

# Kablosuz Duyarga Ağ Tabanlı Arıza Teşhis Yaklaşımları

## Wireless Sensor Network Based Fault Diagnosis Approaches

Orhan Yaman

İlhan Aydın

Mehmet Karaköse

Erhan Akın

Bilgisayar Mühendisliği Bölümü  
Fırat Üniversitesi  
Elazığ, Türkiye

orhanyamantc@gmail.com

{iaydin,mkarakose,eakin}@firat.edu.tr

**Özetçe—** Kritik bileşenler için bir izleme sisteminin geliştirilmesi erken başlangıç aşamasında farklı arızaları tespit etmek için oldukça önemlidir. Asenkron motorlar birçok endüstriyel sistemin iş gücüdür. Bu motorlarda oluşan arızalar maliyet, güvenlik ve üretimin kesilmesi gibi etkilere sahiptir. Bu çalışmada mil yatağı ve stator arızaları için kablosuz duyarga ağ tabanlı bir arıza teşhis sistemi önerilmektedir. Arıza ile ilgili özellikler motor akım sinyalinde elde edilmekte ve arızalar çıkarılan özelliklerin akıllı teknikler ile tespit edilmektedir. Oluşturulan deney ortamında çoklu motorların durumları kablosuz düğümlerden elde edilen sinyaller ile izlenmektedir. Önerilen yaklaşımın veri toplama, sinyal işleme ve karar verme gibi bütün adımları deneysel olarak gerçekleştirilmiş ve doğrulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler —** Kablosuz duyarga ağları, asenkron motorlar, arıza teşhisi, temel bileşen analizi, bulanık mantık.

**Abstract—**The development of a monitoring system for critical components is rather important to accurately detect different defects in incipient stage. Induction motors are the workhorses of many industrial systems. Fault occurred in this motor has severe effects such as cost, safety, and production disruption. In this study, a wireless sensor network-based fault diagnosis system is proposed for bearing and stator faults occurred in induction motors. The fault related features are extracted from current signal of the motor and the faults are detected by using the obtained features with intelligent computing techniques. In the established laboratory environment, conditions of multiple motors are monitored by obtaining signals from wireless sensor nodes. All steps of the proposed approach such as data acquisition, signal processing, and decision making have been experimentally carried out and verified.

**Keywords —** Wireless sensor networks, induction motors, fault detection, principal component analysis, fuzzy logic.

### I. GİRİŞ

Endüstriyel alanlarda asenkron motorlar diğer elektrik makinelerine göre daha sağlam olduğundan tercih edilmektedir [1]. Asenkron motorların beklenmedik bir anda

oluşturduğu arızalar, motorun verdiği maddi hasarın yanı sıra üretimin durmasından dolayı da büyük ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Asenkron motorlarında oluşan arızaların büyük çoğunluğu stator, rotor ve mil yatağı arızalarından oluşmaktadır [1]. Bu çalışmada asenkron motorlarda oluşan mil yatağı ve stator arızaları teşhis edilmektedir. Mil yatağı arızaları genellikle milin eğilmesi veya mil yatağının aşınmasından meydana gelirken, stator arızaları ise kısa devre veya açık faz arızalarından meydana gelmektedir.

Son yıllarda arıza teşhis sistemlerinin otomatikleştirilmesi için sinyal ve akıllı tekniklerin bütünleştirilmesi oldukça önem kazanmıştır. Akım sinyalleri elde edilmesi kolay, düşük maliyetli ve bütün arıza türleri için uygun bilgi verdiği için oldukça fazla kullanılmıştır. Akım sinyalleri üzerinden park vektör dönüşümü [1], zaman serisi analizi [2], dalgacık analizi [3] ve Hilbert dönüşümü [4] ile farklı arıza türleri için ayırt edici özellikler çıkarılmıştır. Elde edilen özellikler genellikle yapay sinir ağları [1], yapay bağışık sistemler [5-6], bulanık sistemler [7] gibi akıllı teknikler ile değerlendirilerek arızalar belirlenir. Fakat geliştirilen yöntemlerin çoğu tek bir sistemi izlemek için uygundur. Birden fazla motorun eş zamanlı olarak merkezi bir yerden değerlendirilmesi önemlidir. Son yıllarda endüstriyel kablosuz duyarga ağ tabanlı sistemler ile birçok çalışma yapılmaktadır [8]. Hou ve diğ. [9] stator akımı ve titreşim sinyallerini kullanarak yapay sinir ağ tabanlı sınıflandırma yöntemleri önermektedir. Asenkron motorların durum ve enerji veriminin izlenmesi için kablosuz duyarga ağlardan faydalanılmıştır [10]. Duyarga düğümlerinden bilgisayara kablosuz olarak iletilen titreşim sinyalleri, mil yatağı arızalarının teşhis edilmesinde kullanılmıştır [11]. Aydın ve diğ. [12] endüstriyel uygulamalar için FPGA tabanlı durum izleme sistemi önermiştir.

Bu çalışmada arıza teşhisi için duyarga ağ tabanlı bir yaklaşım sunulmaktadır. Kablosuz olarak elde edilen sinyaller temel bileşen analizi ve bulanık mantık yaklaşımı ile değerlendirilerek stator ve mil yatağı arızaları tespit edilmektedir. Kullanılan sistemlerde çoğunlukla hazır

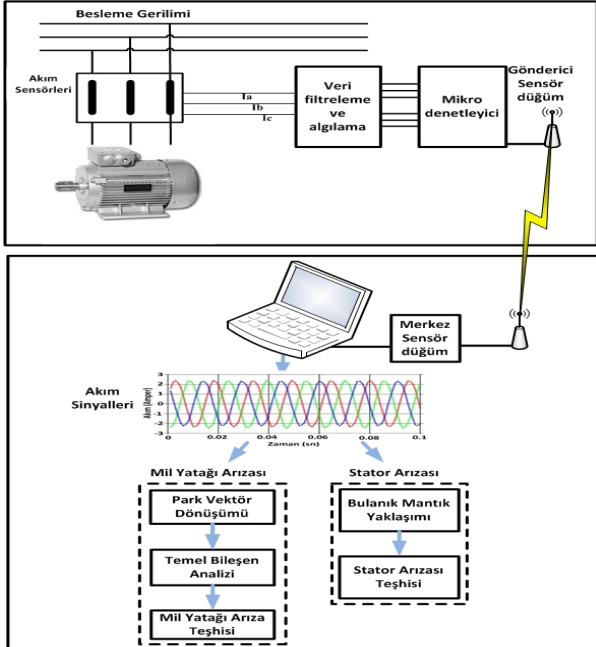
kablosuz duyurga kitleri kullanılırken bu çalışmada kablosuz duyurga kartları da geliştirilmiştir.

## II. ARIZA TEŞHİSİ VE ÖNERİLEN YAKLAŞIMLAR

Arıza teşhis sistemi, motordan alınan sinyal ve ölçümlere dayanmaktadır. Bu çalışmada akım sinyalleri kullanılarak arıza teşhisi yapılmaktadır. Akım sinyallerinin tercih edilmesinin sebebi, diğer duyurgalara göre kullanılmasının kolay olması ve maliyetinin düşük olmasıdır. Literatürde mil yatağı ve stator arızalarının teşhisinde düğümlerden sinyal almak için kablosuz ağ tabanlı bir model geliştirilmiştir. Bu çalışma iki önemli akıllı hesaplama teknikleri içeren yaklaşım önermektedir. Bu yaklaşımlardan biri temel bileşen analizi yaklaşımıdır. Bu yaklaşım asenkron motorlarda oluşan mil yatağı arızalarının teşhisinde kullanılmak için önerilmektedir. Bir diğer akıllı hesaplama teknikleri olan bulanık mantık yaklaşımıdır. Bulanık mantık yaklaşımı, asenkron motordan aldığı sinyalleri kullanarak motorda oluşabilecek stator arızalarının teşhisi için önerilmektedir.

Akım sinyalleri, asenkron motorlar için önemli arıza teşhis bilgilerini içermektedir. Kolay erişilebilirlik yönünden arıza teşhisi için en uygun ölçümler, akım genlikleridir.  $I_a$ ,  $I_b$  ve  $I_c$  genlik değerleri asenkron motordan akım duyurgaları kullanılarak alınan akım genlik değerleridir. Arıza teşhis sistemi için oluşturulan model Şekil 1’de verilmektedir.

Şekil 1’ e göre üç faz besleme gerilimi ile çalıştırılan bir asenkron motorun üç fazından akım duyurgaları kullanılarak sinyaller alınmaktadır. Akım duyurgalarının üzerinde bulunduğu bir veri filtreleme ve algılama kartı bulunmaktadır. Bu karttan elde edilen sinyaller özellik çıkarımı için mikro denetleyici kartına iletilmektedir. Bu kartta bulunan mikro denetleyiciye, analog sinyaller gelmektedir. Mikro denetleyici analog sinyalleri dijital sinyallere dönüştürerek kablosuz duyurga ile merkez düğüme iletmektedir.



Şekil 1. Bir düğümden sinyal almak için kullanılan model

### A. Mil Yatağı Arıza Teşhis Yaklaşımı

Asenkron motorlarda oluşan mil yatağı arızaları için en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri park vektör dönüşümüdür. Park vektör dönüşümü üç fazlı asenkron motorlarda bulunan üç faza ait akım değerlerini iki bileşen ile ifade edilmesini sağlamaktadır. Üç fazlı asenkron motorda  $I_a$ ,  $I_b$  ve  $I_c$  değerlerini kullanarak park vektör bileşenleri “(1)” ve “(2)”’de verilmektedir.

$$I_d = \sqrt{\frac{2}{3}} I_a + \frac{1}{\sqrt{6}} I_b - \frac{1}{\sqrt{6}} I_c \quad (1)$$

$$I_q = \frac{1}{\sqrt{2}} I_b - \frac{1}{\sqrt{2}} I_c \quad (2)$$

Bu denklemlerde  $I_a$ ,  $I_b$  ve  $I_c$  değerleri asenkron motorun üç faz akım değerlerini ifade etmektedir.  $I_d$  ve  $I_q$  değerleri park vektör dönüşümü sonucunda elde edilen değerlerdir. Elde edilen bu değerlere temel bileşen analizi uygulanmaktadır. Temel bileşen analizi asenkron motordan alınan veriler üzerinde analiz yapmak için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemle asenkron motora ait arıza teşhisi yapılmaktadır. Üç faz akım değerleri kullanılarak elde edilen iki bileşen  $X=[I_d, I_q]$  şeklinde bir matris formunda yazılarak kovaryans matrisi hesaplanmaktadır. Kovaryans matrisi “(3)” teki gibi elde edilmektedir.

$$C = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L X^T X \quad (3)$$

Kovaryans matris ile kovaryans matrisin öz değerleri ve öz vektörleri arasında “(4)”’de ki gibi bir ilişki vardır.

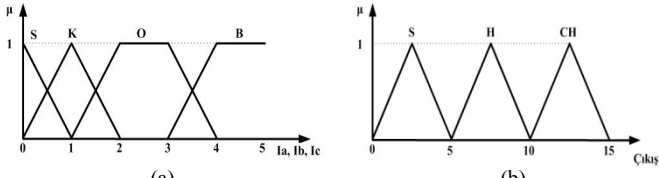
$$Cv = v\lambda \quad (4)$$

“Denklem (4)” te  $v$  öz değer vektörü ve  $\lambda$  ise öz değeri olarak ifade edilmektedir. Bu işlemler uygulandıktan sonra oluşturulan  $I_d$  ve  $I_q$  koordinatları üzerindeki maksimum büyüklükler asenkron motorda oluşan mil yatağı arızasının şiddetini belirtmektedir.

### B. Stator Arıza Teşhisi Yaklaşımı

Bulanık mantık sistemleri uzman kişiler tarafından oluşturulan kurallar kümesinden oluşmaktadır. Bulanık mantık sistemlerinde kurallar, sistemin arızası hakkında bilgi verdiği için oldukça önemlidir [12-14]. Bulanık mantık da kullanılan sistemlerin belirli bir girdi ve çıktıları mevcuttur. Bu girdi ve çıktı değerlerinin doğru bir şekilde oluşturulması ve kullanılması gerekmektedir.

Önerilen bu yaklaşımda  $I_a$ ,  $I_b$  ve  $I_c$  değerlerinin maksimum değerleri bulanık sistemin giriş değerlerini oluşturmaktadır. Modelin çıkış değeri ise tek bir değerdir. Bu çıkış değeri motorun stator durumu hakkında bilgi vermektedir. Oluşturulan giriş üyelik fonksiyonları için “SIFIR”, “KÜÇÜK”, “ORTA” ve “BÜYÜK” aralıkları tanımlanmaktadır. Oluşturulan çıkış üyelik fonksiyonu için “SAĞLAM”, “HASARLI” ve “CİDDİ HASARLI” olup olmadığını bilmek gereklidir. Oluşturulan giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları Şekil 2’de verilmektedir.



Şekil 2. Üyelik fonksiyonları (a) Giriş (b) Çıkış

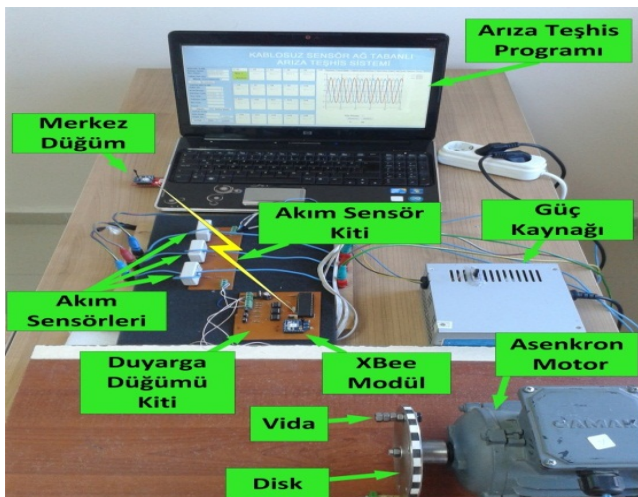
Tüm sağlıklı ve hasarlı durumları kapsayacak şekilde kurallar tanımlanmıştır. Toplamda uzman kişiler tarafından 10 kural oluşturulmuştur. Oluşturulan kurallar kümesi Tablo 1' de verilmektedir.

### III. DENEYSEL SONUÇLAR

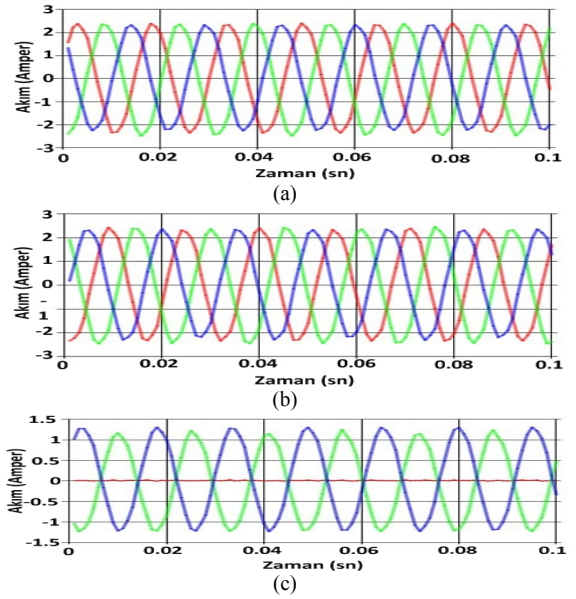
Bu çalışmada arıza teşhis yöntemleri için özellik çıkarımı yapıldıktan sonra elde edilen özelliklerden, arıza teşhisi yapılmaktadır. Bu yöntemlerin uygulanması için bir deney düzeneği oluşturulmuştur. Oluşturulan deney düzeneğinde ki duyarga düğümleri asenkron motorlara ait akım genlik değerlerini merkez düğüme iletmektedir. Deney düzeneğinde kullanılan asenkron motorun gücü 0.37 kW, tam yük akımı 1.2 A, besleme frekansı 50Hz ve tam yükte çalışma hızı 1390 Rpm'dir. Asenkron motorlara ait üç faz akım sinyallerini ölçmek için ABB EL25P1 akım duyargaları kullanılmaktadır.

Tablo 1. Kural Tablosu

Numara	Kural
Kural 1	$I_a = S$ veya $I_b = S$ veya $I_c = S \rightarrow$ Durum = CH
Kural 2	$I_a = B$ veya $I_b = B$ veya $I_c = B \rightarrow$ Durum = CH
Kural 3	$I_a = K$ & $I_b = K$ & $I_c = O \rightarrow$ Durum = H
Kural 4	$I_a = K$ & $I_b = O$ & $I_c = O \rightarrow$ Durum = H
Kural 5	$I_a = O$ & $I_b = K$ & $I_c = O \rightarrow$ Durum = H
Kural 6	$I_a = O$ & $I_b = O$ & $I_c = O \rightarrow$ Durum = S
Kural 7	$I_a = K$ & $I_b = K$ & $I_c = K \rightarrow$ Durum = S
Kural 8	$I_a = K$ & $I_b = O$ & $I_c = K \rightarrow$ Durum = H
Kural 9	$I_a = O$ & $I_b = K$ & $I_c = K \rightarrow$ Durum = H
Kural 10	$I_a = O$ & $I_b = O$ & $I_c = K \rightarrow$ Durum = H



Şekil 3. Bir asenkron motora ait düğüm yapısı

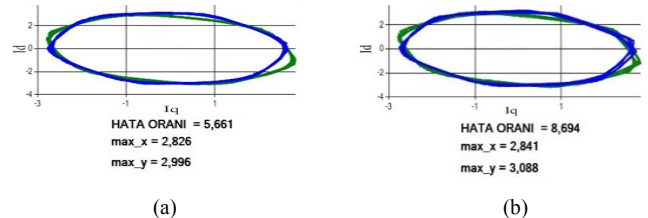


Şekil 4. Sağlam ve arızalı motor faz akımları (a) Sağlam (b) Mil yatağı arızalı (c) Stator arızalı

Ayrıca her bir duyarga düğümü için oluşturulan geliştirme kartlarında bir adet XBee 1mw Wire Antenna kablosuz modül ve 12 bit ADC çözünürlüğüne sahip PIC18F4553 mikro denetleyici bulunmaktadır. Bir asenkron motor kullanılarak oluşturulan düğüm yapısı Şekil 3' te verilmektedir. Bu düğüm yapısından alınan farklı türdeki arızalar Şekil 4' de verilmektedir.

#### A. Mil Yatağı Arıza Teşhisi

Sağlam motordan Şekil 4(a)' da ki sinyaller alınmaktadır. Motora takılı olan diske vida bağlanarak, mil yatağı arızası oluşturulup Şekil 4(b)' de ki sinyaller alınmaktadır. Böylece bu iki sinyal üzerinde işlemler yaparak mil yatağı arızası teşhis edilmektedir. Bir duyarga düğümü çalıştırıldığında 1 saniyede bilgisayara her bir faza ait yaklaşık 1000 tane veri alınmaktadır. Bu veriler kullanılarak özellik çıkarımı ve arıza teşhis yöntemleri kullanılmıştır. Asenkron motorun akım sinyallerine ait Şekil 4 (a) ve Şekil 4 (b)'de görüntülenen veriler kullanılarak park vektör dönüşümü yapılmıştır. Park vektör dönüşümünden elde edilen verilere temel bileşen analizi uygulandığında Şekil 5 (a) ve Şekil 5 (b)'deki görüntüler elde edilmiştir. Bu görüntülerden mil yatağı arızası teşhisi yapılarak hata oranı verilmiştir [1-2].



Şekil 5. Sağlam ve arızalı motor temel bileşen analizi (a) Sağlam motor (b) Mil yatağı arızalı motor

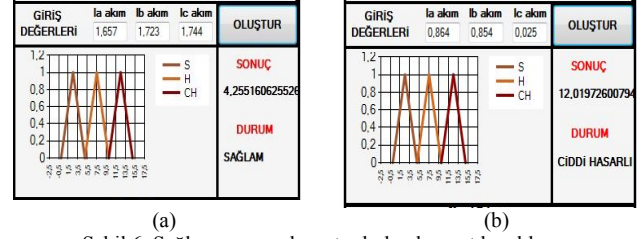
## B. Stator Arıza Teşhisi

Şekil 4 (a)'da kullanılan üç fazın her bir fazına ait akım değerlerinin maksimum değerleri kullanılmaktadır. Bu değerler kullanılarak bulanık mantık yaklaşımı ile arıza teşhisi yapılmaktadır. Bu verilere ait bulanık mantık yaklaşımı ile motorun sağlam olduğu teşhis edilmektedir. Bu teşhis hakkında gerekli veriler Şekil 6 (a)'da verilmektedir. Şekil 6 (b)'de elde edilen teşhis sonuçları ise Şekil 4 (c)'deki sinyaller kullanılarak elde edilmiştir. Bu verilerin arızalı motora ait olduğu Şekil 6 (b)'de kolayca teşhis edilmektedir. Böylece asenkron motorlarda arıza teşhisi için önerilen bulanık mantık yaklaşımı başarılı bir şekilde teşhis yapmaktadır.

## IV. SONUÇLAR

Asenkron motorlar için önerilen arıza teşhis yöntemleri için gerekli özellik çıkarımı yapılmıştır. Elde edilen özellikler akıllı hesaplama teknikleriyle birlikte kullanılarak arıza teşhisi yapılmaktadır. Bu yöntemlerin geliştirilmesi için bir deney ortamı oluşturulmuştur. Bu deney ortamı kablosuz duyurga ağ tabanlı çalışmaktadır. Asenkron motorun stator arızalarını teşhis edebilmek için üç faz akım değerleri ölçülmektedir. Bu değerler gerekli dönüşümlerin ardından bilgisayara iletilmektedir. Bilgisayara iletilen veriler üzerinde akıllı hesaplama tekniklerinde kullanılarak gerekli sonuçlar elde edilmiştir. Önerilen yaklaşımlar için deney ortamında binlerce defa veriler alınarak arıza teşhisi yapılmıştır. Ayrıca asenkron motorlarda çeşitli mil yatağı ve stator arızaları oluşturularak, meydana gelen arızalar akıllı hesaplama teknikleriyle arıza teşhisi yapılmıştır. Bu çalışmada arıza teşhis programında elde edilen sonuçlar "MATLAB" ortamında alınan sonuçlar ile desteklenmiştir.

Bu çalışmanın bir diğer özelliklerinden biride kablosuz duyurga ağ tabanlı çalışmasıdır. Bu duyurga düğümleri farklı tür arıza teşhis sistemleri için kolayca uyarlanabilir yapıdadır. Ayrıca bu duyurga ağlarının maliyetinin piyasada bulunan duyurga ağlarına göre çok düşük olması da büyük bir avantaj haline gelmektedir. Bu çalışmada kablosuz duyurga ağları ve akıllı hesaplama teknikleri hakkında uygulamalar yapılmıştır. Asenkron motora ait iki farklı arıza türü için iki farklı akıllı hesaplama teknikleri önerilmiştir. Kablosuz duyurga ağ tabanlı, asenkron motordan alınan sinyaller üzerinde temel bileşen analizi uygulayarak mil yatağı arızaları, bulanık mantık yaklaşımı uygulanarak stator arızaları teşhisi önerilmektedir.



Şekil 6. Sağlam ve arızalı motor bulanık mantık yaklaşımı  
(a) Sağlam motor (b) Stator arızalı motor

## KAYNAKÇA

- [1] Martins, J. F., Pires, V. F., 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.
- [2] Aydın, I., Karakose, M., Akin, E., A Simple and Efficient Method for Fault Diagnosis Using Time Series Data Mining, *IEEE Int. Conf. on Electric Machines & Drives*, 1: 596-600, 2007.
- [3] Bouzida, A., Touhami, O., Ibtouen, R., Fadel, M., Rezzoug, A., Beloucherani, A., Fault Diagnosis in Industrial Induction Machines through Discrete Wavelet Transform, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, 58(9):4385-4395, 2011.
- [4] Jimenez, G. A., Munoz, A. O., Mermoud, M. A. D., Fault Detection in Induction Motors using Hilbert and Wavelet Transforms, *Journ. of Elect. Engineering*, 89(3):205-220, 2007.
- [5] Aydın, I., Karakose, M., Akin, E., The Intelligent Fault Diagnosis Frameworks Based on Fuzzy Integral, *Int. Symp. on Power Electronics Electrical Drives Automation and Motion*, 1:1634-1639, 2010.
- [6] Aydın, I., Karakose, M., Akin, E., Artificial Immune Inspired Fault Detection Algorithm Based on Fuzzy Clustering and Genetic Algorithm Methods, *IEEE Int. Conf. on Comp. Intell. for Measur. Sys. and Appl.*, 1: 93-98, 2008.
- [7] Aydın, I., Karakose, M., Akin, E., An Adaptive Artificial Immune System for Fault Classification, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 23(5):1489-1499, 2012.
- [8] Gungor, V. C. and Hancke, G. P., Industrial Wireless Sensor Networks: Challenges, Design Principles, and Technical Approaches, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, 56(10):4258-4265, 2009.
- [9] Hou, L., Bergmann, N.W., Novel Industrial Wireless Sensor Networks for Machine Condition Monitoring and Fault Diagnosis, *IEEE Trans. on Ind. Electron*, 61(10):2787-2798, 2012.
- [10] Bin, L., and Gungor, V. C., Online and Remote Motor Energy Monitoring and Fault Diagnostics using Wireless Sensor Networks, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, 56(11): 4651-4659, 2009.
- [11] Baolu, G., Shibo, X., Zhanwei, X., The Application of Wireless Sensor Networks in Machinery Fault Diagnosis, *Int. Conf. on Machine Vision and Human-Machine Interface*, 1:315-318, 2010.
- [12] Aydın, I., Karakose, M., Akin, E., FPGA Based Intelligent Condition Monitoring of Induction Motors: Detection, Diagnosis, and Prognosis, *IEEE Int. Conf. on Industrial Technology*, 1:373-378, 2011.