

ASENKRON MOTORLARDA KIRIK ROTOR ÇUBUĞU ARIZALARININ YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TEŞHİSİ

Hayri ARABACI¹ Osman BİLGİN² Murat CEYLAN³ Rahime CEYLAN⁴

^{1,2,3,4}Elektronik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Selçuk Üniversitesi, 42035, Selçuklu, Konya

¹e-posta: hayriarabaci@selcuk.edu.tr

³e-posta: mceylan@selcuk.edu.tr

²e-posta: obilgin@selcuk.edu.tr

⁴e-posta: rceylan@selcuk.edu.tr

Anahtar sözcükler: Motor Arızaları, Rotor Çubuk Kırılması, Arıza Teşhisi

ÖZET

Bu çalışmada üç fazlı sincap kafesli asenkron motorların rotorlarında meydana gelen arızalarının teşhisi gerçekleştirilmiştir. Motor şebeke gerilimi ile beslenmektedir. Arıza sınıflandırması için Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanılmıştır. Öncelikle YSA için gerekli eğitime dataları laboratuvar ortamında çeşitli rotor arızaları oluşturularak temin edilmiştir. Oluşturulan her bir arıza durumu için motorun statorundan okunan akım değerleri bir I/O kartı üzerinden bilgisayara aktarılmıştır. Akım verilerinden güç spektrum yoğunluk hesabı kullanılarak akım harmonikleri elde edilmiştir. Bu grafikler analiz edilerek kırık ve yüksek reaktanslı rotor çubuğu sayısı tespit edilmiştir.

1. GİRİŞ

Son yıllarda motor arızalarının teşhisi için yapılan araştırmalarda hat akımı en elverişli parametre olmuştur[1,2,3]. Hat akımı akım dönüştürücüleri kullanımı ile bozulmadan görüntülenebilir[4]. Böylece elde edilen akım sinyallerinin spectral analizi yapılarak sincap kafesli asenkron motorun rotorundaki yüksek rezistans ve kırık çubuk gibi hatalar ve bunların sebep olduğu relüktans değişmelerinin akıma olan etkisi inceleyebilir[5,6]. Akımdaki değişimlerden faydalanılarak rotor arızaları tespit edilebilir. Bilgisayar teknolojisinin hızlı bir şekilde gelişmesi ve buna bağlı olarak işaret işleminin gelişimi bu tür uygulamaların sonuç üretiminde farklı yöntemlerle ele alınmasına olanak sağlamıştır. Böylece çalışmalarda arıza teşhisi için özellikle yapay sinir ağları[7] ve genetik algoritma gibi bilgi işleme yöntemlerinin kullanımı yoğunlaşmıştır.

2. GÜÇ SPEKTRUM YOĞUNLUĞU

Periyodik sinyallere ait frekans bilgisini elde etmek amacıyla yaygın olarak kullanılan bu yaklaşım, ayrık Fourier dönüşümü hesaplanarak işareti frekans tanım

bölgesine dönüştürür. N örnekli bir veri bloğu için Δf frekans çözünürlüğü ve Δt de örnekleme zamanı olmak üzere $m\Delta f$ frekansındaki dönüşüm:

$$X(m\Delta f) = \sum_{k=0}^{N-1} x(k\Delta t) \exp[-j2\pi km / N] \quad (1.1)$$

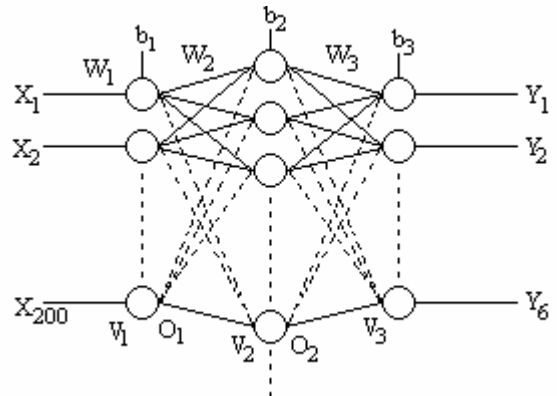
bağıntısıyla hesaplanır. X(t) işaretinin öz güç spektral yoğunluğu da:

$$S_{xx}(f) = \frac{1}{N} |X(m\Delta f)|^2, f = m\Delta f \quad (1.2)$$

bağıntısıyla hesaplanır.

3. YAPAY SİNİR AĞLARI:

Yapay Sinir Ağları (YSA), beynin bir işlevi yerine getirme yöntemini modellemek için tasarlanan bir sistemdir. Şekil 1'de görüldüğü gibi YSA yapay sinir hücrelerinin çeşitli şekillerde bağlanması ile oluşur ve genellikle katmanlar halinde gerçekleştirilir.



Şekil 1. YSA Ağ Yapısı

$$v_1 = w_1^T * H + b_1 \quad O_1 = \varphi(v_1) \quad (2.1)$$

$$v_2 = w_2^T * O_1 + b_2 \quad O_2 = \varphi(v_2) \quad (2.2)$$

$$v_3 = w_3^T * O_2 + b_3 \quad B = \varphi(v_3) \quad (2.3)$$

Burada X_1, X_2, X_3 giriş vektörleri, V_1, V_2, V_3 hücrelerin net girdi vektörleri, W_1, W_2, W_3 ağırlık vektörleri, b_1, b_2, b_3 polarma vektörleri, O_1, O_2 ve Y sırası ile çıkışlardır. O çıkışları aktivasyon fonksiyonu olarak seçilen bir fonksiyondan geçirilerek oluşturulur. En yaygın kullanılan aktivasyon fonksiyonu 2.4'deki tek yönlü ve 2.5'deki çift yönlü sigmoid fonksiyondur.

$$\varphi(v) = \frac{1}{1 + e^{-v}} \quad (2.4)$$

$$\varphi(v) = \frac{1 - e^{-v}}{1 + e^{-v}} \quad (2.5)$$

Yapısında yeterli sayıda hücre bulunduran YSA, eğitim sürecinden sonra bilgiyi küçük bir hata ile öğrenebilir ve genelleme yapabilir. Eğitim YSA'nın ilgilendiği problemlerden aldığı yeterli miktarda örneklere göre hücrelerin bağlantı ağırlıklarının uyarlanması işlemidir. Örnek sayısının fazla olması YSA'nın daha iyi genelleme yapabilmesini sağlar. Genelleme YSA'nın eğitim sürecinde karşılaşılmayan girişler için uygun tepkileri üretmesidir. YSA'nın arıza analizi ve tespitinde, görüntü ve ses tanıma, karmaşık sistemlerin modellenmesinde ve birçok konuda başarılı uygulamaları mevcuttur.

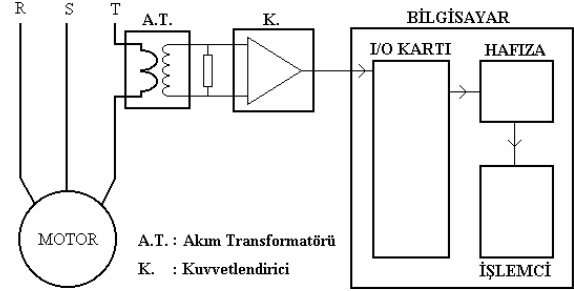
Bu çalışmada girişler arızalı motorun statorundan ölçülen bir faza ait akımın örneklenmesi ile elde edilen akım verileridir. Çıkışlar ise beş arızalı durum ve bir sağlam durum olmak üzere altı farklı durumdur.

Arıza tespiti Şekil 1 de görülen ileri yönlü üç katmanlı yapay sinir ağı ile gerçekleştirilmiştir. Kullanılan YSA'nın giriş katmanında 200 hücre, gizli katmanında 200 hücre, çıkış katmanında da 6 hücre kullanılmıştır. Aktivasyon fonksiyonu olarak, YSA'nın daha çabuk eğriyi öğrenmesinden dolayı tek yönlü sigmoid fonksiyonu seçilmiştir. Eğitimin daha doğru yapılabilmesi için giriş değerleri normalizasyon işleminden geçirilmiştir. Ağırlıkların hesaplanmasında, hata geri yayılım (Back Propagation) algoritması kullanılmış ve en düşük hata değerleri için optimizasyon yapılmıştır. Eğitim trainrp kuralı kullanılarak $6,46 \cdot 10^{-5}$ hata ile gerçekleştirilmiştir.

4. STATOR AKIMININ ANALİZİ

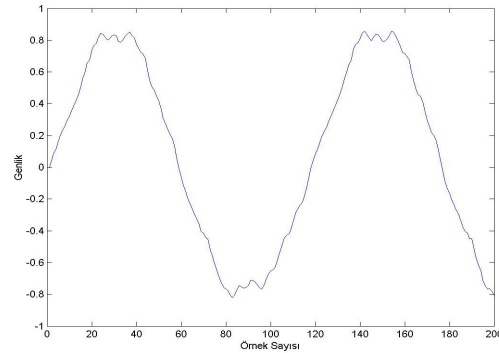
Bu çalışmada kullanılan motor 1.3 kW'lık 3 fazlı 2 kutuplu 18 rotor oyuklu sincap kafesli asenkron motordur. Motor akımının ölçümü bir akım transformatörü kullanılarak yapılmıştır. Akım transformatörü aynı zamanda motor ile ölçme düzeneği arasında yalıtımı sağlamaktadır. Akım

transformatörünün sekonderinden bir direnç yardımı ile motor akımının değerine ait gerilim sinyali alınmıştır. Bu sinyal kuvvetlendirici devre ile kuvvetlendirilmiş ve I/O kartına aktarılmıştır. I/O kartı ile örneklenen motor akımına ait sinyaller bilgisayar hafızasına kaydedilmiştir. Ölçümler motor boştaki çalışırken tek faz üzerinden alınmış ve örnekleme frekansı olarak 5,9 kHz kullanılmıştır.

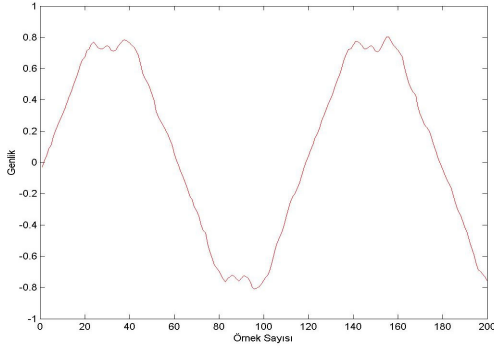


Şekil 1. Motor Akımı Ölçme Siteminin Blok Diyagramı

İlk olarak rotor çubukları sağlam durumdayken stator akımı ölçülmüştür. Sonra rotor çubuklarından biri, yüksek reaktans durumu oluşturmak için bir matkap yardımı ile 5 mm genişliğinde delinerek stator akımı yeniden ölçülmüştür. Bir rotor çubuğu kırık rotor arızasını oluşturmak için delinen bu rotor çubuk oyuğu içerisindeki döküm 5 mm eninde tamamen kazınmıştır. Bu durumda da motor boştaki çalıştırılarak stator akımı örneklenmiştir. Daha sonra bu işlem sırası ile yan yana iki çubuğu kırık, yan yana üç çubuğu kırık ve yan yana iki diğeri ayrı olmak üzere üç çubuğu kırık rotorlar için tekrarlanmıştır. Her bir veri 2000 örnekten oluşmak üzere her arıza durumu için yirmişer tane örnek alınmıştır. Alınan bu veriler karşılaştırmanın doğru yapılması ve I/O kartının ilk örneklemeye başladığı andaki kararsızlığın getirdiği bozulmaları yok etmek için akım değeri sıfırdan başlayacak şekilde işlenerek 500'lü verilere dönüştürülmüştür. Sağlam ve bir çubuğu kırık rotora ait 200'lü örnekleme sinyali Şekil 3 ve 4'de verilmiştir. Şekillerden bozulmanın etkileri görülebilmektedir. Şekilden de görüleceği gibi akım sağlam durumdaki dalga şeklinden uzaklaşmış olup üzerinde kırık rotor çubuklarını temsil eden bozulmalar olmuştur.

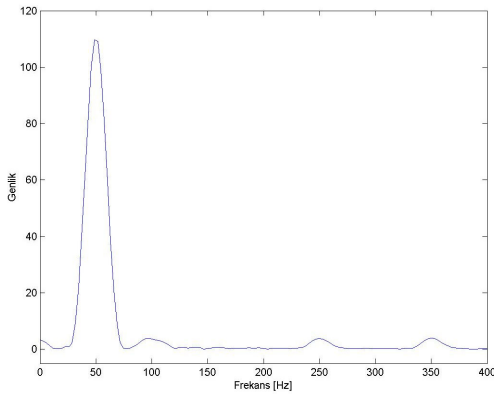


Şekil 3. Sağlam Motor Akımı.

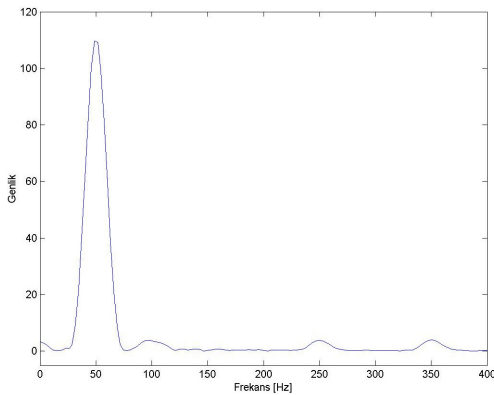


Şekil 4. Bir Rotor Çubuğu Kırık Motora ait Akımı.

Harmoniklerin değişimini görmek için spektrum yoğunluğu hesabı yapılmış, hesaplama için Matlab Programlama Dili kullanılmıştır. Bu işlem için Fast Fourier Transformu alınmış, etkilerin harmonik numaralarındaki değişiminin daha iyi gözlemesi için hesaplamada hamming penceresi kullanılmıştır. Sağlam ve üç çubuğu kırık rotora ait harmonikleri gösteren grafikler Şekil 5 ve 6'da verilmiştir.

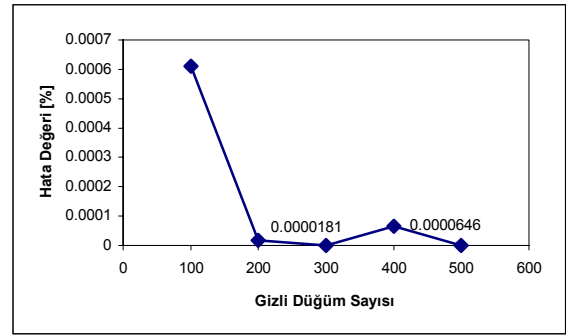


Şekil 5. Sağlam Motora ait Akım Spektrumu.

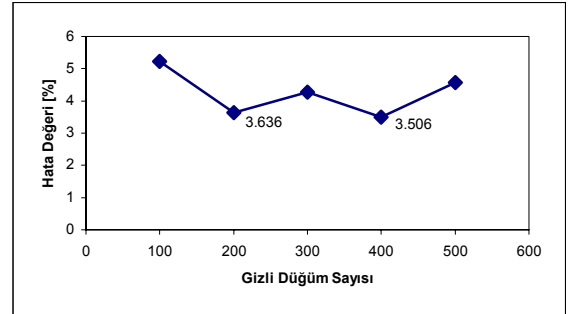


Şekil 6. Bir Rotor Çubuğu Kırık Motora ait Akım Spektrumu.

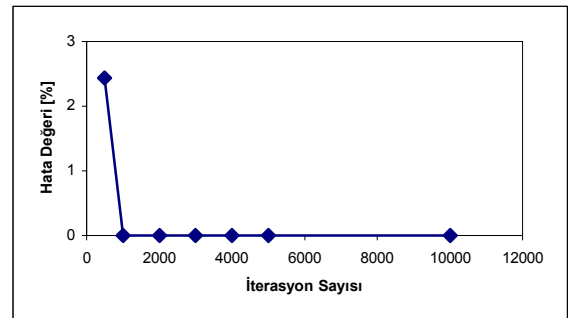
En belirgin değişimin ana dalgada, 2., 5. ve 7. harmoniklerde olduğu gözlenmiş ve YSA eğitmesi için 400 Hz'e kadar olan veri kümesi kullanılmıştır. Her bir arıza durumu ve sağlam durum için elde edilen yirmi adet verinin 10 tanesi eğitime için diğer 10 tanesi de test için kullanılmıştır. En uygun gizli düğüm ve iterasyon sayısı için farklı gizli düğüm ve iterasyon sayılarında eğitime ve testler yapılmış, eğitime ve test hataları incelenerek optimizasyon yapılmıştır. Bu değerlere ilişkin grafikler Şekil 7, 8, 9, 10'da verilmiştir. Optimum gizli düğüm sayısı 400 ve iterasyon sayısı 1000 olarak bulunmuş, eğitime ve test işlemleri bu değerlere göre yapılmıştır. Bu işlemin sonunda eğitime hatası $6,46 \cdot 10^{-5}$ ve test hatası %3,506 olarak bulunmuştur.



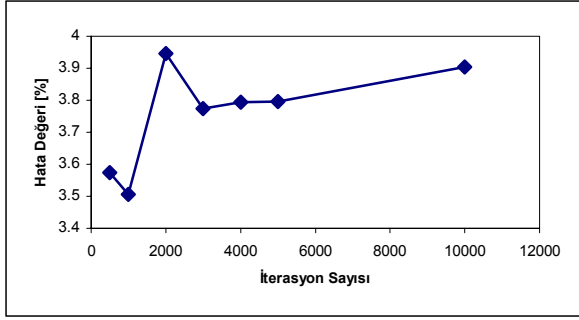
Şekil 7. Gizli Düğüm Sayısı için Elde Edilen Eğitime Hataları



Şekil 8. Gizli Düğüm Sayısı için Elde Edilen Test Hataları



Şekil 9. İterasyon Sayısı için Elde Edilen Eğitime Hataları



Şekil 10. İterasyon Sayısı için Elde Edilen Test Hataları



Şekil 11. İki Çubuğu Delinmiş Rotor



Şekil 12. Deney Düzenegi

SONUÇ

Bu çalışmada kırık rotor çubuklarının akım harmoniklerine olan etkisi incelenmiş ve her bir arızalı durum için elde edilen akım spektrumları arasındaki farklılıklardan faydalanılarak arıza teşhisi yapılmıştır. Çalışmada altı farklı durum; sağlam rotor, dört farklı rotor çubuğu kırılması ve rotor çubuğunun yüksek reaktans göstermesi incelenmiştir. Sınıflandırma için deneysel veriler kullanılarak YSA

eğitmesi yapılmıştır. Eğitime sonucunda yapılan testlerde arıza durumlarının teşhisi gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Bellini A., Filippetti F., Franceschini G., Tassoni C., Kliman G.B., "Quantitative Evaluation Of Induction Motor Broken Bars By Means Of Electrical Signature Analysis", Industry Applications Conference, 2000.
- [2] Sutherland P.E., Salon S.J., "Analysis Of Rotor Faults In Three Phase Induction Machines", Industry Applications Conference, 2002.
- [3] Salles G., Filippetti F., Tassoni C., Crellet G., Franceschini G., "Monitoring Of Induction Motor Load By Neural Network Techniques", Power Electronics, 2000.
- [4] Chang-Eob Kim, Yong-Bae Jung, Sang-Baeck Yoon, Dal-Ho Im, "The Fault Diagnosis of Rotor Bars in Squirrel Cage Induction Motors by Time-Stepping Finite Element Method", IEEE Transactions on Magnetics, 1997.
- [5] Cruz S. M. A., Marques Cardoso A.J., "Rotor Cage Fault Diagnosis in Three-Phase Induction Motors by Extended Park's Vector Approach", Electric Machines and Power Systems, 2000.
- [6] Ayaz E., Şeker S., Türkcan E., Barutçu B., Elektrik Motorlarında Elektrik işaretlerini Kullanarak Dalgacık ve Spektral Analiz Yöntemlerinin Birleşimi ile Arıza Tanısı, Elektrik Elektronik Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi, İstanbul, 2003.
- [7] Öküztepe E., Kürüm H., Bir Lineer Motorun Çelik Sekonderinin Mağnetik Özelliklerinin Yapay Sinir Ağları İle Modellenmesi, Elektrik Elektronik Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi, İstanbul, 2003.