İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK ENERJİ SİSTEMLERİNDE GÜVENİLİRLİK TEMELLİ BAKIM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elif Deniz KULDAŞLI

Anabilim Dalı : Elektrik Mühendisliği

Programı : Elektrik Mühendisliği

HAZİRAN 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK ENERJİ SİSTEMLERİNDE GÜVENİLİRLİK TEMELLİ BAKIM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elif Deniz KULDAŞLI
(504061009)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04 Mayıs 2009
Tezin Savunulduğu Tarih : 05 Haziran 2009

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Aydoğan ÖZDEMİR (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Canbolat UÇAK (YÜ)
Y.Doç. Dr. Ramazan ÇAĞLAR (İTÜ)

HAZİRAN 2009

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasına, değerli fikirleri ve tecrübeleriyle bana yardımcı olan tez danışmanım Sayın Prof.Dr. Aydoğan Özdemir'e teşekkür ederim.

Yüksek lisans ve tez çalışması süresince sabır ve özveri ile destek olan aileme de teşekkür eder, sevgilerimi sunarım.

Mayıs 2009

Elif Deniz Kuldaşlı

Elektrik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ... **iii**
İÇİNDEKİLER ... **v**
KISALTMALAR ... **vii**
ÇİZELGE LİSTESİ ... **ix**
ŞEKİL LİSTESİ ... **xi**
ÖZET ... **xiii**
SUMMARY ... **xv**
1. GİRİŞ ... **1**
2. BAKIM KAVRAMI VE BAKIM MODELLERİ ... **3**
2.1 Bakım ... 3
2.2 Bakımın Evrim Süreci ... 4
2.2.1 Birinci nesil bakım ... 5
2.2.2 İkinci nesil bakım ... 6
2.2.2.1 Önleyici bakım ... 7
2.2.3 Üçüncü nesil bakım ... 8
2.2.3.1 Kestirimci bakım ... 9
3. GÜVENİLİRLİK MERKEZLİ BAKIM ... **13**
3.1 Güvenilirlik Merkezli Bakım Süreci ... 14
3.1.1 Önleyici bakım görevleri grubu ... 14
3.1.2 Plansız bakım görevleri grubu ... 16
3.1.3 P-F eğrileri ... 16
3.2 GMB Metodolojisi ... 17
3.2.1 İşletme fonksiyonları ... 19
3.2.2 Analiz edilecek sistemin belirlenmesi ... 21
3.2.3 Fonksiyonları tanımla ... 22
3.2.4 Fonksiyonel olarak önemli malzeme (FSI) ... 22
3.2.5 Fonksiyonel arızaların tanımlanması ... 22
3.2.6 Arıza etkileri ... 23
3.2.7 Arıza türü ... 24
3.2.8 Uygun proaktif süreç ... 24
3.2.9 Bilgi formları ... 24
3.2.10 Karar diyagramları ... 25
4. GÜVENİRLİK MERKEZLİ BAKIM BİLEŞENLERİ ... **27**
4.1 Reaktif Bakım ... 27
4.2 Önleyici Bakım ... 27
4.2.1 Önleyici bakım görevleri ... 28
4.2.2 Periyodik durum izleme (Monitoring) ... 28
4.2.2.1 Deneyime dayalı gözlem ... 29
4.2.2.2 Arıza dağılım istatistiklerine göre gözlem ... 29
4.2.2.3 Koruyucu yaklaşım ... 29
4.3 Kestirimci Test Yöntemleri ve Denetleme(PT&I) ... 29
4.3.1 Veri toplama ... 29
4.3.2 Proaktif süreç ... 30

5. ENERJİ İLETİM SİSTEMLERİNDE GÜVENİLİRLİK MERKEZLİ BAKIM UYGULAMASI 33
5.1 Enerji İletim Sistemleri 34
5.1.1 Transformatör alt sistemi 36
5.1.2 Enerji iletim hatları alt sistemi 38
5.1.3 SF6 gazlı kesici alt sistemi 39
5.2 Enerji İletim Sistemi Karar Analizi 39
6. ENERJİ İLETİM SİSTEMLERİNDE GMB UYGULAMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE SONUÇLARI 45
6.1 Enerji İletim Sistemlerinde GMB Uygulamasının Değerlendirilmesi 45
6.2 Sonuçlar 47
KAYNAKLAR 48

KISALTMALAR

GMB **:** Güvenilirlik Merkezli Bakım
RCM **:** Reliability Centered Maintenance
PT&I **:** Predictive Testing and Inspection
KB **:** Kestirimci Bakım
NDT **:** Non-Destructive Testing
FSI **:** Fonksiyonel olarak önemli malzeme
FMEA **:** Failure modes and effects analysis
FTA **:** Fault tree analysis
ÇYG **:** Çok Yüksek Gerilim
AG **:** Alçak Gerilim
YG **:** Yüksek Gerilim
FF **:** Functional Failure
FM : Failure Modes
FE **:** Failure Effects

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Önleyici bakım görevleri[8] 15
Çizelge 3.2 : Güvenilirlik merkezli bakım bilgi formu 24
Çizelge 5.1 : Türkiye elektrik iletim sistemindeki transformatör sayısı ve güçlerinin gerilim düzeylerine göre dağılımı (2007 Yılı Değerleri) [11] 35
Çizelge 5.2 : Türkiye elektrik iletim sistemi enerji iletim hat uzunlukları(km)(2007 yılı değerleri) [11] 35
Çizelge 5.3 : Transformatör ve transformatör merkezleri periyodik bakım süreleri[12] 35
Çizelge 5.4 : SF6 Gazlı Kesicilerde periyodik bakım süreleri[13] 36
Çizelge 5.5 : Transformatör GMB Bilgi Formu 37
Çizelge 5.6 : Enerji iletim hatları GMB bilgi formu 38
Çizelge 5.7 : YG gazlı kesicileri GMB bilgi formu 39
Çizelge 5.8 : Transformatör GMB karar formu 42
Çizelge 5.9 : Enerji iletim hatları GMB karar formu 42
Çizelge 5.10 : SF6 gazlı kesiciler GMB karar formu 43

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Birinci, ikinci ve üçüncü nesil [3] 5
Şekil 2.2 : Kesici kutupları bara bağlantıları ısıl görüntülemesi 10
Şekil 2.3 : Trafo AG çıkışları bara bağlantıları ısıl görüntülemesi..... 11
Şekil 3.1 : Bakım ve bakım bileşenleri..... 14
Şekil 3.2 : P-F eğrisi[1]..... 17
Şekil 3.3 : GMB yöntemi [4] 20
Şekil 3.4 : GMB karar diyagramı [4]..... 26
Şekil 5.1 : Karar ağaç diyagramı[4]..... 41

ELEKTRİK ENERJİ SİSTEMLERİNDE GÜVENİLİRLİK TEMELLİ BAKIM

ÖZET

Endüstriyel tesislerin, teknoloji ve sanayi alanındaki gelişmelerle birlikte günümüz koşullarındaki rekabet ortamında hayatta kalabilmeleri için doğru yönetim süreçlerine gereksinim vardır. Bu süreçler sadece planlama, üretim ve satış açısından değil, aynı zamanda verimli, kaliteli ve istikrarlı üretim için bakım yönetim süreçlerine de önemli yatırımlar yapılmasını gerektirmektedir.

Bakım çalışmalarına yapılan yatırımlar bakım sistemlerinin zaman içerisinde gelişerek daha etkili bakım faaliyetlerinin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Etkin bakım sistemi 1930'lu yıllarda onarıcı bakım yöntemi olarak tanımlanmıştır. Onarıcı bakımın maliyetlerinin fazla olması, periyodik bakım sürecinin gelişmesine yol açmıştır. Periyodik bakımdan sonra kullanılan teknolojinin, arızayı önceden saptama olanağı sunmasıyla kestirimci bakım sisteminin gelişmesine yardımcı olmuştur. Kestirimci bakımın en önemli özelliği kestirimci test ve denetleme (PT&I) yöntemleriyle arıza oluşmadan önce tespit edilebilmesidir.

Bakım yönetim sistemlerinde son gelişmelerden biri de güvenilirlik merkezli bakım sistemleridir. GMB sistemi onarıcı, periyodik ve kestirimci bakım sistemlerinin uygun bir sentezidir.

Bu çalışmada; Güvenilirlik Merkezli Bakım sistemine kadar gelen sürede bakım yöntemleri ve gelişimleri incelenmiş; elektrik enerji iletim sistemlerinde güvenilirlik merkezli bakım uygulaması gerçekleştirilmiştir. TEİAŞ ilgilileri ve kayıtlarından alınan bilgilere göre, iletim sistemi alt sistemlere bölünmüş, arızalar tanımlanmış ve sisteme ilişkin bilgi formu oluşturularak, karar ağaç diyagramını kullanarak karar diyagramları elde edilmiştir. Buna göre elektik iletim sistemleri için bir GMB yönetim programı sağlanmıştır. Ayrıca elektrik iletim sistemlerinde kullanılan ve kullanılabilecek kestirimci test ve denetleme yöntemleri tanımlanmıştır.

RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE FOR ELECTRICAL POWER SYSTEM

SUMMARY

The industrial facilities require appropriate management processes sustainable survival in today's competitive economical conditions and industrial/technological developments. The investment is not only the requirement of process planning, production and sales, but also it is an indispensable need of the maintenance management processes in order to achieve efficient, high- quality and continuous production scheme.

Maintenance investments in industry resulted in improved and more effective maintenance activities. Initial maintenance activities employed 1930s were reactive maintenance actions. High costs of reactive maintenance process were the main reasons of a new concept called periodic maintenance. Following the application of periodic maintenance procedure, a new idea of "estimation of the failure before it's existence" was one of the most important development in maintenance applications. This idea brought a new maintenance procedure known as predictive maintenance. The most important feature of the predictive maintenance process is the methodology used to estimate the failure before it occurs with the predictive testing and inspection tools (PT & I).

One of the latest developments in maintenance systems is the reliability centered maintenance systems, RCM. RCM procedure is the mixture and synthesis of the reactive, periodic and predictive maintenance applications.

In this study, several maintenance procedures up to RCM were first illustrated in a chronological manner together with their advantages and disadvantages. Following the explanation of maintenance procedures, RCM applications in electric power transmission systems were presented. With respect to the information obtained from national power transmission system authority, power transmission system is first divided into sub-systems, failures of these sub-systems were defined together with their prospective reasons and decision tree diagrams of the sub-systems were constructed. Finally RCM management program is developed by deriving the most appropriate maintenance procedures from the decision tree diagrams. In addition, several test and inspection techniques that could be used for predicative maintenance procedure were illustrated.

1. GİRİŞ

İşletmelerin günümüz ekonomisinde birbirleriyle rekabet edebilmesi ve bazı ekonomik dalgalanmalara rağmen ayakta kalabilmesi için doğru yönetim süreçlerine ihtiyaç vardır. Bu sadece idari kesimde veya üretim planlama kısımlarında gerçekleştirilebilecek bir durum değildir. Doğru yönetim süreci içine doğru bakım yaklaşımları da gereklidir.

Mevcut üretim bandının verimliliğini artırmak daha kaliteli, daha kısa zamanda ve daha az kayıpla üretim yapmak çıkarmak bir işletmenin temel hedefidir. Bu da doğru makine, yeterli ve nitelikli eleman ve tabi ki doğru ve verimli bir bakım süreci ile olasıdır.

Bakım sürecinin planlanmasında genel olarak girdilerle (donanım, insan gücü, vb) bakım verimliliği sağlanmış olur. Bakım verimliliğinin çıktılara etkisi maliyet, kalite ve zaman kazancı olmaktadır.

İşletmeler bakım ihtiyaçlarını iki şekilde karşılamaktadırlar. Birincisi işletmenin kendisi tarafından karşılanan bakım faaliyetleri, ikincisi de dışarıdan alınan teknik desteklerle yapılan bakım faaliyetleridir. Bakım ihtiyaçlarını farklı basamaklarla kendi bakım işletme sistemi olmayan, kullanılan donanım için gerekli bakımı üretici firmalardan sağlayan işletmelerde bakım faaliyetlerine ayrılan maddi destek ve zaman daha fazla olabilmektedir. Günümüzde en kısa sürede, en az bedelle bakım sürecini tamamlamak isteyen işletmelere optimum bakım süreçleri gerekmektedir.

Bu bakım süreçlerinden biri de güvenilirlik merkezli bakım yöntemidir.

Bu çalışmada güvenilirlik merkezli bakım yöntemi ve bileşenleri ve bu bakım programının elektrik enerji sistemlerine uygulanması incelenmiştir.

2. BAKIM KAVRAMI VE BAKIM MODELLERİ

2.1 Bakım

Bakımın sözlük tanımına bakacak olursak; bir ekipmanın çalışma durumunun sürekliliğinin sağlanması ve bunun için gerekli prosedürlere uyulmasıdır. Bakım, her türlü alet, ekipman veya cihazın kullanılmaya başladığı tarihten beri gündemdedir. Belirli bir ekipmanı çalışır halde tutmak, arızalanmasını önlemek ve özelliklerini yitirmiş bir ekipmanı tekrar eski haline getirmek için yapılan bütün faaliyetlere bakım adı verilmektedir. Verimin, ucuzluğun, kalitenin, insan ve çevre sağlığının ve global rekabetin öne çıktığı günümüz ekonomik dünyasında bakım endüstri kuruluşları için önemli bir fonksiyon haline gelmiştir [1].

İşletmelerin bakıma önem duymasının başlıca nedenleri;

- Sistemde bulunan bileşenlerin ömrünü uzatır,
- Sistemden kesintisiz yararlanma sağlar,
- Sistemin kesintiye uğramasından doğan kayıpları azaltır,
- İşletme giderlerini azaltır.

Her ne kadar bakım kavramı, insanoğlunun ilk aleti yapmasıyla başlasa da, etkin bakımın tarihsel gelişim süreci 1930'lu yıllardan başlar ve üç nesil şeklinde düşünülebilir. Bu dönem kronolojik olarak İkinci Dünya Savaşına öncesi dönem, savaş sonrası 70'lere kadar uzanan ve 70'lerden günümüze kadar gelen dönemdir [2].

İkinci Dünya savaşına kadar olan dönemde endüstri gelişmemiş ve mekanikleşmemişti. Endüstriyel tesisler ve servisler karmaşık bir yapıda değildi. Bu durum bakım çalışmalarını kolaylaştırıyordu.

İkinci Dünya savaşı sırasında makineleşmenin hızla artması ve bununla birlikte endüstrinin gelişmesi ve işletmelerde arızada geçen sürenin kısalması ve düşük maliyet istemleri bakımın ve bakım türlerinin gelişmesini sağlamıştır [1].

1970 ve sonrasına geldiğimizde, sadece kullanılabilirlik ve maliyetle kalmayıp güvenilirlik, çevreye duyarlılık, yüksek güvenlik, uzun malzeme ömrü ve minimum maliyet önem kazanmıştır [1].

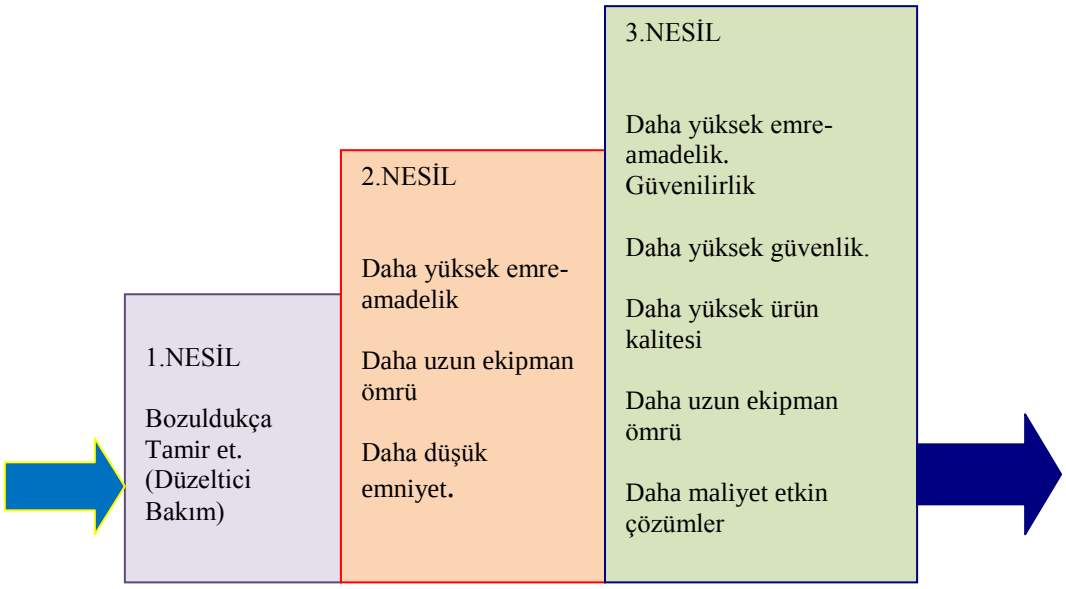
Kullandığımız veya endüstride kullanılan her cihazın veya sistemin tasarım aşamasında belirlenen bir çalışma ömrü veya bakım aralığı vardır. Örneğin, dizel motorda yağın değişmesi, V kayışın değişmesi, bazı ayarların yapılması vb. işlemler, motorun tasarım süreçlerinde belirlenmiş işlemlerdir. Fakat tüm planlanan bakım işlemleri yapılsa bile bazen, kullanım ömürleri beklenenden daha az olabilir. Burada önemli olan, öngörülen ömre erişmek için neler yapılması gerektiğinin belirlenmesidir.

Bu konuda gerekli çalışmaların yapılabilmesi için her alanda deneyim ve bilgi sahibi kişilere ihtiyaç vardır. Bu da bakımın başlı başına bir bilim dalı olduğunun bir göstergesidir. Diğer yandan bakımı bir sanat dalı olarak da görebiliriz ve dolayısıyla bu sanat dalının da belirli bir gelişim sürecinden geçtiğini de göz ardı etmemeliyiz.

2.2 Bakımın Evrim Süreci

Geçmiş 50 yıl içinde bakım ve teknikleri gelişen teknoloji ile birlikte gelişim göstermiştir.

Bu süreç 1930'lara kadar dayanmaktadır. Günümüze kadar uzanan bakım türlerini Şekil 2.1' de görüldüğü gibi 3 ana sınıfa ayırabiliriz.



Şekil 2.1 : Birinci, ikinci ve üçüncü nesil [3]

2.2.1 Birinci nesil bakım

Birinci nesil bakım yöntemi olarak da bilinen düzeltici onarıcı bakım "arızalandığında onar" prensibine dayanılarak yapılan reaktif en ilkel bakım yöntemidir. II. Dünya Savaşına kadar olan zaman diliminde uygulanmıştır. Bu dönem endüstride, makineleşme henüz fazla yaygın olmadığı için bakım, endüstri açısından fazlaca önemli bir işlev teşkil etmiyordu [1]. Arızaya neden olan bileşenler veya malzemeler genelde basit yapıda olduklarından değişimleri veya tekrar yapılmaları zaman veya ekonomik açıdan ciddi sorunlara ve kayıplara yol açmıyordu. Bu nedenle arıza olana dek sistemin veya bileşenin bakıma sokulması gerekmiyordu. Bakım arıza gerçekleştikten sonra yapılmaktaydı. Fakat arıza çıktığında maliyet, zaman ve üretim kayıpları büyük olabilmekteydi. Bu birinci nesil bakım en düşük düzey bakım sistemi olarak bilinmektedir. Bu tip bir düzeltici bakım sistemi uygulayan tesislerin özellikle kritik parçalar olmak üzere büyük bir yedek parça stoğuna gerek vardı [1].

Düzeltici/onarıcı bakım yöntemi maliyet açısından en kötü (yüksek) yöntem olmasında karşın, geçmiş uygulamalarda en yaygın olarak tercih edilmiş ve halen günümüzde bile en yaygın olarak kullanılan bakım yöntemidir.

Düzeltici bakımın sakınca ve üstünlüklerini özetleyecek olursak;

Üstünlükleri;

- Düşük maliyet (1930'lu yılların teknolojisi için geçerlidir.)
- Az insan gücü gereksinimi

Sakıncaları;

- Beklenmedik anda meydana gelen arızanın getirdiği mali kaybın yüksekliği
- Plansız arızanın neden olduğu iş gücü kaybı,
- Plansız arızanın neden olduğu başka arızalar,
- Zaman kaybı,
- Değişim veya onarım bedeli,

Amerika Birleşik Devletlerinde, geçen 50 yıl içinde gelişen bakım yöntemleri sayesinde, tasarım sürecinde belirlenen çalışma ömrü düzeyine yaklaşılmıştır. Bakım yöntemleri arasında en ilkel olan "Onarıcı bakımı" bir yana bırakacak olursak, bu düzeye arıza olmadan bakım yapılmasını sağlayan yöntemler sayesinde ulaşılmıştır.

Diğer bakım yöntemleri;

- Önleyici bakım
- Kestirimci bakım
- Güvenilirlik merkezli bakım

2.2.2 İkinci nesil bakım

II. Dünya Savaşı süresince insan gücünün azalması, mekanikleşmeyi hızlandıran bir etken olmuştur. Endüstriyel faaliyetlerde makineleşme hızla artmış ve 1950'lerde karmaşık makineler endüstride yerlerini almışlardır. Makineleşme sonucu endüstrideki gelişim, büyük bir ivme kazanmıştır. Bu nedenle ortaya çıkan her arıza önemli olumsuzluklara yol açmaya başlamış ve dolayısıyla daha büyük bir problem olarak görülmeye başlanmıştır. Sistemin ve kullanılan her parçanın daha uzun ömürlü olması, ekonomik olması ve daha yoğun üretim sağlayabilmesi önem kazanmıştır. Bu nedenle mümkün olduğu kadar arıza oluşumunu önleme yoluna gidilmiştir. Bu da önleyici bakım (preventive maintenance) yönteminin ortaya çıkmasına yol açmıştır [1, 3].

2.2.2.1 Önleyici bakım

Cihazların ve sistemlerin, üretici firmalarının öngördüğü aralıklarla, öngörülen şekilde yapılan periyodik, bir arıza oluşumunu engelleyen (geciktiren) koruyucu bakım işlemidir. Test, ölçme, ayarlama, parça değiştirme gibi faaliyetlerin genel adı olarak da bilinir. Önleyici (periyodik) bakımın, birinci nesil, onarıcı bakımdan, en büyük farkı bakım yapmak için arıza olmasının beklenmesine gerek olmamasıdır. En önemli planlama ve bakımın planlı yapılmasıdır [1].

- Tahribatsız deneyler; Non Destructive Testing - NDT testi, en basit tanımıyla, test yapılacak olan parçanın yapısına zarar vermeden yapılan muayene türüdür [3, 4].

  NDT imalat esnasında, imalat sonrası, ürünün kullanımı esnasında ve araştırma geliştirme faaliyetlerinde test amaçlı kullanılmaktadır. Bütün bu kullanım alanları sayesinde NDT sürekli gelişmekte olan vazgeçilmez bir kontrol aracıdır.
- Periyodik kontrol; üretici firma tarafından ekipman için belirlenmiş planlı bakım faaliyetlerinin tümüdür.
- Önceden planlanmış bakım etkinlikleri; sistem için planlanmış bakım faaliyetleridir.

Önleyici bakıma ihtiyaç duyulmasının başlıca nedenleri;

- Artan otomasyon
- Üretim aksaması/gecikmesinden doğan ticari kayıp ve dolayısıyla zamanında üretim gereksinimi
- Daha yüksek kaliteli ürün talebi
- Gereksiz ekipmanın azaltılma isteği
- Enerji tüketiminin en aza indirilme isteği
- Daha organize ve planlı bir ortam gereksinimi
- Uzun ömürlü sistem talebi

5000 km veya 10000 km'de veya ayda bir araba yağının değiştirilmesi tipik bir önleyici bakım işlemidir.

Önleyici bakım, onarıcı bakıma göre malzeme ve sistem ömrünün tahminlere daha yakın değerde de olmasını sağlayabilme açısından daha optimum bir bakım yöntemi olarak düşünülür.

Üstünlükleri:

- Malzeme veya sistem ömrünün uzaması
- Enerjide ve zamanda kazanç sağlaması
- Ekipmana veya sisteme bağlı arızaların azalması
- Kesintisiz üretime olanak sağlaması
- Onarıcı bakıma nazaran %12 ile %18 oranında kar getirmesi

Sakıncaları:

- Beklenmedik arızalar meydana geldiğinde onarıcı bakıma gerek duyulması
- Planlı ve yoğun çalışma gerektirmesi
- Gereksiz ekipmanın bakımının da yapılma olasılığı ve bu durumda, zaman kaybı, insan gücü kaybı ve para kaybı olması.

2.2.3 Üçüncü nesil bakım

1970'lerin ortasında başlayıp günümüze kadar gelen süreçte yüksek bir ivmeyle gelişen endüstriyel faaliyetler ve üretim işlemindeki aşamalar üretim faaliyetlerinde oluşabilecek aksamaların üretimde aksamalarına ve büyük oranda maddi kayıplara yol açmasını getirmiştir [2]. Bu nedenle endüstrideki yatırımların önemli bir payı, bakım çalışmalarına yatırılmaya başlanmış ve sonuçta endüstrideki gelişmelere paralel olarak bakım teknikleri ve bakım yöntemlerinde de gelişmeler ortaya çıkmıştır.

Bakım tekniklerinin gelişmesine bağlı olarak güvenilirlik ve kullanılabilirlik önemli olmaya başlamıştır. Teknolojinin gelişmesi ve artan üretim faaliyetleri oluşan her hatanın çevresel ve güvenlik açısından ciddi sonuçların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bunların önlenebilmesi veya en azından en düşük düzeylere çekilebilmesi için, bakım faaliyetlerine yapılan harcamalar artık birinci öncelikli hale gelmiştir.

Üçüncü nesil bakımının özelliklerini özetleyecek olursak [1, 5];

- En üst düzeyde güvenilirlik ve kullanılabilirlik
- Yüksek güvenlik
- Kaliteli ürün
- Çevreye duyarlı üretim tesisi
- Dayanıklı süreç elemanları
- Karda fayda

2.2.3.1 Kestirimci bakım

Üçüncü nesil bakım sınıfında kestirimci bakım önemli rol oynamaktadır. Proaktif bir bakım yöntemidir. Kestirimci bakım; çeşitli ölçme ve gözlemlerle, arıza meydana gelmesi olası ekipmanın saptanarak, arıza olmadan önce, gerekli anda bakımın yapılması yöntemidir. Kestirimci bakımı önleyici bakımdan ayıran özellik, önleyici bakımın belli zaman dilimleri içinde yapılması, kestirimci bakımın ise, ölçme, gözlem ve değerlendirmeler sonucunda belirlenecek zamanda yapılması ve dolayısıyla daha gerçekçi olmasıdır [1, 5].

Önleyici bakım için kullandığımız araba yağının değiştirilmesi örneğine geri dönersek, yağın belli test ve ölçümlerden geçirilerek 5000 km, 10000 km veya 6 ayda bir değil de, kirlendiği belirlendiği anda değiştirilmesi kestirimci bakımdır. Kestirimci bakımın en önemli aşamalarından biri, sistemin veya donanımın performansındaki sapmayı görme olanağı sağlayan ölçme ve gözlemlerin belirlenmesidir.

Kestirimci bakım yöntemleri

Kestirimci bakım için birçok değişik yöntem geliştirilmiştir. Bunlar arasında önemli olanları aşağıda verilmiştir [1, 5].

Titreşim analizi: Hareketli ve döner parçalarda arızalarının önceden fark edilebilmesi için yapılır.

- Mekanik arızalar saptanır.
- Beklenmeyen duruşlar önlenerek üretkenlik artırılır.
- Portatif veya on-line sürekli izleme sistemleri ile uygulanır.

Yağ analizi: Bu teknikte makine yağı analizi yapılmakta, içindeki çok küçük parçacıklara bakılmakta, böylece mil yataklarının, dişlilerin vs. hakkında bilgi edinilmeye çalışılmaktadır.

- Arızalar nedeni ile oluşan sürtünmeler yağa yabancı parçacıkların karışmasına neden olur. Bunların belirlenmesi arıza uyarısı olarak kullanılır.
- Yağ değişimi, analizlere göre gerektikçe yapılır. Yağ tüketimi azalır.
- Yağın kimyasındaki değişim izlenir.
- Viskosite ölçüm ve Parçacık Sayımı yapılır
- Yağ içindeki kesif yabancı parçacık ve su belirlenir

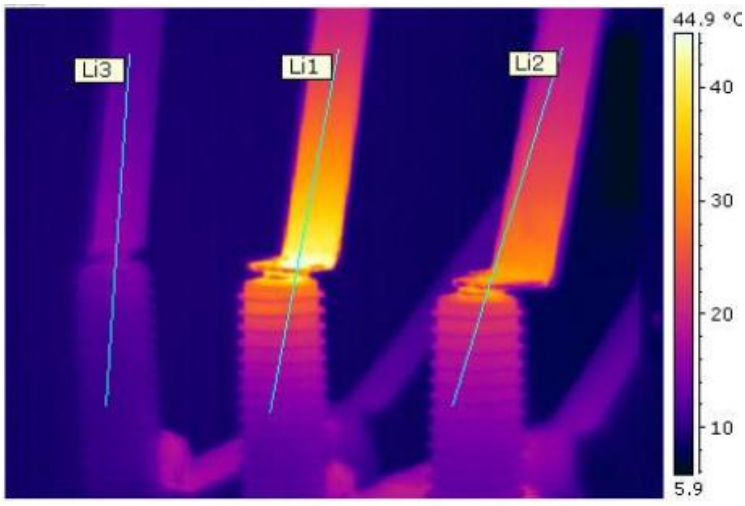
Parçacık analizi: Aşınmış makine parçaları, bulundukları ortama küçük parçacıklar dağıtırlar. Bu parçacıkların toplanması ve incelenmesi ekipman ve süreç hakkında önemli bilgiler vermektedir.

Ultrasonik testler: Ultrason kalınlık ölçümleri vasıtasıyla, borularda, tanklarda ve süreç ekipmanlarındaki paslanma kaynaklı aşınmalar belirlenmektedir.

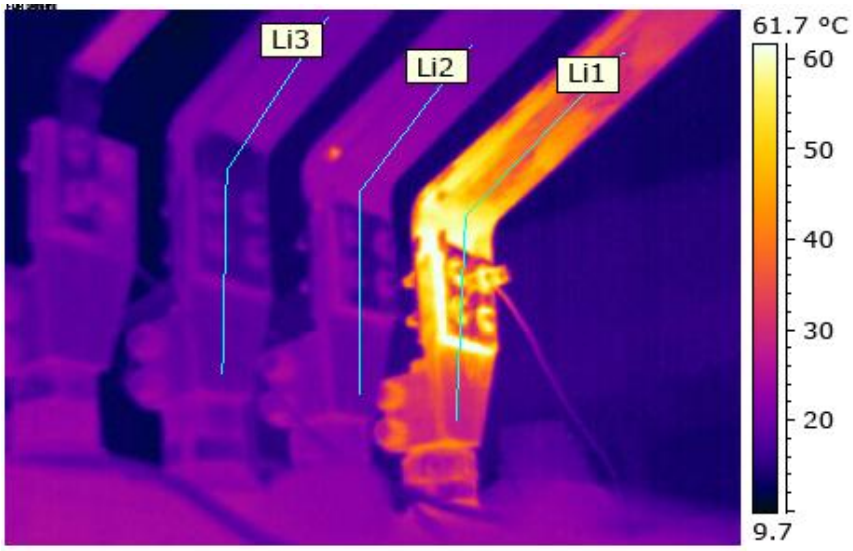
- Borularda ve kaplarda basınçlı hava kaçaklarının belirlenmesi
- Vanaların çalışma testi
- Buhar kapanları çalışma testi
- Dönen ekipmanlarda kontroller yapılır.
- Rulman yağlama durumu
- Elektriksel sistemlerde ark-korona, dinlenebilir.

Termografi: Isıl etkilerin izlenmesi; elektriksel uygulamalarda kullanım alanı yüksek olan bir yöntemdir. Elektrik sistemlerinde kızılötesi termografi, kullanılan bir yöntemdir.

- Makina sağlığını tahribatsız ölçümle görmenizi sağlar
- Mekanik sürtünme kaynakları belirlenir
- Elektriksel direnç noktaları belirlenir
- Isı kaçak ve yalıtım sorunları belirlenir



Şekil 2.2 : Kesici kutupları bara bağlantıları ısıl görüntülemesi



Şekil 2.3 : Trafo AG çıkışları bara bağlantıları ısıl görüntülemesi

Elektriksel etkilerin izlenmesi: Elektriksel durum izleme yöntemlerinde güç faktörü izlenmesi, şalter açma/kapama süreleri, meger ölçümleri ve kısmi boşalma ölçümleri bunlardan bazılarıdır.

Performans izlenmesi: Bu yöntem ekipmanlardaki işletme problemlerini belirlemek amacıyla kullanılır. Makinanın performansı ölçülebildiği takdirde bu performans verileri makinenin iç durumu hakkında önemli bilgiler verebilmektedir.

Ölçme ve gözlemler kestirimci bakım teknikleri açısından önemlidir. Elde edilen ölçme ve gözlem sonuçları doğru değerlendirilerek buna bağlı doğru bakım planlamaların yapılması gerekmektedir. Aksi halde elde edilen ölçme ve değerlendirme sonuçları sadece arşiv oluşturma dışında bir işe yaramaz.

Kestirimci bakımın diğer yöntemlere göre üstünlükleri:

- Önleyici bakıma göre %12 ile %18 arasında daha kazançlıdır.
- Ürün kalitesinde artış sağlar.
- Bakıma ayrılan zamanın kısalmasını sağlamaktadır.
- Çevre ve işgücü sağlığına katkısı vardır.
- Malzeme veya sistem tabanlı arızalarda azalma meydana gelir.
- Beklenmedik arıza oluşumunu neredeyse tamamen ortadan kalkmasını sağlamaktadır.

Üç ana başlık altında incelenmiş olan bakım yöntemleri içinde üçüncü nesle bir yenisi daha eklenmiştir. Yeni bakım yönetim faaliyetleri onarıcı bakım, önleyici bakım ve kestirimci bakımı kapsayan güvenilirlik merkezli bakım sistemidir.

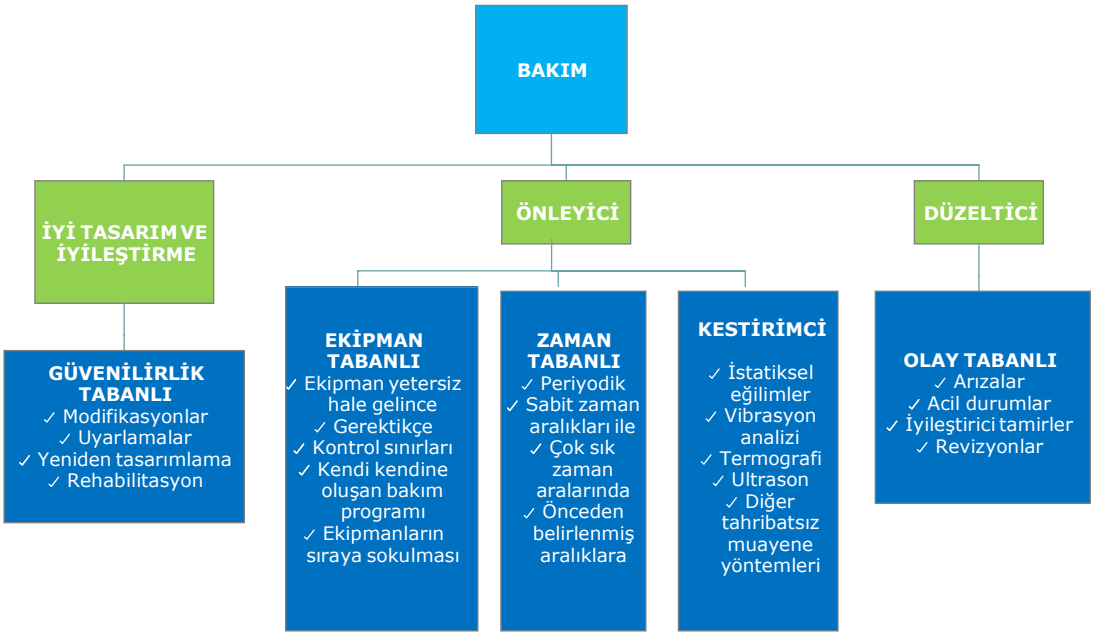
3. GÜVENİLİRLİK MERKEZLİ BAKIM

Bakım, fiziksel sistemlerin onlardan bekleneni zamanında ve işletmeye uygun bir şekilde yapıyor olmasını sağlamak olarak da tanımlanabilir. Güvenilirlik merkezli bakım (GMB), fiziksel sistemlerin onlardan isteneni zamanında ve işletmeye uygun bir şekilde yapıyor olmasını sağlayacak süreçlere karar verip uygulamaktır [6].

Güvenilirlik merkezli bakım yöntemi, diğer bakım süreçlerinden farklı olarak süreç temelli değil, malzeme tabanlıdır. Yani, her donanımın süreç içinde önemi ve yeri farklıdır ve GMB için bu husus önemlidir. Bu nedenle GMB süreç yöntemi uygulanması aşamasında süreç işlemi sırasında işleyiş açısından öncelikli olarak yüksek derece güvenilirlik gerektiren kısımların KB yöntemi ile bakım sürecine sokulması gerekmektedir. Edinimi kolay, maliyeti düşük ve süreç işleyişinde sistem güvenilirliğini etkilemeyen elemanların bakım yöntemi için reaktif bakım (onarıcı bakım) süreci uygulamak maliyet açısından daha uygun olacaktır.

Genel olarak GMB süreci, şuana kadar bahsedilmiş olan diğer üç bakım sürecinin doğru bir planlama strateji çerçevesinde yaklaşık olarak aşağıdaki oranlarda kullanılmasıyla meydana gelmektedir [5].

- <%10 Reaktif (Onarıcı bakım)
- %25 ile %35 arası Önleyici
- %45 ile %55 arası Kestirimci.



Şekil 3.1 : Bakım ve bakım bileşenleri

3.1 Güvenilirlik Merkezli Bakım Süreci

Güvenilirlik Merkezli Bakım (GMB) ilk olarak 1960'lı yılların sonlarında ticari havacılık endüstrisi için geliştirilmiş, günümüzde ispatlanmış ve kabul edilmiş bir metodoloji olup bir çok endüstri dalında kullanılmaktadır. Bakım programının içeriği iki görev grubundan meydana gelir.

3.1.1 Önleyici bakım görevleri grubu

Periyodik bakımlar dışında sistemde oluşan arıza durumlara göre belirlenen tüm görevler önleyici bakım görevleri grubundadır. Bu görevlerin hedefi iç emniyet ve güvenilirlik seviyelerinden daha aşağıya kadar giden bozulmaları tespit etmek ve önlemektir. Bu işlem aşağıdaki yöntemlerden biri veya bir kaçı kullanılarak yapılır.

Çizelge 3.1 : Önleyici bakım görevleri[8]

Görev	Uygulama	Etkinlik Kriterleri		
		Emniyet	İşletme	Doğrudan Maliyet
Yağlama/Servis	Sarf malzemenin yenilenmesi halinde fonksiyonel bozulma oranı azalacaktır.	Görev arıza riskini azaltır.	Görev arıza riskini kabul edilebilir bir seviyeye kadar azaltır.	Görev maliyet etkindir.
İşletme/Görsel/ Otomatik kontrol	Arızanın tespiti mümkün olacaktır.	Görev, çoklu arıza riskini azaltmak için saklı fonksiyonun yeterli derecede elverişliliğe sahip olmasını sağlar.	Uygulanamaz	Görev, ekonomik etkileri önlemek üzere çoklu arıza riskini azaltmak için saklı fonksiyonun yeterli derecede elverişliliğe sahip olmasını sağlar ve maliyet etkindir.
Muayene / Fonksiyonel kontrol/ Durum izleme	Arızaya direnci azalması tespit edilebilecek ve arızaya direncin azalma oranı tahmin edilebilecektir.	Görev, emniyetli işletmeyi sağlayacak şekilde arıza riskini azaltır.	Görev arıza riskini kabul edilebilir bir seviyeye kadar azaltır.	Görev maliyet etkindir; yani görevin maliyeti engellenen arızanın maliyetinden azdır.
Düzeltme Malzeme, tespit edilebilir bir yaşta fonksiyonel bozulma göstermeye başlar ve birimlerin çoğu bu yaşa kadar sağlam kalır.	Malzemeyi belirli bir standartta ki arızaya dayanıklılık seviyesine döndürmek mümkündür.	Görev, emniyetli işletmeyi sağlayacak şekilde arıza riskini azaltır	Görev arıza riskini kabul edilebilir bir seviyeye kadar azaltır.	Görev maliyet etkindir; yani görevin maliyeti engellenen arızanın maliyetinden azdır.
Elden çıkarma	Malzeme, tespit edilebilir bir yaşta fonksiyonel bozulma göstermeye başlar ve birimlerin çoğu bu yaşa kadar sağlam kalır.	Emniyet limiti, Emniyetli işletmeyi sağlayacak şekilde arıza riskini azaltır.	Görev arıza riskini kabul edilebilir bir seviyeye kadar azaltır	Ekonomik ömür limiti maliyet etkindir; yani görevin maliyeti engellenen arızaların maliyetinden azdır

GMB analizi ile belirlenen görevler bu grupta yer alan görevlerdir, yani GMB temelli önleyici bakım programını oluşturan bu gruptur.

3.1.2 Plansız bakım görevleri grubu

Bu ikinci grup görevlerin amacı, ekipmanın veya sistemin görevlerini tam yerine getirebilmesinin sürekliliğini sağlayabilmektir [7].

Etkin bir program sadece belirtilen hedeflere ulaşmak için gerekli görevleri planlayan programdır. Bu da aşağıda belirtilen maddeler doğru ve zamanında yapıldığında bir anlam kazanmaktadır.

- Belirli zaman veya kullanım aralıklarında yapılan planlı görevlerden gelen bulgular,
- Arıza raporları veya olması yakın arızalara ilişkin göstergeler (otomatik saptama dahil).

Bakım maliyetlerini arttırdığı halde iç güvenilirlik seviyesinin korunmasında aynı ölçüde artış getirmeyen ilave görevleri planlamaz.

Tecrübe açıkça göstermiştir ki uygun olmayan veya gereksiz olan bakım görevleri yapıldığında, bakım personelinin sebep olduğu arıza sayısında artış olduğundan güvenilirlik azalmaktadır.

Güvenilirlik merkezli bakım (GMB); genel emniyet, yararlanılabilirlik ve işletme ekonomisinin iyileştirilmesini amaçlayan, donanım/sistem ve yapılar için gerekli emniyet ve yararlanabilirlik seviyelerine erişilmesinde etkili ve verimli bir şekilde sağlayacak bir önleyici bakım programı kurulması metodudur.

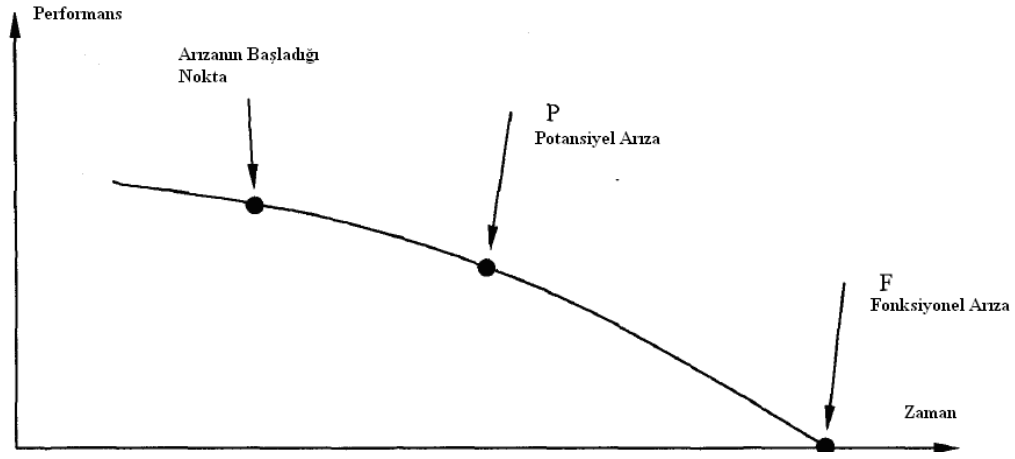
GMB, bir ekipmanın çalışma ömrü ve kayıpları göz önünde bulundurularak, bakım ücretlerini en aza indirmek için geliştirilmiştir. Bu süreç kapsamında, ekipmanın tamiri yanında, ekipmanın arızalanması durumunda parçanın değiştirilmesi de söz konusudur. Burada olası maliyetlerin doğru hesabı önem kazanmaktadır. GMB burada devreye girmekte ve yönetim kabul etmese bile bir bakım faaliyetinin maliyeti ile arızanın oluşması sonucu oluşacak maliyetleri karşılaştırarak, doğru işlemin yapılması kararına varmaktır.

3.1.3 P-F eğrileri

GMB yönetim sisteminde arızanın oluşmadan fark edilebilmesi için kullanılan yöntemlerden biri de P-F eğrilerinin incelenmesidir [1].

Meydana gelebilecek arızalar parçanın veya donanımın yaşlanmasına bağlı değildir. Çoğunlukla başka nedenlerden de arıza veya hataların ortaya çıkması olası durumlardır. Bunun fark edilmesini sağlayan sağlam kanılar varsa, hatanın oluşmasını engellemek veya en aza indirgeyebilmek elimizdedir.

Arıza gelişiminin gösterildiği, Şekil 3.2. P-F eğrisi olarak adlandırılmaktadır. Hatanın fark edildiği an P noktası olarak eğride gösterilmiştir. Hatanın oluşması engellenmediği durumda, hatanın oluştuğu an ise F noktası olarak gösterilmiştir. Bakım periyotlarının temel amacı P-F eğrilerinin aralığını uzatmaya çalışmaktır. Bir arızanın meydana gelme olasılığı ne kadar önce fark edilebilirse, oluşabilecek hataya ilişkin yapılacak çalışmanın analizleri daha doğru sonuçlar verecektir. Buna bağlı olarak belirlenen bakım faaliyeti optimum olacaktır. P-F aralığının tespit edilmesi, bazı durumlarda düzenli bakım faaliyetlerinin sürelerinin uzatılmasına ve hatta kaldırılmasına yol açacaktır [1].



Şekil 3.2 : P-F eğrisi[1]

3.2 GMB Metodolojisi

Reaktif bakım uygulaması yanında GMB sürecinin planlanması hiç de kolay olmayan bir gelişim süreci gerektirmektedir. Bunları sıralayacak olursak; [1, 6, 8]

- Sistem ve/veya alt sistem sınırlarının tanımlanması,
- Her sistemin veya alt sistemin fonksiyonlarının tanımlanması,
- Fonksiyonel olarak önemli (FSI) malzemelerin belirlenmesi,
- İlgili FSI fonksiyonel arıza nedenlerinin saptanması,
- Bu arızaların etkilerinin ve oluşma olasılıklarının tahmini,
- FSI arıza etkilerini sınıflandırmak üzere bir karar mantık ağacının kullanılması,

- Başlangıç bakım programını oluşturacak uygulanabilir ve etkili bakım görevlerinin belirlenmesi,
- Uygulanabilir görevlerin belirlenememesi halinde ekipmanın ve prosedürlerin yeniden tasarlanması,
- Başlangıç bakım programının ve bunun revizyonlarının rutin ve sistematik güncelleştirmesinden oluşan ve servis içi izleme, veri toplama ve analiz işlemleriyle desteklenen bir dinamik bakım programının kurulması.

Bütün görevler insan ve çevre açısından güvenliğe dayalı olmalı, aynı zamanda işletme ve ekonomik hususları dikkate almalıdır. Ancak, dikkate alınacak kriterlerin ürünün ve uygulamanın özelliğine bağlı olduğu unutulmamalıdır. Örneğin, bir üretim sürecinin ekonomik olarak verimli olması ve çok sıkı çevre şartlarına uyması beklenebilir, fakat bir savunma ekipmanının işletme açısından başarılı olması gerekirse de emniyet, ekonomik ve çevre kriterleri daha gevşek olabilir. Dolayısıyla, özel adımların önemi, örneğin fonksiyonel olarak önemli malzemelerin tanımı gibi, uygulamaya bağlı olacaktır. Başarılı güvenilirlik merkezli bakım (GMB) uygulaması ürünün ve fonksiyonlarının analizlerine bağlı olacaktır.

GMB işlemi yüksek insan emeği gerektiren ve dolayısıyla yüksek maliyetli bir işlem olabilir. Bundan dolayı, GMB sadece ürünün güvenliği ve etkili işletmesi için bakımın kritik olduğu ve arızaların güvenlik, çevre ve işletme açısından ciddi sonuçlar doğurduğu yerlerde kullanılan bir tekniktir. Bundan dolayı, GMB kullanımı ürüne ve ürünün uygulamasına bağlıdır, fakat proje gereklerine göre her hangi bir büyüklükteki bir üretim organizasyonu tarafından da kullanılabilir [7].

Yukarıdaki adımların uygulamasını 3 ana grubu,

- Açıklama (ilk 3 madde),
- Analiz et (sonraki 3 madde),
- Uygula (son 3 madde),

olarak tanımlayabiliriz.

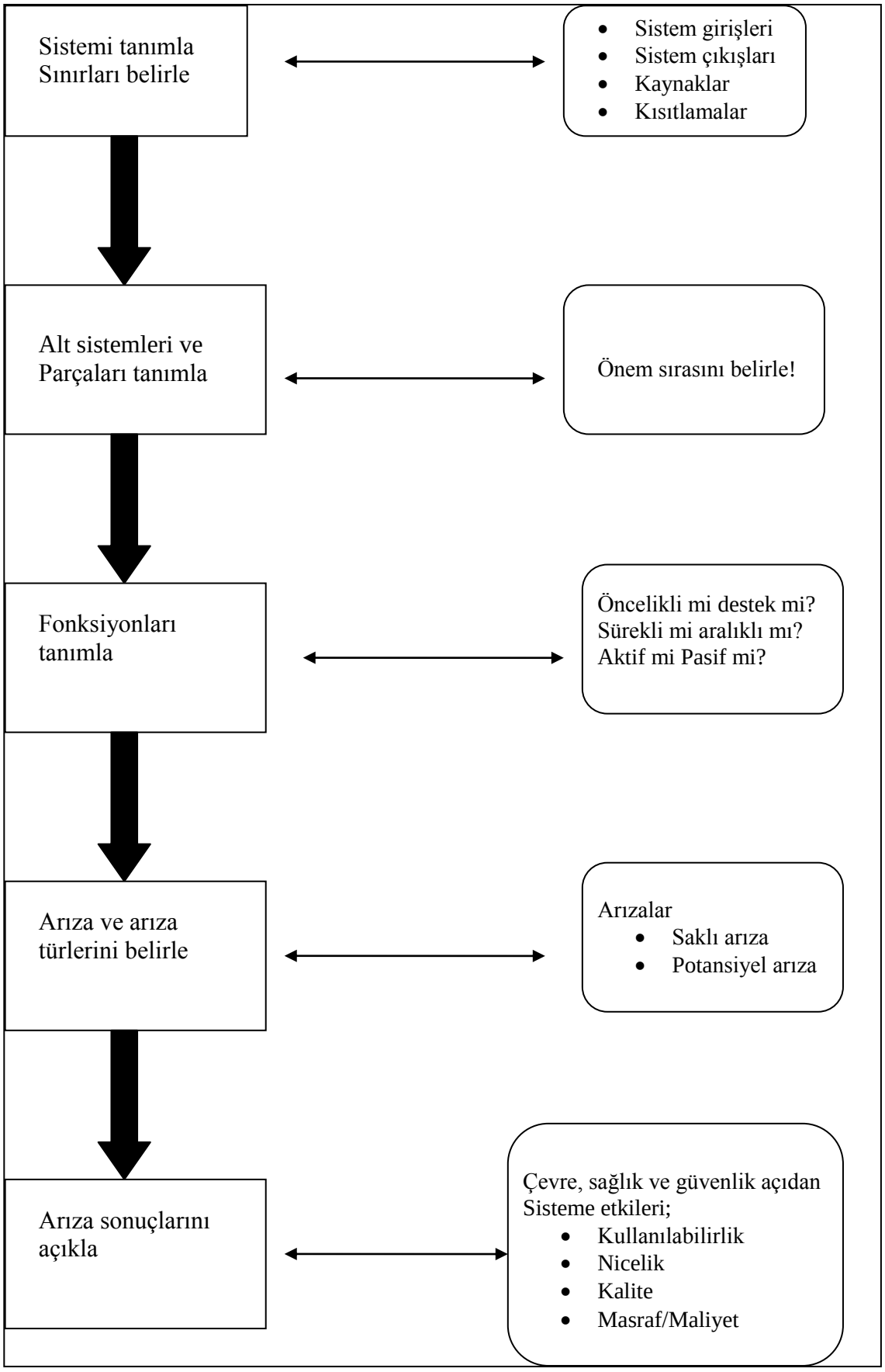
Şekil 3.3.'de açıklama ve analiz et olarak belirlenen adımların genel tarifi verilmiştir.

3.2.1 İşletme fonksiyonları

Çalışma grubu ayarlanması;

GMB için doğru uygulamaların yapılabilmesi için bu amaca yönelik çalışacak bir çalışma grubunun oluşturulması gereklidir. Böyle bir grubun zorunluluğu, farklı birimlerden gelecek görüşlere gerek duyulabilecek olmasıdır. Oluşturacak grup 4 veya 5 kişilik olmalıdır. Daha kalabalık grup karışıklığa yol açar. Grup içinde en az bir bakım personelinin bulunması doğru bir yaklaşımdır [7].

Grubun öncelikli amacı uygulanabilir bir sürecin planlanması ve uygulanmasını sağlamaktır.



Şekil 3.3 : GMB yöntemi [4]

3.2.2 Analiz edilecek sistemin belirlenmesi

Oluşturulan grubun öncelikli hedefi GMB uygulaması yapılacak sistem seviyelerinin (parça, sistem, alt sistem, donanım vb.) belirlenmesidir.

Bu görevin amacı, donanımın güvenliğine, elverişliliğine veya ekonomisine olan katkısının büyüklüğünden dolayı GMB programına dahil edilecek sistemlerin seçilmesi ve önceliklerinin belirlenmesidir. Sistemlerin seçilmesi ve önceliklerinin belirlenmesi için kullanılan metotlar aşağıdaki göre ayrılabilir [7]:

- Geçmişe ve kollektif mühendislik düşüncesine dayalı niteliksel metotlar,
- Kritiklik sıralaması, emniyet faktörleri, arıza ihtimali, ömür döngüsü maliyeti gibi niceliksel kriterlere dayalı niceliksel metotlar. Bunlar sistem bozulmasının teçhizat emniyeti, performans ve maliyetleri üzerindeki önemini değerlendirmek için kullanılır. Uygun modeller ve veri bankaları mevcut olduğunda bu yaklaşımın uygulanması kolaylaşır.
- Niteliksel ve niceliksel metotların kombinasyonu.

Bu görevin sonucu kritiklik sıralamasına sokulmuş sistemler listesidir. Sistemler; metotlarla, kullanılan kriterlerle ve sonuçlarla birlikte belgelendirilmelidir.

Ekipmanların veya alt sistemlerin belirlenmesinden sonra bunlara ait sınır değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu sınır değerler bazı yeni malzemelerinde bakım sürecine girmesine sebep olabilmektedir. Bu sebeple ekipman veya sistem sınır değerleri bakım sürecinin planlanmasında dikkat edilmesi gereken noktalardan biridir.

Analiz edilecek sistem belirlendikten sonraki adım, tanımlama kısmıdır. Tanımlamadan kasıt analiz edilecek olan sistemin teknik dökümanların toplanması, fonksiyonların tanımlanması, karşılaşılabilecek fonksiyonel arızaların ve sıklıklarının belirlenmesi ve bunları açıklayan verilerin doğru bir şekilde toplanıp arşivlenmesidir.

Ayrıca analiz edilecek sisteme ait blok diyagramlar, elektriksel şemalar, malzeme ömür bilgileri, çevreye etkileri, kullanım kılavuzu, malzeme geçmişi de tanımlama için gerekli diğer unsurlardır.

Seçilen GMB içinde kullanılacak malzeme önemlidir, sistemde öncelikli öneme sahip olmalı ve yatırıma katkısı olmalıdır.

3.2.3 Fonksiyonları tanımla

GMB programının amacı sürecin sürekliliğinin devamını sağlamaktır. Bu da süreci oluşturan fonksiyonların iyi tanımlanması sayesinde olacaktır.

- Birincil öncelikli fonksiyonlar, yapılması gereken ana faaliyetleri içermektedir. Performans standartlarını da bu temel fonksiyonlar etkilemektedir. Sistemin hızı, işin hacmi ve stok durumunu belirleyen de bu temel fonksiyonlardır.
- İkincil fonksiyonlar, sistemin varlığının ortaya çıkardığı sonuçlardır. Bunları tanımlayacak olursak çevresel duyarlılık, güvenlik, yapısal güvenlik, görünüm vs.

Fonksiyon tanımına örnek verecek olursak, bir fabrikada bulunan su pompasının görevi su taşımak diyerek fonksiyonun özetlenmesi yeterli değildir. Su pompasının fonksiyonları ne kadar suyu, ne kadar basınçla ve ne kadar verimle taşımasını vb. tanımların yapılması anlamına gelmelidir.

3.2.4 Fonksiyonel olarak önemli malzeme (FSI)

Fonksiyonel arıza analizi saptanan ve arızaları aşağıdaki özelliklerin birine veya birden fazlasına sahip olan malzemedir [7].

- Güvenlik etkileyebilir,
- Süreç esnasında tespit edilemez,
- Önemli işletme etkisi olabilir,
- Önemli ekonomik etkisi olabilir.

3.2.5 Fonksiyonel arızaların tanımlanması

GMB programının amacı süreç sürekliliğinin devamını sağlamaktır. Bu da süreci oluşturan fonksiyonların iyi tanımlanması sayesinde olabilecektir [7].

- Fonksiyon tamamen kaybolması
- Fonksiyonun istenilen sınırların dışında çalışmaması (üzerinde veya altında)
- Fonksiyondan istenenden farklı çalışması

Çalışma durumları fonksiyonel arızalara tanım olarak gösterilebilir.

Bir FSI listesi hazırlandıktan sonra, arıza türler ve etkileri analizi (FMEA) (IEC 60812) gibi bir yöntem kullanılarak aşağıdaki bilgiler saptanmalıdır. Bu bilgiler her

bir FSI'nın karar ağacı değerlendirmesi için gereklidir. Aşağıdaki örneklerde soğutma suyu akışı sağlayan bir pompanın arızasına atıf yapılmaktadır [7]:

- Fonksiyon: malzemenin normal karakteristik çalışması (örneğin; ısı eşanjörüne 100 l/s ila 200 l/s debide soğutma suyu sağlamak),
- Fonksiyonel arıza**:** malzeme fonksiyonunu yerine getirememektedir (örneğin; pompa gerekli akışı sağlayamamaktadır),
- Arızanın nedeni: fonksiyonel arıza neden meydana gelir (örneğin; rulman arızası),
- Arızanın etkisi**:** her fonksiyonel arızanın derhal görünen etkisi ve daha geniş kapsamlı sonuçları nelerdir (örneğin; yetersiz soğutma aşırı ısınmaya ve sistemin arızalanmasına sebep olur).

FSI arıza analizi fonksiyonel arızaları ve arıza nedenlerini belirlemek için kullanılır. Tespit edilememiş üretim hataları, normal olarak beklenmeyen arıza mekanizmaları ve beklenmeyen dış olaylar gibi nedenlerden kaynaklanan normal olmayan arızaların dikkate alındığı kaydedilmeli ve bunlara yol açacak nedenlerin neden normal olarak beklenmediği belirtilmelidir.

Her bir FSI 'ya karar mantık ağacını uygulamadan önce ön çalışma tabloları hazırlanmalı, bu tablolarda FSI; fonksiyonları, fonksiyonel arızalar, arıza sebepleri, arıza etkileri ve diğer ilgili bilgiler (örneğin; üretici parça numarası, malzemenin kısa tanımı, tahmin edilen ve ölçülen arıza oranı, saklı fonksiyonları, yedekleme, gibi) açıkça gösterilmelidir. Bu tablolar kullanıcının isteklerine uygun olarak tasarımlanmalıdır.

Bu analizden kritik FSI 'lar (hem önemli fonksiyonel etkileri hem de yüksek arıza ihtimali olan veya orta arıza ihtimali olan fakat kritik olduğuna karar verilen veya ciddi derecede kötü bakım kayıtlarına sahip olan FSI 'lar) bulunabilir.

3.2.6 Arıza etkileri

Fonksiyonel arızaların oluşmasından doğan etkileri 3 sınıfta tanımlayabiliriz.

- Lokal (yerel) etkiler; arızanın oluştuğu merkezde ilk meydana gelen sonuçlar
- İkinci düzey etkiler; bir alt sistemde oluşan etkiler
- Sonuç; sisteme genel olarak etkisi

Yukarıda bahsettiğimizi benzini bitmiş bir arabada örneklemek gerekirse.

- Lokal etki; enjektörlere yakıt gelmemesi
- İkinci düzey etki; Motorun durması
- Sonuç; Arabanın durması ve gideceğiniz yere geç kalmanız olarak özetlenebilir.

3.2.7 Arıza türü

Sistemde arızaya neden olan durumların bulunması planlamanın kolaylaşmasını sağlayacaktır. Doğru bakım stratejisinin uygulanabilmesi için arıza nedenleri doğru tanımlanmalıdır [7, 8].

3.2.8 Uygun proaktif süreç

Uygun süreç belirlenmesi için karşımıza iki soru çıkmaktadır [1, 7, 8].

- Fonksiyonel arızalardan nasıl korunabiliriz veya nasıl tahmin edebiliriz?
- Uygun bir süreç bulunamazsa ne yapılmalı?

Bu noktada elimizde bulunan süreçler incelenerek en uygun ve maliyet açısından da düşünüldüğünde doğru olandan yola çıkarak planlamalıyız. Doğru proaktif süreç seçiminde bilgi formları ve karar diyagramları kullanılmaktadır.

3.2.9 Bilgi formları

GMB süreci belirlenmesi aşamasında sistem tanımlanması için bilgi formları doldurulmaktadır. Bu bilgi formları aşağıdaki Çizelge 3.2 de görüldüğü gibi, sistem, alt sistem, fonksiyon, fonksiyonel arıza, arıza nedenleri ve arızanın etkileri olarak sınıflandırılmaktadır [1].

Çizelge 3.2 : Güvenilirlik merkezli bakım bilgi formu

GMB Bilgi Formu	Sistem:		
	Altsistem:		
Fonksiyon (F[*])	Fonksiyoel Arıza (FF[†])	Arıza Türü (FM[‡])	Arıza Etkileri (FE[§])

[*] **F:Function**
[†] **FF:Functional Failure**
[‡] **FM: Failure Mode**
[§] **FE:Failure Effect**

3.2.10 Karar diyagramları

GMB programının etkin bir şekilde kurulması ya da amaçlanan sonuçları vermesi, sistematik bir karar sürecinin oluşturulmasına bağlıdır. Diğer bir deyişle öncelikle karara temel oluşturacak kavram ya da kavramlar doğru ve açık bir şekilde ortaya konmalıdır [1, 4].

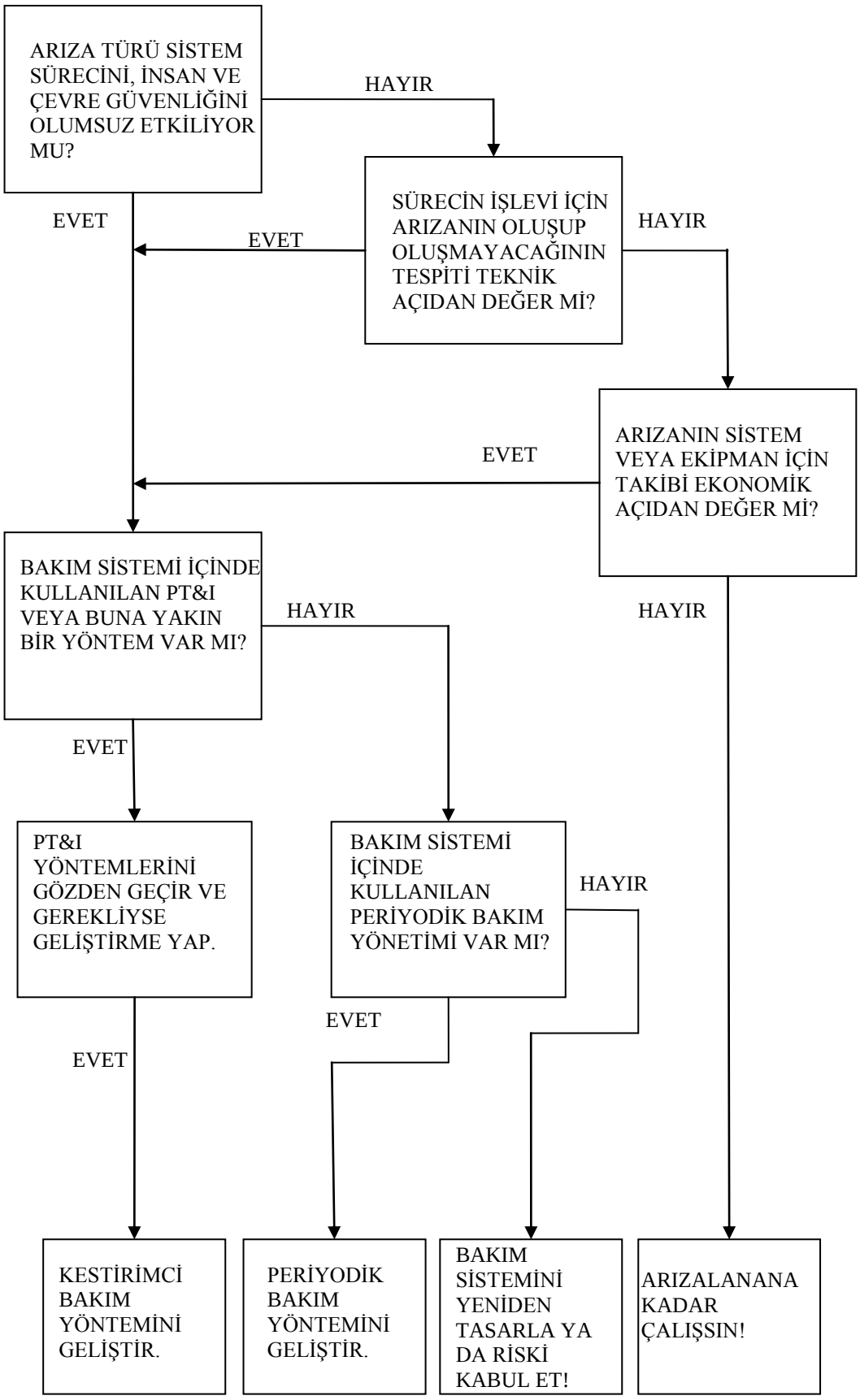
Kavram seçimi, GMB programının temeli niteliğindedir ve bu süreç içinde yapılacak analizlerin ana temasını oluşturacak proje fikrinin ortaya konması olarak tanımlanabilir.

Kavram seçimi iteratif bir süreçtir ve buradaki amaç, en az maliyetli, en kolay ve en hızlı tamamlanma şansı olan, en az riskli, ve sistemin sürekliliğinin devamının sağlanmasını ya da en az kayıpla karşılayacak kararı vermek ya da fikri seçmek olarak ortaya konabilir.

GMB karar formları, arızaların etkilerine göre ve bakım politikalarına göre yapılması gereken faaliyetleri belirten formlardır. Bu formların hazırlanmasında Şekil 3.4 [4] de yer alan GMB diyagramından yararlanılmaktadır. GMB karar diyagramları, GMB karar formlarının temelini oluşturmaktadır. GMB karar formları aynı zamanda sistemin fonksiyonlarının devamı için, bakım programında kullanılacak politikaların belirlenmesinde kullanılmaktadır.

GMB karar diyagramlarının çalışma mantığı uygulamanın tipine, sektörüne, üretimin durumuna vb. nedenlere göre değişkenlik göstermektedir.

GMB karar diyagramlarında temel soru, arızanın sistem sürecini, insan ve çevre güvenliğini olumsuz etkileyip etkilemediğini sorgulamaktadır. Buradan yola çıkarak sistemde teknik ve ekonomik çıkarlar göz önünde bulundurularak uygulanması en uygun bakım programı faaliyet çizelgesi çıkartılabilir.



Şekil 3.4 : GMB karar diyagramı [4]

4. GÜVENİRLİK MERKEZLİ BAKIM BİLEŞENLERİ

GMB programı düzeltici (reaktif), önleyici, kestirimci ve proaktif bakım süreçlerinin bir bileşimidir. Programın uygulanması sırasında sistem sınırları, fonksiyonel arızalar ve fonksiyon türleri çok iyi tanımlanmalı ve anlaşılmalıdır.

4.1 Reaktif Bakım

Reaktif bakım diğer bir deyişle onarıcı bakım anlamına gelmektedir. Genellikle arızalandığında onar prensibine dayanmaktadır.

Bu tip bakım yönteminde ancak sistemde/ekipmanda/malzemede fonksiyonel arıza meydana geldiği zaman bakım programı uygulanır. Eğer arızalanan parça sistem çalışmasını etkilemiyorsa, onarım ve değişim için gerekli malzeme yoksa reaktif bakım ertelenebilir. Arızalanan ekipman önemli ve değişimin yapılması gerekiyorsa maliyeti yüksek de olsa malzeme temini hemen yapılarak arıza giderilir [1, 2, 4].

Reaktif bakımın en kötü yanı arızalanma meydana gelmeden önce herhangi bir kestirim ya da ön uyarı sistemi olmamasıdır.

4.2 Önleyici Bakım

Önleyici bakım düzenli bir periyodik bakım sürecidir. Ayarları, temizleme, yağlama, parça değişimi ve kalibrasyonunu kapsamaktadır. Malzeme durumuna bakılmaksızın düzenli olarak yapılan bakım yöntemidir [1, 2].

Önleyici bakımın öncelikli amacı yaşlanma veya zamanını doldurmuş değişiklik yapılması gereken parçaya bağlı olarak meydana gelebilecek arızaların önüne geçmektir.

Geleneksel önleyici bakım arıza oranları ve arıza sıklıkları göz önünde bulundurulur. Bu değerler istatistiksel olarak ortaya çıkarılır ve bakım programı bu değerler göz önünde bulundurularak hazırlanır. Bu bakım programında arızaların meydana gelmeden bakım yapılması hedeflenir. Özetlemek gerekirse aynı tasarımda yeni parçanın eski parçaya göre arızalanma oranı daha düşüktür.

Arıza hızı veya başka bir deyişle arızalar arası ortalama süre (MTBF) değerleri hangi bakım programının yürütüleceğine karar vermede önemlidir. Bu yöntemde bulunan en önemli açık kullanılan arızalanma oranlarının ortalama arıza oranı olmasıdır. Gerçekte sistemde herhangi bir zamanda arıza meydana gelebilir ve bir hıza bağlı değildir ve önleyici bakım programında doğru zamanlama önem kazanmaktadır.

Oluşan arıza yaşlanmaya veya yıpranmaya bağlı olarak düşünülmektedir. Meydana gelebilecek arızalar sadece yıpranmaya veya yaşlanmaya bağlı olmayabilir. Bunu göz önünde bulundurduğumuzda zaman tabanlı önleyici bakım yararlı bir bakım yöntemi değildir. Bir sistemde sadece önleyici bakım yöntemi uygulaması yetersiz ve pahalı bir yöntemdir. Önleyici bakım yönteminin iki temel bileşeni vardır.

4.2.1 Önleyici bakım görevleri

Önleyici bakım görevi belirlenmesinde, doğru periyodik bakım tespiti için birden fazla yöntem kullanılabilir. Kestirimci test ve muayene (Predictive testing and inspection-PT&I) teknikleri kullanımı bir yöntem olarak gösterilebilir [7].

Periyodik bakım süreçleri belirlenmesinde MTBF değerleri öncelikli olarak kullanılmaktadır. Fakat MTBF bize ortalama yaş veya yaşlanma hakkında bir fikir verebilir. Yaşlanmanın güvenilirlik üzerindeki gerçek etkisini veremez.

Yaşlanma hesabı yapılmasında Weibull Dağılımı ağırlıkla kullanılan yöntemler arasındadır. Örnek olarak makine yatak ömür hesabı yapılmasında kullanılan bir yöntemdir ve daha doğru sonuç vermektedir.

Yaşlanmanın güvenilirlik üzerine etkisi hakkında gerçek değerler mevcut değilse önleyici bakım için en doğru yöntem donanımın periyodik olarak izlenmesidir.

4.2.2 Periyodik durum izleme (Monitoring)

Sistem veya ekipmanın periyodik durum izlenmesi bakım süreçlerinde önemli bir rol oynadığından bahsetmiştik. Malzeme durumunun izlenmesinde

- Malzeme durumunu belirleme,
- Malzemenin gelecek gerçek durumu hakkında tahminde bulunma öncelikli iki amaçtır [1].

4.2.2.1 Deneyime dayalı gözlem

Bazı malzemelerde deneyim ve eski personel sayesinde çıplak gözle ve sezgisel olarak sık aralıklarla kontrol sayesinde yıpranma arızaya dönüşmeden bakım uygulaması yapılmasıdır.

4.2.2.2 Arıza dağılım istatistiklerine göre gözlem

Kullanılan donanıma ait geçmiş arıza bilgileri ve yapılan güvenilirlik analizleri göz önünde bulundurularak malzemenin gözlem altına alınması.

4.2.2.3 Koruyucu yaklaşım

Çok sık aralıklarla düzenli olarak yapılan durum izleme yöntemiyle arıza olma olasılığı belirtilen durumların ortaya çıkması ile durum izleme sıklığının arttırılması ve başka kestirimci analiz yöntemlerinden de faydalanabilmektedir.

4.3 Kestirimci Test Yöntemleri ve Denetleme(PT&I)

Kestirimci bakım yönteminin temelini izleme ve kontrol teknolojileri kullanılarak yapılan kestirimci test ve muayene (PT&I) [1, 3, 4] teknikleri oluşturmaktadır.

PT&I kestirimci bakım yöntemlerinin ana başlıklar altında toplayacak olursak aşağıdaki sonuçlara ulaşılmaktadır.

- Sistem durumu(gidişat) takibi
- Örneklemeyle durum izleme
- Bilgi karşılaştırılması
- Sistem veya donanımın test yöntemleriyle sınır değerlerinin takibi

PT&I yöntemleri tek başlarına donanımı veya sistemin bakım için gerekli olan tabanını oluşturamaz.

4.3.1 Veri toplama

PT&I yöntemleri içinde veri toplama önemlidir. Sistem veya donanımın durum takibi açısından veri toplamaya yardımcı birçok farklı yöntem bulunmaktadır.

4.3.2 Proaktif süreç

Proaktif bakım süreci bir donanımın basit teknikler ve hesaplamalar kullanarak çalışma ömrünü çıkarmaya ve uzatmaya yardımcı PT&I sürecidir [4, 9].

- Yeni/tekrar tasarım prosedürler için kullanılmak üzere donanım ve sistemlere ait montaj, bakım, arıza durumlarını ve maliyet etkilerini gösterir bilgilerin ileriye dönük kullanılabilmesi için saklanması gerekmektedir. Bu da tasarım sürecinde yapılan düzenli dökümantasyon faaliyetleri ile gerçekleşebilir.
- Yeniden tasarım ve montaj sırasında dikkat edilmesi gereken özellikler; geçmiş tasarım bilgileri kullanılarak yeni sürece ait özellikler belirlenmesidir. Bir donanım veya sistem montajı sırasında planlamada belirtilen özelliklerin sistem veya donanımın verimli ve güvenilir bir şekilde çalışabilmesi için yapılması zorunludur.
- Hatalı parça analizleri, hatanın temel nedenini ortaya çıkarmak için yapılan çalışmaları kapsamaktadır. Bunu örneklemek gerekirse yatakların ancak %10-20 arası çalışma ömürlerini tamamlayabilir. Kök-neden hata analizleri bunun nedeni olarak yanlış veya hatalı montaj, az yağlama, balans dengesizliği veya yanlış depolama ve taşıma teknikleri olarak gösterilebilir. Hatalı yatak analizleri yapıldığında gerçek arızaya çoğunlukla aşınmaya bağlı yıpranma ve yanlış montaj uygulamaları olduğu ortaya koyulmuştur.
- Kök-neden hata analiz (Root-cause failure analysis) yönteminin temel amacı arızaya neden olan kökü bulmaktır. Bu yöntemin amacı, problemin nedenine etkili ve ekonomik olarak ulaşmak, problemi ortadan kaldırmak etkilerini değil bir daha oluşmasına engel olmaktır.
- Güvenilirlik mühendisliği; diğer proaktif süreçleri ile bir bütündür. Proaktif bakım yaklaşımı yeniden tasarım, revizyon veya iyileştirmeleri veya değişimi içermektedir [8]. Bazı durumlarda değişim gerekmektedir. Güvenilirlik mühendisliği içinde bu süreçleri belirlemede kullanılan başlıca iki yöntem vardır. Hata türleri ve etkileri analizi (FMEA) ve hata ağaç analizleri (FTA) olarak ikiye ayrılabilmektedir.
- Yaş tahmini; bakım süreçleri ve GMB yönetim sisteminin kurulmasında izlenecek faaliyetlerin belirlenmesinde çalışma ömür tahmini önemli bir etkendir.
- Yineleme kontrolleri (recurrence control); sürekli tekrarlayan arızaların kontrolünün yapılmasıdır.

Proaktif bakım yaklaşımları yeni mühendislik çalışmalarında, kurulumlarda, işçiliklerde ve uyulması gereken teknik şartnamelerin öneminin artmasına katkıda bulunarak bakıma katkıda bulunmuş olur.

Proaktif süreç karakteristikleri;

- Proaktif süreç içinde üretim şartlarında, imalat süreçlerinde veya teknik bilgilerde yapılan değişiklikler yönetici ve arge bölümü, mühendis veya uzmanları bilgilendirilir.
- Bakımın verimliliğini arttırabilmek için kestirimci analizler ve kök neden hata analiz sonuçlarına önem verilir.

Proaktif süreç mühendislik tabanlıdır, tasarımı yapılan bir donanımın standartlaştırılması ve verimli kullanımı için gerekli bilgilerin hazırlanmasından sorumlu olmaktır. Yeni tasarımlarda geçmiş birikimlerden faydalanarak daha iyi tasarımları oluşturabilmek proaktif sürecin önemli bir başka konusudur. Proaktif süreç teknikleri GMB için de temel teşkil etmektedir.

5. ENERJİ İLETİM SİSTEMLERİNDE GÜVENİLİRLİK MERKEZLİ BAKIM UYGULAMASI

Elektrik enerjisi günümüz insanı için vazgeçilmezdir. Elektrik enerjisinin olduğu bir zamanda doğmuş onun yenilikleriyle büyümüş ve halen yaşamaktayız. Günümüzde elektriğin olmadığını düşünmek neredeyse hayatı durdurma noktasına getirebilmektedir. Diğer yandan enerji kaynaklarının azalmaya başladığı bir döneme girilmektedir ve elektrik enerji depolanması zor olan bir enerji kaynağıdır. Bu yüzden enerji verimliliği daha fazla önem kazanmaktadır. Kayıpların en aza indirilmesi ve güvenilirliğin arttırılması ve bakım süreçlerinin iyileştirilmesi çağımızda daha fazla önem kazanmıştır.

Elektik enerjisinin günümüze kadar gelen tarihçesine baktığımızda 19. yüzyılın sonlarında bulunup öncelikli olarak aydınlatma amaçlı kullanılmıştır ve öncelikli olarak aydınlatma amaçlı kullanılmıştır. Zaman içinde kullanım alanlarının artmasıyla elektrik enerjisine duyulan gereksinim de artmıştır ve gelişimi hızlanmıştır.

Elektrik enerjisi ilk defa 1878 yılında günlük hayatta kullanılmaya başlanmış ilk elektrik santrali 1882 yılında Londra'da hizmete girmiştir. Elektrik enerjisi ilk kullanılmaya başlandığı zamanda alçak gerilim olarak üretiliyor, iletiliyor ve dağıtımı yapılıyordu. Alçak gerilimde, gerilim düşümü ve aktif güç kaybı fazla olduğu için, enerjinin uzaklara iletilmesi ekonomik olmamaktaydı. Teknolojinin gelişimi ve generatörlerden daha yüksek gerilimler elde edilebilmesi ve en önemlisi transformatörlerin gelişmesi iletim ve dağıtım gerilimlerinin yükselmesine ve elektrik enerjisinin daha uzak mesafelere iletilmesi olanağına getirmiştir. Bu da elektrik enerjisinin kullanım alanlarının genişlemesine büyük katkıda bulunmuştur.

Transformatör kullanılarak ilk enerji iletimi 19. yüzyılın sonlarında Amerika'da yapılmış; üretilen 500 V'luk gerilimle 1600 metre uzağa kadar taşınmıştır. Aynı tarihlerde Almanya'da ilk defa üç faz alternatif akım taşınması 1891 yılında 25 kV'luk bir elektrik iletim hattıyla 175 km'lik bir uzaklığa iletim gerçekleştirilmiştir [10].

Ülkemizde ilk elektrik enerjisi üretimi 1902 yılında Tarsus'ta yapılan, su değirmeninden elde edilen 2 kW güçlü üretimdir. İlk büyük santral ise İstanbul Silahtarağa'da kurulan 15 MW gücündeki termik santraldir.

Ülkemizde elektrik enerjisi, üretim, iletim ve dağıtım olmak üzere üç ana başlık altında çeşitli özel ve kamu kurumları tarafından işletilmektedir.

Burada, elektrik üretim ve dağıtım sistemlerinde ara bağlantı elemanı olan iletim sistemleri için güvenilirlik temelli bakım uygulamasına genel bir bakış yapacağız.

5.1 Enerji İletim Sistemleri

Elektrik enerji iletim sistemi, üretim tesislerinden itibaren elektrik enerjisi iletiminin gerçekleştirildiği tesislerdir.

380kV Çok Yüksek Gerilim (ÇYG) ve 154 kV Yüksek Gerilim Hatları, 380/154 kV oto-transformatörler ve 380/OG, 154/OG indirici transformatörlerden ve bu donanımları birbirine bağlayan ve koruyan yardımcı donanımlardan oluşan ulusal elektrik iletim sistemimiz teknik ve ekonomik açıdan avantajları nedeniyle yeterli miktarda seri ve şönt kapasitörlerle donatılmıştır [11]. İletim Sistemi gerilim düzeyi 380 kV, 154 kV ve sınırlı sayıda 66 kV sistem ile standartlaştırılmıştır. Gürcistan ve Ermenistan ile olan birleşik hatlarımız bu ülkelerdeki gerilim düzeylerine uygun olarak 220 kV'tur.

Türkiye üretim ve iletim sistemi, bir Milli Yük Tevzi Merkezi (Gölbaşı) ile 8 adet Bölgesel Yük Tevzi Merkezinden (Adapazarı, Çarşamba, Keban, İzmir, Gölbaşı, İkitelli, Erzurum ve Çukurova) gözlenip yönetilmektedir. Güç sistemi işletmesi, sistemin 380 kV trafo merkezlerini ve 50 MW'ın üzerindeki tüm santralları kapsayan bir SCADA ve Enerji İşletim Sistemi Programı ile yapılmaktadır. Sistem işleticisi bu sistem sayesinde daha kaliteli bir işletme için gerekli olan her tür sistem çalışmasını, günlük işletme programlarını ve yük frekans kontrolünü yapabilmektedir.

İletim sisteminin mevcut durumu Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2'de özetlenmiştir.

Çizelge 5.1 : Türkiye elektrik iletim sistemindeki transformatör sayısı ve güçlerinin gerilim düzeylerine göre dağılımı (2007 Yılı Değerleri) [11]

380kV		154kV		66kV		TOPLAM	
ADET	GÜÇ (MVA)	ADET	GÜÇ (MVA)	ADET	GÜÇ (MVA)	ADET	GÜÇ (MVA)
153	28715	963	52669	57	672	1173	82056

Çizelge 5.2 : Türkiye elektrik iletim sistemi enerji iletim hat uzunlukları(km)(2007 yılı değerleri) [11]

380kV	220kV	154kV	66kV	TOPLAM
14338.4	84.5	31383	477.4	46283.3

Elektrik enerji iletim sistemleri güvenilirlik temelli bakım programı açısından üç alt gruba ayırarak inceleyebiliriz.

- Transformatörler
- Enerji iletim hatları
- Anahtarlama Sistemleri

Çizelge 5.3 de transformatör ve transformatör merkezleri için gerekli periyodik bakım süreleri verilmiştir.

Çizelge 5.3 : Transformatör ve transformatör merkezleri periyodik bakım süreleri[12]

Transformatör ve Transformatör alt sistemleri	Bakım periyodu	
	6 ayda bir	Yılda bir
Metal gövde bakımı	X	
Yağ kontrolü	X	
Buşinglerinin bakımı	X	
Soğutma sistemi bakımı	X	
Bağlantılarının kontrol ve bakımı	X	
Sargıların yalıtkanlık kontrolü		X
Conta ve cıvatalarının kontrolü		X
Transformatör merkezi bara ve izolatörlerinin kontrol ve bakımı	X	

Çizelge 5.4 de SF6 gazlı kesiciler ve alt sistemleri için gerekli periyodik bakım süreleri verilmiştir.

Çizelge 5.4 : SF6 Gazlı Kesicilerde periyodik bakım süreleri[13]

SF6 Gazlı Kesiciler ve Alt sistemleri	Bakım periyodu	
	6 ayda bir	Yılda bir
Hareketli parçaların kontrolü ve yağlanması (İdeal işletme koşullarında)		X
Hareketli parçaların kontrolü ve yağlanması (Kirli, tozlu işletme koşullarında)	X	

Havai hat bakım periyotları kullanılan bütün araçların standartlarında yazılan periyotlarda yoksa imalatçının öngördüğü sürelerde denetlenip bakım ve onarım altında bulundurulmalıdır. Havai hat bakımı hat güzergahı tamamen gezilerek gözle kontrol edilir. Bu kontrolde iletim hattının sehiminin uygunluğu, iletkenlerin ağaçlara ve binalara yakınlığı, iletim hattındaki ek noktalarının yerleri, klemenslerin durumu, iletkenlerin izolatörlere bağlantısı, bağlantıları kontrol edilir. Ayrıca izolatörler beş senede bir izolatör kontrol cihazı ile kontrol edilir.

Üç alt sisteme ayırdığımız enerji iletim sistemlerini GMB yöntemi yardımıyla enerji iletim sistemine ait bakıma farklı bir yaklaşım getirilerek daha verimli ve etkin bir bakım planlaması yapmaya çalışacağız. Bu amaçla, 3 alt sisteme ayrılan sistemimiz ayrı ayrı incelenmiştir. Her bir alt sistem için bilgi formları oluşturulmuş, daha sonra geliştirilen GMB karar diyagramı çerçevesinde karar formları hazırlanmıştır.

Elektrik iletim sistemlerinde başlıca fonksiyonel arızalar faz-toprak, faz-faz, 2faz-toprak, 3faz-toprak ve açık devre olarak beş farklı sınıfta değerlendirilir.

Arıza türü olarak elektriksel, mekaniksel ve çevre koşulları gösterilebilir. Bu arıza türlerine ilişkin tipik örnekler aşağıda verilmiştir.

- Elektriksel arıza türleri: aşırı akım, düşük frekans, röle koordinasyon hatası, dağıtım sistemi veya santralden kaynaklı arızalar,
- Mekaniksel arıza türleri: yay kopması, ek yeri, klemens, damper, jumper, izolatör, koruma teli, hırdavat problemi, direk yıkılması, terminal(röle, kesici, ayırıcı, ölçü trafo vb) donanım problemi,
- Çevresel arıza türleri: ağır hava koşulları ve yıldırım.

5.1.1 Transformatör alt sistemi

Transformatör alt sistemini oluşturan parçalar; transformatör sargısı, buşingler, yağ, yağ kazanı ve soğutma sistemi şeklinde düşünülmüştür. Transformatör alt sistemine ait bilgi formu Çizelge 5.5'de yer almaktadır.

Çizelge 5.5 : Transformatör GMB Bilgi Formu

GMB Bilgi Formu	Sistem: Transformatör		
	Alt Sistem: Transformatör sargısı, buşing, yağ kazanı, soğutma sistemi		
Fonksiyon (F)	Fonksiyonel Arıza (FF)	Arıza Türü (FM)	Arıza Etkileri (FE)
A-Güç transformatörü	(1) Faz-toprak arızası	a.Yıldırım	Devre dışı kalma
		b. Açma kapama aşırı gerilimi	
		c. Buşing arızası	
		d. Yağdan kaynaklı arıza	
	(2) Faz-faz arızası	a.Yağdan kaynaklı arıza	Devre dışı kalma
		b.Trafo sargı yalıtım problemi.	
	(3) Aşırı yüklenme	a.Yükün artması	Devre dışı kalma.
		b. Ortam sıcaklığı	Devre dışı kalma

5.1.2 Enerji iletim hatları alt sistemi

Enerji iletim hatlarını alt sistemini oluşturan parçalar; iletim hattı, direği, izolatörü, topbaşı, hırdavatı vb. olarak sınıflandırılabilir. Enerji iletim hatları alt sistemine ait bilgi formu Çizelge 5.6'da yer almaktadır.

Çizelge 5.6 : Enerji iletim hatları GMB bilgi formu

GMB Bilgi Formu	Sistem: Enerji İletim hatları		
	Alt Sistem: İletim kabloları, direkler, izolatör, topbaşı, hırdavat vb.		
Fonksiyon (F)	Fonksiyonel Arıza (FF)	Arıza Türü (FM)	Arıza Etkileri (FE)
A-Enerji iletiminin sağlanması (Havai Hat)	(1)Faz-toprak arızası	a. Yıldırım	Enerji Kesintisi
		b. İletken kopması	
		c. Açma kapama aşırı gerilimi	
		d. Hırdavat	
		e. İzolatör	
		f. Kötü hava koşulları	
	(2)Faz-faz arızası	a.İletken kopması	Enerji Kesintisi
		b.Göçmen kuşlar	
		c.Kötü hava koşulları	
	(3)2Faz-toprak arızası	a.Elektriksel**	Enerji Kesintisi
		b.Hırdavat	
		c.Kötü hava koşulları	
	(4)3Faz-toprak arızası	a.Direk yıkılması	Enerji Kesintisi
		b.Kötü hava koşulları	

** İletken yalıtımının zayıflamasına bağlı olarak rüzgarında etkisine bağlı olarak meydana gelen arıza olarak tanımlanır.

5.1.3 SF6 gazlı kesici alt sistemi

SF6 gazlı kesici alt sistemini oluşturan parçalar; SF6 gaz, kapama yayı kurma sistemi, açma-kapama sistemi, elektrikli donanım vb. olarak sınıflandırılabilir. SF6 gazlı alt sistemine ait bilgi formu Çizelge 5.7'da yer almaktadır.

Çizelge 5.7 : YG gazlı kesicileri GMB bilgi formu

GMB Bilgi Formu	Sistem: YG Gazlı Kesicileri		
	Alt Sistem: SF6 gaz, Kapama yayı kurma sistemi, Açma-kapama Sistemi, Elektrikli donanım		
Fonksiyon (F)	Fonksiyonel Arıza (FF)	Arıza Türü (FM)	Arıza Etkileri (FE)
A- Açma-kapama	(1)Mekanizma otomatik kurmuyor	a. Elektrik motoru	Bakıma alındı.
		b. Sigorta	
		c. Kablolama	
	(2) Kesici kapamıyor	a. Kapama bobini arızası	Bakıma alındı.
		b.SF6 Gaz basıncı düşük	
	(3) Kesici ardı ardına açıp kapatıyor	a. Antipompaj röle arızası	Bakıma alındı.
	(4) Kesici elle veya uzaktan açma kumandası almıyor	a. Kesici tam kapatmamıştır.	Bakıma alındı.
		b. Açma bobini arızalıdır.	

5.2 Enerji İletim Sistemi Karar Analizi

Hazırlamış olduğumuz bilgi formundan yola çıkılarak GMB için karar ağaçlarının hazırlanması gerekmektedir. Bilgi formunda ayrıntılı olarak açıklanan arızalar ve etkileri göz önünde bulundurularak ve Şekil 5.1'de verilen karar mantık ağacından faydalanarak her bir arıza türü için önerilen bakım politikasının ne olması gerektiğine karar verilecektir. Bu karar diyagramı oluşturulurken NASA, 2002 [3] karar ağacından yola çıkılmıştır.

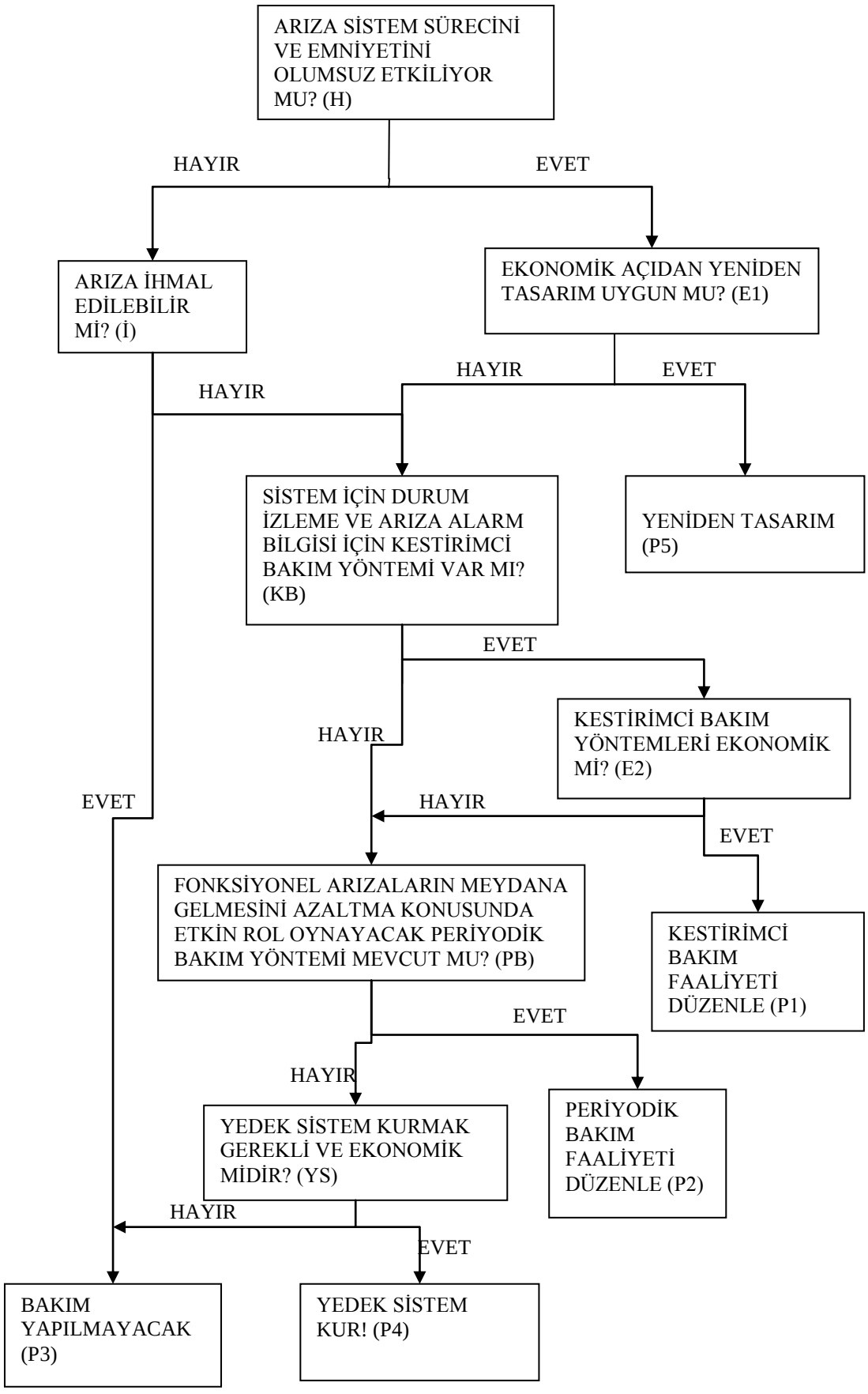
Karar mantık ağacını oluşturacak kişinin genel olarak sistemi incelemesi gerekmektedir. Olası arızanın emniyet, güvenlik ve sistem açısından olumsuz etkisi olup olmadığına verilen EVET(E) veya HAYIR(H) cevabından sonra bir sonraki adıma geçilir. Bundan sonraki adımlarda EVET veya HAYIR olarak yanıtlandıktan sonra uygulanması en uygun görünen bakım faaliyeti seçilmiş olur. Sonuçta verilecek kararlar aşağıdaki gibidir.

- P1: Kestirimci bakım faaliyetlerinin belirlenip ve çizelgelenmesi gerekir.
- P2: Periyodik bakım uygulaması yapılmasıdır.
- P3: Önceden saptanmasında ekonomik ve teknik açıdan uygun olmayan hataların gerçekleşmesine izin verilir ve arıza durumu gerçekleştikten sonra gerekli müdahale yapılır. Onarıcı bakım yöntemi uygulanması gereklidir.
- P4: Sistemde arıza olması durumunda arızalanan sistemin görevini üstüne alacak yedek bir sistemin kurulması gereklidir.
- P5: Yeniden tasarım yapılması gereklidir.

Enerji iletim sisteminde, GMB uygulaması sonucunda, karar ağacında yukarıda tanımlanan 5 bakım programı elde edilir. Bu elde edilen sonuçlar GMB Karar Formuna her fonksiyonel arızaya karşılık gelen program belirlenerek işlenir.

GMB Karara formlarını açıklayacak olursak karar formları 4 ana bölüme ayrılır. İlk bölümde karar formu hazırlanacak olan "Sistem" ve buna ait bileşenlerin tanımlandığı "Alt Sistem" belirtilir. İkinci bölümde "Referans Bilgiler" olup, tanımlanan alt sisteme ait GMB Bilgi formundan alınan fonksiyon, fonksiyonel arıza ve hata türü açıklamalarını içermektedir. Üçüncü bölüm "Sonuç Değerlendirmesi" olup karar ağacında izlenen adımlarda alınan E/H yanıtların forma işlendiği bölümdür. Son olarak karar ağacında elde edilen program bilgisi "Programlar" bölümüne yazılmaktadır.

Elektrik enerji sisteminde transformatör GMB karar formu Çizelge 5.5, enerji nakil hatları GMB karar formu Çizelge 5.6 ve kesici GMB formu Çizelge 5.7'de verilmiştir.



Şekil 5.1 : Karar ağaç diyagramı[4]

Çizelge 5.8 : Transformatör GMB karar formu

GMB KARAR FORMU			Sistem: Transformatör Alt Sistem Bileşenleri: Transformatör sargısı, buşing, yağ kazanı, soğutma sistemi						
Referans Bilgiler			Sonuç Değerlendirmesi						Programlar
F	FF	FM	H	E1 İ	KB	E2	PB	YS	
A	1	a	E	H	H		H	H	P3
A	1	b	H	H	H		H	H	P3
A	1	c	E	H	H		E		P2
A	1	d	E	H	E	E			P1
A	2	a	E	H	E	E			P1
A	2	b	E	H	E	E			P1
A	3	a	E	E					P5
A	3	b	E	H	H		H	E	P4

Çizelge 5.9 : Enerji iletim hatları GMB karar formu

GMB KARAR FORMU			Sistem: Enerji İletim hatları Alt Sistem: İletim kabloları, direkler, izolatör, topbaşı, hırdavat vb.						
Referans Bilgiler			Sonuç Değerlendirmesi						Programlar
F	FF	FM	H	E1 İ	KB	E2	PB	YS	
A	1	a	E	H	H		H	H	P3
A	1	b	E	H	H		H	H	P3
A	1	c	E	H	H		H	H	P3
A	1	d	E	H	H		E		P2
A	1	e	E	H	E	E			P1
A	1	f	E	H	H		H	H	P3
A	2	a	E	H	H		H	H	P3
A	2	b	E	H	H		H	H	P3
A	2	c	E	H	H		H	H	P3
A	3	a	E	H	H		H	H	P3
A	3	b	E	H	H		E		P2
A	3	c	E	H	H		H	H	P3
A	4	a	E	H	H		H	H	P3
A	4	b	E	H	H		H	H	P3

Çizelge 5.10 : SF6 gazlı kesiciler GMB karar formu

GMB KARAR FORMU			Sistem: YG gazlı Kesicileri						
			Alt Sistem: SF6 gaz, Kapama yayı kurma sistemi, Açma-kapama Sistemi, Elektrikli donanım						
Referans Bilgiler			Sonuç Değerlendirmesi						Programlar
F	FF	FM	H	E1 İ	KB	E2	PB	YS	
A	1	a	E	H	H		E		P2
A	1	b	E	H	H		H	H	P3
A	1	c	E	H	H		H	H	P3
A	2	a	E	H	H		H	H	P3
A	2	b	E	H	E	E			P1
A	3	a	E	H	H		H	H	P3
A	4	a	E	H	H		H	H	P3
A	4	b	E	H	H		H	H	P3

6. ENERJİ İLETİM SİSTEMLERİNDE GMB UYGULAMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE SONUÇLARI

Bu çalışmada GMB yöntemi incelenerek, elektrik enerji iletim sistemlerinde uygulaması yapılmıştır. GMB bakım uygulaması değerlendirilerek elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir. Yapılan sınıflamalar, göz önüne alınan arızalar ve sonuç değerlendirmeler ilgililerden alınan bilgiler ışığında yapılmıştır. Elektrik enerji iletim sistemleriyle ilgili bu ilk uygulama, sistemin daha alt bölümlere ayrılarak ve arızaları çeşitlendirerek çok daha ayrıntılı inceleme de yapılabilir.

6.1 Enerji İletim Sistemlerinde GMB Uygulamasının Değerlendirilmesi

GMB yöntemini kısaca değerlendirecek olursak; GMB yöntemi uygulandığında, başarılı bir bakım programı ile birlikte karşılaşılabilecek arızalar önlenebilmekte veya azalmaktadır. GMB yönetim sisteminde güvenilirliği doğrudan etkileyen arızanın gerçekleşmesi sistem açısından önemli olan durumlara öncelik vermektedir. Sisteme etkisinin göreceli olarak önemsiz veya daha az önemli olan arızaların gerçekleşmesinde bir sakınca görülmemektedir. GMB yönetim sisteminde takım çalışması, sistemleri basite indirgeyerek incelenmesi ve amacın alt sisteme ait fonksiyon sürekliliğinin devamıyla ilgilenmesi büyük bir avantajdır.

Enerji iletim sisteminin sürekliliği teknoloji kullanımının yaygınlığı ve elektrik enerjisine duyulan ihtiyacın artmasıyla daha da önemli olmuştur. Bu nedenle enerji iletim sistemlerinin bakımı sistematik ve verimli bir şekilde yapılmak zorundadır. Bu çalışmada GMB yöntemi uygulanarak sistematik, verimli ve güvenli bir bakım yönetimi ortaya çıkarmaya çalışılmıştır..

GMB yöntemiyle bakım çalışmasını uygularken, öncelikle sistem fonksiyonu ve bu sistemi oluşturan donanımlar tanımlanmış; sonrasında sisteme ait hata türü ve etkilerinin analizi yapılmıştır. Bu hata tür ve etkileri bilgi formuna işlenmiştir. Daha sonra GMB karar diyagramı vasıtasıyla GMB karar formu oluşturulmuş ve sonuçta her bir arıza için alınması gereken bakım önlemlerine (yöntemine) erişilmiştir.

Transformatör alt sistemi için oluşturulan karar formuna göre tanımlanmış 8 farklı fonksiyonel arıza için

- İkisi için onarıcı bakım,
- Biri için periyodik bakım,
- Üçü için kestirimci bakım,
- Biri için yeniden tasarım ve
- Biri için yedek sistem kurulması

gerektiği sonucuna varılmıştır.

Kestirimci bakım olarak, transformatör yağ analizinin yapılarak, yağda mevcut gazların ve oranlarının saptanması, ayrıca transformatör sargı sıcaklığının ve yalıtımının sürekli/periyodik izlenmesi önerilen bakım programlarıdır. Tüketici enerji talebinin artışına bağlı olarak transformatörlerin aşırı yüklenmesi ve bununla bağlantılı arızaların oluşumu durumunda, "yeniden tasarım" en uygun çözüm önlemi olarak ortaya çıkmaktadır. Yeniden tasarımdan kasıt transformatör gücünün arttırılması veya paralel transformatörler yerleştirilerek toplam transformatör merkezi gücünün arttırılmasıdır. Karşılaşılan diğer arızalar için periyodik bakım uygulaması ve onarıcı bakım uygun görülmüştür.

Enerji iletim hatları karar formu değerlendirmesini yapacak olursak; YG iletim hatlarında meydana gelen arızaların meydana gelmesi çoğunlukla beklenmedik durumlardan ortaya çıkan rastlantısal arızalardır. Bu nedenle önerilecek bakım programı "arızalandığında onar" olmaktadır. İzolatörlerde ise yalıtım durumunun kestirimci bakım yöntemi kullanılarak izlenmesi enerji iletim hatları karar formundan elde edilen başka bir sonuçtur. Enerji iletim hat hırdavatları için periyodik olarak revizyonların yapılması en uygun bakım yöntemidir.

Periyodik bakımı düzgün yapılan SF6 Gazlı kesiciler alt sistemi için "arızalandığında onar" prensibine dayalı bakım yöntemi en uygun ve verimli bakım olarak gözükmektedir. SF6 gazlı kesicilerde bulunan gaz kaçağının ve ya gaz basıncının düşmesinin saptanmasında kestirimci bakım yöntemleri kullanmak uygun olacaktır.

6.2 Sonuçlar

Güvenilirlik merkezli bakım yönetim sistemi, bütün bakım sistemlerini içinde barındıran ve bunların doğru ve etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamak için geliştirilmiş bir yöntemdir.

GMB yönteminde sistemlerin alt sistemlere ayrılması, sistem karmaşıklığını ortadan kaldırarak GMB yönteminin uygulanmasını kolaylaştırmaktadır.

Elektrik iletim sistemlerine GMB yöntemi uygulanması için uygun karar diyagramı oluşturulabilmektedir. Kullanılan karar ağaç diyagramı ve arızalardan yola çıkılarak elde edilen bakım programları incelendiğinde elektrik iletim sistemlerinin maruz kaldığı çevresel etkiler, atmosferik koşullar ve beklenmedik dış etkiler dolayısıyla özellikle enerji iletim hatlarında ve kesicilerde onarıcı bakım uygun görülmektedir. Kestirimci bakım ve planlı revizyon çalışmaları ise, bakım programı olarak daha seyrek uygulanması öngörülse de sonuçta sistem güvenirliği açısından verimli olacaktır.

Hazırladığım bu çalışmanın ülkemiz enerji iletim hatlarından sorumlu kurumu TEİAŞ açısından uygulanabilirliğine baktığımızda, öncelikle Türkiye enerji iletim sistemlerinde meydana gelen arızaların GMB için gerekli verileri toplanmalıdır. Bu toplanan verilerden arıza nedenleri, arızaların sisteme etkileri, arıza oluşum sıklıkları ve arızaların parasal bedelleri de göz önünde bulundurularak arıza sınıflandırması yapılmalı ve elde edilen bu bilgiler doğrultusunda bir proaktif çalışma geliştirilmelidir. Proaktif süreç sonunda sistem güvenirliliği açısından önemli alt sistemler bu alt sistemlere ait arıza bilgilerine dayalı bilgi formları ve sistemin ihtiyacını kapsayan bir karar ağaç diyagramı oluşturularak yeni karar formuna ulaşılabilir. Bu da gerçek bir enerji iletim sistemi üzerinde daha doğru bir GMB uygulaması olacaktır.

KAYNAKLAR

[1] **Moubray, J.,** 1997. Reliability Centered Maintenance, Elsevier Butterworth-Heinemann Lineacre House, Jordan Hill, Oxford

[2] **Sullivan, G.P., Pugh, R., Melendez, A.P. and Hunt, W.D,** 2004. Operations and Maintenance Best Practices A Guide to achieving Operational Efficiency, Pacific Northwest National Laboratory, U.S.

[3] **Url-1** <*http://www.plant-maintenance.com/RCM-intro.shtml*>

[4] **NASA,** 2002. Reliability Centered Maintenance Guide For Facilities and Collateral Equipment, U.S.

[5] **Dhillon, B.S.,** 2002. Engineering Maintenance, A Modern Approach, CRC Press, LLC.

[6] **Beehler, M.E.,** 1997. Reliability Centered Maintenance for Transmission Systems, IEEE Transaction on Power Delivery, **Vol. 12, No.2**, 1023-1028.

[7] **TS IEC 60300-3-11,** 2003. Güvenilebilirlik Yönetimi – Bölüm 3-11: Uygulama Kılavuzu – Güvenilirlik Merkezli Bakım, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

[8] **Morais, D.R., Jacqueline, G.R., Coser, C. and Hans, H,Z.** 2006. Reliability Centered Maintenance for Capacitor Voltage Transformers, *9th International Conference on Probobalistic Methods Applied to Power Systems,* KTH, Stocholm, Sweden, 11-15 June, p.1-6

[9] **SAE JA1012,** 2002. A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard, *Surface Vehicle/Aerospace Standard*, U.S.A

[10] **Url-2** <*http://www.euas.gov.tr*>, Elektrik Üretim A.Ş.

[11] **Url-3** <*http://www.teias.gov.tr*>, Türkiye Elektrik İletim A.Ş.

[12] **TS 267 EN 60076-1,** 1998. Güç Transformatörleri – Bölüm 1: Genel, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara

[13] **TS EN 62271-100, 2004**. Yüksek Gerilim Anahtarlama Düzeni ve Kontrol Düzeni - Bölüm 100: Yüksek Gerilim Alternatif Akım Kesicileri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Elif Deniz Kuldaşlı

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul, 07.01.1980

Adres: Bakırköy, İstanbul

Lisans Üniversite: İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, 1998-2003