

Bulanık Otomata Yaklaşımı Kullanan Arıza Tespit Algoritması

İlhan Aydın¹

Mehmet Karaköse²

Erhan Akın³

^{1,2,3}Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Fırat Üniversitesi, Elazığ

¹e-posta: iaydin@firat.edu.tr

²e-posta: mkarakose@firat.edu.tr

³e-posta: eakin@firat.edu.tr

Özetçe

Bu çalışmada gerçek zamanlı arıza tespiti için bulanık otomata tabanlı bir yöntem sunulmuştur. Önerilen yöntem akım bilgisini kullanarak asenkron motorlarda oluşan kırık rotor çubuğu arızasını belirlemektedir. İzlenen akım bilgisi on periyotluk pencereleme yöntemiyle Hilbert dönüşümü uygulanmakta ve elde edilen sinyal sembol serisine dönüştürülmektedir. Sembol serisinin entropi değeri bulanık otomatanın girişine verilerek arıza tespit edilmektedir. Bulanık otomata bulanık durumlar ve geçişlerden oluşmaktadır. Bulanık durumlar arası geçişler gelen entropinin üyelik derecesine göre yapılmaktadır. Bulanık otomata son duruma ulaşırsa bir arıza tespit edilir ve sonuç gösterilir. Diğer durumlarda sistemin normal çalıştığı belirlenir. Önerilen yöntemin doğruluğu 0.37 kW'lık bir asenkron motorda oluşan bir kırık rotor çubuğu arızasının yüksüz durumda tespiti ile doğrulanmıştır.

1. Giriş

Asenkron motorlar elektromekanik enerji dönüşümü için kullanımda olan motorların %80'nini oluşturmaktadır [1]. Bu motorlar sağlamlıkları, güvenilir olmaları ve daha az periyodik bakıma ihtiyaç duymaları nedeniyle diğer motorlara göre daha çok tercih edilir. Bu motorlar hem günlük hayatta kullandığımız birçok ev aletinde hem de askeri ve uzay uygulamaları gibi güvenilirliğin üst düzeyde olduğu kritik uygulamalarda tercih edilmektedir [2].

Asenkron motorlar genelde sağlam yapıda olmalarına rağmen çalıştıkları ortamlardaki nem ve tozdan dolayı arızalara maruz kalabilirler [3]. Eğer bu arızalar başlama aşamasında tespit edilmez ise, motorun tamamen bozulması ve çalışmanın aksaması veya durması kaçınılmazdır. Asenkron motorlarda oluşan arızalar stator, rotor ve mil yatağı bileşenleri ile ilgilidir. Asenkron motorlarda arızaların oluşma yüzdeleri aşağıda verilmiştir [4].

- Mil yatağı arızaları- %69
- Rotor arızaları- %7
- Stator arızaları- %21
- Bağlantı ve shaft arızaları- %3

Arıza tespit sistemleri genel olarak insan bilgisi, matematiksel modeller ve akıllı hesaplama teknikleri gibi yöntemlere dayalıdır. Motor hakkında çok fazla bilgi gerektirmelerinden dolayı arıza teşhisinde matematiksel modellerin kullanımı pek uygun değildir. Asenkron motor arızalarının belirlenmesi için bazı tespit yöntemleri sıcaklık ölçümü, kimyasal analiz, gürültü izleme ve radyo frekans yayılımı gibi teknikleri kullanır [3]. Bu teknikler moment, hız ve titreşim gibi mekaniksel parametrelere ihtiyaç duyar. Fakat bunlar birçok

durumda maliyetli olup uygulanması zordur. Akım sinyalleri ise arıza teşhisi ve durum izlenmesi için kolayca elde edilebilir. Akım sinyalleri kullanılarak sağlam ve arızalı motor durumlarının birbirinden ayırt edilebilmesi için bu sinyallerden farklı özelliklerin çıkarılması gereklidir. Sağlam ve arızalı motorun lineer olmayan davranışları ve gürültü gibi etkiler bu işlemleri daha da karmaşık hale getirir.

Akıllı hesaplama tabanlı yöntemler arıza teşhisi için motordan alınan akım, gerilim, hız ve titreşim gibi sinyaller üzerinden işaret işleme yöntemleriyle çıkarılan özelliklerin değerlendirilmesine dayalıdır [5]. Yapay sinir ağları, bulanık mantık, yapay bağışık sistemler ve destek vektör makinalar gibi akıllı hesaplama teknikleri arıza teşhisinde kullanılmaktadır. Rodriguez ve Arkiko [6], Zidani ve diğ. [7] ile Ayhan ve diğ. [8] tarafından yapılan çalışmalarda stator, kırık rotor ve gerilim dengesizliği gibi arızaların tespiti için bulanık çıkarım mekanizması kullanılmıştır. Bulanık sistemler arıza teşhisinin doğruluk oranını artırır ve güvenilir sonuçlar verir. Fakat giriş-çıkış üyelik fonksiyonlarının belirlenmesine, teşhis kurallarına ve durulandırma işlemlerine ihtiyaç duyar. Martins ve diğ. [9] stator arızalarını tespit etmek amacıyla eğitimci yapay sinir ağlarını önermiştir. Yaptıkları çalışmada üç faz motor akımından park vektör dönüşümü ve temel bileşen analizi ile elde ettikleri özellikleri kullanarak stator arızalarını teşhis etmişlerdir. Titreşim sinyalleri üzerinde kısa zamanlı fourier dönüşümü uygulanarak elde edilen özellikleri kullanan yapay sinir ağı yapısı kırık rotor ve hava aralığı eksantrikliği arızalarının tespiti için önerilmiştir [10]. Huang ve diğ. [11] yapay sinir ağları yapısını rotor eksantriklik arızasını tespit etmek amacıyla kullanmıştır. Yapay sinir ağları öğrenme yetenekleri, örüntü tanıma, doğrusal olmayan sınıflandırma uygulamaları ve paralel dağıtık işlemlerinden dolayı en çok tercih edilen akıllı hesaplama tekniklerindedir. Yapay sinir ağları ağ parametrelerinin ayarlanması, uygun tasarımın belirlenmesi ve eğitim süreci gibi gereksinimlere ihtiyaç duyarlar. Kırık rotor çubuğu ve stator arızalarının tespiti için akım sinyalleri üzerinden elde edilen özellikler destek vektör makinalar ile değerlendirilerek arıza teşhisi yapılmıştır [12, 13].

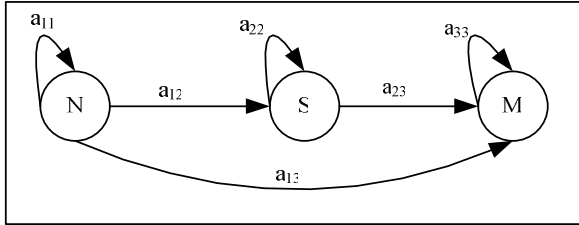
Bu çalışmada bir asenkron motorda oluşan kırık rotor çubuğu arızalarının tespiti için bulanık otomata tabanlı bir yöntem sunulmuştur. Önerilen yöntem arıza tespiti için üç fazlı bir motorun tek fazından alınan akım sinyalinden hilbert dönüşümünü uygulamaktadır. Bu özellik sinyalinin sembol serisi oluşturularak entropi hesabı yapılmaktadır. Elde edilen entropi bilgisi bulanık otomata ile gerçek zamanlı olarak arızaların tespiti için kullanılmaktadır. Dolayısıyla bir arıza oluştuğunda anlık tespit edilmesi sağlanacaktır. Önerilen yöntemin bir diğer avantajı ise yöntemin DSP ve FPGA gibi donanımlarla kolayca gerçekleştirilebilmesidir.

2. Sonlu Durum Otomatalar ve Ayrık Olay Sistemleri

Otomata ayrık olay sistemlerinin dinamiklerini modellemek için kullanılan bir yöntemdir. Dinamik sistemler genel olarak fark veya diferansiyel denklemler ile tam olarak gösterilemeyen ve eş zamanlı olarak gerçekleşmeyen olayların oluşması ile durumu değişen sistemlerdir [14]. Genelde bir ayrık olay sistemi sonlu otomata ile ifade edilir. Sonlu bir otomata ise beş parametreye sahiptir [15]. Bu parametreler aşağıda verilmiştir.

$$M = \{\Phi, B, \delta, S, F\} \quad (1)$$

Yukarıdaki denklemde Φ ayrık durumların kümesini ve B değişkeni durumlar arasındaki geçişlerin kümesini gösterir. Denklemdeki δ değeri geçiş haritalanmasını, S başlangıç durumunu ve F ise son durumu gösterir. Şekil 1’de otomata ile ilgili bir örnek verilmiştir.



Şekil 1: Otomata ile ayrık bir olay sisteminin modellenmesi

Şekil 1 bir asenkron motorun durumunu ifade etmek için kullanılabilir. Burada N normal çalışan motoru, S mil yatağı sürtünme arızasını ve M ise mil yatağının tamamen bozulması durumunu göstermek için kullanılabilir. Bu otomata sisteminde başlangıç durumunun N olduğunu kabul edersek diğer parametreler aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\Phi = \{N, S, M\}, B = \{a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{22}, a_{23}, a_{33}\} \quad (2)$$

Bu otomata için başlangıç durumu $N=[1 \ 0 \ 0]$ ile gösterilebilir. Herhangi bir zamanda sistem üç durumdan birinde olabilir. Otomatının farklı durumları arasındaki geçişler herhangi bir olayın gerçekleşmesine bağlıdır [14]. Bir olay genel olarak geçiş matrisi ile ifade edilir. Denklem (3)’te a_{11} ve a_{12} geçişleri için matrisler verilmiştir.

$$a_{11} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, a_{12} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Eğer sistem başlangıçta $S=[0 \ 1 \ 0]$ durumunda ise ve a_{23} geçişi olursa bir sonraki durumu aşağıdaki hesaplama ile bulunur.

$$[0 \ 1 \ 0] \times \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = [0 \ 0 \ 1] \quad (4)$$

Ayrık olay sistemleri birçok mühendislik probleminin çözümünde kullanılmasına rağmen bazı problemlerde keskin geçişler mümkün olmamaktadır [16]. Şekil 1’de bir mil yatağı tamamen arızalanmadan önce bu bileşende oluşan sürtünmeler mil yatağının arızalanmasını hızlandırır. Dolayısıyla a_{13} geçişi

aslında tespit edilemeyen bir olay olarak ifade edilir. Ayrıca arıza teşhis probleminde çoğu zaman bir bileşen ile ilgili arızanın şiddeti de bilinmek istenir. Ayrık zamanlı sistemlerde bir sistemin durumu hakkında belirsizliğin ölçümü ve oluşan herhangi bir arızanın teşhis edilebilirliği iki önemli parametredir.

3. Bulanık Otomata

Her bir durumu ve durumlar arası geçişi 0 veya 1 ile ifade edilen sonlu otomatalar bazı mühendislik problemleri için uygun değildir. Özellikle durumları arasında belirsizliğin olduğu sistemlerde sonlu otomatalar doğru sonuç vermeyebilirler. Bu tür problemler için bulanık durumlar ve geçişler tanımlanmıştır. Keskin geçişler yerine kullanılan ve $[0, 1]$ aralığında değer alan bu durum ve geçişler bulanık otomata olarak isimlendirilir [17]. Bulanık otomatada sistem farklı üyelik dereceleri ile aynı anda birkaç durumda olabilir. Şekil 1’deki örnek göz önüne alındığında bir motorun durumu herhangi bir t anında 0.7 üyelik derecesi ile “Normal”, 0.2 üyelik derecesi ile “Sürtünme” durumu ve 0.1 üyelik derecesi ile “Mil yatağı” arızası durumunda olabilir. Bu durum aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$S = [0.7 \ 0.2 \ 0.1] \quad (5)$$

Durumlar arası geçiş matrisi de sıfır ile bir arasında değer alan elemanlardan oluşur. Herhangi bir anda a_{12} geçiş matrisi denklem (6)’daki gibi gösterilebilir.

$$a_{12} = \begin{bmatrix} 0 & 0.7 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Denklem (6)’daki geçiş matrisine göre N durumundan S durumuna geçiş denklem (7)’deki gibi hesaplanabilir.

$$[0.7 \ 0.2 \ 0.1] \times \begin{bmatrix} 0 & 0.7 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = [0 \ 0.49 \ 0] \quad (7)$$

Bulanık otomatının genel tanımlanması aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

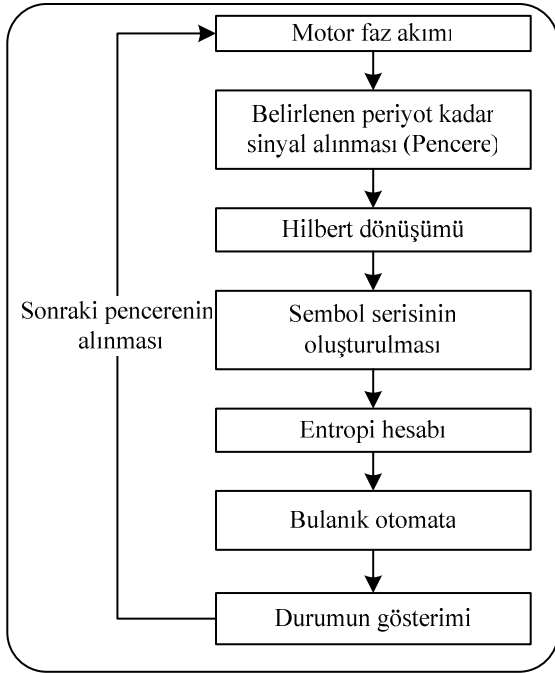
- Bulanık durumlar $\bar{\Phi}$ ile ifade edilir. Her bir durumun üyelik derecesi $\mu(\bar{\Phi})$ $[0, 1]$ aralığında bir değerdir.
- Giriş kümesinin her bir elemanı da $[0, 1]$ aralığında bir üyelik derecesine sahip olup $\mu(a_{ij})$ ile gösterilir.
- Durumlar arası geçişler $\mu(\bar{\delta})$ ile ifade edilir. Geçiş üyelik derecesi iki durum arasında gerçekleşen bir olay ile ifade edilir.
- Başlangıç ve son durum sonlu durum otomata’ya benzer biçimde ifade edilir.

Bulanık otomata dinamik bir sistemdeki çıkış ile referans bir sinyalin benzerliğini ölçmek için kullanılabilir [18]. Bu özellik sayesinde sistemden ölçülen ayrık sinyallerin bir referans

sinyale göre değişimi arıza tespiti için uygundur. Bulanık otomatada ölçüm hatası ile ilgili eşik değeri, her bir durum ve geçiş üyelik fonksiyonu bir uzman tarafından belirlenir.

4. Arıza Tespiti için Bulanık Otomata Yaklaşımı

Bu çalışmada asenkron motorlarda arıza tespiti için bulanık otomata tabanlı bir yöntem sunulmuştur. Yöntem asenkron motorlarda oluşan kırık rotor çubuğu arızalarını belirlemek için stator akımına ihtiyaç duymaktadır. Stator akımından Hilbert dönüşümü aracılığıyla arızalı durumu belirleyecek özellikler çıkarılmakta ve entropi hesabı yapılmaktadır. Bulanık otomatanın girişine entropi sonucu verilerek arıza teşhisi yapılmaktadır. Önerilen arıza tespit yönteminin blok diyagramı Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2: Önerilen yöntemin blok diyagramı

Şekil 2’deki blok diyagramına göre motor akımının her defasında belli sayıda periyodu sisteme giriş olarak verilmektedir. Bu durum algoritmada pencere olarak ifade edilmiştir. Her bir pencerenin boyutu aşağıdaki denkleme göre hesaplanmaktadır.

$$w = f_s \frac{1}{f_h} n \quad (8)$$

Bu denklemde f_s örnekleme oranını, f_h hat frekansını ve n periyot sayısını gösterir. Hilbert dönüşümü herhangi bir sinyal ile o sinyalin 90 derece kaydırılması ile elde edilir. Üretilen sinyal genelde karmaşık iki bileşenden oluşur. Birinci bileşen orijinal sinyali ikinci bileşen ise Hilbert dönüşümünü ifade eder. Bir sinyalin Hilbert dönüşümü denklem (9)’a göre hesaplanır.

$$H(I(t)) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{I(\tau)}{t - \tau} d\tau \quad (9)$$

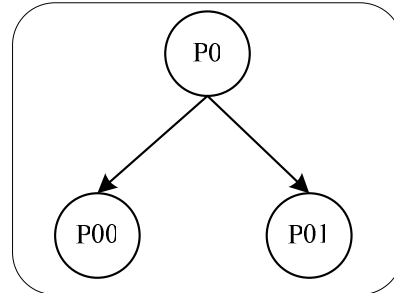
Ayrık zamanlı sinyaller için denklem (9) aşağıdaki şekilde tekrar yazılabilir.

$$H(I(t)) = \frac{1}{\pi} * I(t) \quad (10)$$

Hilbert dönüşümü bir sinyalin anlık büyüklüğünü hesaplamak için oldukça kullanışlıdır. Denklem (10)’daki Hilbert dönüşümünün mutlak değeri özellik sinyali olarak kullanılmıştır. Yöntemin sonraki aşaması elde edilen özellik sinyalinin sıfır ve birlerden oluşan sembol serisine dönüştürülmesidir. Bu işlem denklem (11)’de gösterilmiştir.

$$S(t) = \begin{cases} 1, & H(t) \geq \text{medyan}(H(t)) \\ 0, & H(t) < \text{medyan}(H(t)) \end{cases}, t = 1, \dots, n \quad (11)$$

Denklem (11)’de sinyalin medyana göre değişimi sembol serisi olarak ifade edilmiştir. Bu sembol serisi oluşturulduktan sonra entropi hesabı için sembol ağacının oluşturulması gerekir. İki seviyeli sembol ağacı Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3: İki seviyeli sembol ağacı

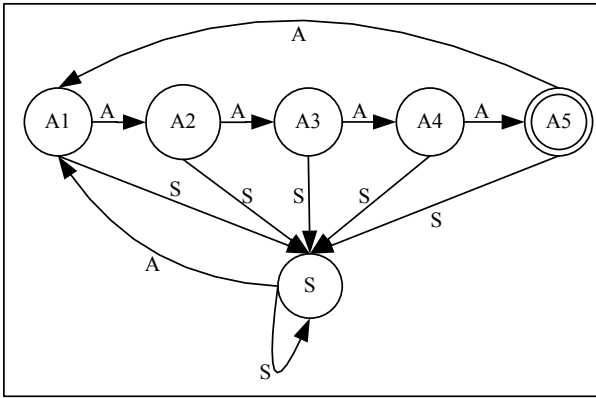
Şekil 3’teki sembol ağacında her bir düğümde o seriye ait oranı vermektedir. Örneğin P00 düğümü elde edilen sembol serisindeki “00”ların sayısının toplam dizi uzunluğuna oranıdır. Ağaçtaki bilgi entropisi denklem (12)’ye göre hesaplanmaktadır.

$$H_s = -\frac{1}{\log n} \sum_m P_m \log P_m \quad (12)$$

Denklem (12)’de sembol serisinin uzunluğu n ile gösterilmiştir. Sembol serisinde P_m olasılığı sıfırdan farklı olanların indisi m ile gösterilmiştir. Gerçek zamanlı izleme için her defasında bir pencere akım sinyali alınmakta ve sonraki aşamada bir adım kaydırma işlemi yapılarak sonraki pencere elde edilmektedir. Bir önceki pencere ile sonraki pencere arasındaki entropi hesabı arıza indeksi olarak kullanılacaktır. Bu hesaplama aşağıdaki denkleme göre yapılmaktadır.

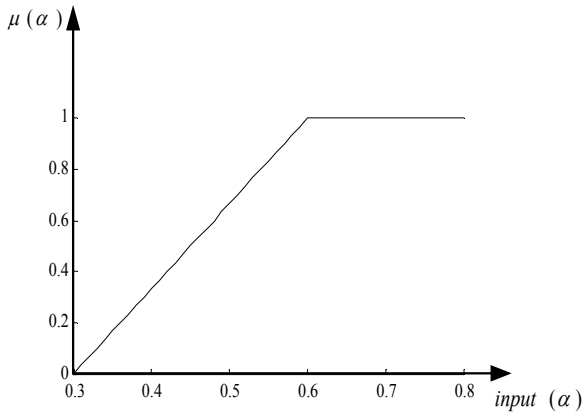
$$H = -\frac{1}{\log n} \left(\sum_{i=1}^L \left(\sum_{monceki} \frac{P_{monceki-1}}{w} \log \frac{P_{monceki+1}}{w} + \sum_{myeni} \frac{P_{myeni+1}}{w} \log \frac{P_{myeni+1}}{w} \right) + \sum_{mara} P_{mara} \log P_{mara} \right) \quad (13)$$

Denklemler (13)'te monceki, mara ve myeni sırasıyla önceki pencere, ara pencere ve yeni pencereyi ifade eder. Bu denklemlerde L entropi ağacının seviyesini gösterir. Eğer kayan pencereler arasındaki bilgi entropisi verilen bir eşik değerini beş adım boyunca aşılırsa bir arıza tespit edilmiştir. Dolayısıyla kullanılacak bulanık otomatın yapısı Şekil 4'teki gibi olmalıdır.



Şekil 4: Arıza tespiti için önerilen bulanık otomata

Şekil 4'teki bulanık otomatada her bir arızalı durum A1, ..., A5 ile gösterilmiştir. S ise sağlam durumu ifade etmektedir. Kayan iki pencere arasındaki entropi hesabı otomatada her bir durum arasındaki geçiş için kullanılmaktadır. Bu amaçla Şekil 5'teki gibi bir üyelik fonksiyonu tanımlanmıştır.



Şekil 5: Geçişler için kullanılan üyelik fonksiyonu

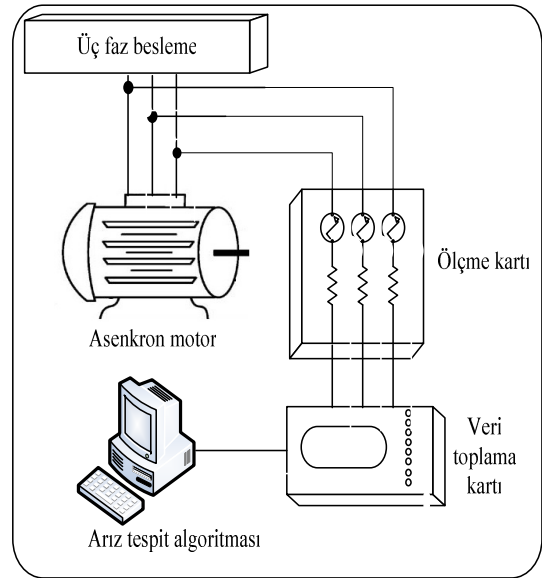
Şekil 5'te kullanılan üyelik fonksiyonuna göre entropi sonucu elde edilen değerlerin üyelik derecesi 0.5 değerini geçerse bir arıza olma ihtimali vardır. Bu arıza eğer beş kaydırma boyunca devam ederse yani otomata son duruma ulaşırsa arıza tespit edildiğinden sonuç gösterilir. Aksi halde motor sağlam durumdadır.

5. Deneysel Sonuçlar

Uygulama sonuçlarının değerlendirilmesi için gerçek bir deney düzeneği oluşturulup veriler sağlam ve arızalı motorlardan deneysel olarak alınmıştır. Deney düzeneğinde kullanılan üç fazlı asenkron motorun özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Motorun faz akımlarını ölçmek için üç adet akım duygargası kullanılmıştır. Ölçülen bu akım değerleri 16 bitlik Advantech PCL-816 model veri toplama kartı aracılığıyla bilgisayara aktarılmıştır. Kurulan deney düzeneği Şekil 6'da verilmiştir. Her bir durum için örnekleme oranı 3.000 örnek/saniye ile faz akımları üç saniye boyunca okunarak bilgisayara kaydedilmiştir.

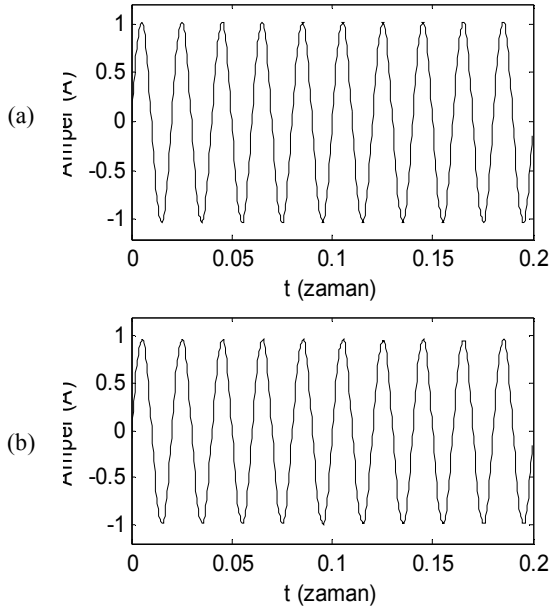
Tablo 1: Kullanılan asenkron motorun özellikleri

Özellik	Değer
Güç	0.37 kw
Tam yük akımı	1.2 A
Besleme frekansı	50 Hz
Kutup sayısı	4
Rotor çubuklarının sayısı	22
Tam yükte çalışma hızı	1390 rpm



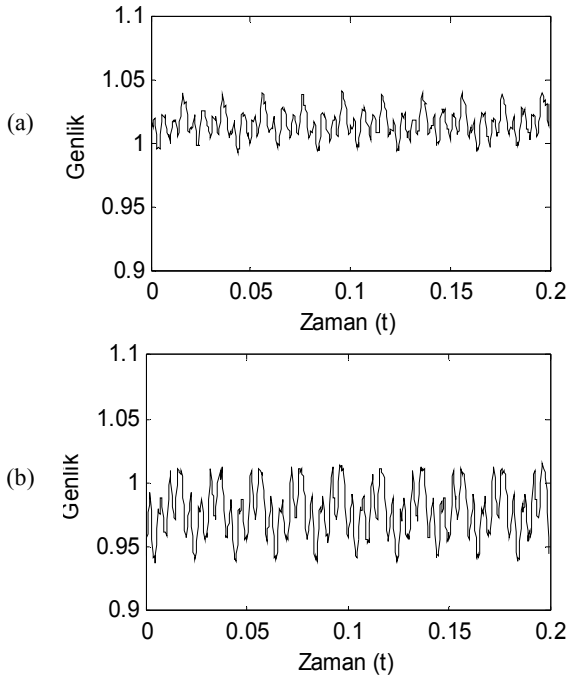
Şekil 6: Deney düzeneği

Asenkron motordan veri aktarım hızı 3000 örnek/saniye olduğundan her periyottaki örnek sayısı denklem (8)'e göre 60 olarak bulunur. Her pencere toplam 10 periyottan oluştuğundan bir pencerenin boyutu 600 örnekten oluşur. Her bir 10 periyotluk sinyal arıza teşhisi için yeterli olmaktadır. Şekil 7'de sağlam ve bir kırık rotor çubuğuna sahip motorun a fazından alınan akım sinyalleri görülmektedir.



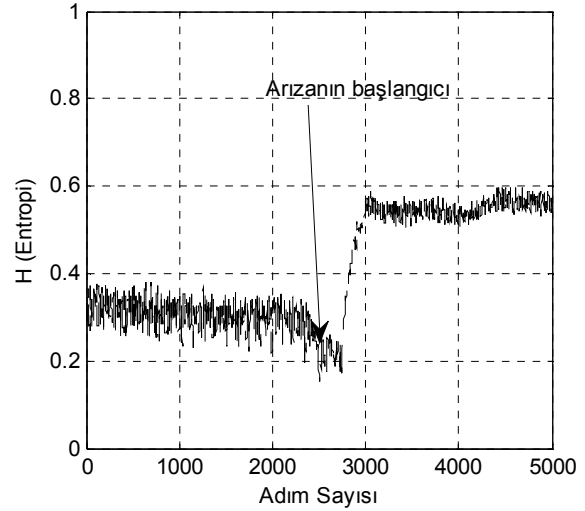
Şekil 7: Sağlam ve arızalı faz akımları (a)Sağlam (b)Kırık rotor çubuğu arızası

Şekil 7'den de görülebildiği gibi arıza teşhisi için direkt olarak akım bilgisinin kullanımı uygun değildir. Ayrıca bu çalışmada kullanılan akım sinyalleri yüksüz çalıştırılan bir motordan alındığından motor akım imza analizi yöntemi kullanılarak yan bant bileşenlerinden arızaların tespit edilmesi de oldukça zordur. Şekil 8'de 10 periyotluk sağlam ve kırık rotor çubuğuna sahip arızalı motorun Hilbert dönüşümleri verilmiştir.



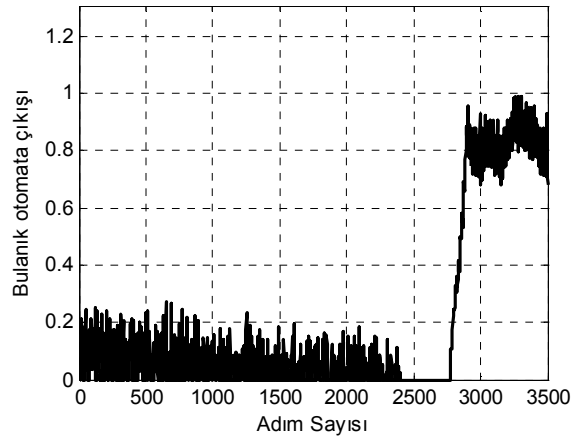
Şekil 8: Sağlam ve arızalı Hilbert dönüşümleri (a)Sağlam (b)Kırık rotor çubuğu arızası

Şekil 8'de görüldüğü gibi sağlam ve arızalı motordan elde edilen akım sinyallerinin Hilbert dönüşümü oldukça farklıdır. Sembol serisi oluşturulurken bu farklılık ve buradan elde edilecek entropi değeri her iki sinyal için farklı olacaktır. Üç seviyeli entropi ağacı oluşturularak kayan pencereler arasındaki entropi hesaplanmıştır. Gerçek zamanlı izleme için sağlam ve arızalı motordan 3000 örnek (toplam 6000 örnek) alınmıştır. Şekil 9'da kayan pencere yöntemi ile izleme esnasında sağlam durumdan arızalı duruma geçişte entropinin değişimi gösterilmiştir.



Şekil 9: İzleme esnasında entropinin değişimi

Şekil 9'a göre ilk 3000 örnek sağlam motora ait olduğundan entropi değeri düşüktür. Fakat 2400 veriden sonra küçük bir değişim gözlemlenmeye başlamıştır. Çünkü her bir pencere boyutu 600 veriden olduğundan bu pencerelerde hem sağlam hem de arızalı sinyaller vardır. Fakat 3000 veriden sonra sistem tamamen arızalı duruma dönüşür. Şekil 9'da her bir adımda elde edilen entropi değerleri bir sonraki adımda bulanık üyelik fonksiyonuna giriş olarak verilmektedir. Elde edilen üyelik derecesi bulanık otomatının durumları arasındaki geçişi sağlayacaktır. Eğer bu üyelik derecesi 0.5'ten büyük ise arızalı olma ihtimali vardır. Eğer bu değerden küçük ise motorun sağlam durumdadır. Şekil 10'da izleme esnasında sağlam ve bir kırık rotor çubuğu arızası için bulanık otomata çıkışı görülmektedir.



Şekil 10: İzleme esnasında bulanık otomatının çıkışı

Şekil 10'da görüldüğü gibi arızalı durumda entropi değeri küçük çıktığından bulanık otomata her defasında sağlam durumda olacaktır ve üyelik derecesi 0-0.3 arasında değişir. Arızalı durumda entropi değeri yüksek olduğundan bulanık otomatada A1 durumundan A5 durumuna bir geçiş olduğunda arıza belirlenir ve sonuç gösterilir. Normalde 6000 adımlık bir izleme gerçekleştirilmesine rağmen 3000 adımdan sonra yaklaşık 500 adımlık gösterim yapılmıştır. Bunun sebebi sunulan yöntemde bulanık otomata A5'e geçmediği sürece durum gösterimi yapılmamaktadır. Buna karşın sistem sağlam durumda olduğu sürece sonuçlar gösterildiğinden 3000 adımlık izleme gösterilmektedir. Ayrıca Şekil 9'da entropi değeri 2500-3000 arasında 0.2'nin altına düştüğünden üyelik derecesi sıfır olmaktadır.

6. Sonuçlar

Bu çalışmada arıza tespiti için bulanık otomata ve kayan pencere tabanlı bir yöntem sunulmuştur. Yöntem arıza tespiti için sadece tek faz motor akımına ihtiyaç duymaktadır. Bulanık otomatının arızayı tespit edebilmesi için beş adım boyunca entropinin 0.5 değerinden daha büyük olması gerekmektedir. Bulanık otomata çıkışı sadece arızalı durumun kesinleştiği A5 ve sağlam motoru gösteren S durumunda gösterilmektedir. Yöntemin en önemli avantajı arıza teşhisinin on periyotluk bir izleme ile gerçekleştirilebilmesidir. Ayrıca bütün durumlar için akım sinyalleri motorun yüksüz durumda çalıştırılması ile elde edildiğinden kayma değeri sıfıra çok yakındır. Dolayısıyla motor kaymasına ihtiyaç duyan motor akım imza analizi doğru sonuçlar vermez. Bu çalışmada önerilen yöntem tamamen özellik çıkarımı ile elde edilen sinyalin dalga şekli ve buradaki bozulmalara bağlıdır. Bu değişimler bulanık otomata ile gerçekleştirim için oldukça uygundur. Ayrıca önerilen yöntem FPGA ve DSP gibi donanımsal aygıtlarda gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilebilir.

7. Kaynakça

- [1] Ayhan, B., Trussell, H. J., Chow M.-Y., Song M.H., "On the use of a lower sampling rate for broken rotor bar detection with DTFT and ar-based spectrum methods", *IEEE Trans. Industrial Electronics*, 55(3): 1421-1434, 2008.
- [2] Benbouzid, M. E. H., Kliman G. B., "What stator current processing-based technique to use for induction motor rotor faults diagnosis?", *IEEE Trans. Energy Conv.*, 18(2): 238-244, 2003.
- [3] Mo Yuen C., *Methodologies of Using Neural Network and Fuzzy Logic Technologies for Motor Incipient Fault Detection*, World Scientific, Singapore, 1997.
- [4] A. H. Bonnett and C. Yung, "Increased efficiency versus increased reliability," *IEEE Ind. Appl. Mag.*, 14(1): 29-36, 2008.
- [5] Kowalski, C. T., Kowalska, T. O., "Neural networks application for induction motor faults diagnosis", *Mathematics and Computers in Simulation*, 63(3): 435-448, 2003.
- [6] Rodriguez, P. V. J., Arkiko, A., "Detection of Stator Winding Fault in Induction Motor Using Fuzzy Logic", *Applied Soft Computing J.*, 8(2): 1112-1120, 2008.
- [7] Zidani, F., Benbouzid, M.E.H., Diallo, D., Nait-Said, M.S., "Induction motor stator faults diagnosis by a

- current Concordia pattern-based fuzzy decision system", *IEEE Trans. Energy Conversion*, 18(4): 469-475, 2003.
- [8] Ayhan, B., Chow, M.-Y., Trussell, H. J., "A Fuzzy Membership Function Design Methodology Based on Histogram and ROC Curve Analyses for Broken Rotor Bar Detection," *IEEE Trans. Industrial Electronics Proc.*, 1:1080-1085, 2007.
- [9] Martins J. F., Fernão Pires, V., Pires, A. J., "Unsupervised Neural-Network-Based Algorithm for an On-Line Diagnosis of Three-Phase Induction Motor Stator Fault", *IEEE Trans. Industrial Electronics*, 54(1): 259-264, 2007.
- [10] Su, H. Chong, K., "Induction Machine Condition Monitoring Using Neural Network Modeling", *IEEE Trans. Industrial Electronics*, 54(1):241-249, 2007.
- [11] Huang, X., Habetler, T. G., Harley, R. G., "Detection of Rotor Eccentricity Faults in a Closed-Loop Drive-Connected Induction Motor Using an Artificial Neural Network", *IEEE Trans. Power Electronics*, 22(4):1552-1559, 2007.
- [12] Aydin, I., Karakose, M., Akin, E. "Artificial Immune Based Support Vector Machine Algorithm for Fault Diagnosis of Induction Motors", *IEEE Trans. Electrical Machines and Power Electronics Conf.*, 1:217-221, 2007.
- [13] Widodo, W., Yang, B., "Wavelet support vector machine for induction machine fault diagnosis based on transient current signal", *Expert Systems with Applications*, Vol. 35(1):307-316, 2008.
- [14] Rigatos, G. G., "Fault detection and isolation based on fuzzy automata", *Information Sciences J.*, 178(12):1893-1902, 2009.
- [15] Kozen, D. C., *Automata and Computability*, Springer Verlag, New York, 1997.
- [16] Kilic, E., "Diagnosability of fuzzy discrete event systems", *Information Sciences J.*, 178(3):858-870, 2008.
- [17] Qui, D., "Characterization of fuzzy finite automata", *Fuzzy Sets and Systems J.*, 141(3): 391-414, 2004.
- [18] Tumer, M.B., Belfore, L. A., Ropella, K., "A syntactic methodology for automatic diagnosis by analysis of continuous time measurements using hierarchical signal representation", *IEEE Trans. On System, Man and Cybernetics-Part B*, 33(6): 951-965, 2005