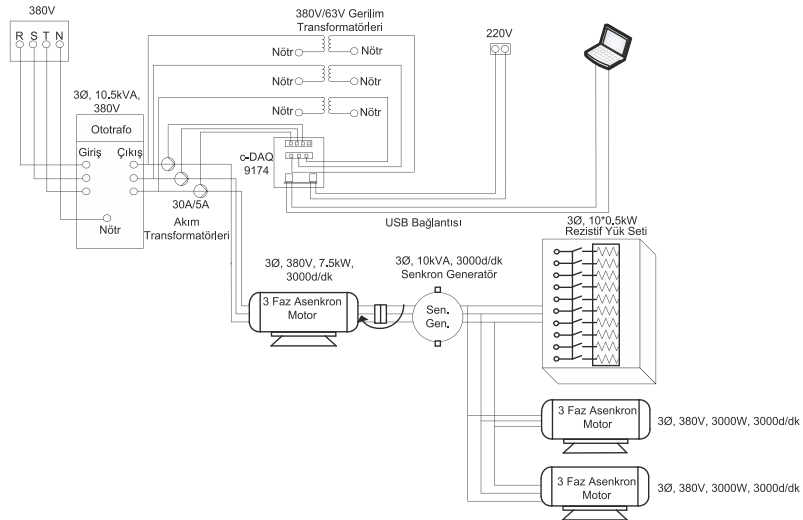
Test edilen motora bir oto transformatörü ile yol verildi. Test motorunu farklı kademelerde yüklemek için bir adet üç fazlı, kendinden uyarımlı, sabit mıknatıslı senkron generatör kullanıldı. Senkron generatörün çıkışına da üç fazlı bir adet resistif yük bağlandı. Üç fazlı resistif yükün kapasitesi test motorunun tam yük ile yüklenmesi için yeterli olmadığından dolayı generatörün çıkışına iki adet asenkron motor da resistif yüke paralel bağlanarak testler gerçekleştirildi.

Test motorunun üç faz stator gerilimi ve akımını kaydetmek için National Instrument (NI cDAQ-9174 veri toplama kartı Labview yazılımı ile birlikte) veri toplama sistemi kullanıldı. Veri sisteminde akım ölçmek için NI 9227 modülü kullanıldı. Bu modülün giriş akımını 5 A (rms) ile sınırlı olduğu için NI 9227 modülü 30A/5A dönüştürme oranına sahip 3 adet akım transformatörü bağlandı. Test motorunun stator gerilimini ölçme için NI 9225 modülü kullanıldı. Modülün giriş gerilimi 300 V (rms) ile sınırlı

olduğundan dolayı modül sistem üç fazlı 380/63 V bir transformatör üzerinden bağlandı. Veri ölçme sisteminin örnekleme frekansı 25 kHz olarak ayarlandı. Bu çalışmada ölçülen stator gerilimleri değerlendirmeye alınmamıştır. Deney düzeneği Şekil 3'te görülmektedir.

Çizelge 1 Test Motoru Etiket Değerleri

Marka	GAMAK
Model	AGM2E 132 S 2b
Faz	3 Fazlı
Güç	7.5 kW
Kutup Sayısı	2
Rotor Dönüş Hızı	2910 d/dk
Nominal Akım	13.6A
Moment	24.6 N
Güç Katsayısı	0.90
Verim	%88.5



Şekil 2 Deney düzeneği blok şeması



Şekil 3 deney düzeneği

3. İSTATİSTİKSEL ANALİZLER

Deney düzeneğinde Labview yazılımı ile kaydedilen stator akım verileri SPSS 21.00 paket programı ile istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Test çalışması üç farklı rotor durumu ile dört farklı yükleme kademesinde gerçekleştirildi: Motor, sağlam rotor, bir kırıklı ve üç kırıklı rotor ile %25, %50, %75 ve %100 yük altında çalıştırılarak ayrı ayrı veriler (stator akımları) kaydedildi. Her bir kayıt (üç faz stator akımları) 25 kHz örnekleme frekansı ile ve 32 sn süre ile gerçekleştirilerek toplamda 800.000 adet veri kaydı yapılmıştır.

İstatistiksel analizde yönteminin belirtilmesi için öncelikle verilerin sürekli (aralıklı, oransal) ya da kategorik (nominal, ordinal) olup olmadığına bakılması gerekir. Nominal verilerde parametrik olmayan istatistikler kullanılırken, aralıklı verilerde ise parametrik istatistikler kullanılır. Genel olarak, parametrik testlerle normal dağılım gösteren sayısal verilerin analizi yapılabilirken, nonparametrik testlerle nominal, ordinal ya da normal dışı dağılım gösteren sayısal verilerin analizi yapılabilir. Diğer yandan ordinal ya da normal dışı dağılım gösteren verilere parametrik test uygulanması, normal dağılıma uygun verilere nonparametrik test uygulanmasından daha sakıncalıdır. Her testin uygulanabilmesi için gerekli şartların neler olduğu ve verilerin bu şartlara uygunluğunun nasıl saptanacağı bilinmesi esastır. Eğer bu şartların sağlanıp sağlanmadığı bilinmiyorsa, en güvenli yol verilerin analizinde nonparametrik test kullanılmasıdır [8].

4. BULGULAR

Verilerin normal dağılıma uygunluğunu test etmek amacıyla Kolmogrov-Smirnov ve Shapiro Wilk testleri kullanılmıştır. Bu analizler sonucunda sağlam, bir kırıklı rotor ve üç kırıklı rotor motorlarının % 100 yüklenmedeki stator akım verilerinin normal dağılım göstermediği tespit edilmiştir ($p < .000$, Çizelge 2). Çizelgenin Sig. (Anlamlılık) satırındaki değerlerin istatistiksel anlamlılık hesaplamalarında sınır değeri kabul edilen 0,05'den büyük olması incelenen faktörlerin dağılımlarının normal olduğunu

göstermektedir. Normal dağılımda parametrik testler kullanılır. Çizelgedeki değerler 0,05'den küçük olduğu için stator akım verilerinin analizinde non-parametrik testler kullanılmıştır.

Çizelge 2. Normallik testi

Normallik Testi

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	Df	Sig.	Statistic	df	Sig.
R	,109	900	,000	,912	900	0,000
S	,110	900	,000	,903	900	0,000
T	,122	900	,000	,900	900	0,000

a. Lilliefors Significance Correction

Mann-Whitney U testi, dağılım özelliği normali göstermeyen bir dağılımda iki bağımsız grup ortalamalarını karşılaştırmak amacıyla kullanılan non-parametrik bir yöntemdir. Bu testte yapılan, ortalamalar yerine ortancaların karşılaştırılmasıdır ve değerlere sıra dönüşümün uygulanmasıdır. Normal dağılıma uygun olmayan verilere t testi uygulanırsa, gerçekte fark olduğu halde, test sonucunda fark bulunmayabilir. Mann-Whitney U testinin t testinden daha etkili olduğu durum, T testi varsayımlarının sağlanamadığı durumlardır [8].

Bu test, iki gruba ait gözlemlerin karşılaştırılmasında yaygın bir şekilde kullanılır. Parametrik testlerden t testinin gerekli olan varsayımlarından gözlemlerin ölçümünün zayıf olması ya da şüphe edildiği durumlarda t testinin bir alternatifi olarak kullanılır. U testi, gözlemlerden elde edilen bilgilerin en azından sıralı ölçme ile ölçülendirilebildiği iki bağımsız örneğin, ait oldukları sıra toplamlarının dağılımlarının aynı olup olmadığını test eder [8].

Analizde ilk olarak iki ilişkisiz örnekleme ait puanlara, gruba bakmaksızın en küçükten en yüksek puana doğru sıra sayıları verilir. En küçük puana en küçük sıra sayısı olan 1 değeri verilerek en yüksek puana doğru sıralama yapılır. Analiz iki gruba ait puanların sıra sayıları toplamını temel alır. Elde edilen sıra toplamları grup büyüklüklerine bölünerek grupların sıra ortalamaları bulunur [9].

Sıra ortalamalarını daha iyi anlaşılması için şöyle bir örnek verilebilir. İki adet eşdeğer özellikte asenkron motorun belli zaman aralıklarında sırasıyla stator akımları (rms) ölçülmüş olsun. 18 A olarak ölçülen iki değer var ve bunlar 5. ve 6. ölçüm sırasında kaydedilmiştir. Her iki ölçüm değerleri aynı olduğu için birinin diğerinden önceki ya da sonraki sıra numarası ile yerleştirilmemesi gerekir. İki ölçüm değeri toplanarak ortalamaları alınır ($5+6 = 11/2 = 5.5$) ve ikisine aynı sıra numarası (5.5) verilir. Bundan dolayı bu dizide 5. ve 6. sıra yer almayacaktır. Veri dizisi bir eksen üzerine yerleştirilmiş ve her bir ölçüm değerinin altına hangi gruptan geldiği yazılır.

1. asenkron motor stator akımı ölçüm değerleri (A): 20, 17, 16, 18, 22, 19, 21, 18.

2. asenkron motor stator akımı ölçüm değerleri (A): 22, 16, 21, 19, 20, 17, 19.

1. motor ve 2. motor gruplarının sıra değerleri aşağıdaki gibi sıralanır [10].

Ölçüm: 16 16 17 17 18 18 19 19 19 20 20 21 21 22 22
Grup: A B A B A A A B B A B A B A B
Sıra: 1.5 1.5 3.5 3.5 5.5 5.5 8 8 8 10.5 10.5 12.5 12.5 14.5 14.5

Mann-Whitney U testinde iki grup arasındaki ölçüm değerleri 20'den az olduğu zaman test istatistikleri aşağıdaki eşitlik (2) ve eşitlik (3)'teki gibi hesaplanır;

$$U_1 = n_1 n_2 + \frac{n_1(n_1+1)}{2} - R_1 \quad (2)$$

$$U_2 = n_1 n_2 - U_1 \quad (3)$$

n_1 1. gruptaki denek sayısını; n_2 2. gruptaki denek sayısını; R_1 birinci gruptaki değerlerin sıra numaraları toplamını ifade etmektedir. Bulunan iki U değerinden küçük olanı seçilir ve tablo U değeri ile karşılaştırılır. Elde edilen U değeri tablo U değerinden küçükse fark anlamlı kabul edilir. Fakat çözümlemenin yapıldığı olgu sayısı 20'den büyük ise, bulunan U değeri ($U = \max(U_1, U_2)$) z değerine dönüştürülür ve anlamlılık z tablosu yardımı ile değerlendirilir. z değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$z = \frac{U - \frac{n_1 n_2}{2}}{\sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12}}} \quad (4)$$

Hesaplanan z değerine karşılık gelen olasılık z tablosundan bulunur. Bulunan olasılık değeri 0.5'den çıkartılır. Hipotez çift yönlü ($H_1: \mu_1 \neq \mu_2$, H_1 : İki dağılım arasında fark vardır) ise bulunan olasılık değeri 2 ile çarpılır. Bu değer, seçilen alfa yanılma olasılığından küçük ise H_0 hipotezi reddedilir (H_0 : İki dağılım arasında fark yoktur) [10].

Bu çalışmada sağlam motor ile arızalı olan kırık rotorlu motorların stator akımları arasındaki fark istatistiksel açıdan Mann-Whitney U testi ile karşılaştırılmıştır. Tam %100 yük altında sağlam motor ile bir kırıklı motor verilerine ilişkin sonuçlar Çizelge 3'te, sağlam motor ile üç kırıklı motor verilerine ilişkin sonuçlar ise Çizelge 4'te gösterilmiştir.

Çizelge 3. %100 yük altında sağlam motor- bir kırıklı motor verilerine ilişkin Mann-Whitney U testi sonuçları

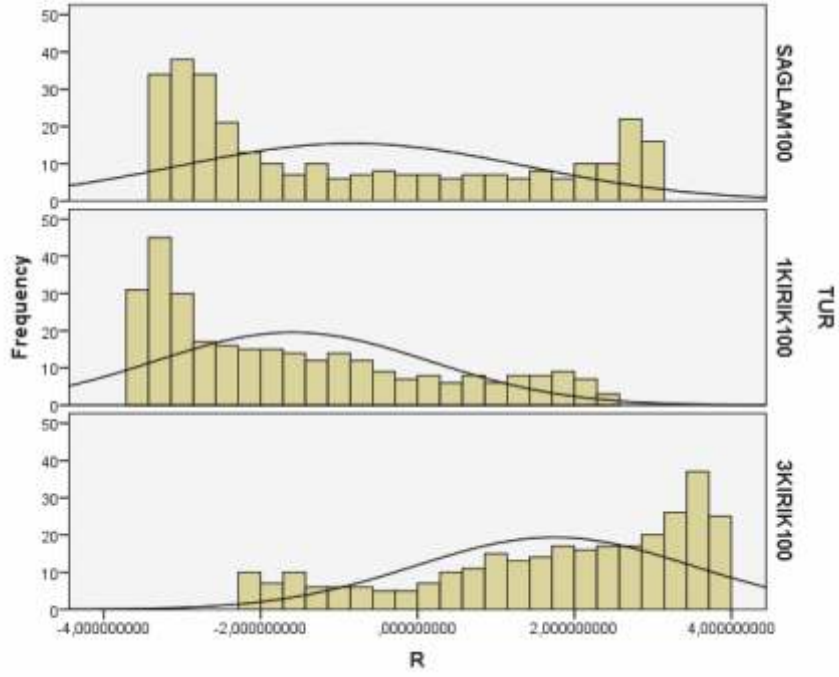
	Motor Türü	N	Sıra Ortalaması	U	P
R	Sağlam	300	333,42	35125,000	0,000
	Bir kırık	300	267,58		
	Toplam	600			
S	Sağlam	300	339,57	33280,000	0,000
	Bir kırık	300	261,43		
	Toplam	600			
T	Sağlam	300	382,39	20433,000	0,000
	Bir kırık	300	218,61		
	Toplam	600			

Çizelge 4. %100 yük altında sağlam motor- üç kırıklı motor verilerine ilişkin Mann-Whitney U testi sonuçları

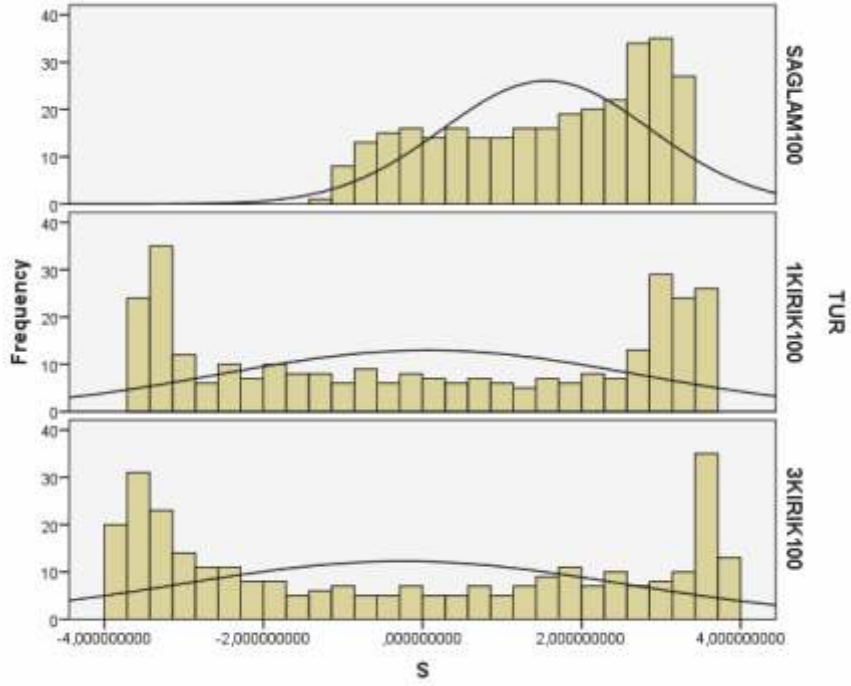
	Motor Türü	N	Sıra Ortalaması	U	P
R	Sağlam	300	206,06	16669,000	0,000
	Üç kırık	300	394,94		
	Toplam	600			
S	Sağlam	300	349,75	30225,000	0,000
	Üç kırık	300	251,25		
	Toplam	600			
T	Sağlam	300	268,92	35525,000	0,000
	Üç kırık	300	332,08		
	Toplam	600			

Tam (%100) yük altında sağlam motor ile arızalı motorların verilerinin karşılaştırılmasına ilişkin Mann-Whitney U testi sonuçları incelendiğinde, R, S ve T fazları arasındaki farkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir ($P < .05$). Gruplara ait sıra ortalamaları incelendiğinde, sağlam motorun sıra ortalamalarının R, S ve T fazlarında bir kırık motorunkinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca sağlam motorun sıra ortalamalarının S fazında da üç kırıklı motorunkinden daha yüksek olduğu görülmektedir.

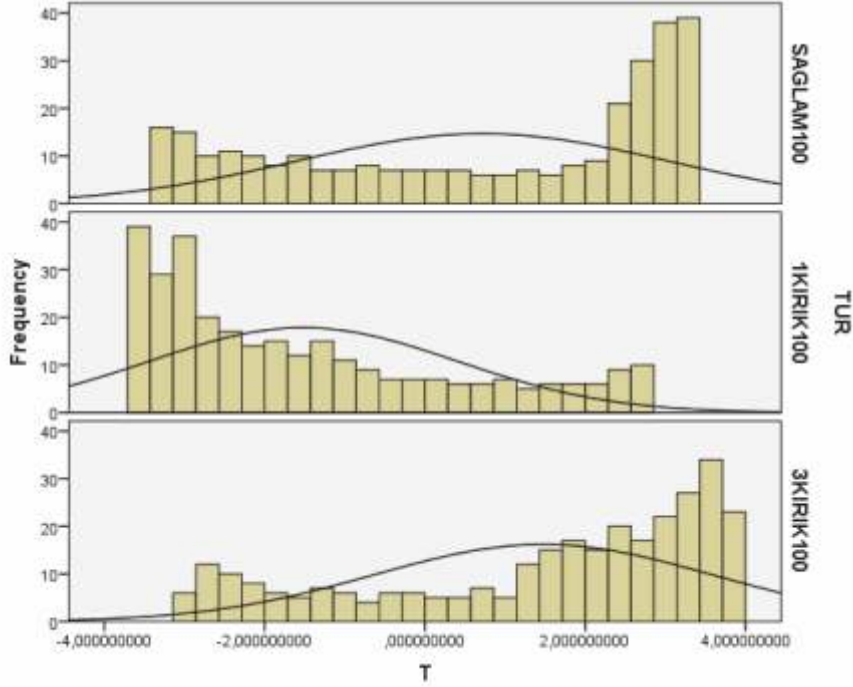
Tam yük altında motor (sağlam motor, bir kırıklı motor, üç kırıklı motor) stator faz akımlarındaki değişimler histogram olarak sırasıyla Şekil 4 (R fazı), Şekil 5 (S fazı), Şekil 6 (T fazı)'de gösterilmiştir. Histogram grafikte sütunun boyu değişkenin ilgili kategorideki sıklığı (frekansı) ile orantılıdır. Arıza olmadığı durumlarda sıra ortalamalarının ve histogram eğrilerinin aynı olması beklenir.



Şekil 4. Tam yük altında sağlam, bir kırıklı ve üç kırıklı motor stator R-fazı akım değişimlerinin histogramı



Şekil 5. Tam yük altında sağlam, bir kırıklı ve üç kırıklı motor stator S-fazı akım değişimlerinin histogramı



Şekil 6. Tam yük altında sağlam, bir kırıklı ve üç kırıklı motor stator T-fazı akım değişimlerinin histogramı

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada asenkron motorların yaygın arıza tiplerinde kırık rotor çubuklarının, stator akımının istatistiksel olarak analiz edilerek, tespit edilmesine çalışılmıştır. Kırık rotorlu motorun stator akımı istatistiksel analiz sonuçlarıyla sağlam bir motorun stator akımı istatistiksel sonuçlar karşılaştırılarak, iki sonuç arasındaki farklardan yararlanarak motorun arızalı olup olmadığı tespit edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada deney düzeneğindeki motor yüklenerek stator akımları NI cDAQ-9174 veri toplama kartı ve Labview yazılımı ile motor stator akımları kaydedilmiştir. Veriler istatistiksel olarak SPSS 21.00 paket programı ile analiz edilmiştir. Çalışmada, asenkron motor sağlam rotorla, bir çubuğu kırıklı ve üç çubuğu kırıklı rotorla tam yük altında çalıştırılarak istatistiksel analiz gerçekleştirilmiştir. Analizde Mann Whitney U yöntemi kullanılmıştır. Analiz sonucunda R, S ve T fazları arasındaki farkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir ($p < .05$). Gruplara ait sıra ortalamaları incelendiğinde, sağlam motorun sıra ortalamalarının R, S ve T fazlarında bir kırık motorunkinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca sağlam motorun sıra ortalamalarının S fazında da üç kırıklı rotordan daha yüksek olduğu görülmektedir. Yapılan çalışma ile sağlam bir motor ile kırık rotorlu bir motorun stator akımlarının istatistiksel analiz sonuçlarının karşılaştırılması ile asenkron motorların rotor arızalarının tespit edilmesinin mümkün olduğu görülmektedir. Bundan sonraki çalışmalarda tüm motor arıza çeşitleri

için bir modelleme düşünülebilir. Ayrıca modellemeye kırık rotor çubuğu arıza tipine ilave olarak rulman ve mil kaynaklı arıza tiplerinin de ilave edilmesi düşünülebilir.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Dumlupınar Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir (DPÜ-BAP 2012-29).

7. KAYNAKLAR

- [1] S. Nandi, H.A. Toliyat, “Fault Diagnosis of Electrical Machine”, International Electric Machines & Drives Conference, Seattle, USA, 219-221, (1999).
- [2] C.C. Yeh, G.Y. Sizov, A.S. Ahmed, N. Demerdash, R. J. Povinelli, E. Yaz, D. M. Ionel, “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, Aralık (2008).
- [3] S. Nandi, H.A. Toliyat, “Condition Monitoring And Fault Diagnosis of Electrical Machines”, IEEE Industry Applications Conference Thirty-Forth IAS Annual Meeting, Arizona, USA, 197, (2005).
- [4] Karakaya. O., “Asenkron Motorlarda Kırık Rotor Çubuğu Arızalarının Bilgisayar Destekli Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2-3, (2011).
- [5] Y.E. Zhongming, W.U. Bin, “A Review on Induction Motor Online Fault Diagnosis”, Power Electronics and Motion Control Conference, Beijing, 1353-1358, (2000).
- [6] R. Supangat, N. Ertuğrul, W.L. Soong, D.A. Gray, C. Hansen, J. Grieger, “Broken Rotor Bar Fault Detection in Induction Motors Using Starting Current Analysis”, European Conference on Power Electronics and Applications, Dresden, Germany, 1132-1142, (2005).
- [7] Kara. Ö., “Asenkron Motorlarda Rotor Kırıkları Analizi ve Modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2 (2011).
- [8] İnternet: Güreli, T.B., Parametrik ve Nonparametrik Testler, Niğde Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Pazarlama Bölümü. http://www.akademikdestek.net/.../parametrik_nonparametrik_testler.doc (2014).
- [9] İnternet: Geçe, E. E., Mann Whitney U Testi ve Makale İncelemesi. <http://www.akademikdestek.net/info/utesti.pdf> (2015).
- [10] Aksakoğlu, G., “Sağlıkta Araştırma ve Çözümleme 3. Baskı” Meta Basım Matbaacılık, İzmir, 218-220 (2013).

