

Akıllı Şebeke Ekipmanlarında Arıza Teşhis, Öngörme ve Bakım Planlama
Diagnostics, Prognostics and Maintenance Planning in Smart Grid Equipment

Celil Özkurt¹, Fatih Camcı¹

¹ Mühendislik Fakültesi, Uluslararası Antalya Üniversitesi
 Antalya, Türkiye

fatih.camci@antalya.edu.tr

ÖZETÇE

Koşul bazlı bakım sistemleri (KBB) arızaların ve kalan ömrün tespit edilmesini ve bakım planlamasının en etkin şekilde yapılmasını hedefleyen bir araştırma alanı olarak son yıllarda ilgi çekmektedir. KBB'de kritik sistemler (şebekeler, üretim sistemleri, uçak motoru, uçak kanadı, kopruler vs.) üzerine yerleştirilen sensorler sayesinde eldeki sistemin sağlık durumu gerçek zamanlı olarak belirlenir. Bu sağlık bilgisine göre ne kadar faydalı ömrü kaldığı tespit edilerek ve bakım planlaması yapılır. Akıllı şebekelerde gerek emreamediğin artırılması gerekse bakım maliyetlerinin azaltılması KBB sistemlerinin etkin şekilde şebeke ekipmanlarında uygulanabilmesine bağlıdır. Bu çalışmada KBB'nin şebeke ekipmanları üzerinde uygulama çalışmaları değerlendirilerek KBB uygulaması için potansiyel görülen ekipmanlar ve bunlar için fırsat ve zorlukları tartışılacaktır.

Anahtar kelimeler: Koşul bazlı bakım sistemleri, Arıza teşhis, Arıza Öngörme, Bakım Planlama

ABSTRACT

Condition based maintenance systems (CBM) attract great attention in the recent years as a research field that aims identifying failures and left life and performing the maintenance planning in the best possible way. Health condition of the existing system is identified in a real time basis thanks to sensors placed on critical systems (grids, production systems, plane engine, plane wing, bridges, etc.) in CBM. Useful life left is identified based on this health information and the maintenance planning is done. Increasing disposability and decreasing maintenance costs in smart grids depends on using CBM systems effectively on grid equipment. In this study, CBM applications on grid equipment is evaluated and potential equipment for CBM application and their opportunities and challenges will be discussed.

Key words: Condition based maintenance systems, failure identification, failure prediction, maintenance planning

1. GİRİŞ:

Elektrik şebekelerinde oluşabilecek arızalar oldukça yüksek mali ve sosyal olumsuzluklara yol açabilmektedir. 2003 yılında ABD'de meydana gelen elektrik şebeke arızasının maliyeti 7 ile 10 milyar dolar seviyesindedir (ICT 2003) [1]. Günümüz toplumunda elektrikli aletlerin yaygınlığı nedeniyle elektrik kesintisinin günlük yaşam üzerindeki etkileri herkesin kabuldür. Tüm teknolojik gelişmelere rağmen genellikle elektrik şebekelerdeki arızalara reaksiyonel yaklaşım sergilenmektedir. Akıllı şebekelerde oluşan arızadan etkilenen müşteri sayısını azaltmak amacıyla otomatik anahtarlama yöntemleri kullanılsa da bu tür yöntemler arıza oluşuktan sonra atılan reaksiyonel adımlardır (Russell ve Benner, 2010) [2]. Son yıllarda yapılan çalışmalarda şebeke ekipmanlarında meydana gelen arızaların aniden oluşmadığı, günler hatta haftalar süren bir gelişim gösterdiği belirlenmiştir (Texas A&M, 2013) [3]. Şebekelerde sistem çalışamaz hale gelmeden arızaların tespiti ve giderilmesi oldukça önemlidir.

Koşul bazlı bakım (KBB) sistemlerinde arızalar sistemi çalışmaz hale getirmeden tespit edilerek ve öngörülerek planlama yapılması hedeflenmektedir. KBB son yıllarda özellikle askeri helikopter, savaş uçakları, nükleer santraller vb. gibi yüksek emreamedelik (availability) ve güvenlik gerektiren sistemler üzerinde çalışılmaktadır. KBB ekipmanların sağlık durumlarının çeşitli sinyallerin sensörler aracılığıyla toplanarak analiz edilmesini içerir. KBB sistemlerinde daha çok arıza teşhis (diagnostics) metodları kullanılmakta olup, arıza öngörme (prognostics) metodları çok daha zor ve daha az çalışılmaktadır. Arıza teşhis mevcudu tespit iken arıza öngörme henüz oluşmamış öngörmedir. Bu nedenle fayda potansiyeli çok yüksek bir alandır. Arıza teşhis arızalı sistemin en kısa zamanda durdurulmasını sağlayarak büyük zararları engellese de yeterli değildir. Örneğin arızanın daha büyük bir soruna yol açmadan şebekede elektriğin kesilmesi önemli olsa da bu tespit elektrik kesintisini engellemez. Gerekli personelin, parça ve ekipmanın arızanın bulunduğu yere gönderilmesi zaman kaybına ve yüksek maliyete neden olacaktır. Arıza öngörme arıza nedeniyle oluşan maliyetlerin, müşteri memnuniyetsizliğinin ve şebeke operasyon planlamasındaki aksaklıkların giderilmesinde kilit rol oynamaktadır. Oluşan arızanın öngörülmesi ve faydalı

kalan ömrün tespiti ekipman kullanımdayken gerekli planlamaların yapılmasına imkan sağlar.

Arıza öngörmesi için sistem sağlığının sensörler vasıtasıyla sürekli olarak izlenmesi gerekmektedir. Arıza öngörme işleminden önce kullanılacak bilgilerin elde edilmesi için sensörlerden veri toplama (data acquisition) ve toplanan verilerin faydalı bilgilere dönüştürme (feature extraction) işlemleri gerçekleştirilmelidir. Elde edilen bu bilgiler arızanın gelişme trendine göre değerlendirilerek ne kadar zaman sonra sistemi kullanılamaz hale getireceği (gerek fonksiyonel olarak gerekse güvenlik seviyesi olarak) belirlenir. Dolayısıyla arıza öngörme işlemi sensörlerden veri toplama, verilerden faydalı bilgi çıkarma, sağlık durumu tespiti ve arıza öngörme işlemlerini içerir. Ayrıca, arıza öngörme işlemi gerçekleştirildikten sonra elde edilen bilginin diğer süreçlerle birlikte değerlendirilerek planlama yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada akıllı şebekelerde KBB sistemleri üzerinde durulacak ve uygulama örnekleri, potansiyel ve zorluklar tartışılacaktır. İkinci bölümde KBB sistemleriyle ilgili verilecektir. Üçüncü bölümde akıllı şebekelerde KBB çalışmaları anlatılacaktır. Dördüncü bölümde KBB'nin akıllı şebekeler üzerinde uygulanma potansiyel ve zorlukları tartışılacaktır. Beşinci bölümde sonuç verilecektir.

2. KOŞUL BAZLI BAKIM SİSTEMLERİ

Tarih boyunca endüstriyel sistemlerin bakım planlaması değişim geçirmiştir. Sanayi devriminin ilk yıllarında fazla dikkate alınmayan bakım planlaması 1950'lerden itibaren periyodik bakım olarak karşımıza çıkmıştır. 1970'li yıllarda ekipmanların güvenilirlik seviyelerine bağlı olarak bakım planlaması mantığına dayalı güvenilirlik bazlı bakım sistemleri (reliability centered maintenance) tartışılmaya başlanmıştır. 1990'lı yıllarda ise üzerine sensör yerleştirilmiş ekipmanların arıza tespitine bağlı olarak bakım planlaması gündeme gelmiştir (Kothamasu 2006) [4]. Fakat bakım işlemlerinin birçok süreçle birlikte ele alınması gerektiğinden arıza tespiti istenen verimliliği sağlayamamıştır. 2000'li yıllarla birlikte arıza öngörme tartışılmaya başlanmıştır.

Koşul bazlı bakım sistemleri yeni temel adımdan oluşmaktadır: Veri toplama, Veri işleme, Farklılık gözlemeleme, arıza teşhis, arıza öngörme, karar destek ve sunum (Camci and Chinnam 2010) [5]. Aşağıda bu adımlar tartışılmıştır.

Veri toplama: Bu adımda arıza semptomları sensörler aracılığı ile bilgisayar ortamına aktarılır. Elektro-mekanik ekipmanlarda oluşan arızalar kendini sebep olduğu fiziksel değişimlerle ortaya çıkarır. Titreşim, sıcaklık, akım, ses,

uygulanan kuvvet, basınç gibi fiziksel parametreler gözlemlenir ve yapılan ölçümler bilgisayar ortamına aktarılır.

Veri işleme: Bilgisayar ortamına alınan verilerin birçoğu arıza tespiti için gereksizdir ve veriler oldukça yüksek miktardadır. Yüksek miktardaki bu verilen işlenerek daha düşük miktarda faydalı veriye dönüştürülmesi bu adımda yapılır. Örneğin saniyede 1000 adet toplanan titreşim verisinin her birisi tek başına bir şey ifade etmeyebilir. Bu verilerin örneğin ortalaması alınarak işlenmesi 1000 adet veriyi tek veri haline getirerek arızayı tespit etme anlamında çok da bilgi kaybetmeden kullanılabilir. Çok miktardaki veriden az miktarda özlü veri elde etmek için sinyal işleme ve istatistiksel yöntemler kullanılmaktadır. Ortalama gibi çok basit işlemleri içerebileceği gibi çok karmaşık işlemleri de içerebilir. Ayrıca güdültü giderme gibi işlemler de bu adımda yapılmaktadır.

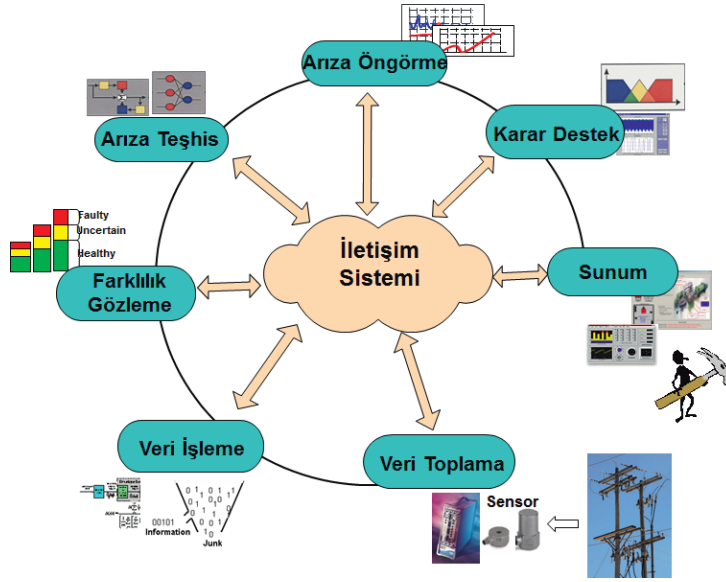
Farklılık gözlemeleme: Bu adımda elde edilen işlenmiş verilerin beklenenden farklı olma durumu analiz edilmektedir. Ne tür arıza olursa olsun arızalar ekipmanın normalden farklı tepki vermesi beklenmektedir. Farklılık sadece arıza ile olmayabilir. Operasyondaki değişimler de farklılıklara sebep olabilir. Bu adımda farklılık olduğunun tespit edilmesi ile farklılığın neden olduğu analizinin başlanması ve veri toplama işleminin daha dikkatli veya gerekirse daha yüksek sıklıkla yapılması sağlanır.

Arıza teşhis: Bu adımda tespit edilen farklılığın bir arızadan oluşup oluşmadığı, arıza varsa ne tür bir arıza olduğu, arızanın nerde olduğu ve kritiklik seviyesi tespit edilmektedir. Bu adımda hata ağaçları, sınıflandırma yöntemleri kullanılmaktadır.

Arıza öngörme: Arızalar yavaş yavaş oluşur. Bir arızanın tespit edilmesi sistemin hemen durdurulmasını gerektirmeyebilir. Bazı sistemlerde arızalar oldukça uzun süre sonra ekipmanı fonksiyon dışı bırakabilir. Bu durumda tespit edilen arızanın ne kadar zaman sonra ekipmanı fonksiyon dışı bırakacağı bilgisi hem ekipmanın sonuna kadar kullanılmasını hem de bakım işleminin etkin şekilde planlanmasını sağlar. Bu adımda trend tespit ve zaman serisi öngörme yöntemleri kullanılmaktadır.

Karar destek: Tespit edilen ve/veya öngörülen arızanın giderilmesi amacıyla bakım planlamasının etkin bir şekilde yapılabilmesi için bu adımda bakımı gerçekleştirmek için gerekli olan personel ve araç gereçlerin arızanın tür ve lokasyon bilgileriyle birlikte analizi yapılır. Eldeki kaynak ve sistem gereksinimleri göz önüne alınarak doğru kararın verilmesi amacıyla karar vericilere destek verilir.

Sunum: Bu adımda karar destek sistemlerinden elde edilen sonuçların kullanıcıya en etkin şekilde sunulması gerçekleştirilir. Şekil 1'de ilgili adımlar illüstre edilmiştir.



Şekil 1: KBB adımları

3. ÖNLEYİCİ YAKLAŞIM OLARAK KOŞUL BAZLI BAKIM SİSTEMLERİ

Mekanik sistemlerin elektronik sistemlere göre daha eski olmalarından dolayı mekanik sistemlerin arıza mekanizmaları üzerinde daha uzun süredir çalışılmaktadır. Fakat son yıllarda yapılan çalışmalarda elektronik sistemlerin arızalarının da erken tespit edilmesi ve öngörülme potansiyelinin yüksek olduğu düşünülmektedir. Birçok farklı ekipman üzerinde yapılan çalışmalardan örnekler aşağıda verilmiştir.

Enerji dağıtım sistemlerindeki en kritik bileşenlerinden birisi güç transformatörleridir. Akıllı şebekelerde bulunan güç transformatörlerinin izlenmesi, arıza tespiti ve öngörme oldukça büyük önem taşımaktadır. Çoklu etmen (Multi Agent System) yapılarıyla güç transformatörlerinde arıza tespit ve izleme (Biçen 2013) [6] çalışmasında önerilmiştir. Farklı etmenlerin farklı lokasyonlardaki güç transformatörlerini izlemesi sağlanarak izleme sonuçlarının etmenler arasında etkileşim halinde ve tüm transformatörlerin verilerinin analizi ile gerçekleştirilmesi önerilmektedir.

Texas A&M Üniversitesi komplike, otomatik ve gerçek zamanlı akım analizi ile akıllı şebekelerdeki çeşitli arızaları ve hat elemanların sağlık durumunu tespit etme üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Trafo burcu ve elektrik kelepçeleri (hot line clamps) hataları üzerinde durulmuştur. Akıllı hata beklentisi dağılımı algoritması (intelligent distribution fault anticipation) ile arıza tespit çalışması yapılmıştır (Russell ve Benner, 2010) [2].

Yeraltı kabloları için otomatik ölçme tabanlı koşul değerlendirme sistemi üzerinde çalışmalar bulunmaktadır

(Mousavi 2009) [7]. Bu çalışmada kural ve SVM (Support Vector Machine) tabanlı yöntemlerle arızalı kabloların tespit edilmesi üzerinde durulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre gelişmekte olan arızaların tespit edildiği gösterilmiştir. Farklı bir çalışmada yeraltı kablolarının incelemek amacıyla üzerinde hareket eden ve üstündeki termal, görsel, yalıtkan ve akustik sensörler ile ana bilgisayara gerçek zamanlı olarak veriler gönderen uzaktan kumandalı bir robot geliştirilmiştir (Jang 2005) [8].

Kontrol verileri kullanılarak devre kesicilerin yaşam döngüsünü ve bozulma aşamalarını değerlendirme amaçlı çalışmalar da bulunmaktadır (Guan 2013) [9]. Bu makalede sağlıklı, düşük ve yüksek bozulma aşamaları çeşitli performans göstergelerinin sınırları ayarlanarak matematiksel olarak tanımlanmıştır. Gerçek zamanlı veri geldikçe model kendini otomatik olarak güncelleyebilmektedir. Olasılık dağılımlarını kullanarak devre kesicinin işlem performansını değerlendirilebilmektedir.

Elektrik şebekeleri insanoglundun ürettiği en büyük yapılar olarak adlandırılmaktadır. Şebekelerin uzunluğu kilometrelere karelik alanlara yayılmaktadır. Şebekelerdeki ekipmanların arızalarının sensörler aracılığıyla gözlemlense dahi bu verilerin nerede işleneceği konusu önemli problemlerden biridir. Verilen merkeze aktarılması ve merkezde büyük kapasiteli bilgisayarlarda işlenmesi veya dağıtılmış bilgisayarlara lokal olarak işlenmesi üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Örneğin Kauhaniemi akıllı elektronik cihazlar (intelligent electronic devices) aracılığıyla verilerin lokal olarak işlenmesini önermektedir (Kauhaniemi 2012) [10]. Bu makalede akıllı elektronik cihazların dağıtık zeka (distributed intelligence) yapıda olması ve bütün akıllı

elektronik cihazlar arasında kesintisiz iletişim yeteneğine sahip olarak izleme işlemlerini koordine etmesi önerilmektedir.

Arıza tespit çalışmalarına ilave olarak bakım planlaması çalışmaları da bulunmaktadır. Örneğin 2006 yılında yapılan bir çalışmada, sistem genelinde kapsamlı ve uygun maliyetli bakım tahsisi ve zaman çizelgeleme sistemi geliştirilmiştir (McCalley, 2006) [11]. Bu sistem, iş düzenleyici tarafından optimize edilmiş bir Güvenilirlik Merkezli Bakım (GMB) ile koşul izlemeye otomatik entegre edilmiş bir yapıya dayanmaktadır. Bakım tahsisi ve çizelgeleme sistemi bakım maliyetlerini azalttığı gibi donanım güvenilirliğini de artırır. Bu sistem ayrıca donanım ömrünü uzatır, trafo merkezinin tasarım, onarım ve yapım maliyetlerini azaltır ve bakım personeli, halk ve çevre için yüksek sağlık ve güvenilirlik temin eder. Bu çalışma transformatörler ve devre kesiciler üzerine yoğunlaşmakla birlikte diğer ekipmanlara da uygulanabilir (McCalley, 2006) [11].

Ayrı bir çalışmada güç santrallerinin koşul izleme ve bakımından kaynaklanan belirsizlikleri halletmek için akıllı şebekelere özel yenilikçi bir yaklaşım önerilmiştir (Chang 2012) [12]. Bu yaklaşım her alt istasyonda koşul bazlı bakım faaliyetleri tasarlamak/uygulamak ve oluşan operasyonel çeşitlikleri toptan halletmek için uyumlu(adaptive) bakım danışmanı ve bir sistem bakım en iyileycisi kullanır. Başlangıç bakım planlarının değerlendirilmesi ve yeni değişikliklerin tahmini için Hiyerarşik Bulanık Mantık Sistemleri kullanılır (Chang 2012) [12].

4. POTANSİYEL VE ZORLUKLAR

Yukarıdaki örneklerden görüldüğü gibi akıllı şebekelerde KBB çalışmalarını dört temel grupta toplayabiliriz: Ekipman bazlı veri toplama ve işleme, arıza tespit ve öngörme, bakım planlama, ve akıllı şebekelerde KBB tasarımı.

Ekipman bazlı veri toplama ve işleme: Bu tür çalışmalar akıllı şebekelerde kullanılan/kullanılacak ekipmanların arızalarının analiz edilmesi, bu arızaların tespit edilmesi amacıyla sensör geliştirme, sensörlerden elde edilen verilerin analizi işlemlerini içermektedir. Bu tür çalışmalar ekipmanlara özel olması gerekmektedir ve ekipmanların fiziksel özellikleri göz önüne alınarak yapılacak çalışmalardır.

Arıza tespit ve öngörme: Bu grupta yapılacak olan çalışmalar türlerinin örneği işleme yöntemleri kullanılarak arızaların türlerinin, lokasyonlarının ve seviyelerinin tespitini hedeflemektedir. Yapılan çalışmalar veri analizi tabanlı emperik modeller olabileceği gibi arızaların fiziksel analizini içeren fiziksel modeller de olabilir. Yukarıda bahsedilen örneklerden de görülebileceği gibi arıza tespit yöntemleri çokça çalışılsa da arıza öngörme yöntemleri oldukça yeni olup bu alanda büyük boşluklar bulunmaktadır.

Bakım planlama: Bu grup çalışmalar daha çok arıza tespit ve öngörme sonuçlarının elde bulunan imkanlar, personel, araç gereç ile sistem gereksinimlerinin beraber analizi ile en etkin bakım planlama yöntemleri geliştirilmesini içermektedir. Bu alanda yapılmış çalışmalar bulunsu da arıza

tespit ve öngörme sonuçlarının kullanıldığı bakım planlaması yöntemleri oldukça yeni çalışmalardır.

Akıllı şebekelerde KBB tasarımı: Geliştirilen veri işleme, arıza tespit, öngörme ve bakım planlaması işlemlerinin sistem içerisinde nerede yapılacağı, verilen ekipmanlardan transferleri ve saklanmaları bir KBB sistemi tasarımı gerektirmektedir. Bu tasarım tüm sistemin etkinliği ve maliyetini etkileyecektir. Yukarıda yapılan çalışmaların tümü tasarım çalışmalarıyla etkileşim halinde olmalıdır. Kullanılan yöntemlerin gereksinimleri, işlemler gereksinimleri, veri gereksinimleri tüm tasarımı etkilemektedir. Bu alanda yapılacak çalışmalar da oldukça büyük önem arz etmektedir.

5. SONUÇ

Elektrik şebekeleri insanlığın ürettiği en büyük yapılar olarak bilinmektedir. Bir ülkenin gelişmişlik göstergelerinden biri olan elektrik dağıtım sisteminin sorunsuz, en az maliyetle ve en az enerji kaybı ile yönetimi giderek önem kazanmaktadır. Arızaların oluşmadan öngörülmesi ve etkin bakım planlamasını içeren koşul bazlı bakım sistemlerinin akıllı şebekelerde uygulamaları büyük potansiyel göstermektedir. Bu çalışmada koşul bazlı bakım sistemleri, akıllı şebeke uygulamaları ve potansiyelleri tartışılmıştır.

REFERANSLAR:

- [1] (ICT 2003) ICF Consulting, *The Econ. Cost of the Blackout, 2003*
- [2] (Russell ve Benner, 2010) Russell B D, Benner C L, *Intelligent Systems for Improved Reliability and Failure Diagnosis in Distribution Systems, IEEE Transactions On Smart Grid, Vol. 1, No. 1, June 2010*
- [3] (Texas A&M, 2013) *Power System Automation Laboratory at Texas A&M University, http://psalserver.tamu.edu/, erişim Aralık 2013*
- [4] (Kothamasu et. al. 2006) Kothamasu, R; Huang, SH; VerDuin, Wh, *System health monitoring and prognostics - a review of current paradigms and practices, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 28(9), 1012-1024, 2006*
- [5] (Camci and Chinnam 2010) Camci F., Chinnam R. B., *"Health-State Estimation and Prognostics in Machining Processes", IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, Vol. 7, No. 3, 581-597, 2010*
- [6] (Biçen 2013) Biçen Y, Aras F, İsmailoğlu H, *Akıllı Şebekelerde Çoklu-Etmen Sistemleri ve Arıza Tanılama : Güç Transformatörü Uygulaması, Akıllı Şebekeler Ve Türkiye Elektrik Şebekesinin Geleceği Sempozyumu, Ankara, 26-27 Nisan 2013*

- [7] (Mousavi 2009) Mousavi M J, and Butler-Purry K L, *A Novel Condition Assessment System for Underground Distribution Applications*, *IEEE Transactions On Power Systems*, Vol. 24, No. 3, August 2009
- [8] (Jang 2005) Jiang B, Sample A P, Wistort R M, and Mamishev A V, *Autonomous Robotic Monitoring of Underground Cable Systems*, *Advanced Robotics*, 18-20 July 2005. ICAR '05. Proceedings., 12th International Conference on, Seattle, WA
- [9] (Guan 2013) Guan Y, Kezunovic M, Dehghanian P, Gurralla G, *Assessing Circuit Breaker Life Cycle using Condition-based Data*, *IEEE PES General Meeting 2013*, July 21 - 25, 2013, Vancouver, British Columbia, Canada
- [10] (Kauhaniemi 2012) K. Kauhaniemi, S. Voima, *Adaptive Relay Protection Concept for Smart Grids*, *Renewable Efficient Energy II Conference*, Vaasa, Finland, 21-22 March 2012
- [11] (McCalley, 2006) McCalley J, Jiang Y, Honavar V, Pathak J, Kezunovic M, Natti S, Singh C, Panida J, *Automated Integration of Condition Monitoring with an Optimized Maintenance Scheduler for Circuit Breakers and Power Transformers*, *Project Report for Power Systems Engineering Research Center*, Publication 06-04, January 2006
- [12] (Chang 2012) Chang C S, Wang Z, Yang F, and Tan W W, *Hierarchical Fuzzy Logic System for Implementing Maintenance Schedules of Offshore Power Systems*, *IEEE Transactions On Smart Grid*, Vol. 3, No. 1, March 2012