

ZAMAN SERİLERİ VERİ MADENCİLİĞİ TEKNİĞİ KULLANILARAK ASENKRON MOTORLARDA SARIM VE SÜRTÜNME HATALARININ TEŞHİSİ

İlhan AYDIN

Mehmet KARAKÖSE

Erhan AKIN

Fırat Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği, 23119, Elazığ

iyaydin@firat.edu.tr

mkarakose@firat.edu.tr

eakin@firat.edu.tr

Anahtar sözcükler: Zaman Serileri Veri Madenciliği, Hata Teşhisi, Asenkron Motor, Faz Alanı Metotları

ÖZET

Asenkron motorlarda oluşan hataların erken safhada teşhis edilmesi maliyet açısından önemli bir kazanç getirmektedir. Bu çalışmada asenkron motorlardaki sarım ve sürtünme hatalarının teşhisi için zaman serileri veri madenciliğine (ZSVM) dayalı bir yöntem sunulmuştur. Sarım ve sürtünme durumundaki hataları belirlemek için stator akımı ve rotor hızı bilgileri kullanılmıştır. Bu iki verinin çarpımı ilk fark zaman serisi metodu ile filtrelenmiştir. Elde edilen yeni zaman serisi lineer olmayan zaman serisi metotlarından faz alanı yöntemi kullanılarak faz alanına dönüştürülmüştür. Faz alanında zaman serisi üzerinde veri madenciliği teknikleri kullanılarak her bir hatalı ve sağlam durum için tek olan bir yarıçap özelliği elde edilmiştir. Bu özellik kullanılarak farklı hata durumları sınıflandırılmıştır. Hatalı ve hatasız motor verileri ile önerilen zaman serileri veri madenciliği tabanlı hata teşhis yönteminin performansı uygulama sonuçları ile doğrulanmıştır.

1. GİRİŞ

Asenkron motorlar değişik endüstriyel uygulamalarda yoğun olarak kullanılmaktadır [1]. Bu motorlar genellikle sağlam yapıda olmalarına rağmen kötü ortamlara maruz kalmalarından dolayı başlangıç hataları oluşmaktadır. Başlangıç hataları erken bir safhada uygun bir hata teşhis yöntemi ile tespit edilemezse ciddi performans düşmelerine ve sonunda sistem hatalarına sebep olurlar. Son yirmi yılda çalışılan en önemli alan motorun performans karakteristikleri ile ilgili ve asenkron motor hatalarının teşhisi ve analizi olmuştur [2]. Doğru ve güvenilir hata teşhis yönteminin uygulanması, motor performansı için motor hatalarının etki ve sebeplerinin anlaşılmasını gerektirir [3]. Motorun performansını etkileyen bu hatalar erken bir safhada tespit edilip düzeltilirse daha ciddi hatalar önlenir. Asenkron motorlarda oluşan bazı başlangıç hataları aşağıda verilmiştir:

1. Sincap kafes asenkron motorlardaki kırık rotor çubukları ve/veya sonlandırıcı konnektörler,
2. Montaj hataları veya çalışma esnasında oluşan mekaniksel/mil yatağı problemlerinden dolayı

oluşan dinamik ve statik hava boşluğu eksantrikliği hataları,

3. Mil yatağındaki aşınmalardan dolayı oluşan mekanik sürtünme hataları,
4. Motorun aşınması ve eskimesi veya aşırı sıcaklıktan dolayı oluşan sarım hataları.

Asenkron motorlarda hata tespiti için değişik yöntemler kullanılmıştır. Parametre tahmini ve diğer model tabanlı teknikler sistemin matematiksel modeline dayandığından, motor belli bir süre sonra aşındığından bu modeller motorun durumunu tam olarak ifade etmeyebilir [4]. Hata teşhisi için kullanılan diğer bir yöntem ise bu iş için bir mühendisin eğitilmesidir. Mühendis tam olarak sistemin matematiksel modelini bilmeden hata teşhisi yapabilir, fakat böyle bir eğitim pahalı olmakla birlikte uzun bir zaman alabilir. Akıllı bir hata teşhisi için yumuşak hesaplama ve işaret işleme tabanlı yöntemlerde literatürde yoğun olarak kullanılmıştır [2, 4, 8, 9]. [2]'de yapılan çalışmada kırık rotor eksantriklik ve sonlandırıcı konnektör hatalarının teşhisi için moment grafiği kullanılmıştır. Hata teşhisi için moment'in kullanılması hem gürültüye karşı duyarlı olması hem de pahalı bir yöntem olmasından dolayı pek uygun bir yöntem değildir. [4]'te yapılan çalışmada sürtünme, sarım ve kırık rotor hatalarının tespit edilmesi amacıyla bulanık mantık ve yapay sinir ağı yöntemlerini kullanmıştır. Bu çalışmadaki dezavantaj yöntemin uygulanabilmesi için uzman bilgisi gerektirmesidir. [8]'de yapılan çalışmada kırık rotor hatalarını tespit etmek amacıyla farklı parametrik olmayan spektrum analiz metotlarının performansı hipotez testi ile karşılaştırmıştır.

Bu çalışmada asenkron motorlarda hata teşhisi için literatürdeki tekniklerden farklı olarak yeni bir alan olan zaman serileri veri madenciliği (ZSVM) tekniği kullanılmıştır. Önerilen yöntem ile tek fazlı bir asenkron motordaki sarım ve sürtünme hatalarının teşhisi amaçlanmıştır. Akım ve hız grafiğinin çarpımı faz alanına dönüştürülerek bu alanda her bir hata durumu ve sağlam motor için ayırt edici bir yarıçap değeri bulunmuştur. Hesaplanan bu değere göre hatalı ve farklı hatalı motor durumu sınıflandırılmıştır.

2. ZAMAN SERİLERİ VERİ MADENCİLİĞİ TEKNİĞİ

Zaman serileri veri madenciliği tekniği zaman serileri analizi ve veri madenciliği alanlarının birleştirilmesidir. Bu yöntem zaman serilerini analiz etmek için veri madenciliği yöntemini kullandığından geleneksel zaman serileri analizindeki durgunluk, lineer gereksinimler gibi sınırlamaları ortadan kaldırmıştır [5]. Burada kullanılan yöntem zaman gecikmeli gömülmeye dayalıdır. Veri madenciliği uygulanacak zaman serisinin bir faz alanında incelenmesi gerekmektedir. Bu yöntem ile verilen bir zaman serisi yeniden oluşturulmuş faz alanı olarak isimlendirilen farklı alanlara dönüştürülür. Bir zaman serisinin faz alanına dönüştürülmesinde iki parametre önemli olmaktadır: faz alanı boyutu ve zaman gecikmesi. Aşağıda denklem (1)'de bir zaman serisi örneği verilmiştir.

$$I = \{I_n, n = 1 \dots N\} \quad (1)$$

Burada n zaman indeksini ve N örnek sayısını gösterir. Bu zaman serisine göre elde edilecek faz alanı vektörü aşağıdaki gibi olur.

$$I = \begin{bmatrix} i_{1+(b-1)\tau} & \dots & i_{1+\tau} & i_1 \\ i_{2+(b-1)\tau} & \dots & i_{2+\tau} & i_2 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ i_N & \dots & i_{N-(b-2)\tau} & i_{N-(b-1)\tau} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Denklem (2)'de i_n orijinal zaman serisi verisi, b gömülme boyutu ve τ zaman gecikmesidir. Bu matriste dikkat edilmesi gereken nokta matrisin her bir satırının faz alanında bir nokta olmasıdır. Örneğin $\tau=2$ ve $b=3$ olduğunda $I_t = (i_{t-4}, i_{t-2}, i_t) \in \mathbb{R}^3$ olmaktadır. Böyle bir faz alanı oluştururken faz alanı boyutu ve zaman gecikmesinin dikkatli seçilmesi gerekmektedir.

2.1. Faz Alanı için Zaman Gecikmesinin Belirlenmesi

Faz alanında benzersizliğin sağlanması için uygun bir zaman gecikmesi τ 'un seçilmesi gerekir. Sistemin zaman ölçeği ile karşılaştırıldığında τ 'nin çok küçük olması durumunda ardışık noktalar \mathbb{R}^b de birbirine yakın noktalarda toplanırlar. Buna karşılık τ çok büyük olursa, bütün noktalar bağımsız olacak ve zaman serisinin analizi güçleşecektir. Zaman gecikmesinin tahmin edilmesi için iki yöntem bulunmaktadır. Denklem (1)'deki zaman serisi için I_t ve $I_{t-\tau}$ arasındaki otokorelasyon denklem (3)' teki gibi hesaplanır.

$$C(I_t, I_{t-\tau}) = \frac{E(I_t I_{t-\tau}) - E(I_t)E(I_{t-\tau})}{E\{[I_t - E(I_{t-\tau})]^2\}} \quad (3)$$

Otokorelasyon ilk sifıra rastladığında zaman gecikmesi olarak bu τ değerini gecikme değeri olarak alır. Diğer yöntem ise karşılıklı yöntemidir. Bu yöntem ise denklem (4)'te gösterilmiştir.

$$K(I_t, I_{t+\tau}) = \sum_{i,j} p_{ij}(\tau) \ln p_{ij}(\tau) - 2 \sum_{i,j} p_i \ln p_i \quad (4)$$

Burada p_i, I_t 'nin histogramda i. kutuda kalma olasılığı ve $p_{ij} I_t$ 'nin i. kutuda kalma ve $I_{t-\tau}$ 'nin j. kutuda kalma olasılığıdır. Bu yöntemde de karşılıklı bilgi fonksiyonunun ilk minimuma ulaştığı gecikme zaman gecikmesi olarak alınır [7].

2.2. Faz Alanı için Gömülme Boyutunun Belirlenmesi

Faz alanı için minimum bir gömülme boyutunun belirlenmesi faz alanında benzersizlik için önemlidir. Bu özelliğin belirlenmesi için yanlış en yakın komşu algoritması kullanılır [7]. Elde edilen minimum gömülme boyutlu faz alanı orijinal zaman serisinin aynı topolojik özelliklerine sahip olacaktır. Aşağıda denklem (5)'te bu yöntem verilmiştir.

$$r_i = \sqrt{\frac{\|I_i^{b+m} - I_j^{b+m}\|^2 - \|I_i^b - I_j^b\|^2}{\|I_i^b - I_j^b\|^2}} \quad (5)$$

Burada $\|I_i^b - I_j^b\|$ iki nokta arasındaki öklid mesafedir. \mathbb{R}^b de her nokta I_i^b ile tanımlanır [6].

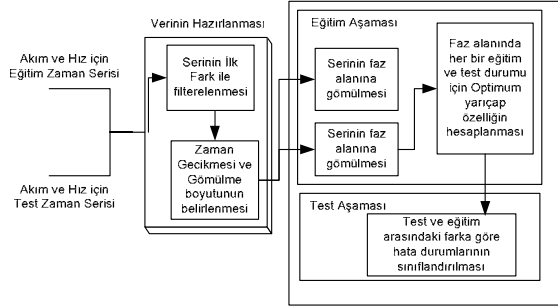
I_i^b 'nin en yakın komşusu I_j^b 'dir. r_i verilen bir v eşik değerini aştığında I_i^b yanlış bir en yakın komşuya sahip olarak işaretlenir. Bu algoritma $r_i > v$ için veri noktalarının sayısı \mathbb{R}^b 'da sıfır olduğunda b gömülme boyutu olarak tanımlanır. Faz alanı için zaman gecikmesi ve gömülme boyutu belirlendikten sonra bu alanda veri madenciliği teknikleri kullanılarak zaman serileri analiz edilir.

3. HATA TEŞHİSİ İÇİN ÖNERİLEN YAKLAŞIM

Bu çalışmada sarım ve sürtünme hatalarının belirlenmesi için motorun stator akımı ve rotor hızı giriş olarak alınmıştır. Sarım ve sürtünme hataları akım veya rotor hızının efektif değerinde değişmelere sebep olduğundan kararlı durumdaki zamana ait iki grafiğin çarpımı faz alanı için girişi oluşturmuştur. Uygun bir filtrelemeyi sağlamak için elde edilen zaman serisinin ilk farkı denklem (6)'da hesaplanmıştır.

$$\Delta i(t) = i(t) - i(t-1) \quad (6)$$

Farklı sarım ve sürtünme hatalarının belirlemek amacıyla önerilen yaklaşım yöntemi şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Önerilen ZSVM hata teşhis yönteminin blok diyagramı

Sarım ve sürtünme hatalarının belirlemek amacıyla denklem (6)'daki Δi zaman serisinin faz alanına dönüştürülmesi ilk adımdır. Bu amaçla denklem (4)'teki yöntem kullanılmıştır. Faz alanının gömülme boyutu burada 2 olarak alınmıştır. Asenkron motorun her bir hatalı ve sağlam durumun grafiklerinden şeklin merkez noktaları denklem (7)'deki formüle göre hesaplanmıştır. Faz alanındaki diğer noktaların merkez noktaya olan uzaklıklarının ortalamasının hesaplanması için öklid mesafesi kullanılmıştır. Bu özellik denklem (8)'de verilmiştir.

$$m_1 = \frac{\sum_{t=1}^N i_t}{N-1} \quad (7)$$

$$d(t)^2 = (I_t - m_0)^2 + (I_{t-1} - m_1)^2 \quad (8)$$

$$r = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^N d(t)^2}{N}} \quad (9)$$

Yukarıda denklem (8)'deki m_0 zaman gecikmesi sıfır olduğunda hesaplanan değerdir. Sonuçta faz alanımız iki boyutlu olduğundan m_0 x-koordinatını ve m_1 y-koordinatını gösterir. I_t faz alanında x-koordinatında bir noktayı, I_{t-1} y-koordinatında bir noktayı göstermektedir. Denklem (9)'daki r değeri şeklin yarıçapını göstermektedir.

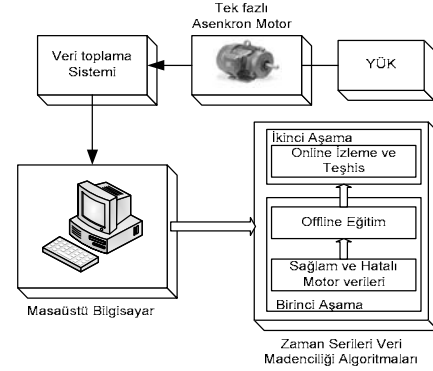
4. UYGULAMA SONUÇLARI

Önerilen zaman serileri veri madenciliği yöntemi için matlab programı kullanılmıştır. Deneyde tek fazlı sincap kafes asenkron motor kullanılmıştır. Kullanılan motorun parametreleri aşağıda tablo 1'de verilmiştir.

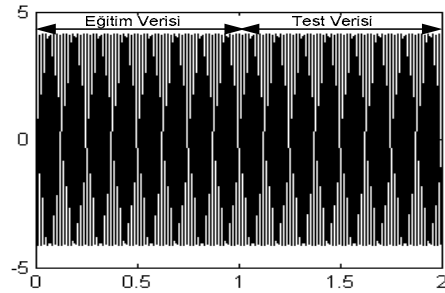
Tablo 1. Tek fazlı sincap kafes bir asenkron motor için parametre değerleri

Özellik	Değer
Hp	¼
Gerilim v_s	110
Rotor Sayısı	36
Frekans(Hz)	60
Stator Rezistansı r_s (Ohm)	2.02
X_{ls} (ohms)	2.79
X_M (ohms)	66.8
X_{lr} (ohms)	2.12
r_r (ohms)	4.12
J (kg m ²)	0.015

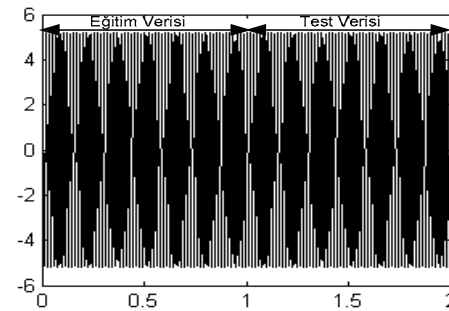
Deneyde her bir hata durumu için akım ve hızın kararlı durumdaki ilk 1000 örneği eğitim için geriye kalan 1000 örneği test verisi olarak kullanılmıştır. Aşağıda şekil 2'de hata teşhisinin deney düzeneği verilmiştir. Hatalı ve sağlam motorun eğitim ve test veri kümesi için kullanılan akım grafikleri şekil 3 ve şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 2. Hata teşhis yönteminin deney düzeneği

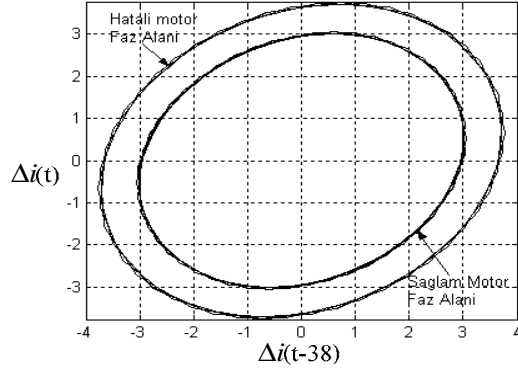


Şekil 3. Sağlam motor için akımın eğitim ve test verisi



Şekil 4. Hatalı motor için akımın eğitim ve test verisi

Hız zaman grafiği 0 ile 4 arasında normalize edildikten sonra akım grafiği ile çarpılarak ilk fark yöntemi ile filtrelenmiştir. Zaman gecikmesinin değeri denklem (4) kullanılarak karşılıklı bilgi yöntemine göre 38 olarak hesaplanmıştır. Aşağıda şekil 5'te sağlam ve hatalı bir motorun faz alanı grafiği verilmiştir.



Şekil 5. Motorun sağlam ve hatalı durumu için faz alanı grafikleri

Eğitim ve test yarıçaplarının arasındaki fark tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Eğitim ve test verileri için yarıçap farkları

		EĞİTİM VERİSİ				
		N100B0	N100B12	N100B20	N90B0	N90B20
TEST VERİSİ	N100B0	0.0001	0.1029	0.3605	0.7071	0.9540
	N100B12	0.1100	0.0072	0.2142	0.5970	0.8439
	N100B20	0.3604	0.2576	0.0036	0.3466	0.5965
	N90B0	0.7072	0.6043	0.3829	0.0001	0.3392
	N90B20	0.9570	0.8541	0.6327	0.2516	0.0030

Yukarıda tablo 2'de N sarım durumunu ifade etmekte olup sağlam bir motor için değeri 100'dür ve B sürtünme durumunu ifade edip 0 ile 0.0020 arasında değişmektedir. Her bir hata değeri için elde edilen yarıçap değerlerine göre hata durumu sınıflandırılmıştır. Aynı hata durumunun eğitim ve test verisi arasındaki yarıçap farkı farklı hata durumları için elde edilen fark ile karşılaştırıldığında oldukça küçük olmaktadır. Elde edilen yarıçap değerleri birbirine çok yakın hata değerleri için yakın değerlere sahip olmaktadır. Bu yüzden eğitim ve test verileri sadece tablo 2'de verilenlerle sınırlı tutulmamalıdır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada asenkron motorlarda oluşan sarım ve sürtünme hatalarının teşhisi için zaman serileri veri madenciliği tekniği kullanan yeni bir yöntem verilmiştir. Veri madenciliği tekniğinin zaman serilerini analiz etmek için getirmiş olduğu avantajlar sunulmuştur. Önerilen yöntemin avantajlarından biri motor dinamikleri hakkında çok fazla bilgiye sahip olmaya gerek kalmadan sadece akım ve hız değerleri bilinen bu değerler üzerinden hata teşhisi

yapılmıştır. Yöntemin getirmiş olduğu bir avantajda böyle bir hata teşhis yönteminin uygulanma maliyetinin ucuz olmasıdır.

KAYNAKLAR

- [1] William, L. Control of Electrical Drives, Springer, Berlin, Germany, 1996.
- [2] J. Bangura, R. Povinelli, N. Demerdash, and R. Brown, Diagnostics of Eccentricities and Bar/End-Ring Connector Breakages in Polyphase Induction Motors Through a Combination of Time-Series Data Mining and Time-Stepping Coupled FE-State-Space Techniques," IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, Vol. 39, No. 4, Jul./Aug, 2003.
- [3] Benbouzid M.E.H., Bibliography on Induction Motors Faults Detection And Diagnosis, IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, Volume 14, Issue 4, pp. 1065-1074, 1999.
- [4] Mo Yuen, C. Methodologies of Using Neural Network and Fuzzy Logic Technologies for Motor Incipient Fault Detection, World Scientific, 1997.
- [5] Richard J. Povinelli. Time Series Data Mining: Identifying Temporal Patterns for Characterization and Prediction of Time Series Events, Ph.D. Dissertation, Marquette University, Milwaukee, 1999.
- [6] Xin Feng, Hai Huang; A Fuzzy-Set-Based Reconstructed Phase Space Method for Identification of Temporal Patterns in Complex Time Series, IEEE TRANSACTIONS ON KNOWLEDGE AND DATA ENGINEERING, Volume 17, Issue 5, pp. 601-613, 2005.
- [7] H. Kantz and T. Schreiber, Nonlinear Time Series Analysis, Cambridge University Press, 1997.
- [8] Bülent, A., M.Y. Chow, H. J. Trussell and M. H. Song. A case study on comparison of non-parametric spectrum methods for broken rotor bar fault detection. Industrial Electronics Society IECON'03, The 29th Annual Conference of the IEEE Volume 3. 2835 – 2840, 2003.
- [9] Gao, X. Z., S.J. Ovaska. Soft computing methods in motor fault diagnosis. APPLIED SOFT COMPUTING, 73-81, 2001.
- [10] C. Yeh, R. J. Povinelli, B. Mirafzal, N.A.O. Demerdash, Diagnosis of Stator Winding Inter-Turn Shorts in Induction Motors Fed By PWM-Inverter Drive Systems Using a Time-Series Data Mining Technique, 2004 International Conference on Power System Technology, Powercon 2004, Singapore, 2004.
- [11] N. Ye, The Handbook of Data Mining, Lawrence Erlbaum Associates Publisher, 2003.