

STATOR AKIMINDAN ASENKRON MOTOR ARIZALARININ SINIFLANDIRILMASI İÇİN YENİ BİR ÖZNETELİK VEKTÖRÜ

Doğan Gökhan ECE¹

Ömer Nezh GEREK¹

¹Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü

Mühendislik Mimarlık Fakültesi

Anadolu Üniversitesi, İki Eylül Kampusu, 26470, Eskişehir

¹e-posta: {dgece, ongererek}@anadolu.edu.tr.

Anahtar sözcükler: Asenkron motorlar, Stator akımı, Frekans spektrumu modeli

ÖZET

Bu çalışmada asenkron motorların örneklenmiş stator akım dalga şekillerini kullanarak arıza sınıflandırma amaçlı öznetelik vektörü elde edilmektedir. Söz konusu öznetelik vektörünün elemanları, kaydedilen kesikli akım dalgasına ait frekans spektrum model parametrelerine karşılık gelmektedir. Arızalı motorların akım dalga şekilleri, arızanın tipine göre sağlıklı motordan farklı rezonatif harmonikler taşıdığından, hem spektrum bilgisi, hem de buna karşılık gelen transfer fonksiyonu modelinde sıfır ve kutup pozisyonları arasındaki farka göre motor arızasının sınıflandırılması mümkün olmaktadır.

1. GİRİŞ

Asenkron motor arızaları genel olarak stator sargılarında oluşan hatalar, sincap kafesli motorlarda rotorda oluşan mekanik arızalar, ve rulman arızaları olarak sınıflandırılabilir. Endüstride en yaygın olarak kullanılan motorlar olmaları nedeniyle, özellikle büyük güçlü asenkron motorların hatalarının motor onarılamayacak duruma gelmeden önce belirlenmesi önem kazanmıştır. Hataların belirlenmesinde ve sınıflandırılmasında genel olarak kullanılan yöntemler motor titreşiminin ölçülmesi ve stator akımının frekans bileşenlerinin çeşitli yöntemlerle analizidir. Mekanik rulman arızaları iç bilezik, dış bilezik, ve bilya arızaları olarak sınıflandırılmış ve her bir arıza nedeniyle ortaya çıkan titreşimin frekansı rulman çapı, bilya çapı ve bilya sayısının bir fonksiyonu olarak hesaplanmıştır [2-6]. Ölçülen mekanik titreşimin dalga şekline dalgacık dönüşümü uygulanmış ve ayrıntı katsayıları bir sinir ağına girilerek rulman arızaları sınıflandırılmıştır [6]. Rulman arızaları motorun yapısına etki ederek hava aralığının homojenliğini bozarlar. Dolayısıyla bu bozulma stator akımının frekans bileşenlerinde de ortaya çıkmaktadır [1-2,5]. Arızalı motorlardan alınan stator akımı verilerinin belli bir kayıt aralığında kesikli Fourier dönüşümüyle elde edilen frekans spektrumu bir sinir ağına girilerek [1], veya ayrıntılı dalgacık dönüşümü katsayılarının istatistiksel analizleriyle [5] rulman arızaları sınıflandırılabilir. Arızaların motorun yüklü durumdayken belirlenmesi amacıyla benzer

çalışmalar yapılmış ve stator akımının frekans spektrumunda, mekanik yükün dairesel yapısındaki bozukluk nedeniyle ortaya çıkan bazı frekanslar elimine edilerek rulman hataları sınıflandırılmıştır [3-4]. Söz konusu çalışmaların çoğunda asenkron motor arızalarının sınıflandırılmasında, stator akımına veya titreşim dalga şekline uygulanan dönüşüm yöntemleri sonucunda elde edilen veriler tümüyle sınıflandırıcıya girilmektedir. Örneğin, Fourier dönüşümü kullanıldığında, N uzunluğundaki bir çok akım dalga şeklinin herbirinden elde edilen N/2 uzunluğundaki frekans spektrumu verileri, bir başka deyişle öznetelik vektörleri, kullanılarak sınıflandırıcı sinir ağı eğitilmektedir.

Bu çalışmada, önceki çalışmalardan farklı olarak, hatalı motorlardan elde edilen stator akımı verilerinin frekans spektrumu bir transfer fonksiyonu ile modellenmiştir. Model, pay ve paydada z-polinomlarından oluşmaktadır. Bu transfer fonksiyonunun z - düzlemindeki sıfır ve kutupları kullanılarak üç boyutlu bir öznetelik vektörü oluşturulmuştur. Frekans spektrumunun N/2 adet nümerik değer taşıyan bütünü, optimum sınıflandırıcı tasarımı ve kullanımını güçlendirmektedir. Bu tür verilerden genellikle daha az elemanlı öznetelik vektörleri çıkarılmalıdır [7]. Bu çalışmada önerilen az elemanlı öznetelik vektörlerinin, frekans spektrumundaki önemli bilgileri ayırt edici bir şekilde taşıdığı görülmüş, asenkron motor arızalarının sınıflandırılabilceği tespit edilmiştir.

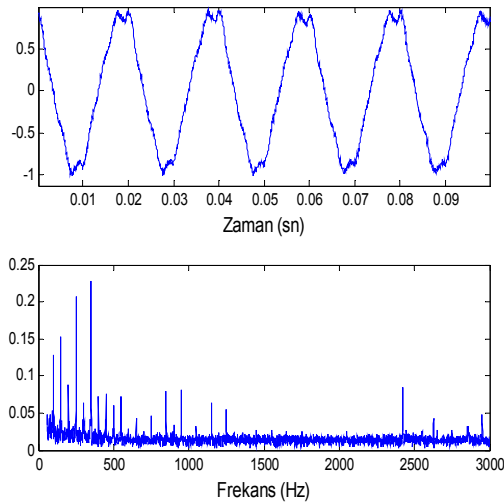
2. HATALI MOTORLARIN AKIMLARI

Bu çalışmada kullanılan tüm motorlar 380/220V, Y/D, 1430 rpm, 2.2 kW, ve güç faktörü 0.8 anma değerlerindeki motorlardır. Stator akımı üç ayrı motordan elde edilmiş ve bu motorlar arıza durumlarına göre aşağıda sıralanmışlardır.

- **M1** Sargılardan biri arızalı, motor iki fazdan çalışıyor,
- **M2** Motorun rulmanı arızalı,
- **M3** Sağlam motor.

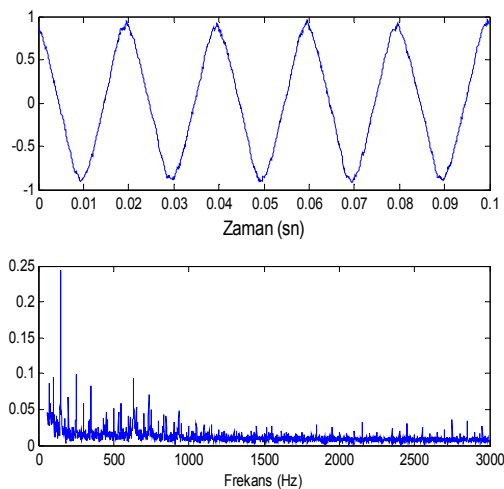
Motorların sınıflandırılması için gerekli olan öznetelik vektörünün türetilmesi amacıyla ilk olarak boşa çalışma sırasında her bir motorun stator akımı

örneklenmiştir. Bu örnekleme 20 kHz de yapılmıştır ve her bir motordan 20 ayrı stator akımı verisi elde edilmiştir. Sağlam motorun kullanılması doğal olarak hatalı motorlardan olan farkının belirlenmesi amacıyla. Konuyla ilgili daha önceki çalışmalarda, frekans spektrumu hesaplanmadan önce ana bileşen, 50 Hz, elimine edilmiştir [5-6]. Bu çalışmada da önerilen öznitelik vektörüne etkisinin analizi açısından yukarıda elde edilen akım verilerine ek olarak 50 Hz bant durdurucu bir süzgeç kullanılarak motorların stator akımları tekrar örneklenmiş ve bu deney de her bir motor için 20 kez tekrarlanmıştır.



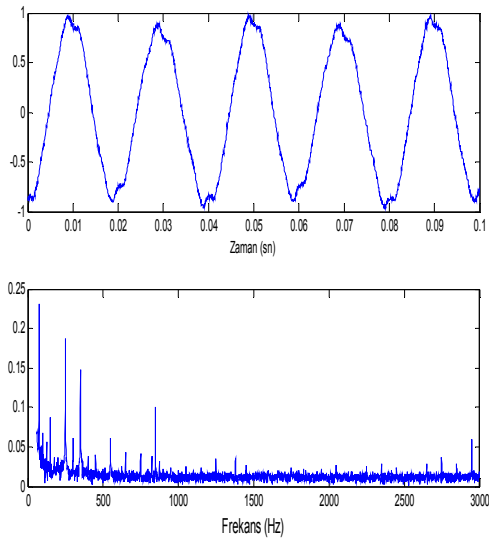
Şekil 1 M3 motorunun akımı ve frekans spektrumu

Şekil 1 de hatasız M3 motorunun yüksüz çalışma durumunda stator akımının tepe değerinde normalize edilmiş dalga şekli ve frekans spektrumunun 70 Hz - 3 kHz arasındaki değişimi verilmiştir. Bu çalışma durumunda motorun rotor devresinin çektiği akım ihmal edilecek düzeyde olup stator akımı sadece manyetizasyon akımıdır. Dolayısıyla dalga şekli, stator çekirdeğinin B-H karakteristiğine bağlı olarak, doğrusal olmayan bir dalga şeklindedir.



Şekil 2 M1 motorunun akımı ve frekans spektrumu

Faz sargılarından biri arızalı olup iki fazdan çalışan motorun stator akımı ve frekans spektrumu Şekil 2 de verilmiştir. Hatasız M3 motorunun aksine, M1 motorunun akımının dalga şekli bir sinüs dalga şekline daha yakındır. Bu, motorun iki fazdan çalışması dolayısıyla gerekli manyetizasyonun sağlanabilmesi için sağlam fazların daha fazla akım çekmesinden kaynaklanmaktadır. Boşta çalışma durumunda M1 motoru sağlam fazlarından yaklaşık 10 A çekerken M3 motoru 3 A çekmektedir.



Şekil 3 M2 motorunun akımı ve frekans spektrumu

Rulmanı arızalı olan M2 motorunun stator faz akımı dalga şekli ve frekans spektrumu Şekil 3 de verilmiştir. Bu motor rulman arızası nedeniyle boşta çalışmada 3.8 A akım çekmekte olup bu değer hatasız M3 motorunun faz akımından daha fazladır.

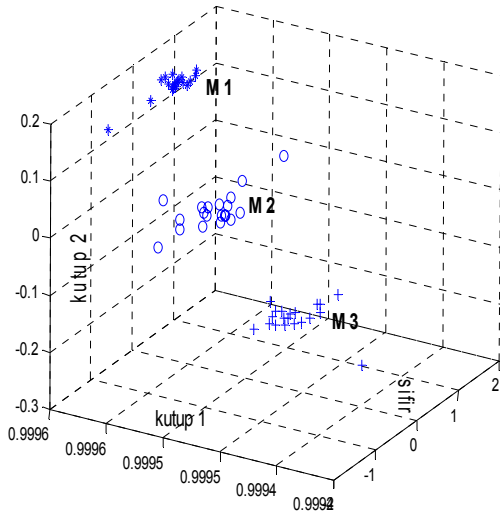
Her üç motorun faz akımlarının frekans spektrumları incelendiğinde çeşitli bantlardaki farklılıklar göze çarpmaktadır. Dolayısıyla, otomatik sınıflandırma için her bir frekansdaki bileşenin genişliğinden oluşan bir öznitelik vektörünün kullanılması durumunda bu çalışmada kullanılan motorlar sınıflandırılabilir. Bir sonraki bölümde faz akımlarının frekans spektrumları kullanılarak türetilen öznitelik vektörü açıklanacaktır.

3. ÖNERİLEN ÖZNİTELİK VEKTÖRÜ

Frekans spektrumu bilinen bir sistem aşağıda genel yapısı verilen bir transfer fonksiyonu kullanılarak z- düzleminde modellenilebilir.

$$H(z) = \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{b_1 + b_2 z^{-1} + \dots + b_{n+1} z^{-n}}{a_1 + a_2 z^{-1} + \dots + a_{m+1} z^{-m}}$$

Burada motorların stator akımları örneklendikten sonra elde edilen frekans spektrumu $n = 1$ ve $m = 2$ seçilerek modellenmiştir. Bu modelleme MATLAB ortamında **invfreqz** fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde elde edilen transfer



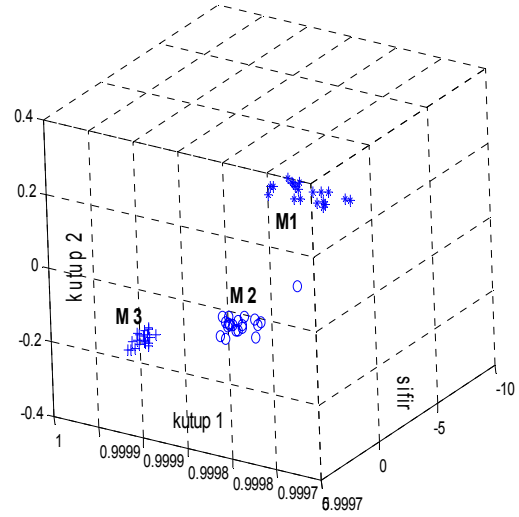
Şekil 4 Stator akımlarından elde edilen öznelik vektörleri

fonksiyonunun iki adet kutbu ve bir adet sıfırı bulunmaktadır. Her bir motor için örneklenen 20 akım dalga şekline de aynı işlem uygulanmış ve kutuplar ile sıfırın değerleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak her bir stator akımını modelleyen 3 elemanlı bir öznelik vektörü elde edilmiştir

Aynı motora ait öznelik vektörleri arasındaki ilişkinin dolayısıyla bir motora ait vektörlerin diğer motorlara ait olanlardan olan farklılığının görsel olarak sunulabilmesi için Şekil 4’de gösterildiği gibi 3-boyutlu bir eksen sisteminde her bir vektörün elemanları bir noktaya karşılık gelecek şekilde çizdirilmiştir. Görüldüğü gibi her bir motora ait öznelik vektörleri 3-boyutlu eksen sisteminin belirli bir bölgesinde gruplaşmışlardır. Şekil 4’teki gösterimin amacı her bir motora ait öznelik vektörlerinin aralarındaki farkları göstermektir. Bununla beraber, stator akımlarının frekans spektrumlarının modellenmesiyle elde edilen öznelik vektör elemanlarının asenkron motor hatalarının sınıflandırılmasında kullanılabilirliğini göstermektedir.

Daha önce belirtildiği gibi stator akımları, 50 Hz bant durdurucu süzgeç kullanılarak da örneklenmiş ve bu akımlardan elde edilen frekans spektrumları da aynı şekilde modellenmiştir. Bu durumda elde edilen öznelik vektörlerinin 3-boyutlu eksen sistemindeki gösterimi Şekil 5 de sunulmuştur.

Burada da, kutupların ve sıfırın z-düzlemindeki yerleri değişse de Şekil 4 de olduğu gibi hatalı motorlarla sağlam motora ait öznelik vektörleri arasında belirgin bir farklılık vardır. 50 Hz ana bileşeni elimine edilmiş olan akımlardan elde



Şekil 5 50 Hz bileşeni süzölmüş stator akımlarından elde edilen öznelik vektörleri

edilen öznelik vektörleri de asenkron motorların hatalarının sınıflandırılmasında kullanılabilir. Ancak, 50 Hz bileşeni durdurucu süzgeç yapısının ana bileşen altı ve ana bileşen üstü frekans bileşenlerini durdurulması gerekmektedir. Bu çalışmada kullanılan süzgeç yapısı istenilen frekanslarda çok farklı süzgeç yapılarını gerçekleştirebilen programlanabilir bir süzgeçtir. Örneklemesinde böyle bir cihazın kullanımı oldukça maliyetli olup, Şekil 4 ve Şekil 5 karşılaştırıldığında motorların stator akımlarının kendileri kullanılarak elde edilen öznelik vektörlerinin sınıflandırma için yeterli olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada 10000 eleman uzunluğundaki stator akımlarına Fourier dönüşümü uygulanarak frekans spektrumları elde edilmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda olduğu gibi elde edilen frekans spektrumlarının tüm elemanları bir öznelik vektörü olarak kabul edilip herhangi bir sınıflandırıcıda kullanılsaydı her biri 5000 elemanlı bir vektör olacaktı. Buradaysa sadece 3 elemanlı vektörler kullanılarak asenkron motor hatalarının sınıflandırılabilirliği gösterilmiştir. Kullanılan modelin derecesini yani m ve n değerlerini artırarak stator akımlarının frekans spektrumları daha az hatayla modellenebilir. Ancak bu çalışmada, elde edilen öznelik vektörleri arasındaki farklılığın görsel olarak sunulabilmesi amacıyla, kullanılan model sadece 3 elemanlı bir öznelik vektörü elde edilecek şekilde yapılandırılmıştır.

4. SONUÇ

Asenkron motorların hatalarının belirlenmesi ve sınıflandırılmasında genel olarak stator akımının frekans spektrumu hatasız bir motordan elde edilen spektrum ile karşılaştırılarak yapılmaktadır. Bu çalışmadaysa frekans spektrumunu karşılaştırmak yerine, frekans spektrumunun modellenmesiyle elde edilen 3 elemanlı öznitelik vektörlerinin karşılaştırılması önerilmiştir. Önerilen öznitelik vektörü yapısının farklı hataları olan asenkron motorların stator akımlarını başarıyla modellediği ve sınıflandırmada kullanılabileceği gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Schoen R., Lin B. K., Habetler T. G., Schlag J. H., Farag S., An Unsupervised, On-Line System for Induction Motor Fault Detection Using Stator Current Monitoring, IEEE Trans. On Ind. Appl., Vol. 31, No. 6, pp 1280-1286, 1995.
- [2] Schoen R. R., Habetler G., Kamran F., Bartheld R. G., Motor Bearing Damage Detection Using Stator Current Monitoring, IEEE Trans. On Ind. Appl., Vol. 31, No. 6, pp 1274-1279, 1995.
- [3] Schoen R. R., Habetler T. G., Effects of Time-Varying Loads on Rotor Fault Detection in Induction Machines, IEEE Trans. On Ind. Appl., Vol. 31, No. 4, pp 900-906, 1995.
- [4] -----, Evaluation and Implimentation of a System to Eliminate Arbitrary Load Effects in Current-Based Monitoring of Induction Machines, IEEE Trans. On Ind. Appl., Vol. 33, No. 6, pp 1571-1577, 1997.
- [5] Eren L., Devaney M. J., Bearing Damage Detection via Wavelet Packet Decomposition of the Stator Current, IEEE Trans. On Instrumentation and Measurement, Vol. 53, No. 2, pp 431-436, 2004.
- [6] Devaney M. J., Eren L., Detecting Motor Bearing Faults, IEEE Instrumentation and Measurement Magazine, Vol. 7, No. 4, pp 30-35, 2004.
- [7] Duda R.O., Hart P.E., Stork D.G., *Pattern Classification, 2nd Ed.*, John Wiley & Sons, 2001.