T.C.
Dicle Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü
İşletme Anabilim Dalı

Doktora Tezi

ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ METODU İLE ALTERNATİF BAKIM STRATEJİSİ SEÇİMİ: İMALAT SANAYİNDE BİR UYGULAMA

Hasan DİNÇ

Diyarbakır 2016

T.C.
Dicle Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü
İşletme Anabilim Dalı

Doktora Tezi

ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ METODU İLE ALTERNATİF BAKIM STRATEJİSİ SEÇİMİ: İMALAT SANAYİNDE UYGULAMA

Hasan DİNÇ

Danışman
Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARAHAN

Diyarbakır 2016

TAAHHÜTNAME

SOSYAL BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE

Dicle Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğine göre hazırlamış olduğum "**Analitik Hiyerarşi Süreci Metodu ile Alternatif Bakım Stratejisi Seçimi: İmalat Sanayinde Bir Uygulama**" adlı tezin tamamen kendi çalışmam olduğunu ve her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve tez yazım kılavuzuna uygun olarak hazırladığımı taahhüt eder, tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Dicle Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü arşivlerinde aşağıda belirttiğim koşullarda saklanmasına izin verdiğimi onaylarım. Lisansüstü Eğitim-Öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

☐ Tezimin tamamı her yerden erişime açılabilir.

☐ Tezim sadece Dicle Üniversitesi yerleşkelerinden erişime açılabilir.

☒ Tezimin 1 yıl süreyle erişime açılmasını istemiyorum. Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin tamamı her yerden erişime açılabilir.

13 / 05 / 2016

Hasan DİNÇ

KABUL VE ONAY

Hasan DİNÇ tarafından hazırlanan **Analitik Hiyerarşi Süreci Metodu ile Alternatif Bakım Stratejisi Seçimi: İmalat Sanayinde Bir Uygulama** adındaki çalışma, 13 / 05 / 2016 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda jürimiz tarafından İşletme Anabilim Dalı, **DOKTORA TEZİ** olarak oybirliği / ~~oyçokluğu~~ ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Abdulkadir BİLEN (Başkan)

Doç. Dr. Serhat BURMAOĞLU (Üye)

Doç. Dr. Yılmaz DEMİRHAN (Üye)

Doç. Dr. Mehmet METE (Üye)

Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARAHAN (Danışman)

ÖN SÖZ

Bakım ve onarım faaliyetleri; işletmelerdeki iş akışının planlanması, üretimin zaman kaybı olmadan veya en az kayıpla yapılması ve dolayısıyla maliyetlerin en aza indirilmesi açısından önemli bir yere sahiptir. Günümüz küresel rekabet ortamında üreticilerin, müşterilerine en iyi hizmeti sunabilmeleri için bakım onarım faaliyetlerini gelişen teknolojiyle bütünleştirmeleri gerekmektedir. Bu bağlamda bakım politikaları geçmiş yıllara oranla önemli değişimler geçirmiş ve işletmeler arasındaki rekabet ortamına ayak uydurarak, önceliklerin analizine dayanan, sürekli izlemeye dayalı bir duruma gelmiştir. Alternatif bakım yönetim stratejisi seçiminin yapıldığı bu çalışma, tüm bu değerlendirmeler ışığında bakım faaliyetleri ve işletmelerde uygulanması konusunda önemli bilgiler verecektir.

Bu doktora süresince, özellikle tez konusunun saptanması ve tez konusunda gerekli çalışmaların yapılması hususunda desteklerini esirgemeyen hocam Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARAHAN'a teşekkürlerimi borç bilirim. Ayrıca çalışma süresince desteklerini eksik etmeyen İşletme Bölüm Başkanımız ve hocam Prof. Dr. Abdulkadir BİLEN ve Doç. Dr. Mehmet METE'ye de ayrıca teşekkür ederim.

Doktora çalışmalarım süresince sürekli fedakârlık yapan, bana destek olan çok kıymetli eşime; oğlum *Berkay* ve zaman zaman dokümanlarımı karalayarak ve genellikle de baba kalk oynayalım diyerek desteklerini esirgemeyen kızım *Bengü*'ye bana katlandıkları için teşekkür ederim. İyi ki varsınız.

Bu tez Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiş olup, proje numarası İ.İ.B.F. 15.009'dur.

Hasan DİNÇ
Diyarbakır 2016

ÖZET

Bakım ile ürün kalitesi arasındaki ilişki göz ardı edilemeyecek kadar büyüktür. Firmaların günümüz ekonomisinde rekabet üstünlüğü sağlayabilmeleri için kaliteli malı ucuza, istenilen zamanda ve yerde bulundurmaları kritik öneme haizdir. İşletmelerin üretim süreçlerini aksatmadan müşterilerine ürünlerini zamanında teslim edebilecekleri bir bakım yöntemi belirlemek, araştırmanın temel önceliğidir. Bu bağlamda işletmelerin seçmek durumunda olduğu değişik bakım stratejilerinden işletme için en uygun olanını belirlemek üzere AHS metodunun kullanılmasının uygun olacağına karar verilmiştir.

Öncelikle konuyla ilgili literatür taranmış ve ana kriterler ortaya çıkarılmıştır. Bu çalışmadaki uygulama için belirlenen ana kriterler; maliyet, güvenlik, uygulanabilirlik ve rekabet avantajıdır. Ana kriterlerin belirlenmesinden sonra bunları daha detaylı inceleyen alt kriterler belirlenmiştir. Daha sonra bu kriterler ışığında işletmede kullanılabilecek alternatifler seçilmiştir. Bu alternatifler; Tamir-Onarım (Düzeltici Bakım), Zaman Esaslı Bakım, Durum Esaslı Bakım, Toplam Verimli Bakım ve Güvenirlik Merkezli Bakımdır. Bu alternatifler uygulama yapılan fabrikadaki ilgili personelin bilgi ve tecrübelerine dayanarak belirlenmiştir. Kriterler ve alternatifler belirlendikten sonra problemin çözümü için hiyerarşi ve ardından karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur. AHS metodu yardımıyla elde edilen değerler Expert Choice paket programı ile incelenmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Tüm bu işlemlere göre bakım stratejileri önem derecesine göre sıralanmıştır.

Çalışma sonucunda uygulama yapılan fabrika için en uygun bakım stratejisinin Toplam Verimli Bakım olduğu belirlenmiştir. Ancak fabrikanın kapasitesi, üretim alanı, kullanılan makinelerin cinsi ve diğer birçok faktöre göre en uygun bakım stratejisi değişiklik gösterebileceği de göz ardı edilmemelidir.

Anahtar Sözcükler

Analitik Hiyerarşi Süreci, Çok Kriterli Karar Verme, Bakım Yönetimi, Bakım Stratejisi Seçimi.

ABSTRACT

The relation between maintenance and product quality is big enough that cannot be ignored. In today's economy, in order to provide a competitive advantage for companies, keeping the quality goods cheap at any time and place has a critical importance. The main priority of this research is determine a maintenance strategy that allows companies delivering their products to the customers on time without disrupting the production process. In this context, it has been decided that using AHP method is appropriate to determine the most suitable one among the maintenance strategies for the companies are supposed to choose.

First of all a literature review has been made and main criteria have been found out. Main criteria for the practice in this study are cost, safety, feasibility and competitive advantage. After determining main criteria, sub criteria which observe these main criteria more detailed have been determined. Then with the help of these criteria, the alternatives that can be used for company have been chosen. These alternatives are Repair (Corrective Maintenance), Time Based Maintenance, Condition Based Maintenance, Total Productive Maintenance and Reliability Centred Maintenance. These alternatives have been determined according to knowledge and experience of staff of the company which the practice has been made in. After criteria and alternatives have been determined, hierarchy and comparison matrix have been created for solution of the problem. Gathered data by AHP method have been observed using Expert Choice software and results have been evaluated. According to all these calculations, maintenance strategies have been arranged in order to importance level.

As the result of the study, Total Productive Maintenance has been found the most suitable maintenance strategy for the factory. However, it shouldn't be ignored that the most suitable maintenance strategy may vary depending on capacity of factory, production field, types of used machines and any other factors.

Key Words

Analytic Hierarchy Process, Multi-Criteria Decision Making, Maintenance Management, Maintenance Strategy Selection.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No.

ÖN SÖZ I

ÖZET II

ABSTRACT IV

İÇİNDEKİLER VI

TABLO LİSTESİ XIII

ŞEKİL LİSTESİ XV

KISALTMALAR XVIII

GİRİŞ 1

BİRİNCİ BÖLÜM

BAKIM KAVRAMLARI VE BAKIM YÖNETİMİ

1.1. BAKIM KAVRAMLARI VE BAKIM FELSEFESİNİN GELİŞİMİ 6

1.1.1. Tamir - Onarım 9

1.1.2. Bakım 10

1.1.3. Güvenirlik 11

1.1.4. Toplam Ekipman Etkinliği (Overall Equipment Effectiveness) 11

1.1.5. Arızalar Arası Ortalama Süre (Mean Time Between Failures) 14

1.1.6. Ortalama Tamir Süresi (Mean Time to Repair) 14

1.2. İŞLETMELERDE ÜRETİM VE BAKIM OPTİMİZASYONU 14

1.3. BAKIM VE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME LİTERATÜRÜ 23

İKİNCİ BÖLÜM

ALTERNATİF BAKIM STRATEJİLERİ

2.1. BAKIM YAKLAŞIMLARINA GENEL BİR BAKIŞ 35

2.2. TAMİR–ONARIM (DÜZELTİCİ BAKIM/ARIZİ BAKIM) 42

2.3. KORUYUCU/ÖNLEYİCİ BAKIM (PREVENTIVE MAINTENANCE) 45

2.3.1. Zaman Esaslı Bakım (Time-Based Maintenance) 48

2.3.2. Durum Esaslı Bakım (Condition-Based Maintenance) 50

2.3.3. Kestirimci Bakım (Predictive Maintenance) 53

2.4. GÜVENİLİRLİK MERKEZLİ BAKIM (RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE - RCM) 56

2.5. TOPLAM VERİMLİ (ÜRETKEN) BAKIM (TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE) 59

2.5.1. Toplam Verimli Bakımın Özellikleri 61

2.5.2. Altı Büyük Kayıp 62

2.5.2.1. Arıza Kayıpları 62

2.5.2.2. Ölçü Değişim ve Ayar Kayıpları 63

2.5.2.3. Aylak Zaman ve Küçük Duruşlar 63

2.5.2.4. Düşük Hız 64

2.5.2.5. Üretim Hataları 64

2.5.2.6. Devreye Alma ve Rejime Ulaşma Kayıpları 65

2.6. DÜNYA KLASMANINDA BAKIM SİSTEMİ (WORLD – CLASS MAINTENANCE SYSTEM) 65

2.7. YALIN BAKIM YÖNETİMİ (LEAN MAINTENANCE) 69

2.8. İŞ MERKEZLİ BAKIM YÖNETİMİ (BUSINESS CENTRED MAINTENANCE) 71

2.9. EVRİMSEL BAKIM METODU (EVOLUTIONARY MAINTENANCE METHOD) 72

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME

3.1. KARAR ANALİZİNDE KULLANILAN TEMEL KAVRAMLAR 74

3.2. KARAR ANALİZ METOTLARI 76

3.2.1. Tek Amaçlı Karar Verme Metotları 77

3.2.2. Karar Destek Sistemi 77

3.2.3. Çok Kriterli Karar Verme 77

3.2.3.1. Çok Amaçlı Karar Verme 77

3.2.3.2. Çok Nitelikli Karar Verme 78

3.3. ÇOK NİTELİKLİ KARAR VERME TEKNİKLERİ 79

3.3.1. Analitik Hiyerarşi Süreci 79

3.3.2. Analitik Ağ Süreci 79

3.3.3. TOPSIS 80

3.3.4. ELECTRE 81

3.3.5. PROMETHEE 82

3.4. ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİNİN ÖZELLİKLERİ 82

3.5. ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİNİN UYGULAMA ALANLARI 83

3.6. ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİNİN AVANTAJ VE KISITLARI 88

3.6.1. Analitik Hiyerarşi Sürecinin Avantajları 88

3.6.2. Analitik Hiyerarşi Sürecinin Kısıtları 90

3.7. ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİNİN AKSİYOMLARI 91

3.7.1. Karşılıklılık Aksiyomu 92

3.7.2. Homojenlik Aksiyomu 92

3.7.3. Bağımsız Olma Aksiyomu 95

3.7.4. Beklentiler Aksiyomu 95

3.8. ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİNİN PRENSİPLERİ 96
3.8.1. Ayrıştırma 96
3.8.2. Mukayeseli Yargılama 97
3.8.3. Sentezleme/Hiyerarşi Kompozisyonu 97

3.9. ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİNİN AŞAMALARI 98
3.9.1. Karar Probleminin Tanımlanması 102
3.9.2. Hiyerarşik Yapının Oluşturması 102
3.9.2.1 Hiyerarşi Oluşturma Örneği 105
3.9.3. İkili Karşılaştırma Matrislerinin Oluşturulması 106
3.9.3.1 Kriterleri Kıyaslama Örneği 108
3.9.3.2 Alternatiflerin Kriterlere Göre Kıyaslanması Örneği 110
3.9.4. Uyum Oranının Hesaplanması ve Öncelik Değerlerine Göre Alternatiflerin Sıralanması 111
3.9.5. Duyarlılık Analizinin Yapılması 117

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ METODU İLE ALTERNATİF BAKIM STRATEJİSİ SEÇİMİ: BEYAZ EŞYA SOĞUTUCU KOMPONENTLERİ ÜRETİCİSİ OLAN İŞLETMEDE YAPILAN BİR UYGULAMA

4.1. UYGULAMANIN YAPILDIĞI FİRMA HAKKINDA GENEL BİLGİLER 119

4.2. KARAR PROBLEMİNİN TANIMLANMASI 120

4.3. KRİTERLERİN BELİRLENMESİ 120
4.3.1. Maliyet Kriteri 121
4.3.1.1. Yedek Parça Stoku Kriteri 121
4.3.1.2. Bakım - Onarım Süresi Kriteri 121
4.3.1.3. Donanım Kriteri 122
4.3.1.4. Verimlilik Kriteri 122

4.3.2. Güvenlik Kriteri 122
4.3.2.1. Personel Kriteri 122
4.3.2.2. Tesis Kriteri 123
4.3.2.3. Ürün Kriteri 123
4.3.2.4. Çevre Kriteri 123
4.3.3. Uygulanabilirlik Kriteri 124
4.3.3.1. Teknik Güvenirlik Kriteri 124
4.3.3.2. Makine – Teçhizat Kriteri 124
4.3.3.3. Eğitim Kriteri 124
4.3.4. Rekabet Avantajı Kriteri 125
4.3.4.1. Teknik Bilgi Kriteri 125
4.3.4.2. Ürün Kalitesi Kriteri 125
4.3.4.3. Arıza Teşhisi Kriteri 125

4.4. ALTERNATİF STRATEJİLERİN BELİRLENMESİ 126

4.5. HİYERARŞİK MODELİN BELİRLENMESİ 126

4.6. KRİTERLERİN İKİLİ KARŞILAŞTIRMA MATRİSLERİNİN OLUŞTURULMASI VE ÖNCELİK VEKTÖR HESABI 128

4.6.1. Ana Kriterlerin Karşılaştırma Matrisi ve Öncelik Vektörün Belirlenmesi……. 129

4.6.2. Maliyet Kriterinin Karşılaştırma Matrisi ve Öncelik Vektörün Belirlenmesi…… 131

4.6.3. Güvenlik Kriterinin Karşılaştırma Matrisi ve Öncelik Vektörün Belirlenmesi…… 132

4.6.4. Uygulanabilirlik Kriterinin Karşılaştırma Matrisi ve Öncelik Vektörün Belirlenmesi…… 133

4.6.5. Rekabet Avantajı Kriterinin Karşılaştırma Matrisi ve Öncelik Vektörün Belirlenmesi…… 134

4.7. KRİTERLERE GÖRE ALTERNATİFLERİN İKİLİ KARŞILAŞTIRMA MATRİSLERİNİN OLUŞTURULMASI VE ÖNCELİK VEKTÖRLERİN BELİRLENMESİ 135

4.7.1. Yedek Parça Stoku Kriterine Göre Alternatiflerin Karşılaştırılması . 135

4.7.2. Bakım - Onarım Süresi Kriterine Göre Alternatiflerin Karşılaştırılması….. 136
4.7.3. Donanım Kriterine Göre Alternatiflerin Karşılaştırılması 137
4.7.4. Verimlilik Kriterine Göre Alternatiflerin Karşılaştırılması 138
4.7.5. Personel Kriterine Göre Alternatiflerin Karşılaştırılması 139
4.7.6. Tesis Kriterine Göre Alternatiflerin Karşılaştırılması..... 139
4.7.7. Ürün Kriterine Göre Alternatiflerin Karşılaştırılması..... 140
4.7.8. Çevre Kriterine Göre Alternatiflerin Karşılaştırılması..... 141
4.7.9. Teknik Güvenirlik Kriterine Göre Alternatiflerin Karşılaştırılması .. 142
4.7.10. Makine-Teçhizat Kriterine Göre Alternatiflerin Karşılaştırılması... 143
4.7.11. Eğitim Kriterine Göre Alternatiflerin Karşılaştırılması 143
4.7.12. Teknik Bilgi Kriterine Göre Alternatiflerin Karşılaştırılması..... 144
4.7.13. Ürün Kalitesi Kriterine Göre Alternatiflerin Karşılaştırılması 145
4.7.14. Arıza Teşhisi Kriterine Göre Alternatiflerin Karşılaştırılması..... 146

4.8. TUTARLILIĞIN HESAPLANMASI VE ALTERNATİFLERİN SIRALANMASI..... 147
4.8.1. Tutarlılığın (Consistency) Hesaplanması 147
4.8.2. Ana Kriterlerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranının Hesaplanması 150
4.8.3. Maliyet Kriterlerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı..... 150
4.8.4. Güvenlik Kriterlerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı 151
4.8.5. Uygulanabilirlik Kriterlerinin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı..... 152
4.8.6. Rekabet Avantajı Kriterlerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı 152
4.8.7. Yedek Parça Stoku Kriterine Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranının Bulunması 153
4.8.8. Bakım - Onarım Süresi Kriterine Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı….. 154
4.8.9. Donanım Kriterine Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı Hesabı……..... 154
4.8.10. Verimlilik Kriterine Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranının Belirlenmesi 155
4.8.11. Personel Kriterine Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı Hesabı……..... 156

4.8.12. Tesis Kriterine Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı Hesabı……..... 156
4.8.13. Ürün Kriterine Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı Hesabı……..... 157
4.8.14. Çevre Kriterine Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı……..... 158
4.8.15. Teknik Güvenirlik Kriterine Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı…. 158
4.8.16. Makine – Teçhizat Kriterine Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı…. 159
4.8.17. Eğitim Kriterine Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı……..... 160
4.8.18. Teknik Bilgi Kriterine Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı……..... 160
4.8.19. Ürün Kalitesi Kriterine Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı……..... 161
4.8.20. Arıza Teşhisi Kriterine Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı……..... 162
4.8.21. Maliyet Ana Kriteri ve Alt Kriterlerin Alternatiflere Etki Derecelerinin Belirlenmesi……. 163
4.8.22. Güvenlik Ana Kriteri ve Alt Kriterlerin Alternatiflere Etki Derecelerinin Belirlenmesi 165
4.8.23. Uygulanabilirlik Ana Kriteri ve Alt Kriterlerin Alternatiflere Etki Derecelerinin Belirlenmesi 168
4.8.24. Rekabet Avantajı Ana Kriteri ve Alt Kriterlerin Alternatiflere Etki Derecelerinin Belirlenmesi 170
4.8.25. Tüm Kriterlerin Alternatiflere Etki Derecelerinin Hesaplanması 173
4.9. DİNAMİK DUYARLILIK ANALİZİNİNYAPILMASI 175
SONUÇ VE ÖNERİLER 181
KAYNAKÇA 184

TABLO LİSTESİ

Sayfa No.

Tablo 1.1: Kriterlerin Ağırlık Değerleri 30
Tablo 1.2: Literatürde ÇKKV ve Bakım Stratejileri 32
Tablo 2.1: Bakım Stratejileri Literatür Özeti 40
Tablo 3.1: Analitik Hiyerarşi Süreci'nin Kullanım Alanları 84
Tablo 3.2: Analitik Hiyerarşi Süreci Literatür 85
Tablo 3.3: AHS 'de Puanlamalar 107
Tablo 3.4: Karşılaştırma Matrisi Örneği I 109
Tablo 3.5: Karşılaştırma Matrisi Örneği II 110
Tablo 3.6: Tesadüfilik Göstergesi 114
Tablo 3.7: Normalizasyon İşlemi 115
Tablo 3.8: Normalize Edilmiş Matris ve Öncelik Vektörü Hesabı 115
Tablo 4.1: Ana Kriterlerin Karşılaştırma Matrisi 129
Tablo 4.2: Normalizasyon İşlemi (1) 130
Tablo 4.3: Normalizasyon İşlemi (2) 130
Tablo 4.4: Normalize Edilmiş Matris ve Öncelik Vektörü Hesabı 130
Tablo 4.5: Ana Kriterlerin Karşılaştırma Matrisi ve Öncelik Vektörü 131
Tablo 4.6: Maliyet Kriterine Bağlı Alt Kriterlerin Karşılaştırma Matrisi ve Öncelik Vektörü 132
Tablo 4.7: Güvenlik Kriterine Bağlı Alt Kriterlerin Karşılaştırma Matrisi ve Öncelik Vektörü 133

Tablo 4.8: Uygulanabilirlik Kriterine Bağlı Alt Kriterlerin Karşılaştırma Matrisi ve Öncelik Vektörü 134
Tablo 4.9: Rekabet Avantajı Kriterine Bağlı Alt Kriterlerin Karşılaştırma Matrisi ve Öncelik Vektörü 134
Tablo 4.10: Yedek Parça Stokuna Göre Alternatiflerin Karşılaştırması ve Öncelik Vektörü 136
Tablo 4.11: Bakım - Onarım Süresine Göre Alternatiflerin Karşılaştırma ve Öncelik Vektörü 137
Tablo 4.12: Donanıma göre Alternatiflerin Karşılaştırma ve Öncelik Vektörü 137
Tablo 4.13: Verimliliğe Göre Alternatiflerin Karşılaştırma ve Öncelik Vektörü 138
Tablo 4.14: Personele Göre Alternatiflerin Karşılaştırma ve Öncelik Vektörü 139
Tablo 4.15: Tesise Göre Alternatiflerin Karşılaştırma ve Öncelik Vektörü 140
Tablo 4.16: Ürüne Göre Alternatiflerin Karşılaştırma ve Öncelik Vektörü 141
Tablo 4.17: Çevreye Göre Alternatiflerin Karşılaştırma ve Öncelik Vektörü 141
Tablo 4.18: Teknik Güvenirliğe Göre Alternatiflerin Karşılaştırma ve Öncelik Vektörü 142
Tablo 4.19 Makine-Teçhizata Göre Alternatiflerin Karşılaştırma ve Öncelik Vektörü 143
Tablo 4.20: Eğitime Göre Alternatiflerin Karşılaştırma ve Öncelik Vektörü 144
Tablo 4.21: Teknik Bilgiye Göre Alternatiflerin Karşılaştırma ve Öncelik Vektörü 145
Tablo 4.22: Ürün Kalitesine Göre Alternatiflerin Karşılaştırma ve Öncelik Vektörü 146
Tablo 4.23: Arıza Teşhisine Göre Alternatiflerin Karşılaştırma ve Öncelik Vektörü 146
Tablo 4.24: Ana Kriterlerin Karşılaştırma Matrisi ve Öncelik Vektörü 147
Tablo 4.25: Kriterlerin Lokal ve Global Ağırlıkları 181

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No.

Şekil 1.1: Değişen Rekabet Unsurları 2
Şekil 1.2: Yönetimin ve Bakım Felsefelerinin Tarihsel Gelişimi 7
Şekil 2.1: Arıza Olasılığının 6 Farklı Şekli 37
Şekil 2.2: Bakım Çeşitleri 39
Şekil 2.3: Tamir – Onarım Yaklaşımı 44
Şekil 2.4: Koruyucu Bakım Yaklaşımı 48
Şekil 2.5: Küvet Eğrisi 49
Şekil 2.6: Geçerli Durum Değerlendirmesine Dayalı Yöntem Süreci 51
Şekil 2.7: Gelecekteki Durumu Kestirmeye Dayalı Yöntem Süreci 52
Şekil 2.8: Gelecekteki Durumu Kestirmeye Dayalı Yöntem 53
Şekil 2.9: Kestirimci Bakım Yaklaşımı 55
Şekil 2.10: Toplam Ekipman Etkinlik Performansı 67
Şekil 2.11: İş Merkezli Bakım Yaklaşımı ve Karlılığın Maksimizasyonu 72
Şekil 3.1: Karar Analizi Metotları 76
Şekil 3.2: Analitik Hiyerarşi Sürecinin Faydaları 90
Şekil 3.3: Büyük ve Küçük Hacimli Nesneleri Gruplayarak Karşılaştırma 94
Şekil 3.4: AHS'nin Akış Şeması 99
Şekil 3.5: Analitik Hiyerarşi Sürecinin Aşamaları 101
Şekil 3.6: Hiyerarşi Örneği 104
Şekil 3.7: Hiyerarşi Ağacı Örneği 105

Şekil 4.1: Problem Çözümü İçin Geliştirilen Karar Ağacı 127
Şekil 4.2: Ana Kriterlerin Öncelik Vektörüne Göre Sıralanması ve Tutarlılık Oranı 150
Şekil 4.3: Maliyet Kriterlerin Öncelik Vektörüne Göre Sıralanması ve Tutarlılık Oranı 151
Şekil 4.4: Güvenlik Kriterlerin Öncelik Vektörüne Göre Sıralanması ve Tutarlılık Oranı..... 151
Şekil 4.5: Uygulanabilirlik Kriterlerin Öncelik Vektörüne Göre Sıralanması ve Tutarlılık Oranı 152
Şekil 4.6: Rekabet Avantajı Kriterlerin Öncelik Vektörüne Göre Sıralanması ve Tutarlılık Oranı 153
Şekil 4.7: Yedek Parça Stokuna Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı 153
Şekil 4.8: Bakım - Onarım Süresine Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı..... 154
Şekil 4.9: Donanıma Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı 155
Şekil 4.10: Verimliliğe Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı 155
Şekil 4.11: Personele Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı 156
Şekil 4.12: Tesise Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı 157
Şekil 4.13: Ürüne Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı..... 157
Şekil 4.14: Çevreye Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı 158
Şekil 4.15: Teknik Güvenirliğe Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı 159
Şekil 4.16: Makine - Teçhizata Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı 159
Şekil 4.17: Eğitime Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı 160
Şekil 4.18: Teknik Bilgiye Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı.... 161
Şekil 4.19: Ürün Kalitesine Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı .. 162
Şekil 4.20: Arıza Teşhisine Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı .. 162
Şekil 4.21: Alternatiflerin, Maliyet Alt Kriterlerine Göre Sıralanması 163
Şekil 4.22: Maliyet Ana Kriterine Göre Alternatiflerin Ağırlıkları ve Alt Kriterlerin Alternatiflere Etki Dereceleri..... 164

Şekil 4.23: Maliyet Kriterine Göre Alternatiflerin Öncelik Vektörü 165
Şekil 4.24: Alternatiflerin, Güvenlik Alt Kriterlerine Göre Sıralanması 166
Şekil 4.25: Güvenlik Kriterine Göre Alternatiflerin ve Alt Kriterlerin Alternatiflere Etki Dereceleri 166
Şekil 4.26: Güvenlik Kriterine Göre Alternatiflerin Öncelik Vektörü 167
Şekil 4.27: Alternatiflerin, Uygulanabilirlik Alt Kriterlerine Göre Sıralanması 168
Şekil 4.28: Uygulanabilirlik Kriterine Göre Alternatiflerin ve Alt Kriterlerin Alternatiflere Etki Dereceleri 169
Şekil 4.29: Uygulanabilirlik Kriterine Göre Alternatiflerin Öncelik Vektörü 170
Şekil 4.30: Alternatiflerin, Rekabet Avantajı Alt Kriterlerine Göre Sıralanması 171
Şekil 4.31: Rekabet Avantajı Kriterine Göre Alternatiflerin ve Alt Kriterlerin Alternatiflere Etki Dereceleri 171
Şekil 4.32: Rekabet Avantajı Kriterine Göre Alternatiflerin Öncelik Vektörü 172
Şekil 4.33: Alternatiflerin Ana Kriterlere Göre Sıralanması 173
Şekil 4.34: Ana Kriterlere Göre Alternatiflerin Ağırlıklarının ve Alternatiflere Etki Dereceleri 174
Şekil 4.35: Tüm Kriterlere Göre Alternatiflerin Öncelik Vektörü 175
Şekil 4.36: Ana Kriterlerin Alternatiflere Etki Dereceleri 176
Şekil 4.37: Maliyet Kriterine Göre Alternatiflerin Değişimleri 176
Şekil 4.38: Güvenlik Kriterine Göre Alternatiflerin Değişimleri 177
Şekil 4.39: Uygulanabilirlik Kriterine Göre Alternatiflerin Değişimleri 178
Şekil 4.40: Rekabet Avantajı Kriterine Göre Alternatiflerin Değişimleri 179

KISALTMALAR

AAP	Analitik Ağ Prosesi
AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
AHS	Analitik Hiyerarşi Süreci
AO	Aritmetik Ortalama
BGÇP	Bakım Gerektirmeyen Çalışma Periyodu
CI	Tutarlılık İndeksi
CR	Uyum Oranı
ÇAKV	Çok Amaçlı Karar Verme
ÇKKM	Çok Kriterli Karar Verme
ÇNKV	Çok Nitelikli Karar Verme
DB	Düzeltici Bakım
DMB	Durum Merkezli Bakım
ELECTRE	Elimination and Choice Translating Reality
GMB	Güvenirlik Merkezli Bakım
HTEKA	Hata Türleri Etkileri ve Kritiklik Analizi
JIT	Tam Zamanında Üretim
KB	Kestirimci Bakım
KDS	Karar Destek Sistemi
MADM	Multiple Attribute Decision Making
MAUT	Multiple Attribute Utility Theory
MODM	Multi Objective Decision Making
PB	Periyodik Bakım
PROMETHEE	Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation
RI	Tesadüfilik Göstergesi
TOPSIS	İdeal Çözüme Benzerliğe Dayalı Sıralama Tekniği
TTE	Toplam Ekipman Etkinliği
TVB	Toplam Verimli Bakım
UTADIS	Utilities Additives Discriminantes
WSA	Ağırlıklı Hesaplama Yaklaşımı
w	Öncelik Vektörü

GİRİŞ

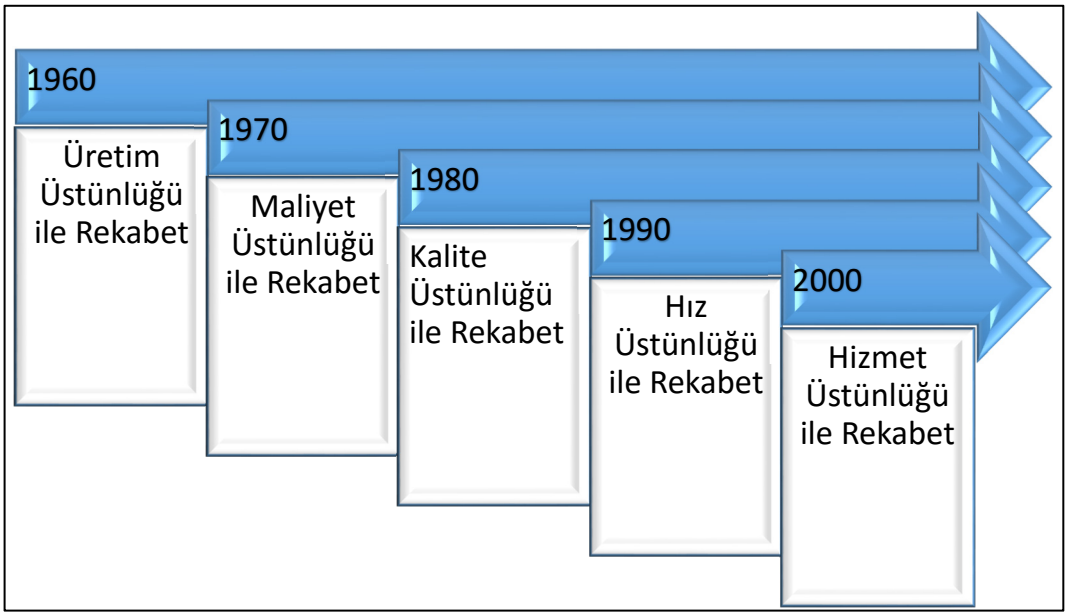
Tedarik Zinciri ve Lojistik Yönetim faaliyetlerinde; neyi, nerede, ne zaman, ne kadar, ne özellikte ve ne kadarlık bir maliyetle yapacağınız değerlendirildiğinde bakım ve onarım faaliyetleri, yedek parça yada ana malzemenin tedariğinden, ömür devri boyunca uygulanacak bakım ve onarımların planlanması ve maliyetlerin en aza indirilmesi firma, kurum ve kuruluşlar için önemli bir yere sahiptir.

Bazı firma, kurum ve kuruluşlar mevcut makine, ekipman ve teçhizatın bakım ve onarımında harcanan giderlerin azaltılması, bakım ve onarım konusunda yetenek kazanmak maksadıyla bu faaliyetleri icra edecek bakım ve onarım atölyeleri kurmuşlardır. Ancak gelişen teknoloji ve artan malzeme çeşitliliği, çalışan teknik personelin uzmanlaşamaması veya daha fazla çalışan ihtiyacını doğurmuştur. Özellikle elektronik donanımların arızalandığında onarım yapmak yerine parçayı değiştirmek günümüzde genellikle daha ekonomik olmaktadır.

Bugünün küresel rekabet ortamında, üreticiler daha önceden olmadığı kadar büyük sorunlarla yüzleşmektedirler. Üreticiler müşterilerine, hizmet süresince bütün sisteminin arızalanmaması veya görevlerini yapamayacak şekilde fonksiyonelliğini yitirmemesini garanti etmek durumundadırlar (Xu ve Wu, 2015: 587).

Bütün rekabet ortamlarında başarı; müşteriye verilen üstün değere (değer avantajı), düşük maliyetlerle çalışmaya (maliyet avantajı) veya en ideal durum her ikisinin beraber olmasına bağlıdır (Alsyouf, 2004: 1).

Rekabet bir yarış olup, bu yarışın yapısındaki değişim ve gelişimi, talebin çekme ve teknolojinin itme gücü olarak iki temel faktöre bağlıdır. Bu faktörlerin etkisi sonucu işletmelerin kullandıkları araçların zaman içindeki değişimi Şekil 1.1'deki gibi gösterilebilir.



Şekil 1.1: Değişen Rekabet Unsurları

Kaynak: Tekin ve Ömürbek, 2013: 21

Şekil 1.1'de görüldüğü gibi değişen rekabet üretim ile başlamış, maliyet, kalite ve hız üstünlüğü ile gelişmiş ve günümüzde hizmet üstünlüğü ile devam etmektedir.

Rekabet işletmelerin varlıklarını sürdürebilmeleri ve gelişmeleri için gereklidir. Böylece tekelci fiyat önlenmekte ve tüketicilerin mal ve hizmet satın almalarınının en iyi koşullarda yapılması sağlanmaktadır. Rekabet, firmaların verimli olmak ve kaliteli ürün üretmek için her türlü çabayı harcamalarını mecbur kılmaktadır. İşletmeler bu konuda gerekli özveriyi göstermezlerse, daha iyi fiyat ve kalite sunan diğer üreticiler tarafından pazar dışına atılma tehlikesi ile karşı karşıya kalacaklardır (Tekin ve Ömürbek, 2013: 21).

Rekabetin oldukça önemli olduğu günümüz piyasasında firmaların kaliteli ürün sunabilmeleri için, üretimin önemli bir parçası olan bakım-onarım faaliyetlerine de gerekli hassasiyeti göstermeleri gerekmektedir. Firmalarda uygulanan bakım

stratejileri uzun dönemde maliyet, verimlilik, kalite gibi konularda üreticilere geri dönüş sağlamakta ve piyasadaki rekabet ortamına ayak uydurmayı kolaylaştırmaktadır.

Bakım mühendisliğinin en zor ve önemli konularından birisi tamir ve bakım alternatiflerinden birinin seçimidir. Koruyucu bakımda işleyen bir sistem arıza yapmadan, çalışırken önceden belirlenmiş süreler ya da durumlar sonunda bakıma alınması gerekir. Bakım sırasında bazı parçalar daha bozulmadan henüz çalışır durumdayken değiştirilebilir. Buna karşın tamir politikasında ise sistem işlevini yerine getirdiği sürece herhangi bir bakıma ihtiyaç duyulmaz. Ancak arıza çıktığında, yani sistem işlemez hale geldiğinde, arızaların tamiri ile birlikte makineler bakıma alınır. Bakım sırasında ise gerekli parça değişimleri, yağlamalar, temizlik ve ayarlamalar yapılır.

Bakım maliyetleri normal işletmelerin genelde, toplam işletme maliyetlerinin büyük bir kısmını oluşturur (Mobley, 2004: 1). Yapılan tahminlere göre bakım maliyetleri fabrika işletme maliyetlerinin % 20-30'una denk gelmektedir. Bundan dolayı doğru planlanacak bakım faaliyetleri işletme karlılığını artırmaktadır. (Sachdeva vd., 2008: 818).

Bakım fonksiyonunun; varlık bulunabilirliğinin korunması ve geliştirilmesi, üretim performansı verimliliği ve etkinliğinin iyileştirilmesi, toplam işletme maliyetlerine katılımı, kaliteli ve zamanında ürün üretilmesine yardımcı olması, iş sağlığı ve güvenliği konularındaki stratejik etkisi nedeniyle önemi artmıştır (Alsyouf, 2007: 71).

Hizmet ve üretim sektöründe kullanılan her sistemin (makine, ekipman, araç vb.) belirli bir ömrü vardır ve sistemler yaşam süreleri boyunca bakıma ihtiyaç duyarlar. Sistemin belirlenen şartlarda devamlılığını sağlamak için bakımın etkisi göz ardı edilemez. Uygun bakım stratejisinin belirlenmesi ise bakım yönetiminin önemli bir sorunudur. Çünkü sistem oldukça karmaşık ve birbiriyle çelişen çok sayıda parametre/kriter tarafından etkilenmektedir. Parametrelerin fazla olması ise çok ölçütlü bir değerlendirmeyi zorunlu kılmaktadır.

Bakımın amacı ekipmanın ömrünü uzatmak veya en azından tamir edilmesi maliyetli olan bir sonraki arızaya kadar olan ortalama arızalar arası süreyi (OAAS) uzatmaktır. Ayrıca, etkili bakım politikalarının servis kesintilerinin sıklığını ve bu kesintilerin neden olduğu birçok istenmeyen sonuçları azaltması beklenir. Bakım, bileşen ve sistem güvenirliğini açıkça etkilemektedir. Eğer bir işletmede çok az bakım yapılırsa güvenirlik düşer ve bu çok sayıda maliyetli arızalara ve sistem performansının azalmasına neden olabilir. Çok sık bakım yapılması durumunda, güvenirlik artırılabilir ancak bu durumda bakım maliyeti de keskin bir şekilde artmaktadır. Etkili bir maliyet kontrolü oluşturmak için bakım planlamasında denge kurulması önemli bir gerekliliktir. Bakım süreci işletmelerin sistem güvenirliğini ve sürekliliğini sağlayan araçlardan biridir. Bakım dışındaki diğer araçlar sistem kapasitesinin ve istihdamın artırılmasına ve daha güvenilir başka bileşenlere ihtiyaç duyar. Bu durum, bakım sürecini varlık yönetiminin önemli bir parçası haline getirmektedir. Örneğin elektrikli cihazları uzun süre çalışır durumda tutmak için sürekli bakım programlarına ihtiyaç duyulur. Geçmişte yapılan bakım programları çoğunlukla önceden belirlenen düzenli aralıklarla yapılmaktayken günümüzde böyle bir bakım politikası oldukça verimsiz ve çok fazla maliyetli olabilir. Geçtiğimiz on yılda, bakım stratejilerinde büyük değişimler yaşanmış. Birçok işletme sabit zaman aralıklı bakım programlarının yerine, analizlere dayalı durum izleme (kestirimci bakım) yöntemi ile yapmaya başlamışlardır (Edrenyi vd., 2001: 638).

Çalışmanın Amacı ve Önemi

Bu tez çalışmasında Beyaz Eşya Soğutucu Komponentleri üreten bir fabrikada bulunan ve üretimde kullanılan makine ve ekipmanlara, farklı bakım stratejilerinden hangisinin ya da hangilerinin uygulanmasının daha uygun olacağı belirlenmeye çalışılmıştır.

Çalışmanın Kapsamı

Çalışmanın kapsamı, alternatif bakım stratejilerinden birinin seçimi için karar modeli oluşturmaktır. İkili karşılaştırmalar yapılırken firmada görevli bakım mühendisi, bakım personeli ve fabrika müdürünün bilgi ve tecrübelerinden oluşturulan değerlendirmeler kullanılmıştır.

Çalışmanın Yöntemi

Çalışmada Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) kullanılmıştır.

Çalışma Planı

Çalışma dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm giriş bölümü olup, bu bölümde bakım kavramları ve bakım felsefesinin gelişimi, bakımın üretim üzerindeki etkileri ve Analitik Hiyerarşi Süreci ile bakım stratejileri hakkında ayrıntılı literatüre yer verilmiştir.

İkinci bölümünde, işletmelerde kullanılan bakım stratejileri incelenmiş ve bakım optimizasyon çalışmalarına ilişkin ilgili literatürde yer alan bilimsel çalışmalara yer verilmiştir. Bu bölümde bakım stratejilerinin tanımlarına da ayrıca yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde, Çok Kriterli Karar Verme teknikleri hakkında bilgiler sunulmuş olup, Analitik Hiyerarşi Sürecinin (AHS) uygulama alanları, özellikleri ve AHS işlem aşamaları hakkında ayrıntılı bilgiler verilmiştir.

Dördüncü ve son bölümde ise İstanbul'da faaliyet gösteren ve beyaz eşya komponentleri üreten bir firmada yapılan uygulama çalışması ile bulgular ortaya konarak sonuçları yorumlanmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM
BAKIM KAVRAMLARI VE BAKIM YÖNETİMİ

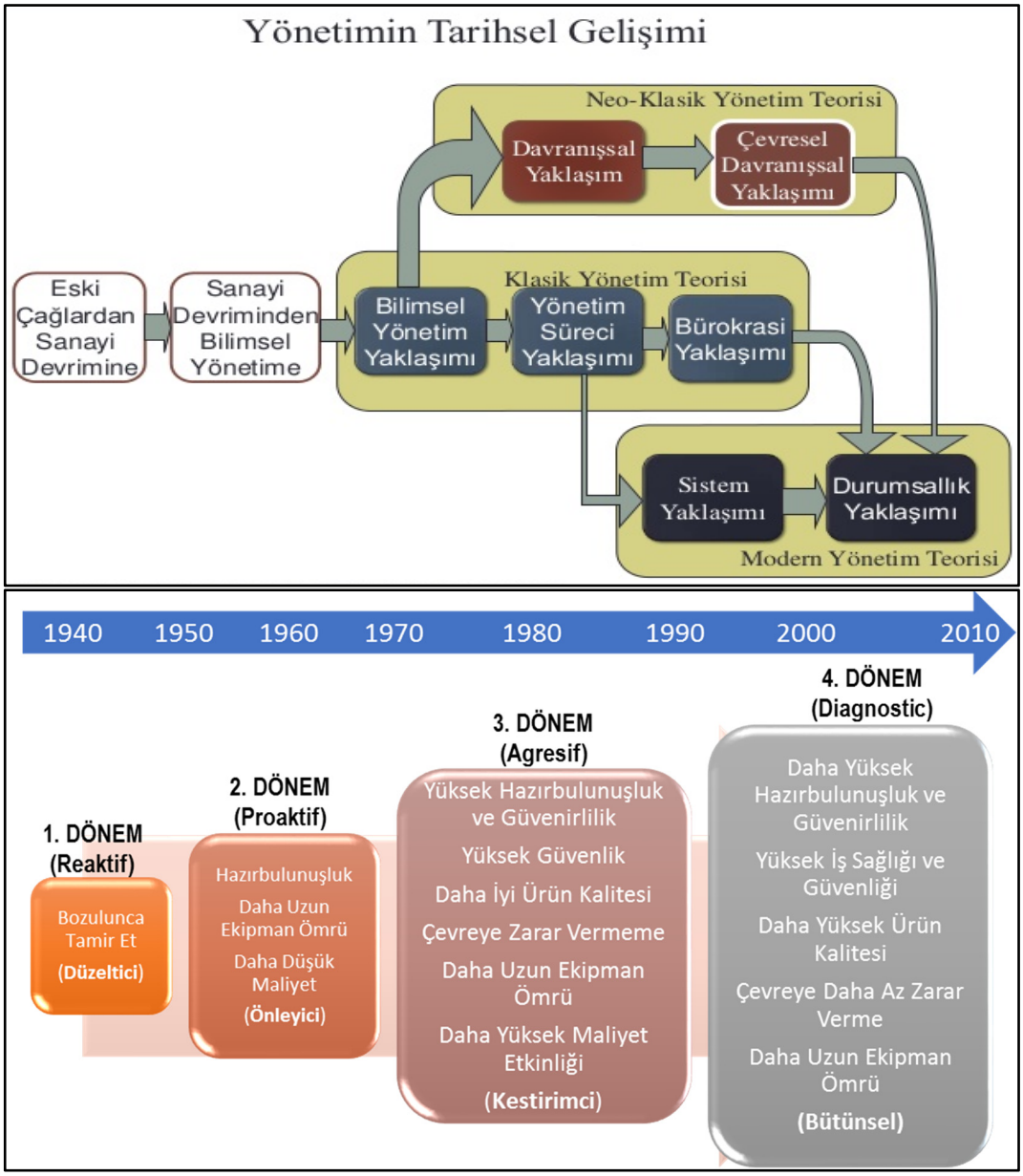
1.1. BAKIM KAVRAMLARI VE BAKIM FELSEFESİNİN GELİŞİMİ

Yapılan literatür taraması sonucunda elde edilen bilgilerden yararlanarak aşağıda bakım kavramı hakkında gerekli açıklamalar yapılmış ve daha sonra bakım kavramının tarihsel gelişimi hakkında elde edilen bilgiler sunulmuştur.

İşletme yöneticilerinin en önemli görevleri işletmelerini güvenirliği tescil edilmiş ve güvenliği sağlanmış bir tesis olarak yönetmektir. Bunu başarmak için de bakım yönetim sisteminin iyi seçilmesi gerekmektedir (Fraser, 2014: 18).

Bakım fonksiyonunun; hazır-oluş düzeyinin korunması ve geliştirilmesi, performansı verimliliği, zamanında teslimat, çevre ve iş güvenliği, toplam işletme maliyet etkinliği konularındaki stratejik etkileri nedeniyle önemi artmaktadır (Alsyouf, 2007: 71).

Yönetim teorilerinin ve bakım kavramının tarihsel gelişimi Şekil 1.2'de gösterildiği gibi önemli birçok gelişmeden geçmişitir. Sonuç olarak bakım yaklaşımı, metotları, stratejileri, politikları, felsefeleri, Dekker (1996), Moubray (1997), Swanson (2001), Dhillon (2002), Pham (2003), Alsyouf (2004), Mobley (2004), Palmer (2006), Bloom (2006) gibi birçok araştırmacı tarafından ileri sürüldüğü gibi önemli değişimler geçirmiştir.



Şekil 1.2: Yönetimin ve Bakım Felsefelerinin Tarihsel Gelişimi

Kaynak: Moubray (1997: 3); Swanson (2001, 238-239); Alsyouf (2004, 26-27) ve Alsyouf (2007, 72)'den derlenmiştir

Şekil 1.2 incelendiğinde bakım felsefelerinin zaman içerisinde geliştiği ve hep daha iyiye doğru bir yönelme olduğu gözükmektedir. Bakım felsefelerinin gelişimi yönetim teorilerinin gelişimi ile paralellik gösterdiği görülmektedir. Birinci dönem çok basit ve sade bir şekilde eldeki makine/ekipmanın bozuluncaya kadar kullanılmaya devam edilmesi ve bozulunca tamir edilmesini içermektedir. Bu dönemde yönetim teorilerinde sanayi devrimine denk gelmektedir. İkinci dönemde

planlı bir bakım stratejisi öne çıkmakta ve daha uzun ekipman ömrü ve maliyetleri düşürme çabaları ön plana çıkmaktadır. Bu dönemde yönetim teorilerinde ise bilimsel yönteim teorisine geçiş dönemine denk geldiği görülmektedir. Üçüncü dönemde bilimsel yöntemler kullanılmaya başlanmış ve bakımda sensörler kullanılmaya başlanmıştır. Aynı dönemlerde klasik yönetim yaklaşımı ve neo-klasik yönetim teorisi ön plana çıkmaya başlamıştır. Dördüncü dönemde ise artık özellikle rekabet avantajı sağlayan, çevreye ve personele daha duyarlı ve daha uzun arızalar arası ortalama süre sağlayan stratejiler öne çıkmış ve bu gelişmelerle modern yönetim teorilerinde artık sistem ve durumsallık yaklaşımları görülmeye başlanmıştır.

Üretimin durmasının ekonomik bir kayıp olması ve makine arızalarının da kaçınılmaz bir durum olması; bakım ekiplerinin arızaları en kısa zamanda onarmayı ve arızalanmaları mümkün olan en düşük seviyeye indirmeyi hedef almalarını gerekli kılmaktadır. Bunun için de, bakım ekiplerinin belirli dönemlerde üretimi durdurup makineleri bakıma almaları, yani koruyucu bakım yapmaları en akılcı yol olabilir.

Koruyucu bakımlar arızaların meydana gelmesini önlemekte ve arıza olasılığını azaltmaktadır. Koruyucu bakımın üstünlüğü üretim sistemlerini sürekli iyi durumda tutarak beklenmeyen arızaların çıkma risklerini azaltmasıdır (Ruiz vd., 2007: 3315). Ancak uygulamada, üretim baskısı ve üretimi hızlandırma niyeti makinelerin daha iyi performans vermesini sağlayacak bakım planlarını engellemektedir (Özdoğan, 2011: 7).

Abreu vd. (2013: 321-322)'de yaptıkları çalışmada, bakım stratejilerini genel olarak üç ana başlık altında toplamışlardır. Bunlar;

a. Önleyici Bakım: Cihazlarda önceden belirlenen aralıklarla veya tayin edilen kriterlere göre arızanın meydana gelme olasılığını düşürmek için uygulanan bakımdır.

b. Düzeltici Bakım: Arıza belirtisi ortaya çıktıktan sonra parçanın gerekli fonksiyonunu yerine getirecek duruma getirilmesi amacıyla uygulanan bakımdır.

c. Geliştirme Bakım: Malzemenin performansını geliştirmek için uygun bakım stratejisi üzerinden malzemenin fonksiyonunu geliştirmek ve değişimin kimlik anahtarı olduğu uygulamadır.

İyi yapılandırılmış şirketlerde bakım çeşitleri arasındaki ilişki, düzeltici bakımın tüm bakım sürecinin % 20'lik kısmını oluşturduğu gerçeğine dayanır.

Creehan, (2005: 12) ve Savsar (2006: 260) yaptıkları çalışmada bakım stratejilerini farklı sınıflandırmalarla düzenlenmişlerdir. Yazarlar bakım stratejilerini genel olarak üç ana gruba ayırmışlardır. Bunlar;

a. Reaktif Bakım: Bakım faaliyetleri makinenin kendisinin veya makinenin bir fonksiyonunun çalışamaz durumda olduğu zaman gerçekleştirilir. Ayrıca Düzeltici Bakım olarak da adlandırılır.

b. Önleyici Bakım: Bakım faaliyetleri makine arızalanmadan, önceden belirlenmiş zaman çizelgesine göre gerçekleştirilir. Ayrıca Koruyucu Bakım olarak da adlandırılır.

c. Öngörülen/Duruma Dayalı Bakım: Bakım faaliyetleri makine arızalanmadan önce, makineye kurulmuş bir durum izleme ve hata bulma sistemiyle donatıldığında arıza meydana gelmeden önce tespit edilmesi ile gerçekleştirilir.

Aşağıda bakım mühendisliğinde kullanılan bazı terimlerin tanımları sunulmuştur.

1.1.1. Tamir - Onarım

Üretim sisteminde makine ve ekipmanın herhangi bir nedenden dolayı kısmen ya da tamamen bozulması, çalışamaz duruma geldiğinde tekrar çalışır duruma getirmek için yapılan işlemlere *tamir* denir (Kobu, 2013: 300).

Arızaya dayalı bakım, bir ekipmanın arızalandığı ve her seferde tamir edildiği, önceden arızayı tespit etmek veya önlemek için hiç bir işlemin yapılmadığı bir bakım stratejisidir. Böyle durumlarda, bakım maliyetleri genel olarak yüksektir, ancak bazen maliyetler etkin de kullanılıyor olabilir (Jafari vd., 2008: 290; Pophaley ve Vyas, 2010: 446).

Düzeltici bakım faaliyetleri, çalışmayan bir sitemi tekrar çalışır duruma getirmek için planlanmamış eylemlerdir. Bu eylem onarım ya da arızalanan parçanın değiştirilmesini kapsar. Bunun tersine Koruyucu Bakım, planlanmış sistemin arıza yapma olasılığını azaltmak ya da makine ömrünü uzatmak için yapılmaktadır (Murthy ve Jack, 2003: 309). Düzeltici bakım, makine, araç, araç-gereç ve diğer tesisatta olabilecek arızalara, olay meydana geldikten sonra yapılan bakımdır (Tekin, 2012: 136).

Onarım, BSTS/Bilgisayar Terimleri Karşılıklar Kılavuzu'nda *''Corrective Maintenance and Repair''* şeklinde tanımlanmaktadır. Bazı kaynaklarda Düzeltici Bakım ya da Arızi Bakım olarak da tanımlanmaktadır.

1.1.2. Bakım

Bakım genel anlamda, ''Canlı ya da cansız bütün varlıkların ve cisimlerin iyi durumlarının korunması ve hizmet devamlılığının sağlanması için gerekli tedbir ve faaliyetlerin sürekli olarak yerine getirilmesi'' olarak tanımlanabilir. Makine, teçhizat ve üretim sistemleri açısından değerlendirildiğinde ise bakım, tüm üretim sistemini veya belirli bir ekipmanı faal tutabilmek için uygulanan faaliyetlerdir (Gürbüz ve Cömert, 2012: 102).

Bakımın tanımı ''Bir varlığın yaşam döngüsünün tüm teknik, idari ve yönetim faaliyetlerinin, olduğu gibi tutulması veya gerekli işlevlerini gerçekleştirebilecekleri bir duruma tekrar getirilmesi amacı" ilkesine dayanır (Abreu vd., 2013: 321).

Bakım, şirketlerin karlılığını yüksek tutabilmek ve sürekliliğini sağlayabilmek için makine, ekipman, cihaz ve taşınmaz varlıkların beklenen fonksiyonlarının korunması ve sürdürebilmesi için, yaşam döngüsü boyunca yürütülen teknik, idari ve yönetsel faaliyetlerin kombinasyonudur (Çamkoru ve Sayın, 2012: 16).

Kobu (2013, 300)'ya göre koruyucu bakım; makine ve teçhizatın, arıza meydana gelmesi beklenmeden, önceden tespit edilmiş süreler sonunda gözden geçirilmesi, gerekli parçaların değiştirilmesi, yağlanması ve ayarlamaların yapılmasıdır.

Koruycu bakım bir öğe/parça/ekipmanı koruyarak ya da belirli bir durum geri getirmek için uygulanan tüm eylemlerdir (Dhillion, 2002: 3).

1.1.3. Güvenirlik

Güvenirlik bir parçanın, belli çalışma şartları altında arıza meydana gelmeden, belirlenen çalışma ömrüne kadar dayanacağı ihtimalidir. Daha kapsamlı olarak güvenirlik, birim zamandaki istenmeyen toplam kümülatif ve entegre olayların, sadece ekipman arızasıyla sınırlı olmayan, oranı olarak tanımlanabilir. Güvenirlik zamansal olarak oranlanabilen, bütün istenmeyen olayları ve ortaya çıkan durumları da kapsar. Güvenirlik arızalardan daha geniş bir spektrum ortaya koyar. Bu nedenle güvenirlik ölçümleri yalnızca arızalarla sınırlı değildir. Tesisin ne kadar iyi çalıştığı ve önleyici bakım programının etkinliğinin ölçülmesini de kapsamaktadır (Bloom, 2006: 281).

Güvenirlik; bir parça veya komponentin tasarım aşamasında belirlenen işlevlerinin, gerçek kullanım koşullarında belirli bir zaman diliminde arızasız olarak yerine getirme ihtimali (Kıran, 2010: 50), bir malzemenin istenilen süre için tatmin edici olarak belirtilen işlevini yerine getirme (Dhillion, 2002: 3), öngörülmüş işlevlerini, belirlenmiş çalışma koşulları altında, belirlenmiş ömrü boyunca yerine getirebilme ihtimalidir (Esin, 2004: 16).

1.1.4. Toplam Ekipman Etkinliği (Overall Equipment Effectiveness)

Toplam Ekipman Etkinliği (TEE); ekipmanın mevcut etkinliğini ölçme, izleme ve geliştirmede kullanılan hesaplanması ve yorumlanması basit ve anlaşılır bir kriterdir. Toplam Verimli Bakımdaki altı büyük kaybı dikkate alır ve bunların etkilerinin izlenmesini sağlar.

Muchiri ve Pintelon (2008, 3518) TEE'ni, bir malzemenin yapması gereken görevi ne seviyede yaptığını gösteren, toplam malzeme performansı ölçümü olarak geçen bir parametre olarak tanımlamışlardır. TVB konsepti ile ortaya çıkmıştır. TVB'ın amacı sıfır üretim duruşu (arıza) ve sıfır malzemeye bağlı kayıp seviyesi sağlamaktır. Bu sayede üretim oranında artış, maliyetlerde ve tutulan envanter seviyesinde düşüş ve toplam işçi etkinliği seviyesinde artış sağlanması hedeflenmiştir. TEE oranı üç temel kriter üzerinden hesaplanmaktadır. Bunlar hazır-oluş, Performans

ve çıktının kalite oranı. Bu metodolojide temel kayıplar kategorize edilip düşük performansa neden olan ana alanlar tespit ediliyor. Ana neden analizi ile gelişim öncelikleri kararlaştırılıyor.

TEE, aşağıda eşitlik 4'de görüldüğü gibi Hazır-Oluş (Availability), Performans (Performance) ve Kalite (Quality) unsurların bir fonksiyonudur;

Hazır – Oluş (Availability): Hazır-Oluş (Hazırbulunşluk, Kullanılabilirlik) planlı üretimi belli bir zaman diliminde (birkaç dakika veya daha fazla) durduran tüm olayların dahil olduğu duruş zaman kayıplarını esas alır. Çalışma zamanının planlı üretim zamanına oranıyla bulunur. Hazır-Oluş eşitlik 1'deki formül ile hesaplanır.

Hazır – Oluş = Çalışma Zamanı / Planlı Üretim Zamanı **(1)**

Performans (Performance) : Performans, üretim malının çalışma sırasında mümkün olan maksimum hızın altına düşmesine neden olan tüm faktörlerin dahil olduğu hız kaybını hesaba katar. Net çalışma zamanının çalışma zamanına oranıyla bulunur. Performans eşitlik 2'deki formül ile hesaplanır.

Performans = (İdeal Çevrim Zamanı x Toplam Parçalar) / Çalışma Zamanı **(2)**

İdeal Çevrim Zamanı bir parça üretmek için teorik olarak mümkün olan en hızlı zamandır. Bu nedenle, toplam parça sayısıyla çarpıldığında sonuç net çalışma zamanını, teorik olarak toplam parça sayısını üretmek için mümkün olan en hızlı zaman, verir.

Kalite (Quality): Kalite, tekrar üzerinde çalışılması gereken parçalar dahil olmak üzere kalite standartlarını karşılamayan parçalarda kalite kaybını hesaba katar. Toplam üretken zamanın (iyi parçalar için mümkün olan en hızlı zaman) net çalışma zamanına (toplam parçalar için mümkün olan en hızlı zaman) oranıyla bulunur. Kalite eşitlik 3'deki formül ile hesaplanır.

Kalite = Üretilen Uygun (Sağlam) Parçalar / Toplam Üretilen Parçalar **(3)**

Toplam Ekipman Etkinliği (Overall Equipment Effectiveness): TEE tam anlamıyla üretken üretim zamanıyla sonuçlanan tüm kayıpları (boşta kalma zaman

kaybı, hız kaybı ve kalite kaybı) hesaba katar. Toplam üretken zamanın planlanan üretim zamanına oranıyla bulunur. TEE eşitlik 4'deki formül ile hesaplanır.

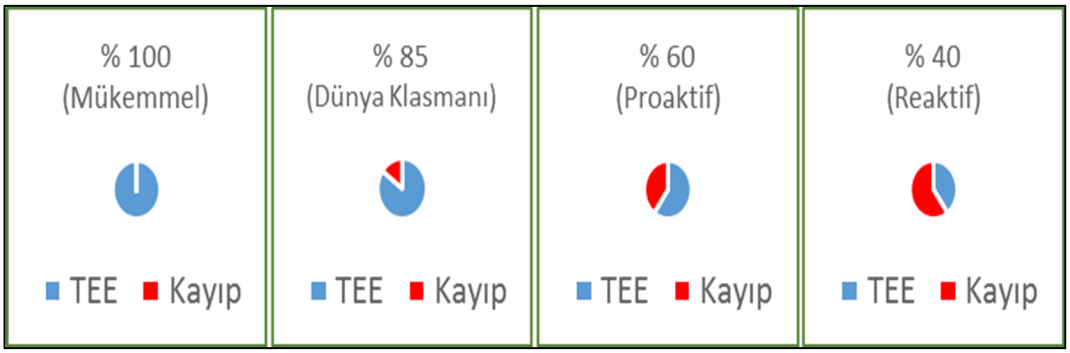
TEE = Hazır – Oluş x Performans x Kalite **(4)**

Eğer Hazır-Oluş, performans ve kalite için eşitlikler yerine başka faktörler kullanılırsa TEE hesaplaması için eşitlik 5'deki formül kullanılır.

(Uygun Parçalar x İdeal Çevrim Zamanı) / Planlı Üretim Zamanı **(5)**

Bu daha önce tanımlanan en basit TEE hesaplamasıdır. Biraz düşünceyle; Uygun parçaların ideal çevrim zamanı ile çarpılmasıyla, toplam üretken zamanın (mümkün olan en yüksek hızda durma olmadan sadece iyi parçaların üretimi) bulunduğu görülebilir.

TEE bazı imalat sistemlerinde yetersiz olması uzmanları modele dair bazı modifikasyonlara ve yeni hesaplamalar geliştirmeye yönlendirmiştir. Günümüzde bazı modeller malzeme düzeyinde etkinlik hesaplamaları için kullanılırken (üretim ekipman etkinliği (PEE), toplam ekipman etkinliği oranı (TEEP)), diğerleri fabrika düzeyinde etkinlik hesaplamaya kadar ilerlemiştir (genel fabrika etkinliği (OFE-OPE,), toplam çıktı etkinliği (OTE), toplam varlık etkinliği (OAE). Toplam Ekipman Etkinliği Oranı (TEEO-Total Equipment Effectiveness Performance), Ivancic (1998) tarafından ortaya atılmış olup Toplam Ekipman Etkinliğine çok benzemektedir. Temel fark, planlanan duruşun toplam planlama zaman dilimi içine dahil edilmesidir. TEEO sayesinde, planlanan ve plan dışı olan bakım duruşları hesaplanabilmektedir. TEEO'nda, TEE gibi malzeme seviyesinde verimliliği hesaplanmaktadır (Muchiri ve Pintelon, 2008: 3518).



Şekil 1.3: Bakımda Mükemmeliyet ve Bakım Uygulamaları

Şekil 1.3'de Toplam Ekipman Etkinliğinin bakım yönetimi içerisinde kayıp oranlarını temel alarak sınıflandırması yer almaktadır. Dünya Klasmanında Bakım'da hedef kayıpların (duruşların) % 15'den yüksek olmaması hedeflenmektedir.

1.1.5. Arızalar Arası Ortalama Süre (Mean Time Between Failures)

AAOS, ekipmanlar ve sistemlerde, arızalar arasındaki ortalama zamanı belirlemek için matematiksel/istatistiksel prosedürler kullanılarak analiz edilmesidir. Arızalar arası sürenin beklenen değerini ifade etmektedir. Makine/Ekipmanın arızasız olarak çalışma süresinin aritmetik ortalamasıdır (Payant ve Lewis, 2007: G.8; Mobley, 2008: 7.116).

1.1.6. Ortalama Tamir Süresi (Mean Time to Repair)

Arızanın tespit edilmesinden itibaren beklenen ortalama onarım süresini ifade eder. Bu ölçüt bakım hizmetlerinin temel kriteridir. Genel olarak, belirlenmiş ve giderilmiş arızalar için harcanan toplam sürenin, bu arızaların sayısına bölünmesi ile elde edilir.

1.2. İŞLETMELERDE ÜRETİM VE BAKIM OPTİMİZASYONU

Makineler ve aletler zamanla yıpranmaya, bunun sonucu olarak da arızalanmaya ve fonksiyonlarını istenilen seviyede yerine getirememeye başlarlar. Geçmiş yıllarda, endüstride çalışan bakım mühendisleri makinelerin optimal biçimde çalışma koşullarını araştırmaksızın sadece arızalanan cihazların bakım problemleri ile uğraşıyorlardı. Ancak zaman geçtikçe işletmeler daha yüksek üretkenlik ve daha az

maliyetli işleri tercih eder hale gelmişlerdir. Özetle, bir örgütün tüm fonksiyonlarını en uygun biçimde yerine getirebilmesi ve gerekli operasyonları yapabilmesi için gerekli olan sermaye ihtiyaçları, yöneticileri bu konuda arayışlara sevk etmiş bu isteklerin yerine getirilmesini zorlaştırmıştır. Bu ve bunun gibi kısıtlayıcı faktörler nedeniyle, işletmeler de makine ve binalarını daha akılcı, daha uzun kullanım ömrüne sahip kılmak için, daha etkili yönetim stratejileri belirlemeyi, yeni kaynaklara ihtiyaç duymadan, mevcutlardan en çok fayda sağlama yolunu tercih etmişlerdir. Kısacası, yeni maliyetler oluşturacak işlemler yerine mevcut tesisleri koruyup bakımlarınıın yapılamsı yöneticleri için daha cazip hale gelmiştir.

Bu bağlamda, işletmelerin mevcut tesislerini korumaları için gerekli olan üretimde bakım kanunları aşağıda sunulmuştur;

- ✓ Uygun şekilde bakımı yapılmış üretim ekipmanlarıyla daha birçok kaliteli ürün üretilebilir.
- ✓ Uygun bakım yapılmamış üretim ekipmanları daha az kaliteli ürünler üretir.
- ✓ Çalışmayan üretim ekipmanı hiçbir ürün üretemez.

Modern Bakım Yönetimi'nin amacı, bir fabrikada mevcut ve bakım masrafları kalemine masraf oluşturan demirbaşlarının; modern yöntemler kullanılarak, en yüksek emniyette, hiç arızasız ve en yüksek güvenirlikte, en az maliyetle ve en uzun ömürle, tasarlanmış görevlerini tam olarak yapabilir vaziyette kullanımda tutulmasıdır.

Modern Bakım Yönetimi deyince; modern yönetim sistemlerinin gereklerini sağlamak ve modern bakım metotları ile birlikte modern bakım ekipmanlarını kullanmak suretiyle yukarıdaki amaca ulaşma isteği anlaşılmalıdır.

İşletmelerde bakım organizasyonlarının kuruluşu, geliştirilmesi ve ilgili süreçlerinin tasarlanması sırasında, bakım yönetimi süreçlerin temel amaçları aşağıda analatıldığı gibi belirlenmelidir (Çamkoru ve Sayın, 2012: 16).

- ✓ Varlıkların arıza duruşlarını ortadan kaldırmak,
- ✓ Varlıkların fonksiyonlarını gerçekleştirirken maksimum performansı sağlayacakları bakım faaliyetlerini gerçekleştirmek,

- ✓ Oluşturulan önleyici/kestirimci/düzeltici bakım programlarıyla kullanılabilirliği arttırmak,
- ✓ Yıpranmayı ve eskimeyi en düşük seviyeye indirerek varlıkların değerini korumak,
- ✓ İş kazalarına yol açabilecek ekipman yetmezliklerini, yapılan bakımlarla önlemek,
- ✓ Kalite hatalarına yol açabilecek ekipman yetmezliklerini, yapılan bakımlarla önlemek,
- ✓ Yapılan bakımlarda "bakım gerektirmeyecek" malzemeler/yedek parçaların kullanımını artırmak,
- ✓ Bakım nedenli planlı/plansız üretim zamanı kayıpları ve malzeme kayıplarını en aza indirmek,
- ✓ Onarım sürelerini ve maliyetlerini minimize etmek,
- ✓ Kullanıcı-uzman bakımcı rol paylaşımı ile ekipman verimliliğini yükseltmek,
- ✓ Yedek parça yönetimini sağlamak ve stok maliyetini minimize etmek,
- ✓ Bakım sürecinden ekipman yatırım sürecine geri bildirim sağlamak,
- ✓ Bakım iş gücü verimliliğini sağlamak,
- ✓ Bakım araç-gereçlerinin etkin kullanımını sağlamak,
- ✓ Bakım maliyetlerini optimize etmek.

Günümüz sanayi ve işletmeleri açısından bakım plan ve programlarının hazırlanması ve yürütülmesi çok büyük önem taşımaktadır. Üretim tesislerinin fiziksel yapısını sürekli olarak çalışır durumda tutmak amacıyla yapılan faaliyetlerin tümü bakım planlaması olarak tanımlanır (Şimşek ve Çelik, 2012: 238).

Bakıma bağlı olarak makine ve ekipmanlardaki arızalar üretim sürecinde duruşlara neden olmaktadır. İmalat ve üretim sürecinde meydana gelen istenmeyen duruşlar işletmelerde büyük oranlara varan mali kayıplara yol açar. Arızayı gidermek için meydana gelen duruşlardan dolayı oluşan üretim kaybı maliyetleri, inceleme ve tamir maliyetleri ve ürün kalitesinin düşmesi maliyetleri nedeniyle toplam işletme maliyetleri yükselir, verimlilik düşer ve sonucunda işletme karlılığı da düşer. Makine ve ekipmanlardaki arızalar sadece üretim performanslarının düşmesine değil; aynı zamanda, müşterilere zamanında hizmet sunabilme kaybına da yol açar. Bununla

birlikte, firma imajına zarar verecek iş sağlığı ve güvenliği konularında kazaların yaşanmasına sebep olabilir (Alsyouf, 2007, 71).

Swanson'a (2001, 237) göre işletmelerin yüksek kalite, yüksek müşteri memnuniyeti, düşük üretim maliyetleri ve zamanında üretim gibi dünya ölçeğinde performans standartlarına ulaşabilmek için, işletmeler bakım konusunda daha fazla yatırım yapmalı ve çaba sarf etmelidirler.

Al-Najjar ve Alsyouf (2003: 85) çalışmalarında bakım masraflarının genellikle endüstri tipine göre değiştiğini, üretim maliyetinin % 15-40'nının bakım masraflarına harcandığını ifade etmişlerdir. Verimsiz bir bakım politikası ise işletmelere daha fazla maliyetlere yol açabilir.

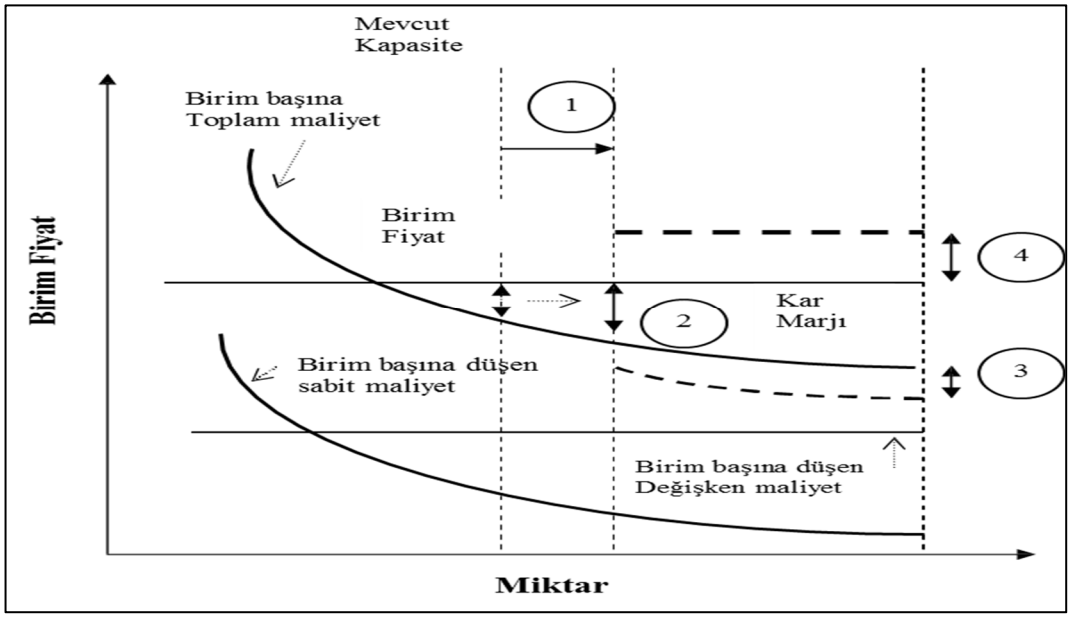
Swanson (2001: 237) yaptığı çalışmada, geleneksel olarak birçok şirketin bakım için tepkisel bir strateji izlediklerini, şirketlerin ancak makineleri arızalandığında onarımlarını yaptırdıklarını ifade etmiştir. Son zamanlarda gelişen teknoloji ve bakım elemanlarının artan kaliteleri sayesinde, günümüz şirketleri artık tepkisel tamir-bakım yaklaşımlarını terketmeye başlamış, Önleyici bakım stratejisini benimsemişlerdir. Önleyici (planlı) bakım ve önceden tahmin edilebilir (kestirimci) bakım faaliyetleri işletmelerin makine-ekipman arızalarını oluşmadan önlediğinden daha çok tercih edilir olmuştur. Toplam Verimli Bakım gibi agresif bir bakım stratejisi, üretim ekipmanının dizayn ve fonksiyonunun geliştirilmesi üzerine odaklı olmasına karşın yeni bakım stratejisi eğitim, kaynak ve bütünleşme alanlarında daha büyük yatırımlara ihtiyaç duymasından dolayı, daha yüksek ekipman ve tesis performansı sağlayacağı beklenmektedir.

Günümüzde bakım fonksiyonlarının önemi, ürün kalitesi, güvenlik gereksinimleri ve tesisin maliyet-etkinlik düzeyini muhafaza etmesinden dolayı önemi daha da artmış, bakım maliyetleri, işletme bütçelerinin önemli bir kısmını oluşturmaya başlamıştır (Al-Najjar ve Alsyouf, 2003: 85).

Bakım sürecinin üretim verimliliğine ve firma karlılığına etkisi, işletme üretim kapasitesi ve kaliteli ürün başına toplam üretim maliyetleri değerlendirildiğinde daha net ortaya çıkmaktadır (Alsyouf, 2007, 74-75). Söz konusu üretilen kaliteli ürün

miktarı ile birim başına düşen maliyet değişimini gösteren grafik Şekil 1.4'de verilmiştir.

Bakımın, üretim verimliliğine ve firma karlılığına etkisi modelinde, belirli bir süre için, birim ünite başına düşen değişken maliyet örneğin birim ürün başına hammadde maliyeti üretilen ürün miktarından bağımsız olarak kısa dönemde sabit kaldığı, sabit maliyetin ise artan üretim miktarına bağlı olarak azaldığı varsayılmaktadır.



Şekil 1.4: Ürün Miktarı ve Birim Başına Düşen Maliyet

Kaynak: Alsyouf (2007, 74)

Etkili bir bakım politikası sayesinde, üretimde çalışan makinelerin kullanım süreleri artacağından üretilen ürün miktarı da artacak ve işletmenin mevcut üretim kapasiteside buna bağlı olarak artacaktır (Şekil 1.4'deki 1 no'lu durum). Etkin ve etkili bakım sayesinde, üretim sürecinde yaşanan istenmeyen duruşlar azalacak, ürün kalitesi yükselecek ve yaşanan daha az kısa duruşlar sayesinde işletme sabit ürün maliyetlerini de düşürecek ve kar marjını artıracaktır (Şekil 1.4'deki 2 no'lu durum).

Diğer yandan, yedek parça stoklarında azalma, daha az çalışma stok maliyetleri ve ürün kaynaklı müşteri şikayetlerinin azalması toplam üretim maliyetlerini de düşürerek Şekil 1.4'deki 3 no'lu durumda gösterilen maliyet avantajı kazanılacaktır.

Sonuç olarak, Şekil 1.4'deki 4 no'lu durumda gösterildiği gibi, gelişmiş ürün kalitesi ve zamanında yapılan teslimat, yüksek müşteri memnuniyeti şirket imajını arttıracağından birim satış fiyatlarında kazanılan artışlar firma karlılığını arttıracaktır (Alsyouf, 2007, 74-75).

Bakımda iki temel yöntem vardır: düzeltici bakım ve önleyici bakım. Bu iki yöntemden birisinin uygulandığı bir ortamda, 5 temel bakım politikası gözlemlenebilir. Bunlar arızaya dayalı bakım, tasarım dışı bakım, kullanmaya dayalı bakım, duruma dayalı bakım ve tespite dayalı bakımdır. Bir işletme için nihai bakım planı, sayılan bu bakım yöntemlerinin tümünün kombinasyonundan oluşturulabilecek ve çoğunlukla aynı makine bakımlarında kullanılabilecektir. Eğer işletmenin ihtiyaçları karşılanırsa bunun sonucunda; işletme daha yüksek verim kazanacak, kalite gelişimini arttıracak ve daha iyi bir ekonomi yönetimi sağlayacaktır. Sonuç olarak işletmenin piyasa payı artacak, karlılık ve refah artışı elde edilmiş olacaktır (Waeyenbergh ve Pintelon, 2004: 395-396).

Şekil 1.5'de bakım maliyetlerini oluşturan unsurlar gösterilmiştir. Buzdağı gösteriminde görüldüğü üzere görünen (direkt) ve görünmeyen (endirekt) bakım maliyet elemanları yer almaktadır.



Şekil 1.5: Bakım Maliyetleri Buzdağı

Kaynak: Smith ve Mobley, 2003: 6

Şekil 1.5'de görüldüğü gibi, bakım maliyetleri buzdağının görünen maliyetlerini malzeme, işgücü, fazla mesailer, sözleşme hükümleri ve fazla bakım maliyetleri oluşturmaktadır. Endirekt bakım maliyetleri ise, kazalar, fazla yedek parça envanteri, acil yedek parça ihtiyacı, kurulum gibi maliyetlerden meydan gelmektedir.

Endüstriyel sistemlerde bakım etkinliği, onların iş alanlarının önemli bir parçasıdır. Özellikle üretim sürecinde makinelerin hayati bir rolü olduğundan karşılaşılan temel zorluklar ve verimlilik kaynağı, bakım yöntemlerinin seçilmesidir (Youssouf vd., 2014: 512).

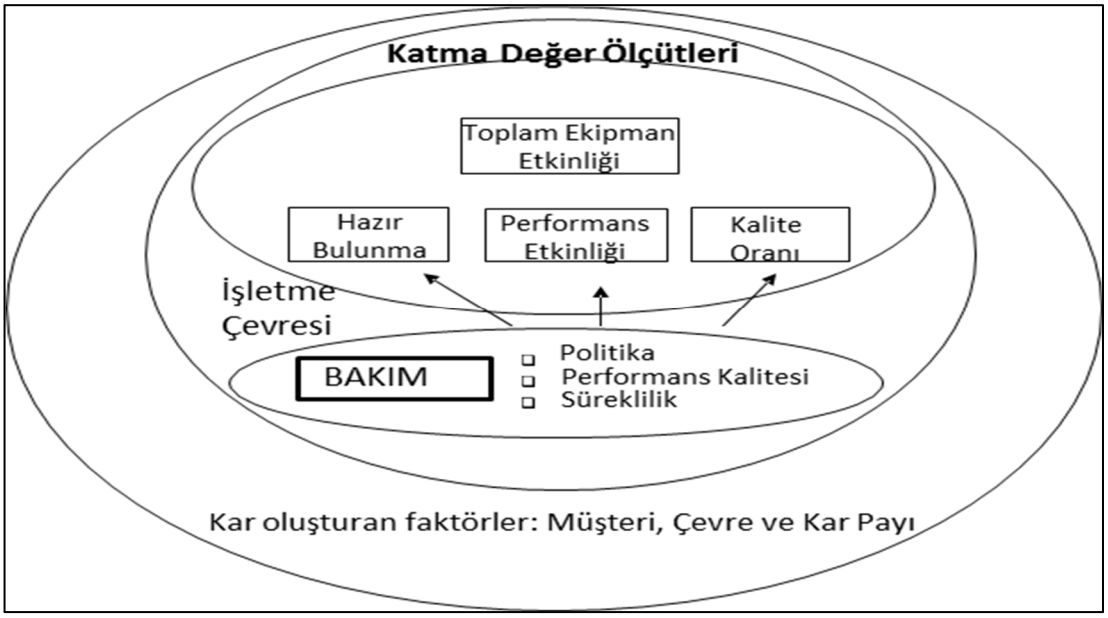
Bakımda temel felsefe ''Ya şimdi öde, ya da sonra öde'' olmalıdır. Çünkü Önleyici Bakım, uygun şekilde ve zamanında gerçekleştirilmezse, ''sonra öde'' felsefesi gereği, bakım masrafları en uygunsuz zamanda karşınıza çıkabilir. Bu ihtimaller yöneticiler tarafından her zaman dikkate alınmalı ve bu konuda alınacak kararlar desteklenmelidir (Smith ve Mobley, 2003: 8).

Yalın altı sigma yöntemi sürecin statikliği üzerine ustalaşmış, karlılığı ve kaliteyi geliştirme metodudur. Bu metot aynı zamanda her şeyin belirli düzende işlediği bir yönetim şeklidir. Metot, kar ve kalite kavramlarına odaklanır ve optimum sonuçlara ulaşmak için maliyeti ve üretim kayıplarını azaltmayı amaç edinir. Bu metot beş ana adıma dayanmaktadır; bunlar tanımlama, ölçme, analiz, geliştirme ve kontroldür (Youssouf vd., 2014: 512).

Çok bileşenli sistemlerde Önleyici Bakım (Preventive Maintenance) modellemesi, araştırmacılar için popüler bir kavramdır. Araştırma sonuçları, seviye bakım modellemesinin karmaşıklığından dolayı, çok bileşenli sistemlerde önleyici bakım modeli olarak kullanılmasının yararlı olacağını ve tek üniteli sistemlerden çok aşağı bir performans olmayacağını göstermiştir. Çok bileşenli sistemlerin Önleyici Bakım modellemesinde iki çeşidi vardır. Birincisi, grup bakımı, paralel bileşenler ve çıktıların bulunduğu ve bileşenlerin ekonomik olarak bağımlı olduğu sistemlerle uğraşır. Bu usul altında, sistem bileşenleri grup halinde, zaman aralığı veya arızalı bileşenlerin sayısının önceden belirlenmiş başlangıç değerlerine ulaşması durumunda önleyici bakıma alınır. Diğeri ise fırsatçı bakımdır. Fırsatçı bakım için temel varsayım, çok bileşenli sistemlerin çoğunda, tek bir arızanın genellikle bütün sistemin durmasına

neden olmasıdır. Bu yüzden önleyici bakım aktivitelerinin birleştirilmesi, sistem durmalarının sayısını azaltabilir ve sistemin toplam kurulum maliyeti tasarruf edilebilir. Son on yılda fırsatçı bakım uygulamaların adapte olunmasından dolayı daha popüler olmaya başlamıştır (Zhou vd., 2015: 231).

Rekabetin hızla tırmandığı ve yeniliklerin sürekli arttığı günümüz koşullarında, hayatta kalabilmek için firmaların kendilerini bu gelişmelerden soyutlamaları mümkün gözükmemektedir. Şirketler, yeni teknolojileri ve sistemleri takip etmek ve kuruluşlarına katmak zorundadırlar. Öbür yandan yarışı ancak maliyetleri en az seviyede tutan işletmeler kazanacaktır. Maliyetlerin düşürülmesi noktasında ise göz ardı edilmemesi gereken önemli bir nokta, üretim maliyetlerinin içerisinde önemli bir yere sahip olan bakım maliyetleridir.



Şekil 1.6: Bakımın Üretim Maliyetlerinin Azaltılmasında ve Kar Artışındaki Rolü

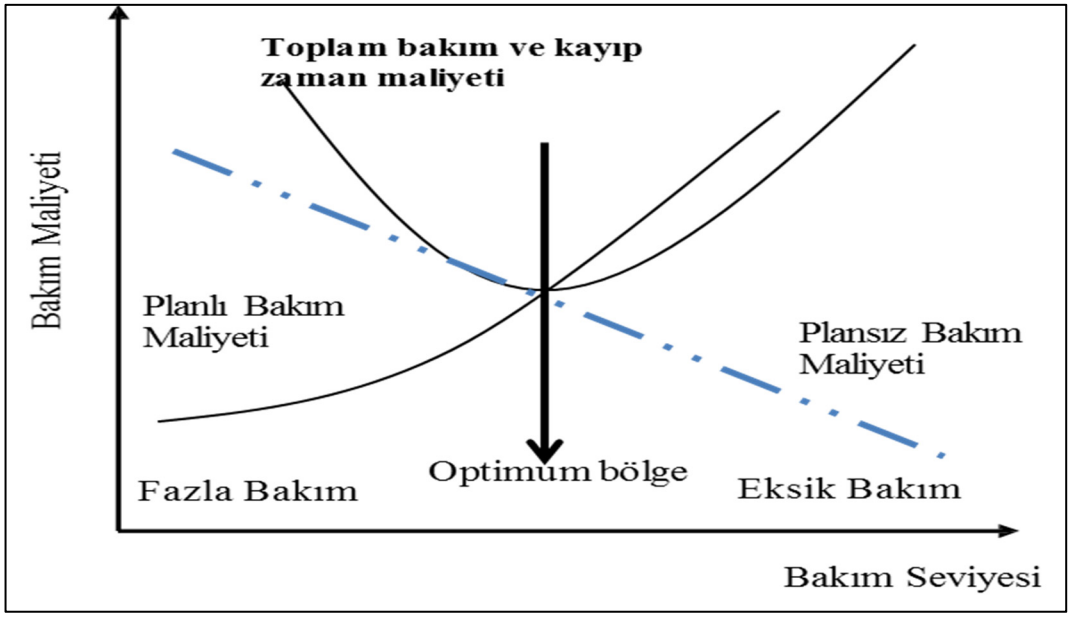
Kaynak: Al-Najjar ve Alsyouf (2004, 647)

Şekil 1.6'da genel ekipman etkinliğine bağlı Hazır-Oluş, Performans ve Kalite kriterlerinin bakım maliyetlerinin azaltılmasındaki etkileri gösterilmiştir. Bakım politikaları, bakımda performansın kalitesi ve sürekliliği işletmenin uzun vadede bakım masrafları, rekabet avantajı sağlayan fiyat ve sürekli kaliteli üretimi etkilemektedir.

Bakım ile ürün ve kalite arasındaki ilişki göz ardı edilemeyecek kadar büyüktür. Firmaların günümüz ekonomisinde rekabet üstünlüğü sağlayabilmeleri için kaliteli malı, ucuza, istenilen zamanda ve yerde bulundurmaları kritik öneme haizdir. Bir makinenin üretim esnasında bozulması;

- ✓ Ürünün ve/veya kalitenin bozulmasına,
- ✓ Üretim hattının durmasına ya da gecikmesine,
- ✓ Siparişlerin zamanında teslim edilmemesi gibi sonuçlar doğuracağından, firmanın piyasada prestij ve güven kaybına neden olacaktır.

Bir işletme için optimum bakım miktarını belirlemek çok kolay olmayacaktır. Bakım maliyetlerini sıfırlamak mümkün değildir, ancak uygun bakım stratejileri seçerek maliyetler en aza indirgenebilir Günümüz piyasa koşullarında maliyet ve kaliteyi dengede tutmak çok daha fazla öneme sahiptir. Çünkü çevrede hem yurtiçi hem de yurtdışı kaynaklı rekabet edilecek birçok firma mevcuttur. Bunun için optimum bakım miktarının nasıl belirleneceği Şekil 1.7'de gösterilmiştir.



Şekil 1.7: Optimum Bakım Miktarı

Kaynak: Smith ve Hawkins, 2004: 29

Bakım çalışmalarında önemli olan maliyeti minimize etmek, gereksiz bakım faaliyetleri uygulamamak (artan işçi maliyetleri, daha fazla çevrim dışı üretim zamanı vb.) ve gerekli olan bakımı (düşük ekipman güvenirliği, ekipman arızaları, üretimin

durduğu süre) kaçırmamaktır. Dengenin başarılması, Kestirimci Bakım Teknikleri ve Durum İzleme aracılığıyla Toplam Üretken Bakım sistemi uygulanan güvenlirlik mühendisliği gerektirir. Güvenirlik Merkezli Bakım'ın unsurlarından yararlanma belki de bu dengenin başarılmasında kullanılan en iyi yöntemdir. Şekil 1.7'de görüldüğü üzere bakım maliyetlerinin kontrol edilmesi ve optimum bakım aralığını mantıklı kılmak için tüm dengelerin optimize edilmesi gerekmektedir (Smith ve Hawkins, 2004: 29).

Bakım faaliyetleri genellikle endüstriyel tesis, makine ve ekipmandaki bozulmaları kontrol altında tutmak için yapılır. Bakım yaklaşımları; düzeltici (arıza) bakım, toplanan tarihsel arıza verilerine dayanan, önceden belirlenen zamanda ve istatistiksel modeller kullanarak parça değiştirme olan önleyici bakım, veya durum izleme tekniklerinden biri kullanılarak parça/ekipman durumunu izleyerek elde edilen verilerin kullanıldığı duruma dayalı bakımdır. Tüm durumlarda karar vericinin tüm uygulanabilir bakım planları arasından her parça, modül ve ekipman için en verimli olanını ve çalışma şartlarına uygun olanını seçmesi gerekir. Uygun bakım planının tanımlaması ve uygulaması yöneticilere erken değiştirme maliyetlerini önlemeyi, stabil üretim kapasitelerini korumayı ve sistem parçalarının bozulmasını önlemeyi sağlar. Bir sistem için hangi bakım programının doğru olduğunu bulmak kolay bir görev değildir. Şirketler genellikle organizasyona maliyetli sonuçları doğuran, zamanından çok önce çok fazla bakım veya çok geç zamanda çok az bakım yaparlar (Alsyouf, 2004: 26-27).

Bakım fonksiyonunun önemi; uygunluğu, ürün kalitesini, güvenlik gereksinimlerini ve ünitenin maliyet-geçerlilik seviyesini muhafaza etmek ve geliştirmekteki rolünden dolayı artmıştır. Bakım maliyetleri, imalat firmalarının çalışma bütçelerinin önemli bir kısmının oluşturur (Al-Najjar ve Alsyouf, 2003: 85).

1.3. BAKIM VE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME LİTERATÜRÜ

Shen vd. (1998) İngiltere ve Hong-Kong'daki kamu binalarının bakım önceliklerine karar vermek için AHP kullanarak çok ölçütlü karar verme modeli geliştirmişlerdir. Yazarlar bakıma ayrılan bütçenin yeterli olmadığını, dolayısıyla önceliklere göre harcanması gerektiğini ifade etmektedirler. Hong-Kong'da bakıma

ayrılan bütçe varlıkların toplam değiştirme maliyetinin % 2'sinden daha azdır. Bakıma pek önem verilmemektedir. Aynı durum İngiltere için de geçerlidir. 1993'te yapılan bir araştırmada okullarda £ 8.04/m2 bakım ve onarım için harcanmıştır. Ancak okulların tam anlamıyla bakımlarının yapılması için ise £ 20.25/m2 ihtiyaç duyulduğuna değinmişlerdir.

Labib vd. (1998) AHP kullanarak etkin bir bakım karar verme modeli geliştirmişlerdir. Geliştirilen model üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada karar verici; arıza sıklığı, arıza süresi, darboğazlar ve yedek parça maliyeti kriterlerinin önceliklerine karar verir. Bu kriterler önceliklendirildikten sonra karar verici ikinci aşamada bu kriterlerin her biri için makinelerin kritikliklerine karar verir. En kritik makine belirlendikten sonra üçüncü aşamada ise arıza detaylarının analizine odaklanılmıştır. Bu şekilde karar verici hiyerarşik ayrıştırmayı kullanarak hiyerarşinin en alt seviyesindeki bir arızaya odaklanabilir. Geliştirilen modelin geçerli kılınması için gerçekte olanla modelin ürettiği sonuçlar karşılaştırılmıştır. Model fonksiyonellik ve kullanışlılık açılarından geçerli kılınmıştır. Modelin fonksiyonelliği ürettiği dataların uzman görüşlerine sunulmasıyla geçerli kılınmıştır. Modelin kullanışlılığı ise iyileştirme prosesine olan katkısı analiz edilerek geçerli kılınmıştır. Modelin sonuçları incelendiğinde nispeten basit arızaların çok sık tekrar ettiği ve işgücü kaynağının büyük bir kısmının buralarda kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu konuda operatörlere eğitim verilmiş ve bakım personelinin daha önemli işlerle uğraşması sağlanmıştır.

Bevilacqua ve Braglia'ya (2000) göre üretim firmaları, üretim giderlerini azaltmak için büyük bir baskı altındadır ve endüstri tipine göre bu firmalar için en büyük giderlerden biri üretim giderinin % 15-70'ine ulaşabilen bakım giderleridir. Bakım stratejisi seçimi düşünülmesi gereken çok sayıda soyut faktörü içerdiğinden karmaşık bir prosestir. İyi bir bakım programının farklı makineler için farklı stratejiler belirleyeceği kesindir. Bunların bir kısmı temel olarak tesisin işleyişini etkileyecek, bir kısmı emniyet problemleriyle ilgilenecek ve diğerleri de yüksek bakım maliyetlerini kapsayacaktır. Çoğu firmanın bakımı mecburi maliyet kaynağı olarak gördüklerini ifade etmektedirler. Bu tür firmaların bakımı acil durumlar için uyguladıklarını, ancak bu tarz bir yaklaşımın artık kabul edilebilir bir yaklaşım

olmadığını belirtmektedir. Yapılan çalışmada bir İtalyan petrol şirketi için Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) metodu kullanılarak bakım stratejisi seçimi çalışması yapılmıştır. Çalışmada makineler kritiklik analizine tabi tutulduktan sonra bakım stratejileri AHS metodu ile değerlendirilmiştir. AHS'nin etkinliğini artırmak için kullanılan metodoloji duyarlılık analizine tabi tutulmuştur. Bakım stratejilerinde önceliklerin potansiyel değişimlerini incelemek için duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu çalışmada amaç karar vericilerin değerlendirme düşünceleri değiştiğinde sonucun ne kadar değiştiğinin kontrol edilmesidir. Yaptıkları çalışmada bakım planlarını geliştirirken Hata Türleri Etkileri ve Kritiklik Analizi (HTEKA)'den faydalanmışlardır. Analiz sonucunda her makine için bir kritiklik indeksi oluşturulmuş ve bu sayede en iyi bakım politikasını seçmeye çalışmışlardır.

Kodalı ve Chandra (2001) çalışmalarında geleneksel bakım metotları ile Toplam Verimli Bakımı AHS metodunu kullanarak karşılaştırmış; düzeltici bakım ve periyodik koruyucu bakımı geleneksel bakım metotları olarak adlandırmış ve bunların hepsini tek çatı altında değerlendirmişlerdir. Yapılan karşılaştırma; verimlilik, maliyet, kalite, teslimat, rekabet avantajı, emniyet ve iş ortamı kriterlerine göre yapılmıştır. Bu değerlendirmeleri yapabilmesi için bir yazılım geliştirilerek karar vericilerin bu yazılım ile bakım seçeneklerini değerlendirmeleri istenmiştir. Modelin geçerliliğini ölçmek için tutarlılık oranından faydalanılmıştır. Geliştirilen bu model, proses endüstrisinde hizmet veren, yüksek üretim hacmine sahip, pazar lideri olan bir firmada uygulanarak karar vericilerin Toplam Verimli Bakımı Geleneksel Bakım Metotlarına tercih ettikleri sonucuna ulaşılmıştır.

Wang vd. (2007)'de yaptıkları çalışmalarında farklı ekipmanlar için farklı bakım stratejilerinin kullanılmasını değerlendirmişlerdir. Bu bakım stratejileri; Düzeltici Bakım (DB), Periyodik Bakım (PB), Durum Merkezli Bakım (DMB) ve Kestirimci Bakım (KB) stratejileridir. Bu stratejilerde kullanılan kriterler; Güvenlik (personel, tesisler, çevre), Katma değer (yedek parça stoku, üretim kayıpları, arıza tespiti), Maliyet (Donanım, Yazılım, Personel eğitimi) ve Uygulanabilirliktir (Çalışanlar tarafından kabul, Teknik güvenirlik). Uygulanacak bakım stratejisinin seçimi genelde Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) problemi olduğu ifade edilmiştir. Diğer yandan karar vericilerin belirsiz yargılarıyla başa çıkmak için Analitik Hiyerarşi

Süreci (AHS) metodu, bu yargıların rakamlara dönüştürülmesi için kullanılabilir. Çalışmalarında optimal bakım stratejisi karışımının, büyük yatırımlar yapılmasına gerek kalmadan, üretim tesislerinin güvenirlik ve kullanılabilirlik düzeyini artırmak için zorunlu olduğunun altını çizip, çalışmalarında da görülebileceği gibi Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) metodunun tesis bakım yöneticilerine her bir ayrı ekipman için en ideal bakım stratejisinin belirlenmesinde yararlı olacağını belirtmişlerdir.

Yapılan çalışma sonucunda kriterlerin önem dereceleri sırasıyla; güvenlik (0,4487), katma değer (0,2783), uygulanabilirlik (0,1686) ve maliyet (0,1044) olarak elde edilmiştir. Uygun bakım stratejileri ise sırası ile kestirimci bakım (0,4113), durum esaslı bakım (0,2310), zaman esaslı bakım (0,1861) ve düzeltici bakım (0,1716) olarak bulunmuştur.

Perçin ve Ustasüleyman (2009) çalışmalarında müşteri gereksinimlerinin teknik gereksinimlere dönüştürülmesini sağlayan bir araç olarak ‘’kalite evi’’ kalite göçerimi yaklaşımını kullanarak AHS ve Kalite Fonksiyon Göçerimi yaklaşımının en uygun bakım stratejisi seçiminde nasıl birlikte kullanılabileceğini anlatmışlardır. Yapılan bu çalışmada, düzeltici, önleyici ve toplam verimli bakım olmak üzere üç strateji üzerinde durulmuştur. Bu çalışmada önerilen model, bir otomobil servis istasyonu için geliştirilmiştir. Önceki çalışmalar incelenerek; verimlilik, kalite, maliyet, teslimat, çalışma ortamı, moral ve rekabet gibi 7 kriter belirlenmiştir. Belirlenen bu kriterlere uygun bir hiyerarşik yapı oluşturulmuş ve düzeltici, önleyici, toplam verimli bakım stratejilerine giden matrisler oluşturulmuştur. Yapılan hesaplamalar sonucunda bakım stratejilerine ilişkin puanlar elde edilmiş ve buna göre *toplam verimli bakım (% 50,41)* en önde gelen bakım stratejisi olmuştur. Ardından *önleyici bakım (% 36,759)* ve *düzeltici bakım (% 12,176)* gelmektedir. AHS ve kalite fonksiyon göçerimi yaklaşımlarının birlikte uygulanması sonucunda toplam verimli bakım stratejisinin diğerlerine üstünlük sağladığı görülmektedir. Bu nedenle üzerinde çalışma yapılan otomobil servis istasyonu bu strateji ile bakım faaliyetlerinin etkinliğini artırmaya odaklanmalıdır.

Gandhare ve Akarte (2012) yaptıkları çalışmada, bakım stratejisi seçiminde kullanılan Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yaklaşımlarını incelemiş ve hangi yaklaşımların daha kullanılabilir ve verimli olduğunu araştırmışlardır. Yazarlar,

bakımın en önemli amacının sistemin işleyişinin (uygunluk, etkinlik ve ürün kalitesi), sistemin ömrünün (varlıkların yönetimi), ve sistemin güvenliğinin en az enerji kullanımıyla sağlanması olduğunu belirtmişler ve ayrıca bakım stratejisinin tesisleri ve donanımı en iyi durumda tutmak için kullanılan sistematik bir yaklaşım olduğunu ve tesisten tesise farklılık gösterebileceğini vurgulamışlardır. Çok kriterli karar verme yaklaşımının, bakım stratejilerinin seçiminde veya karar verme esnasında, problemli durumlarda, daha iyi karar verme açısından karar vericilere yardımcı olduğunu vurgulamışlar ve etkili bakım yöntemi olarak: Düzeltici Bakım (DB), Koruyucu Bakım (KB) ve Durum Merkezli Bakım (DMB)'ların daha çok kullanılan yaklaşımlar olduklarını belirtmişler ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS)'nin nitelik ve nicelik kriterleriyle birleştirilmiş olarak karar vericiler tarafından bakım stratejisinin belirlenmesinde en çok tercih edilen metot olduğunu dile getirmişlerdir.

Görener (2013) yaptığı çalışmada, tesisler için en uygun bakım stratejisinin seçiminde çok kriterli karar verme yönteminin uygun olduğunu ifade etmiştir. Bu çalışmada, alternatif bakım stratejilerinin değerlendirilmesi amacı ile bulanık mantık destekli WSA (Ağırlıklı Hesaplama Yaklaşımı) ve TOPSIS (İdeal Çözüme Benzerliğe Dayalı Sıralama Tekniği) yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmada bir üretim tesisi için; önleyici, düzeltici, durum tabanlı ve kestirimci bakım stratejileri değerlendirilerek WSA için belirtilen adımlardaki denklemler ve hesaplamalar yapılıp alternatifler, fayda değerlerine göre sıralanmıştır. TOPSIS yönteminde ise alternatif ve değerlendirme kriterlerinin bulunduğu karar matrisi oluşturulmuş, her bir karar alternatifinin, ideal çözüme göreceli yakınlığı hesaplanmıştır.

Literatürde ifade edilen kriterler dikkate alınarak ve firma ihtiyaçları göz önünde bulundurularak ana kriterler ve alt kriterler belirlenmiştir. Kriterler; *Güvenlik* (personel güvenliği, tesis güvenliği, ürün güvenliği, çevresel güvenlik), *Katma Değer* (yedek parça stoku, üretim kayıpları, ürün kalitesi, hata tanımlama), *Maliyet* (donanım maliyeti, yazılım maliyeti, eğitim maliyeti, sigorta maliyeti, uzman çalışan maliyeti), *Uygulanabilirlik* (kabul görme, teknik güvenirlik, teknoloji ihtiyacı) ve diğer (sektörel deneyim durumu, genel deneyim durumu, arızalar arası süre, bakım süresi) olarak belirlenmiştir. Tüm bunlar bulanık sayılarla değerlendirilip durulaştırma işlemi yapıldıktan sonra değerlendirme kriterlerin ağrılıkları ifade edilmiştir. Daha sonra

tespit edilen kriter ağırlıkları kullanılarak alternatif bakım stratejileri değerlendirilerek bulunan sonuçlara göre fayda değeri ve ideal çözüme yakınlık değeri en yüksek olan bakım stratejisi *önleyici bakım* stratejisi olmuştur. Bu yaklaşım herhangi bir tesis için bakım stratejisi seçiminde uygulanabilir, ancak her tesisin farklı karakteristiklerinin olması sebebiyle tesise özel kriterlerin dikkate alınması daha doğru olacaktır.

Odeyale vd. (2013) yaptıkları çalışmada üretim endüstrisinde en iyi bakım stratejisi seçiminde AHS uygulamasının kullanımını anlatmıştır. Çalışmada, olası alternatif olarak üç tane bakım stratejisi göz önünde bulundurulmuştur. Bunlar; düzeltici, önleyici ve kestirimci bakım stratejileridir. Bu alternatifler sekiz adet kriter doğrultusunda değerlendirilmiştir. Bu sekiz kriter; düşük üretim maliyeti, geliştirilmiş güvenirlik, geliştirilmiş güvenlik, yüksek ürün kalitesi, düşük stok, yatırım geri dönüşü, işçi tarafından kabul edilme ve gelişmiş rekabetçiliktir. AHS yöntemi kullanılarak tüm bu kriter ve alternatifler için hesaplamalar yapılmış ve sonuç değerleri bulunmuştur. A1 (düzeltici bakım), A2 (önleyici bakım), A3 (kestirimci bakım) ve C1'den C8'e kadar yukarıda belirtilen kriterler sıralanmıştır. En son karar matrisi hesaplandıktan sonra alternatiflerin öncelik değerleri; A3 (0,550), A2 (0,353) ve A1 (0,098) olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre üretim endüstrisinde en iyi bakım stratejisinin sırasıyla kestirimci, önleyici ve düzeltici bakım stratejisi olduğu ileri sürülmüştür.

Maletic vd. (2014) yaptıkları çalışmada bakım politikası seçimi için hassasiyet analizi ve AHS metodunu kullanmışlardır. Yapılan çalışmanın amacı bakım metodu seçim yöntemlerini değerlendirmektir. Çalışmanın uygulanması Slovenya'da bir kağıt öğütme fabrikasında uygun bakım stratejisi seçiminde yapılmıştır. Çalışmada, arızaya dayalı, önleyici, toplam verimli, güvenirlik merkezli ve toplam kalite bakımı olmak üzere beş tane alternatif seçenek göz önüne alınmıştır. Çalışmada kullanılan kriterler**;** *Ekipman/Süreç ölçümü* (arıza sıklığı, hazır olma, verimlilik, kalite, toplam ekipman etkinliği, ortalama tamir süresi), *Finansal ölçüler* (birim zamandaki bakım maliyeti, birim üretim maliyeti, bakım tasarrufları) ve *Sağlık, Güvenlik, Çevre* ölçüleridir (kaza sayısı, müşteri şikayetleri, dava sayısı). Hiyerarşi modelini oluşturduktan sonra, 11 adımda sonuca gidilerek sırasıyla istatistik grupları, ana ve alt kriterlerin ağırlıkları, hassasiyet grafiği, matrisleri çıkarılmıştır. Bu işlemlerin sonucunda önem sırası;

toplam kalite bakımı (0,498), toplam üretken bakım (0,207), güvenirlik merkezli bakım (0,162), önleyici bakım (0,093) ve arızaya dayalı bakım (0,039) şeklinde sıralanmıştır. Tüm bunların sonucunda Toplam Kalite Bakımı en uygun bakım stratejisi olarak seçilmiştir. Diğer bakım stratejileri içinde Toplam Kalite Bakımı, süreçteki unsurların teknik ve ekonomik geçerliliğini koruması ve geliştirmesi üzerine odaklanılmıştır. Elde edilen çözümün doğru olduğundan emin olmak için ilave olarak Expert Choice programı ile bir de hassasiyet analizi yapılmıştır.

Marofi (2014) yaptığı çalışmada CNC makineleri üreten Aviation (İran) şirketinin bakım stratejisi seçim işlemi incelenmiştir. Çalışmada üç adet alternatif bulunmakta olup bu alternatifler; Geleneksel bakım, Toplam Üretken bakım ve Dünya çapında bakım seçenekleridir. Aynı zamanda Geleneksel bakım altında; düzeltici, kestirimci ve duruma dayalı bakım alternatifleri tanımlanmıştır. Belirtilen bu alternatif bakım stratejilerinin altında; kesinlik, hız, güvenlik, kalite ve fiyat olmak üzere beş tane kriter bulunmaktadır. Çalışmada AHS ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak kriterlerin ağırlıkları hesaplanmıştır. Hesap sonuçları tablolarda gösterilmiştir. Sonuçlara göre belirtilen şirket için bulunan en uygun bakım stratejileri sırasıyla Dünya Klasmanında bakım, Toplam Üretken bakım ve Geleneksel bakım stratejileridir. Bu çalışmanın sonucunda optimum bakım stratejisinin ekipman ve ünitelerin güvenirliğini artırmada önemli bir rol oynadığı belrilenmiş ve ayrıca gereksiz yatırım maliyetlerini de düşürdüğü gözlemlenmiştir.

Goossens ve Basten (2014) yaptıkları çalışmada askeri gemilerdeki makine bakım politikası seçimini AHS metoduyla yapmışlardır. Hollanda'da bu çalışmanın yapıldığı donanmada 27 adet gemi vardır ve 25 yıllık tasarım ömrü olan bu gemilerin ortalama yaşı 17'dir. Bu gemileri uzun bir süre çalışır durumda tutabilmede bakım faaliyetlerinin önemi çok büyüktür. Bu çalışmada bakım politikası seçiminde çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHS metodu kullanılmıştır. Bu çalışmada bakım politikası alternatifleri altı tanedir. Bu alternatifler; arızaya dayalı, takvime dayalı, kullanıma dayalı, kullanım önemine dayalı, yüklemeye dayalı ve duruma dayalı bakım alternatifleridir. Ancak AHS ile bu alternatiflerden uygun olanını seçmek için seçenek fazlalığı olduğundan, bu seçeneklerden yalnızca üç tanesi alternatif olarak seçilebilmiştir. Uygun alternatifler; arızaya dayalı, kullanıma dayalı ve duruma dayalı

bakım seçenekleridir. Uygun alternatifler seçildikten sonra, kriter ve hiyerarşi seçimine geçilir. Bakım için şirket seçiminde askeri gemiler söz konusu olunca bazı kriterlerin önem derecesi artmıştır. Ana kriter olarak; mürettebat (sayı ve bilgi seviyesi bakımından), bilgi (şirketin tecrübe ve bilgi seviyesi), görev (geminin göre profili), ilişkiler (şirketin iç ve dış alandaki ilişkileri), yedek parça ve bakım görevleridir. Bunları mürettebat güvenliği, geminin yaşı, bakımın yapıldığı lokasyon, şirket tecrübesi gibi 29 adet alt kriter belirlenmiştir. AHS yardımıyla yapılan değerlendirme ve hesaplar sonucunda duruma dayalı bakım seçeneği öne çıkmıştır.

Azizi ve Fathi (2014) yaptıkları çalışmada İran'da bir petrol istasyonunda kullanılan bakım stratejilerinin sonuç üzerindeki etkileri, farklı faktörler göz önünde bulundurularak incelenmiştir. Çalışmada ana kriterlerin ve alt kriterlerin belirlenmesi, ikili karşılaştırmalarının yapılması konusunda uzman birkaç personelden yararlanılmıştır. Sonuçlar Tablo 1.1'de bu çalışmaya ait ana kriter ve alt kriterlerin aldıkları ağırlık değerleri gösterilmiştir.

Tablo 1.1: Kriterlerin Ağırlık Değerleri

Ana Kriter	Alt Kriter	Ağırlık
Üretim Kalitesi (0,252)	Müşteri memnuniyeti	0,0612
	Hatalı ürünlerin azaltılması	0,0610
	Tekrarlanan üretimlerin azaltılması	0,0640
	Başarısızlık süreçlerin azaltılması	0,0658
Güvenirlik (0,255)	Üretim kesintilerinde azalma	0,0492
	Kesinti zamanlarında azalma	0,0485
	Arızalar arası ortalama zamanda artış	0,0490
	Ekipman kullanımında artış	0,0548
	Bakım artışı	0,0536
Maliyet (0,25)	Donanım	0,0488
	Yazılım	0,4750
	Çalışan eğitimi	0,0495
	Aksesuarlar	0,0531
	Danışmanlık	0,0510
Güvenlik (0,244)	Çalışan hizmetleri	0,0488
	İç çevre	0,0910
	Dış çevre	0,1042

Kaynak: Azizi ve Fathi, 2014: 897

Tablo 1.1 incelendiğinde; ana kriterler sırasıyla güvenirlik (0,255), ürün kalitesi (0,252), maliyet (0,250) ve güvenlik (0,244) önem düzeyine sahip yani az bir farkla olsa bile en önemli ana kriterin güvenirlik olduğu görülmektedir. Bakım stratejileri ise sırasıyla; önleyici (0,547), kestrimci (0,541) ve düzeltici (0,516) bakım stratejisi olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda bulanık AHS yöntemine göre bir değerlendirme yapılmış güvenirlik (0,255) faktörünün öncelikli olduğu sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte önleyici bakımın firmanın performansını geliştirmede önemli bakım stratejisi olduğu ifade edilmiştir.

Chandrahas vd. (2015) yaptıkları çalışmada bakım stratejisi seçiminin tüm üretim endüstrilerinde çok önemli olduğu ve her bakım stratejisinin kendine özgü farklı karakteristiği olduğunu ifade etmişlerdir. İşletmelerde bakım stratejilerinin seçimi, bir karar problemidir ve bu tüm yönetici/mühendisler için zor bir görevdir. Benzer makinelerde, farklı üretim ortamlarında uygulanan bir bakım politikası nem, sıcaklık ve iş yükü gibi bir çok işletim faktörlerinden etkilendiği için aynı sonuçları vermeyebilir. Bu nedenle, işletmeler bakım yöntemi seçim kararı verirken, çeşitli kısıtlamalarla ve ekonomik engellerle karşı karşıya kalmaktadırlar. Ancak bu tür problemlerin çözümünde AHS gibi yöntemlerin kullanılması çözümü kolaylaştırabilmektedir. Çalışmada düzeltici, önleyici ve duruma dayalı bakım yöntemleri için; ana felsefe, güvenirlik esasları, avantajlar, dezavantajlar, endüstride kullanılan bakım stratejisi, eşitlik, örnek olmak üzere bazı faktörlerin karşılaştırmaları yapılmıştır. Endüstride duruma göre kullanılan; düzeltici bakım % 55, önleyici bakım % 31 ve duruma dayalı bakım ise % 12'dir. Makinenin performansını veya şirketlerin hedefe ulaşmasını yüksek düzeyde etkileyen kriterlerin, çok dikkatli analiz edilmesi gerekmektedir. Çok Kriterli Karar Verme araçları bu kriterleri sıralamayı kolaylaştırır. İmalat sanayisinde kullanılan en genel kriterler ve alt kriterler; *Maliyet* (Kötü bakım maliyeti, Yedek parça maliyeti ve Personel eğitim maliyeti), *Güvenlik* (Çevresel etkenler ve Personel güvenliği), *Katma Değer* (Uzmanların rolü, Yedek parça kalitesi ve bulunabilirliği ve Müşteri memnuniyeti) ve *Ekipman ve Teknoloji* (Hata Tanımlama ve Uygulanabilirlik) kriterleri olarak belirlenmiştir.

Baidya ve Ghos (2015) çalışmalarında üç farklı şirkette, stratejik yönetim ve bakım gereksinimi dikkate alınarak özellikle kritik parçalar için kestirimci bakım

göstergelerinin etkinliğini bulmaya dayalı detay analizi yapmışlardır. Güç ünitesinin buhar türbini ve kazan bölümünün yağlama, rulman ve dişli sistem teknolojilerine Vibrasyon analizi/Süreç Parametreleri, Akustik emisyon/Performans izleme, Yağ analizi ve Darbe yöntemi uygulanmışlardır. Hangi kritik parçalar için hangi teknolojinin daha uygun olduğuna, bakım mühendisi, yönetim kurulu üyeleri ve bakım departmanı ile ilgili teknik yöneticilerinden oluşan uzman üyeler arasında fikir birliğine varılarak öncelikler oluşturulmuş, belli kritik parçalar için belli teknolojileri kullanmanın daha yararlı olduğu ortaya konulmuştur. Çalışmada üç şirket için; *Finans* (Sermaye, İşletme Maliyeti), *Teknolojik* (Güvenirlik, Bakım/Onarım Süresi, İşletilebilirlik, Esneklik ve Makine Kullanabilirliği) ve *Çevresel* (Güvenlik, Kaynak Kullanımı ve Enerji Tüketimi) kriterleri seçilmiştir. Alternatif olarak; vibrasyon analizi, akustik emisyon/performans izleme, yağ analizi ve darbe yöntemi alternatifleri kullanılmıştır. Çalışmada AHS yöntemi ile kriter ve alternatifler karşılaştırılmış ve sonuç olarak; Yağlama sistemleri için A ve B firmaları için performans izleme, C firması için süreç parametreleri en uygun kestirimci bakım ölçüm metotları olarak bulunmuştur. Rulman sistemleri için A firması için akustik emisyon, B firması için darbe metodu ve C firması için vibrasyon analizi en uygun kestirimci bakım ölçüm metotları olarak bulunmuştur. Dişli sistemleri için A firması için akustik emisyon, B ve C firmaları için vibrasyon analizi en uygun kestirimci bakım ölçüm metodu olarak bulunmuştur.

Tablo 1.2'de çok kriterli karar verme metodu ile bakım stratejisi seçimi konusunda literatürde yapılan çalışmaların özeti niteliğindeki bilgiler sunulmuştur.

Tablo 1.2: Literatürde ÇKKV ve Bakım Stratejileri

YAZAR	KULLANIM ALANI	ALTERNATİFLER	ANA KRİTERLER	SONUÇ
Rashidor, K. (2013) Using Improved AHP Method in Maintenance Approach Selection	Çalışmada geliştirilmiş Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemi kullanılarak en iyi bakım stratejisi seçimi değerlendirilmiştir.	Düzeltici Bakım	Maliyet	Yapılan hesaplamalar sonucunda verilen ana kriterlerin yardımıyla alternatiflerin ağırlıkları bulunmuştur. Bunun sonucunda düzeltici bakımın ilk sırada geldiği, sırasıyla durum esaslı bakım ve önleyici bakımın takip ettiği bulunmuştur.
		Önleyici Bakım	Güvenlik	
		Durum Esaslı Bakım	Katma Değer	
			Ekipman ve Teknoloji	

Tablo 1.3'nin devamı

YAZAR	KULLANIM ALANI	ALTERNATİFLER	ANA KRİTERLER	SONUÇ
Fouladgar, M.M. vd. (2012) Maintenance strategy selection using AHP and COPRAS under fuzzy environment	AHP ve COPRAS yöntemleri kullanılarak bakım stratejisi seçimi ve sıralanması değerlendirilmiştir.	Arıza Tabanlı Bakım	Maliyet	Bu çalışmada COPRAS ve AHP yöntemlerinin birleşimine dayanan yeni bir bulanık MCDM yöntemi gösterilmiştir. Bulanık AHP yöntemi değerlendirme kriterlerinin ağırlıklarını bulmada ve COPRAS yöntemi de olası bakım stratejilerini sıralamada kullanılmıştır.
		Önleyici Bakım	Ulaşılabilirlik	
		Durum Esaslı Bakım	Risk	
		Planlanmış Bakım	Katma Değer	
		Kestirimci Bakım		
Sadeghi, A. ve Manesh, R.A. (2012) The application of fuzzy group AHP to selection of best maintenance strategy.	Mobarekeh çelik şirketinin transformatör ekipmanlarının bakımı için en uygun bakım stratejisinin seçilmesi değerlendirilmiştir.	Klasik Bakım Stratejisi	Güvenlik	İlk üç ana faktör maliyet, fizibilite ve kalitedir. Mobarekeh çelik şirketi için en uygun bakım stratejisi Dünya Çapında bakımdır. Bunu Toplam Üretken bakım ve Geleneksel bakımın takip ettiği görülmüştür.
		Toplam Verimli Bakım	Teslimat	
			Kalite	
		Dünya Klasmanında Bakım	Maliyet	
			Uygulanabilirlik	
Zaim, S. vd. (2012) Maintenance strategy selection using AHP and ANP alghorithms: A Case Study	Analitik Hiyerarşi Süreci kullanılarak yerel gazete basımı yapan yazıcıların bakım stratejisinin seçimi değerlendirilmiştir.	Düzeltici Bakım	Katma Değer	Çalışmada gazete firmasında AHP ve ANP yöntemlerin en uygun stratejinin kestirimci bakım olduğunu göstermiştir.
		Periyodik (Zaman) Bakım	Maliyet	
		Kestirimci (Durum) Bakım	Güvenlik	
			Uygulama	
Momeni, M. vd. (2011) A Fuzzy TOPSIS-Based Approach to Maintenance Strategy Selection: A Case Study	Bulanık TOPSIS yaklaşımına dayanarak bir elektrofan şirketi için bakım stratejisi seçimi değerledirilmiştir.	Önleyici Bakım	Katma Değer	Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak yapılan çalışma sonucunda şirketteki ekipmanlar için önleyici bakım stratejisinin en uygun bakım stratejisi olduğu görülmüştür.
		Fırsat Bakım		
		Düzeltici Bakım	Uygulanabilirlik	
		Kestirimci Bakım	Güvenlik	
		Durum Esaslı Bakım	Maliyet	
Arunraj, N.S. ve Maiti, J. (2010) Risk-based maintenance policy selection using AHP and goal programming	Bu çalışmada ekipmanın arıza riskine ve bakımın maliyetine bağlı olarak bakım stratejisi seçimi yaklaşımı uygulanmıştır.	Düzeltici Bakım	Risk	AHP ve GP yöntemleri kullanılarak kimyasal bir üniteden benzen çıkartma üzerine bakım stratejisi seçimi çalışması yapılmıştır. Sonuçlara göre duruma dayalı bakım yaklaşımının yüksek risk altında olan ekipmana ve düzeltici bakımın ise az risk olan ekipmana uygun olduğu görülmüştür.
		Zaman Esaslı Bakım		
		Kapanma Bakımı	Maliyet	
		Duruma Dayalı Bakım		
METE, M. (2007) Bakım Yönetiminde Bulanık Çok Amaçlı Karar Verme Modeli.	Bakım stratejilerinin seçilmesinde bulanık çok ölçütlü bir karar modeli geliştirilmiş, klasik AHP-TOPSİS ve bulanık AHP-TOPSİS çok ölçütlü karar verme yaklaşımları kullanılarak bakım stratejilerinin seçilmesi çalışması yapılmıştır.	Düzeltici Bakım	Maliyet	Çalışma sonucunda her iki yöntemde bakım stratejileri Toplam Verimli Bakım, Güvenirlik Merkezli Bakım, Kestirimci Bakım, Duruma Dayalı Bakım, Periyodik Bakım ve Düzeltici Bakım şeklinde sıralanmıştır.
		Periyodik Bakım	Emniyet	
		Duruma Dayalı Bakım	Uygulanabilirlik	
		Kestirimci Bakım	Rekabet Avantajı	
		Güvenirlik Merkezli Bakım		
		Toplam Verimli Bakım	Çalışma Morali	

Tablo 1.2'de görüldüğü gibi, düzeltici bakım (tamir-onarım), periyodik bakım, durum esaslı ve kestirimci bakım stratejileri daha fazla kullanılan stratejiler

arasındadır. Ayrıca kriterlerden en fazla kullanılanlar, maliyet, uygulanabilirlik, güvenlik ve katma değer kriterler olduğu görülmektedir. Literatür incelendiğinde bakım stratejisi seçimi için çok kriterli karar verme yöntemlerinin birçok çalışmada kullanıldığı görülmektedir. Bu nedenle yöntem bağlamında, literatür tarafından da desteklendiğinden değişiklik yapılmamıştır.

Çalışmada literatürde sık kullanılan bakım stratejilerinden, Tamir-Onarım (Düzeltici Bakım), Zaman Esaslı Bakım, Durum Esaslı Bakım, Toplam Verimli Bakım ve Güvenirlik Merkezli Bakım alternatifler olarak belirlenmiştir. Yine aynı şekilde sık kullanılan ve uygulamanın yapılacağı firmadaki makinelere uygun ve bakım mühendisinin ve bakım personelin tecrübeleri doğrultusunda kriterler belirlenmiştir. Ana kriterler olarak da bu bağlamda maliyet, güvenlik, uygulanabilirlik ve rekabet avantajı seçilmiştir. Kriterler olarak ise yedek parça stoku, bakım-onarım süresi, donanım, verimlilik, personel, tesis, ürün, çevre, teknik güvenirlik, makine-teçhizat, eğitim, teknik bilgi, ürün kalitesi ve arıza teşhisi kullanılmaya karar verilmiştir.

İKİNCİ BÖLÜM
ALTERNATİF BAKIM STRATEJİLERİ

2.1. BAKIM YAKLAŞIMLARINA GENEL BİR BAKIŞ

Etkin bakım yönetiminin en önemli unsuru, bakım stratejisinin oluşturulmasıdır. Bakım maliyetlerinin minimuma indirilmesi, üretim ve servis sistemlerinde sürekliliğin sağlanması, arıza ve maliyetleri azaltılması gibi hedeflere ulaşabilmek için, doğru strateji belirlenip bu bağlamda çalışmaların yapılması gerekmektedir.

İşletmelerde bakım yöneticileri, ‘‘ne zaman koruyucu bakım, ne zaman arıza bakımı yapılacağını’’, ‘‘hangi makine üzerinde, ne yapılacağını’’ veya ‘‘bakımın ne kadar süreceği’’ sorularına sürekli cevap ararlar. Ancak her zaman aynı bakım prensibini uygulamak, istenen optimum sonuca ulaştırmayacaktır. Çünkü makinenin durumu, çevre şartları, elde bulunan ekipman ve zaman, seçilecek bakım stratejisini etkileyecektir.

Birçok firma bakımı kaçınılmaz bir maliyet olarak görür. Bu firmalar için bakım operasyonu düzeltici bir fonksiyona sahiptir ve maliyetinden dolayı yalnızca acil durumlarda bakım yapmayı düşünmüşlerdir. Ürün kalitesi, saha güvenliği gibi konuların önem kazanmasıyla birlikte, günümüzde bu tarz uygulamalara yer yoktur. Bakım maliyetlerinin artışı toplam üretim maliyetini de arttırdığından, maliyet

endüstrinin tipine göre, % 15-70'e kadar toplam maliyeti arttırabiilir (Bevilacqua ve Braglia, 2000: 71).

Üretim ve bakım konularını ele alan karar ve optimizasyon problemleri, üretim ve bakım parametreleri arasında bir denge oluşturarak işletme verimliliğini artıracak ve işletme sürdürülebilirliğini iyileştirecek bakım ve üretim politikalarını en uygun çözüm yöntemi ile çözmeye çalışan problemlerdir.

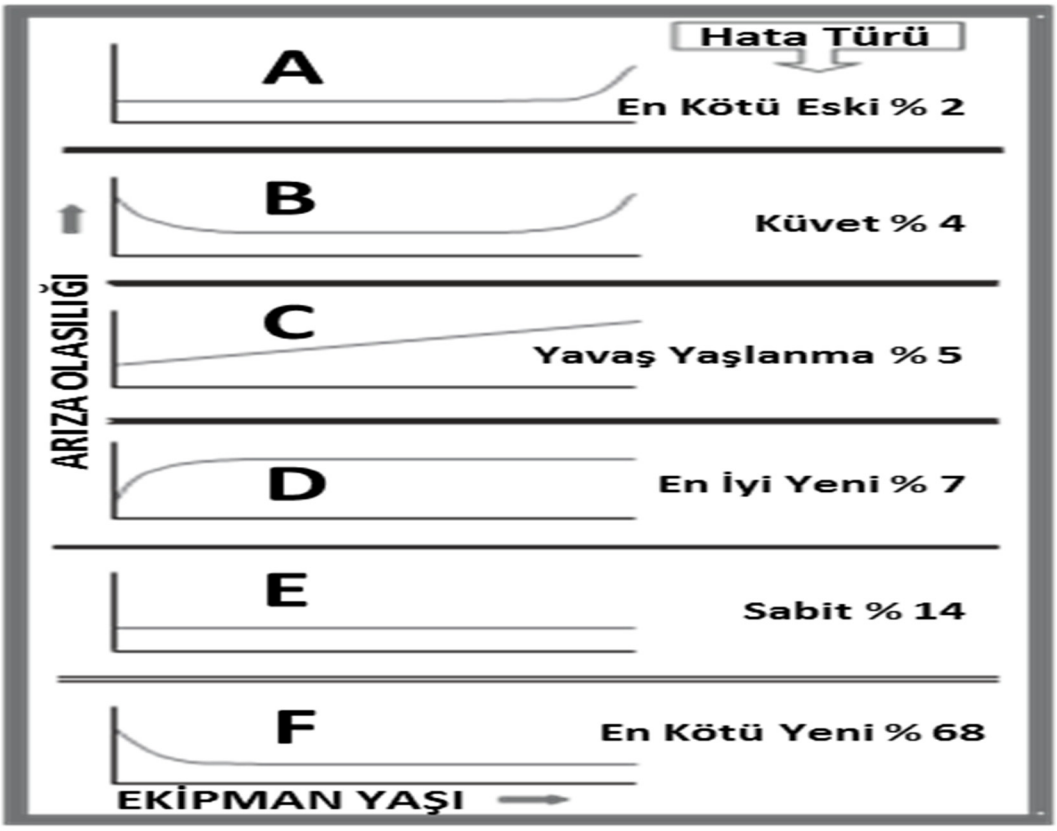
Bakım müdahalesi sistem ve ekipman için, kullanım ömrü boyunca performanslarını koruyabilmek ve karşılayabilmek adına gereklidir. Bakım ve bakım politikası, sistemlerin en az maliyetle etkili performans gösterebilmelerinde önemlidir (Xu ve Wu, 2015: 587).

Bakım stratejisi seçimi; onarım, teşhis, araştırma ve uygulama, değiştirme ve denetleme faaliyetlerinin karar verme içerdiğini göstermiştir. Bu da işletmenin her ünitesi için en iyi ömür devri planı, işletme için optimum bakım programı, üretim ve diğer fonksiyonlarla ilgilidir. Bakım stratejisi, hangi olaylarda (arıza, boşa zaman harcama, durum) hangi bakım stratejisini (denetleme, tamir veya değiştirme) uygulamanın daha uygun olduğunu tanımlar. Bakım stratejisi, tesisten tesise değişen bir planlar/teknikler bileşiminden meydana gelir. Bakımın amaçları, tesisin yapısı veya bakımı yapılacak olan ekipman, iş akış modelleri (proses odağı, ürün odağı) ve iş ortamı gibi birçok faktöre bağlıdır (Alsyouf, 2004: 26, Alsyouf, 2007: 71).

Bakım, işletmelerde sadece makine ve ekipmanların yağlanması, ayarlanması, bozulan parçaların tamir edilmesi veya değiştirilmesi değil, makinelerin üretime hazır hale getirilmesi, üretim sırasında makinelerin sürekli ve düzgün çalışması ile önleyici veya koruyucu bakım uygulamalarını içermektedir. Aynı zamanda, doğru makine ve ekipmanların seçimi ve bunların işletme ihtiyaçlarını optimum seviyede karşılamasını, işletmede kullanılan varlıklarının faydalı ömrünün uzatılması, makinelerin ve ekipmanların üretim için hazır-oluş seviyelerini en yüksek düzeyde tutarak, yüksek ürün kalitesinin ve maliyetlerin minimize edilmesini sağlamaktır. Bu nedenle, bakım faaliyetlerinde yapılacak iyileştirme ve gelişmeler, işletmelerin verimliliğini ve üretim performans parametrelerini iyileştirir, ürün kalitesini olumlu yönde etkiler ve toplam maliyetleri düşürerek firmalara rekabet üstünlüğü kazandırır (Özdoğan, 2011: 16).

Bakım zamanının doğru seçilmesi makine/ekipmanın yararlı ömür uzunluğunu etkileyen önemli bir unsurdur. Arıza sayısı, planlı yedek parça değişimlerinin sayısı, onarım zamanı, direk bakım maliyetleri ve dolayısıyla ortalama üretim maliyetlerini etkiler. Bakım zamanı ne kadar doğrulukla seçilirse, parçanın yararlı ömrü o kadar yüksek olacaktır (Al-Najjar ve Alsyouf, 2003: 87).

Genellikle, yıpranma karakteristikleri, ekipmanın ürün ile doğrudan temasta olduğu durumlarda meydana gelir. Yaşa bağlı arızalar genellikle yorulma, korozyon, paslanma, aşınma ve buharlaşma ile ilgilidir. Ancak genel olarak günümüzde ekipmanlar yirmi yıl önce olduğundan daha karmaşık yapıdadırlar. Bu durum Şekil 2.1'de görüldüğü gibi arıza eğilimlerinde değişmeye neden olmuştur. Şekil 2.1'de farklı elektrik ve mekanik parçalarda yaşa bağlı durumsal arızalanma olasılıkları gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Arıza Olasılığının 6 Farklı Şekli

Kaynak: Moubray, 1997: 12; Smith ve Hawkins 2004: 94

Şekil 2.1 incelendiğinde, A grafiğinde arıza yapma olasılığı sabit veya az artan bir şekilde sürerek yıpranma dönemiyle sonlanır. B arıza grafiği eğrisi, çok iyi bilinen bir küvet eğrisidir. Yüksek arızalanma olasılığı ile başlar, daha sonra sabit ve az artan bir şekilde sürerek ekipman yıpranma dönemine geldiğinde hızlı artış gösterir. C grafiğinde arıza olasılığı çok az bir şekilde artmaktadır ancak ekipman yıpranma dönemi bulunmamaktadır. D arıza grafiği parça yeni iken çok düşük bir arızalanma olasılığı ile başlar, sonra hızlı bir şekilde sabit oranla ilerler. E arıza grafiğinde her yaşta ekipmanın arızalanma olasılığı aynıdır. F arıza grafiğinde ise arızalanma olasılığı yüksek başlar, sonuçta hafif bir şekilde artan düzeye kadar düşer (Moubray, 1997: 12-13).

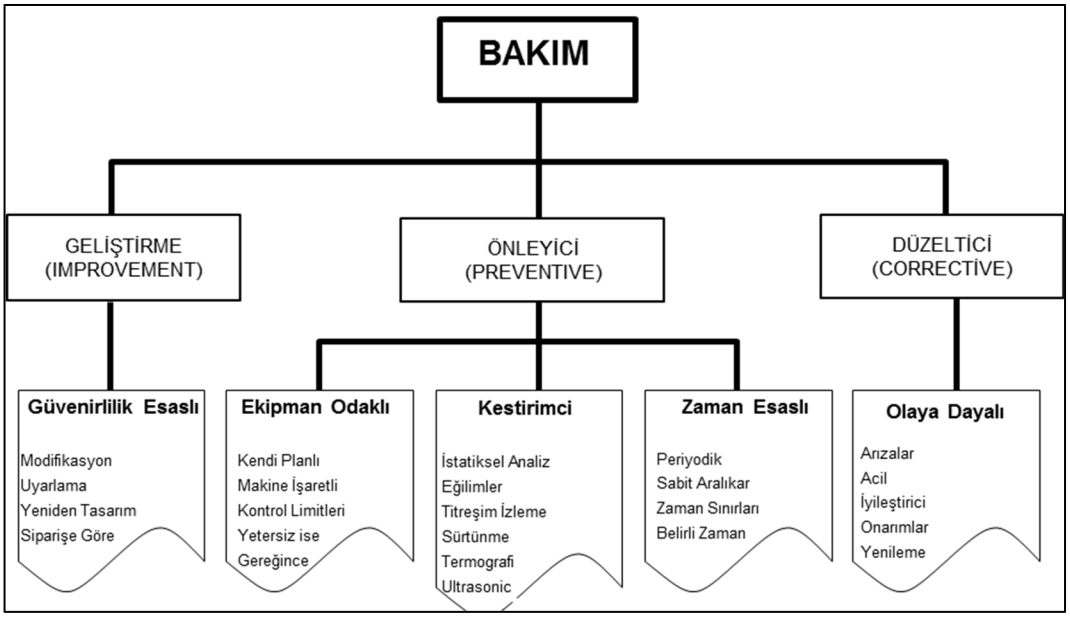
Sivil havacılık sektöründe yapılan çalışmalar, parçaların % 2'sinin A, % 4'ünün B, % 5'inin C, % 7'sinin D, % 14'ünün E ve % 68'den az olmayan bir kısmının da F grafiğine uyduğunu gösterir. Uçaklarda meydana gelen arızaların, endüstrideki değerlere uyacağı söylenemez ancak ekipman karmaşıklaştıkça E ve F grafiğinin daha çok gözlemlendiği rahatlıkla söylenebilir (Moubray, 1997: 13).

Üretkenlik, kalite ve ulaşılabilirlik üzerindeki artan talep ile birlikte makineler daha karmaşık ve maliyetli hale gelmiştir. Bakım programı geliştirmek ve uygulamak birçok sorunla karşılaşılan zor bir süreçtir. Karşılaşılan sorunlar genellikle sistematik ve tutarlı bir metodoloji eksikliğinden kaynaklanır. Buna ek olarak program geliştirme süreci farklı taraflarla ilgili olduğundan tüm bu tarafları memnun etmeyi başarmak ve şirketin hedefini gerçekleştirmek zor bir hale gelir. Bakım programı geliştirmek, uyuşmayan hedefleri olabilecek farklı karar vericiler içeren tekrarlayıcı bir süreçtir. Bir bakım programı oluşturmak her safhada farklı karar süreçleri içeren ve karşıt amaçları da içinde barındıran kademeli bir süreçtir. Bakım yöneticileri çoklu ve çoğu zaman çalışırken çıktıyı maksimize etmek, hazır-oluş, kaliteyi arttırmak gibi hedeflere sahiptir. Bunun yanında üretim zaman planı, uygun yedek parça, iş gücü ve kabiliyet gibi kısıtları vardır (Labib, 1998: 66).

Bu bulgular güvenirlik ve çalışma yaşı arasında bir ilişki olduğu tezi ile ters düşmektedir. Bu inanç, parça ne kadar sık elden geçirilirse arızalanma olasılığının o kadar düşeceği düşüncesini doğurmaktadır ve günümüzde nadiren doğru olarak kabul edilebilir. Ancak baskın yaşa bağlı arıza modu olmadığı sürece, yaş sınırları karmaşık

parçaların güvenirliğini arttırmada çok az etkilidir ya da hiç etki etmemektedir. Bunun tam tersi, istikrarlı sistemlerde fazla planlanmış elden geçirmelerden dolayı arızalanma olasılığını artırdığı durumlar da meydana gelmektedir.

Reaktif bakım yönetimin net sonucu, yüksek bakım maliyeti ve üretim sürecinde makinenin daha az kullanılabilirliğidir. Bakım maliyet analizleri, reaktif veya arıza bakım yönetimindeki gerçekleştirilen onarım maliyetlerinin, planlanmış veya önleyici bakım yönetiminde yapılan maliyetlerden ortalama üç kata kadar fazla olduğunu gösterir. Onarımın planlanması; onarım süresini ve işgücü maliyetlerini en aza indirmek için yetenek sağlar. Aynı zamanda hızlandırılmış gönderiler ve kayıp üretim üzerindeki olumsuz etkilerde azalma sağlar (Mobley, 2004: 3).



Şekil 2.2: Bakım Çeşitleri

Kaynak: Mobley, 2004: 9

Mobley'e (2004, 9) göre Şekil 2.2'de gösterildiği gibi üç ana bakım çeşidi ve önleyici bakımın da üç temel bölümü mevcuttur. Ana bakım çeşidi olarak Düzeltici, Önleyici ve Geliştirme Bakımı gösterilmiştir. Düzeltici bakım arıza meydana geldikten sonra ve acil onarım şeklinde yapılmaktadır. Önleyici bakımda belli kriterler (zaman, km, titreşim, yağ analizi vb.) göz önüne alınarak bakım zamanının planlandığı bir bakım çeşididir. Geliştime bakımında ise daha modern ve daha çok bakım felsefesi (yalın, güvenirlik merkezli, dünya klasmanında, toplam verimli bakım vb.) olarak

tanımlanabilecek bir bakım çeşididir. Mobley'e göre yapılan genel sınıflandırma literatürde yer bulan diğer araştırmalarda daha detaylı ve farklı tanımlarla zikredilmiştir. Bu tanımlamalar özet olarak Tablo 2.1'de sunulmuştur.

Tablo 2.1: Bakım Stratejileri Literatür Özeti

YAZAR	KULLANIM ALANI	BAKIM STRATEJİLERİ	
Abreu, J. vd. (2013) Business Processes Improve on Maintenance Management: A Case Study	Bu çalışmada bakım yönetimi üzerinde iş sürecinin geliştirilmesi değerlendirilmiştir. Kalite, servis ve kaynakların geliştirilmesi bağlamında bir havalimanında iş hedeflerini gerçekleştirmek üzere bakım yönetimi ele alınmıştır.	Düzeltici Bakım (Corrective Maintenance)	
		Önleyici Bakım (Preventive Maintenance)	
		İyileştirme Bakımı (Improvement Maintenance)	
Ahmad, R. ve Kamaruddin, S. (2012) An Overview of Time-based and Condition-based Maintenance in Industrial Application	Bu çalışmada literatürde sıkça kullanılan zamana dayalı ve duruma dayalı bakım teknikleri anlatılmıştır. Endüstriyel uygulamalarda bakım stratejisine karar vermede bu tekniklerin esasları değerlendirilmiştir.	Zaman Esaslı Bakım (Time Based Preventive)	
		Durum Esaslı Bakım (Condition Based)	
Gandhare, B. ve Akarte, M. (2012) Maintenance Strategy Selection	Bu çalışma bakım stratejisi seçiminde çok kriterli karar verme yaklaşımını içermekedir. Etkin bakım yönetiminde yaygın olarak kullanılan bakım stratejileri incelenmiş ve çok kriterli karar vermenin nitelik ve nicelikleri birleştirmesi ve ilgili stratejileri değerledirmesi anlatılmıştır.	Düzeltici Bakım (Corrective Maintenance)	
		Kestirimci Bakım (Predictive)	Zaman Esaslı Bakım (Time Based Preventive)
			Durum Esaslı Bakım (Condition Based)
		Toplam Verimli Bakım (Total Productive)	
		Güvenirlik Merkezli Bakım (Reliability Centred)	
Görener, A. (2012) Bir İmalat İşletmesinde Bakım Stratejisnin Belirlenmesi.	Bu çalışmada, imalat sektöründe faaliyet gösteren, aspiratör ve davlumbaz üreten bir fabrikanın TOPSİS yöntemi ile bakım stratejisinin seçimi yapılmıştır.	Önleyici Bakım	
		Düzeltici Bakım	
		Durum Esaslı Bakım	
		Kestirimci Bakım	
Feyzullahoğlu, E. (2011) Bilgisayar Destekli Kestirimci Bakım Uygulamaları.	Bir gıda üretim işletmesinde makine sisteminin verimlilik artışını sağlamak üzere belirli bir makineye kestirmci bakım stratejisinin uygulanması.	Koryucu Bakım (Periyodik)	
		Kestirimci Bakım (Uyarıcı)	
		Proaktif Bakım (Önleyici)	
Görener, A ve Yenen, V. Z. (2007) İşletmelerde Toplam Verimli Bakım Çalışmaları Kapsamında Yapılan Faaliyetler ve Verimliliğe Katkıları.	Toplam Verimli Bakım stratejisinin döküm sektöründe faaliyette bulunan XYZ firmasında uygulanması.	Toplam Verimli Bakım	Planlı Bakım
			Kestirimci Bakım
			Otonom Bakım
Kahvecioğlu, A. (2003) Onarılabilir Elemanlara Önleyici Bakımın Etkisi ve Optimizasyonu.	Bu çalışmada artan bozulma oranına sahip, düzgün ömür dağılımlı bir eleman için farklı onarım-bakım maliyet oranları için, toplam maliyeti minimum yapan optimum bakım periyodu genetik algoritma tekniğinden faydalanılarak bulunmuştur.	Düzeltici Bakım	
		Durum Bağlı Bakım	
		Önleyici Bakım	

Tablo 2.1'de görüleceği üzere literatürde stratejileri çalışmalarda farklı şekilde ele alınmış ve karşılaştırılmıştır. Bazılarında sadece temel bakım stratejileri (düzeltici,

önleyici ve geliştirme bakımı), sadece geliştirici bakım felsefeleri (Toplam Verimli, Güvenirlik Merkezli vb.) yada hepsinin karışımından oluşan alternatifler seçilmiştir.

Bakıma bağlı olarak makine ve ekipmanlardaki arızalar üretim sürecinde istenmeyen duruşlara neden olur. Üretim sürecinde istenmeyen duruşlar işletmelerde büyük mali kayıplara yol açar. Arızayı giderme sırasında duruştan dolayı oluşan üretim kayıpları, maliyet, inceleme ve tamir maliyetleri ve ürün kalitesinin düşmesi ile toplam işletme maliyetleri yükselir, verimlilik düşer ve sonucunda işletme karlılığı da düşer. Makine ve ekipmanlardaki arızalar sadece üretim performansında düşme etkisi değil; aynı zamanda, müşterilere kaliteli hizmet sunabilme kaybına da yol açar. Bununla birlikte, firma imajına zarar verecek iş güvenliği ve sağlığı ve de çevre kazalarının yaşanmasına sebep olabilir (Alsyouf, 2007: 71).

Bakım fonksiyonunun, mühendislikle ve kuruluştaki diğer üretim fonksiyonlarıyla olan efektif entegrasyonu büyük miktarda zaman, para ve güvenirlik, ulaşılabilirlik, bakım kolaylığı ve performans konularıyla ilgili diğer kaynaklardan tasarruf etmede yardım edebilir. Bir çok kuruluş için artık bakım yönetimi programları yoluyla verimliliklerini optimize etmek, bunu yaparken tüm ekipman etkinliğini maksimize etmek gereklidir. Artan tam zamanında üretim odağıyla, kalite ve yalın üretim, tesisin güvenirlik ve kullanılabilirliği hayati önem taşımaktadır. Zayıf makine performansı, kesintiler ve efektif olmayan tesis bakımı üretim kaybına, pazar fırsatları kaybına, artan maliyetlere ve azalan kazanca yol açmaktadır (Fraser, 2014: 19).

Al-Najjar (2007)'de bakımın, genellikle şirketlerin gelir kazanmak için kullanabileceği büyük miktardaki parayı gereksiz yere harcatan zorunlu bir gider merkezi olarak görüldüğünü ifade etmektedir. Bir şirketin içsel etkinliğinin bakımın sahip olduğu önem tarafından büyük ölçüde etkilendiğinin ve bu etkinin üretim, kalite, üretim maliyeti, çalışma koşulları, çalışma gücü ve sermaye gibi diğer çalışma alanlarına da yansıdığını belirtmektedir. Çalışmasında etkin olarak yapılan bakımın bir şirketin daha iyi rekabetçi avantajlara sahip olabilmesi için, içsel etkinliğini artırmaktaki rolüne değinmiştir. İyi bakımı yapılmamış bir makine genelde üretimde başarısız olur, hızı azalır ve defolu malzemeler üretmeye başlar. Bu da üretimin maliyetini artırır, karı azaltır, şirketin piyasa payının kaybolma riskini artırır ki bu da şirketin uzun dönemde ayakta kalmasını tehlikeye attığını vurgulamıştır. Bakım ile

ürün ve kalite arasındaki etkileşim ve operasyonel seviyedeki bakımın basit tekniksel etkisinin şirketin stratejik seviyedeki kar ve rekabetçiliğini etkileyecek ekonomik etkilere (kullanılan Durum Merkezli Bakım (DMB) tekniğinin etkisiyle) nasıl dönüştürülebileceğini açıklamaya çalışmış ve Durum Merkezli Bakım (DMB)'ın şirketin diğer aktivitelerine ve işlerine nasıl olumlu yönde etkileri olduğu yazarın İsveç kağıt fabrikalarındaki deneyimleri baz alınarak, gerçek ve karakteristik verilerle teyit edilmiştir.

Sachdeva vd. (2008)'de, genetik algoritma ile kağıt fabrikasında kağıt üretim sistemlerinin bakım planlaması optimizasyonunu yapmaya çalışmıştır. Etkin bir bakım programı ile gözlem, onarım ve makine durma maliyetlerini minimize etmeyi amaçlamıştır. Optimal bakım planı için çok amaçlı optimizasyonda hazır - oluş, bakım maliyetleri ve ömür yaşam maliyetleri optimizasyon için ele alınan kriterlerdir.

Bir şirket, takip edilen iş hedeflerine ulaşmak için hepsi birbiriyle etkileşim içinde olan çok sayıda teknik sistem içerir. Bakım, bu hedeflere ulaşılmasında şimdiye kadar hiç olmadığı ölçüde katkı sağlamaktadır. Nitekim uygun bakım sadece malzeme ömrünün maliyetini düşürmekle kalmaz; aynı zamanda şirketin genel performansına pozitif olarak katkı sağlar. Bununla birlikte bakım, toplam maliyete de önemli bir şekilde katkı sağlar ve bu durum genellikle bakım departmanlarına temel performans geliştirme talepleri oluşturur (Waeyenbergh ve Pintelon, 2002: 299).

2.2. TAMİR–ONARIM (DÜZELTİCİ BAKIM/ARIZİ BAKIM)

Düzeltici Bakım (Corrective Maintenance)'ın temel özelliği tamir – onarım eyleminin makinenin/teçhizatın/ekipmanın görevini yerine getiremediği yani arızalandıktan (bozulduktan) sonra yapılmasıdır. Bir bozulma oluşuncaya kadar hiçbir müdahale söz konusu değildir (Bevilacqua ve Braglia, 2000: 73).

Reaktif ya da arıza bakımı, bakım için yangın söndürme yaklaşımı olarak tanımlanabilir. Araç-gerecin işlev göremeyinceye kadar çalışmasına izin verilir. Bundan sonra arızalanan ya da görevini yerine getiremeyen araç-gereç onarılır ya da değiştirilir (Swanson, 2001: 238).

Dhillion (2002: 3)'de ise düzeltici bakımı (Corrective Maintenance), bakım personelinin veya kullanıcının malzeme/ekipmanda bozukluk ya da kusur tespit etmesi ve planlanmamış bakım ya da tamir ile tekrar işlevsel hale getirmesi şeklinde tanımlamaktadır.

Literatürde İngilizcedeki maintenance kelimesinin anlam olarak bakım kelimesine karşılık gelmesinden dolayı Türkçe kaynaklarda da Corrective Maintenance kelimesi Düzeltici Bakım olarak tercüme edilmiştir. Repair kelimesinin sözlük anlamı tamir/onarım şeklinde yer almaktadır. Yabancı kaynaklar tarandığında repair kelimesi genellikle tıp alanında kullanılmaktadır. Türkçe anlamına bakıldığında bakım kelimesi İngilizcedeki Preventive, yani Önleyici/Koruyucu, arızalanmadan önce yapılan bir faaliyet olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle bu tez çalışmasında Tamir – Onarım olarak kullanmak tercih edilmiştir. Wang (2002: 470) çalışmasında düzeltici bakım yerine tamir (repair) ifadesini kullanmış ve bazı araştırmacıların da kullandıklarına değinmiştir. ''İngilizcedeki Maintenance terimi bakım olarak yanlış biçimde dilimize girmiş olduğundan, maintainability terimi için, ister istemez, ana tanıma dönme zorunluluğu doğmuştur'' (Esin, 2004: 16).

Herhangi bir makine veya parçanın arızalanması, üretimi veya işleyişi etkilemeyen durumlarda, hemen tamir edilebilecek küçük arızalar için kullanılan bakım türüdür. Genel amaçlı üretim yapan atölyelerde, yedek makine ve ekipmanın hazırda bulunduğu sistemlerde uygulanması daha doğru bir seçim olacaktır. Uygulanması riskli olduğu işletmeler şunlardır:

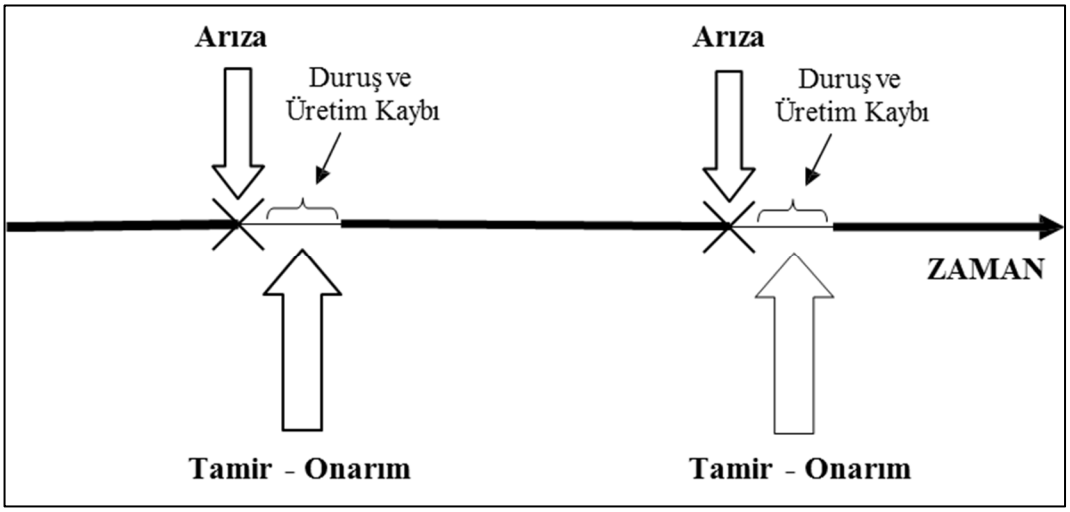
- ✓ Akış tipi imalatın gerçekleştiği atölyeler,
- ✓ Aynı tip makinelerin sınırlı sayıda bulunduğu işletmeler,
- ✓ Muadili olmayan ekipman kullanan işyerleri.

Wang vd. (2007: 152)'de düzeltici bakımı son dakika/çare (yangın söndürme) bakımı, arıza bazlı bakım veya işlevini yerine getirememe durumdaki bakım olarak adlandırmaktadır. Bu strateji makine duruncaya/arızalanıncaya kadar uygulanmaz. Makine işlevini yerine getiremediği ve durduğu zamanda yapılan bir bakım çeşididir.

Bozuluncaya kadar (Run to Failure) yönteminin mantığı basit ve kolaydır. Eğer bir makine bozulursa tamir et, bozulmazsa tamir etme metodu, ilk işletme tesisi kurulduğundan beri var olan büyük bir fabrika bakım yönetimidir ve ilk başta mantıklı gelmektedir. Bu stratejiyi kullanan işletme makine yada ekipman işlevini yerine getiremeyinceye kadar bakım için para harcamaz. Bozuluncaya kadar çalıştır yöntemi, makine veya ekipman bozuluncaya kadar herhangi bir bakım işlemi uygulanmayan reaktif bir yaklaşımdır. İşin gerçeği bakım yapmama yaklaşımdır. Yani en pahalı bakım yönetimidir (Mobley, 2004: 2).

Ahmad ve Kamaruddin (2012: 135)'de Düzeltici Bakımı (Corrective Maintenance), bozuluncaya kadar yada reaktif bakım olarak da bilinir, ekipmanın bozulduktan sonra eski haline getirmek (tamir yada değişim) için yapılan faaliyet olarak tanımlamaktadır. Bu stratejide ani bozulmalardan dolayı makinede çok fazla duruş (üretim kaybı) ve bakım maliyeti (onarım veya değiştirme) meydana gelmektedir.

Şekil 2.3'de tamir-onarım yaklaşımı zaman serisi üzerinde gösterilmiştir. Arıza oluştuğunda onarım için planlanmayan ani duruşlar meydana gelmektedir. Bu duruşların sayısı veya süresini kestirmek zordur.



Şekil 2.3: Tamir – Onarım Yaklaşımı

Kaynak: Özdoğan, 2011: 21

Bu reaktif yöntem bakım departmanını, yedek makine veya en azından işletmenin tüm kritik ana ekipmanları için geniş bir yedek parça stoku oluşturması için zorlamaktadır. Bu yöntem ile ilgili istenmeyen başlıca giderler aşağıdaki gibidir (Mobley, 2004: 2):

1. Yüksek yedek parça stok maliyeti,
2. Fazla mesai işçilik maliyetleri,
3. Yüksek makine duruşları,
4. Düşük üretim durumu.

Aynı zamanda arıza tabanlı bakım, arıza bakımı veya bozuluncaya kadar çalıştırma stratejisi olarak da anılmaktadır. Bu, endüstride ortaya çıkan orijinal bir bakım stratejisidir. Bu stratejide bir parçanın bakım uygulanmadan önce arıza yapmasına izin verilir. Arıza sonucunda meydana gelecek sorun küçük ise uygundur (Bir elektrik ampulünün patlaması gibi). Ekipman arızasının bir organizasyonun verimliliği veya firmanın üretimi üzerinde büyük bir etkisi olmadığı zaman kullanılabilir. Ancak, böyle bir arıza tabanlı bakım stratejisi, tesislerde, personel ve çevrede ciddi hasara neden olabilir. Bu stratejide, onarım/bakım takımının görevi tesisi, gerekli fonksiyonları yerine getirecek şekilde mümkün olduğu kadar erken yenilemektir (Gandhare ve Akarte, 2012: 1330).

Acil onarım olmazsa olmazdır. Mevcut bakımların çoğu arızayı giderici bakımdır. Tamir her zaman gereklidir. Ancak daha iyi bir geliştirici ve koruyucu bakım acil düzeltmeler için olan ihtiyacı düşürebilir (Mobley, 2004: 9).

2.3. KORUYUCU/ÖNLEYİCİ BAKIM (PREVENTIVE MAINTENANCE)

Önleyici (Koruyucu, Periyodik) bakımı diğer bakım stratejilerinden ayıran en büyük özelliği, bakım zaman aralıklarının planlanmış ve belli olmasıdır. Genel durumdan bağımsız olarak, arızaya bağlı kalmadan yapılan bu bakım, maliyeti sistemine göre yüksek olsa da, etkili bir stratejidir. Sadece haftalık, günlük veya senelik bakım olarak planlamanın dışında sistemin çalışma süresine göre de planlanabilir.

Önleyici Bakım, makinede çalışan parçaların güvenirlik/dayanıklılık verilerini analiz ederek bakım mühendisinin makine için uygun bir bakım planı yapmasını sağlar. Koruyucu bakım politikası, parçaların bozulma/arıza sürelerini belli aralıklarla yapılan parça değiştirme, yenileştirme, ayarlama ve kontrollere göre belirlemeye çalışmaktır (Bevilacqua ve Braglia, 2000: 73).

Ruiz vd. (2007: 3315) çalışmalarında koruyucu bakımların sistemi her zaman iyi bir durumda tuttuğunu ve istenmeyen duruşları azalttığına işaret etmektedirler. Ayrıca koruyucu bakımın amaçlarını:

1. Makinelerin güvenirliğini yükseltirler. Bu nedenle, çalışmaları sırasında arıza yapma olasılığı düşer ve bunun sonucunda maliyetler düşer, hazır-oluş düzeyi iyileşir.
2. Makinelerin üretim yaşam ömürlerini artırırlar.
3. Üretim planlama ve yönetimini geliştirirler.
4. İş güvenliği sağlarlar şeklinde açıklamaktadırlar.

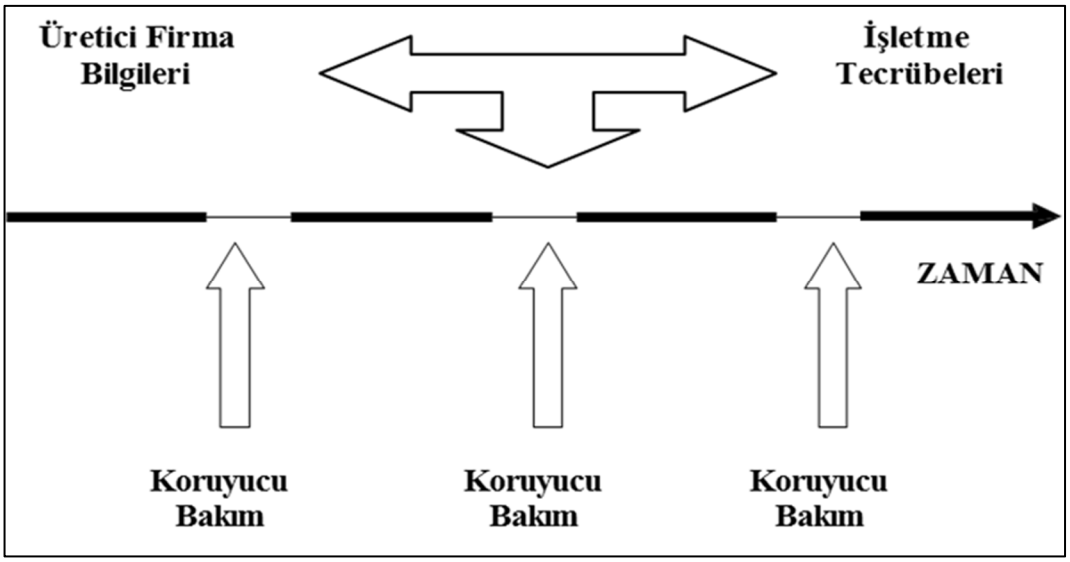
Swanson (2001: 238) Önleyici Bakımı, Proaktif Bakımın altında, genellikle kullanım bazlı bakım olarak adlandırmıştır. Zaman ya da makinenin belli bir kullanım miktarından sonra bakım faaliyetleri yapılır. Bu tip bakım, belirlenen aralıkta muhtemel arıza oluşma olasılığı tahminine dayanır. Üretim ekipmanları da önleyici bakım sırasında bozulma belirtileri açısından kontrol edilebilir. Proaktif bakım stratejisi, arızaları oluşmadan önlemek için, ekipmanda meydana gelen bozulmalar önceden izlenerek ve küçük onarımlar yapılarak ekipmanı yeniden uygun duruma getirmek için yapılan bir bakım stratejisidir. Koruyucu ve kestirimci bakımında içinde bulunduğu bu faaliyetler beklenmeyen ekipman hata oranlarını düşürür. Koruyucu bakım çoğu zaman kullanım tabanlı bakım olarak geçmektedir. Üstlenilen iş; ekipmanın yağlanması, parça değişimi, temizleme ve ayarlama içerebilir. Üretim ekipmanı aynı zamanda koruyucu bakım sırasındaki bozulma belirtileri açısından da denetlenebilir. Koruyucu bakımın faydaları arıza ihtimalinin azalması ve ekipman ömrünün uzamasıdır. Koruyucu bakımın dezavantajı ise üretimin bakım yapılması için planlanan zaman aralıklarında yarıda kesilmesidir.

Koruyucu Bakımda zaman ve maliyetler genellikle bütçenin % 30-60'ını kapsamaktadır. Bu nedenle, doğru planlama, tahmin ve zamanlama ile karı geliştirmek ve maliyetleri düşük seviyede tutmak büyük önem taşımaktadır (Mobley, 2004: 39).

Çoğu kişi için koruyucu bakım denilince, her gün, her ay, her üç ayda bir, her yıl veya önceden belirlenen başka bir zaman aralığında yapılan planlı, sabit zaman aralıklı bakım göz önüne gelir. Zamanlama güne veya mil, galon, harekete geçme veya kullanım saati gibi aralıklara bağlıdır. Performans aralıklarının kullanımının kendisi sadece genellemeye dayanmak yerine koruyucu görevlere dayanarak atılan bir adımdır. Sabit zamanlı koruyucu bakımın iki ana elemanı prosedür ve disiplindir. Prosedür, doğru görevlerin yapılması, doğru yağlamanın uygulanması ve değişecek parçaların en uygun zamanda değiştirilmesi demektir. Disiplin, her şeyin yapılması gereken zamanda yapılması amacıyla tüm görevlerin planlanması ve kontrol edilmesini gerektirir. Her iki alan da dikkat gerektirir (Smith ve Mobley, 2003: 10).

Adının da gösterdiği gibi koruyucu bakım görevleri, düzeltici yada tamir faaliyetleriyle sonuçlanan planlanmayan kesintileri ve erken ekipman hasarlarını önlemeyi amaçlar. Bu bakım yöntemi yaklaşımı genellikle yağlama ve ayarlama gibi kabul edilebilir güvenirlik ve elde edilebilirlik seviyesini korumak için tasarlanan bir zaman odaklı program veya tekrarlanan görevlerdir (Mobley, 2004: 9).

Şekil 2.4'de görüldüğü gibi, koruyucu bakım yaklaşımına göre sistemin bileşenlerinin ömrü bellidir ve arıza çıkarabileceği zaman aralıkları üretici firmadan alınan bilgiler ve makineyi kullanan firmanın tecrübelerine göre tahmin edilebilir. Bu yüzden zaman aralıklarını belirleyerek bakım organizasyonunu gerçekleştirip, ani durmaların ve üretimde yaşanabilecek büyük kayıpların önüne geçilebilir.



Şekil 2.4: Koruyucu Bakım Yaklaşımı

Kaynak: Özdoğan, 2011: 23

Koruyucu Bakımda ana hedeflerden biri de, arıza oranını ve arıza sıklığını azaltmaktır. Bu strateji iş yapmama maliyetlerini ve makine kesintilerini (üretim kaybı) minimize etmeye ve ürün kalitesinin artmasına katkı sağlamaktadır (Ahmad ve Kamaruddin, 2012: 135).

2.3.1. Zaman Esaslı Bakım (Time-Based Maintenance)

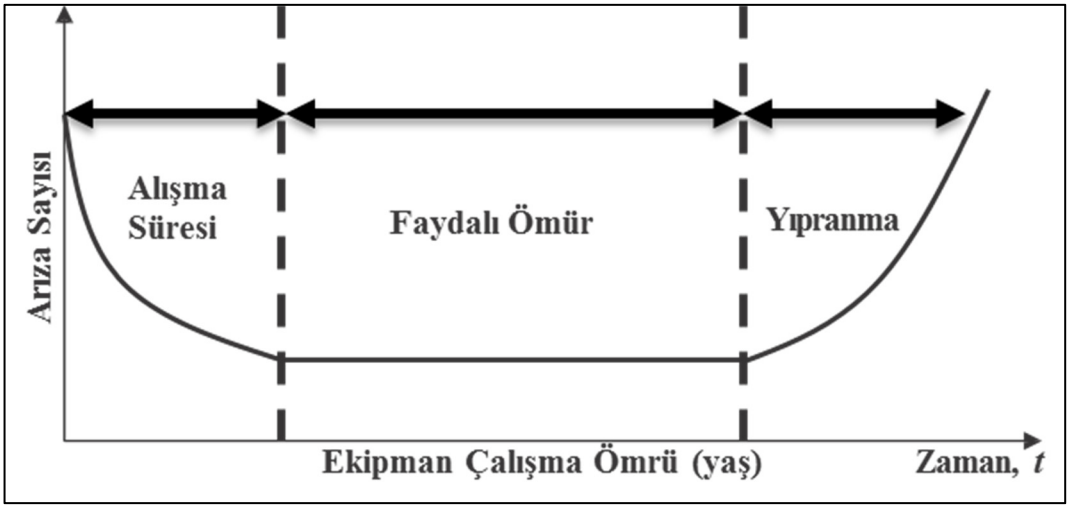
Bu bakım stratejisini uygulamak ve bakım zamanına karar vermek için yeterli geçmiş tarihli verilere sahip olmak gerekir. Bu veriler ne kadar sağlıklı ve güvenilir olursa makinenin yararlı ömrü o derece korunmuş olur. Gereksiz ve yanlış bakımlardan kaynaklanan kayıplar ve hatta bozulmaların önlenmesi bile sağlanabilir. Bunun tersi olduğunda boşuna harcanan zaman, emek ve hatta makinelerin bozulması bile söz konusu olabilir.

Wang vd. (2007) Zaman Esaslı Önleyici Bakımı, makinenin/parçanın güvenirliğine bağlı olarak sık sık ya da ani bozulmasını engellemek için periyodik olarak planlanır ve uygulanır. Zaman terimi burada takvim zamanını, çalışma zamanı veya yaşı ifade etmektedir.

Bu yaklaşımda bakım, arızayı önlemek için önceden planlanır. Farklı zamanlarda parçaları değiştirme yoluyla arızayı önleme üzerine yoğunlaşır. Makine

parçasının ömrünün tahmin edilebilir olduğunu ve bakımın çalışma saatlerine veya takvimde geçen zamana dayandığı varsayılır. Bu stratejide değiştirme veya tesisin kurulumundan sonra sabit bir zamandaki tamir, genellikle durumdan bağımsız olarak yapılır. Bir bakım planının oluşturulması için kullanılan zaman aralığı, takvim zamanı veya parçanın çalışma zamanı olabilir. Parça sabit bir zamanda veya ilk ortaya çıkan arızada değiştirilir. Önleyici bakım yaklaşımına rağmen arıza dağılımının kesin olmaması nedeni ile zaman zaman bakım aralığında bazı hatalar ortaya çıkabilir (Gandhare ve Akarte, 2012: 1331).

Zaman esaslı bakım yani periyodik bakım, geleneksel bir bakım tekniğidir. Zaman Esaslı Bakım (ZEB) kararları (önleyici bakım aralığı) Ortalama Arızalar Arası Süre analizlerine dayanır. Zaman esaslı bakımda, ekipmanın arıza davranışının (karakteristiği) öngörülebilir olduğu varsayılır (Ahmad ve Kamaruddin, 2012: 136). Bu varsayım, arıza oranının küvet eğrisi olarak bilinen ve Şekil 2.5'de gösterilen eğilime dayanır.



Şekil 2.5: Küvet Eğrisi

Kaynak: Mobley, 2004: 3; Pophaley ve Vyas, 2010: 448; Ahmad ve Kamaruddin, 2012: 136

Şekil 2.5'de normal şartlar altında bir makinenin ilk kullanımında, alışma süresince arıza sayısının daha yüksek olduğu var sayılır. Zaman içinde makinede mevcut parçaların birbiri uyum sağlaması ve alışması neticesinde öngörülen çalışma

ömrü boyunca daha az arıza sayısı ile çalışmaya devam eder. Faydalı ömrün tamamlanması ile birlikte tekrar arıza sayısında artma meydana gelecektir.

2.3.2. Durum Esaslı Bakım (Condition-Based Maintenance)

İstatistik ve olasılık teorisi durum tabanlı bakımın temelini oluşturur. Veri analizi ile arıza eğilim tespiti çoğunlukla, analistlere ileriki zamanlarda oluşacak arızaları önlemede ve arızaların nedenlerini belirlemede katkı sağlamaktadır. Örneğin, stadyum ışıkları kısa bir zaman aralığı içinde bozulur. Eğer ışıkların % 10'u bozulursa, geri kalanların da yakın bir zamanda kesin olarak bozulacağı varsayılır ve tek tek değiştirmek yerine ışıklar grup olarak değiştirilir (Mobley, 2004: 10).

Bu stratejide bakım kararı ölçülen verilere bağlıdır. Titreşim izleme, yağlama analizi ve ultrasonik testler veri toplamada yaygın olarak kullanılan yaklaşımlardır. Veri analizine göre belirlenen standartlarda sapma veya aşım varsa parça değiştirilir veya tamir edilir. Bu strateji en çok türbin, santrifüj pompa, kompresör gibi dönen ve karşılıklı çalışan makineler için uygulanır. Duruma dayalı bakımın kullanımı gözle görülür derecede üretim maliyetlerinde ve yatırırım maliyetlerinde düşüş, kalite oranında, kar ve pazar payında artışa yol açar. Ancak veri kapsamında ve kalitedeki sınırlandırmalar, duruma dayalı bakım stratejisinin verimliliğini ve doğruluğunu düşürür (Al-Najjar ve Alsyouf, 2004: 644; Gandhare ve Akarte, 2012: 1331).

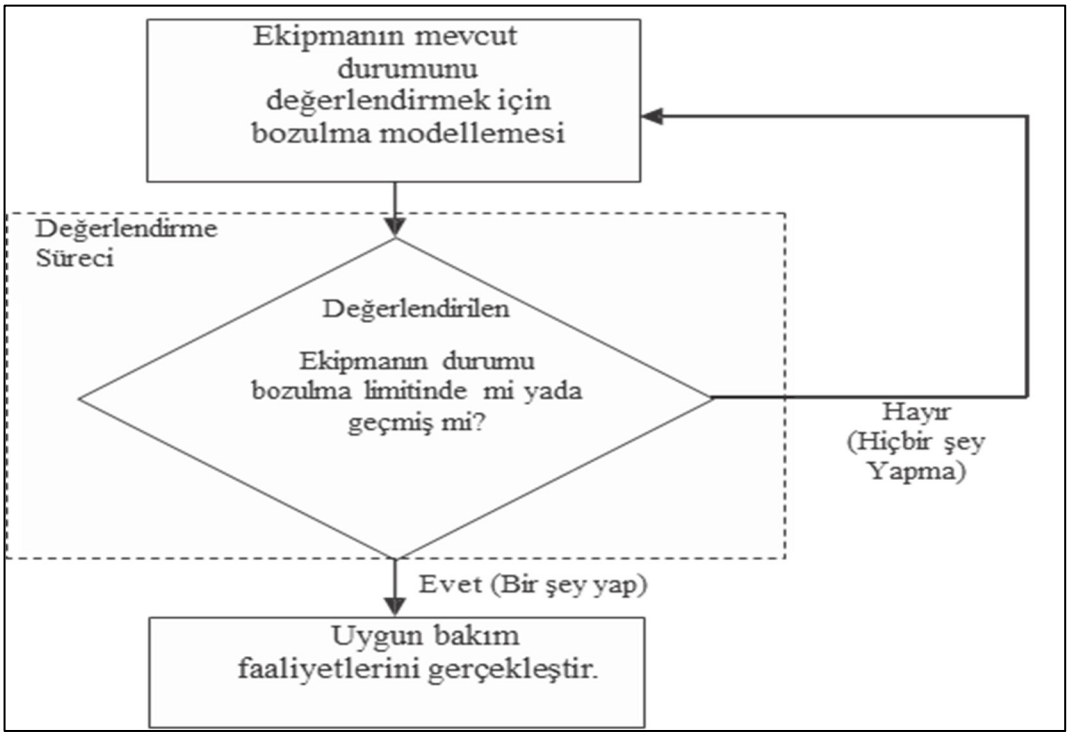
Bu stratejinin sağlıklı uygulanması için, uygun veri izleme sistemleri oluşturulmalı (titreşimin takip edilmesi, yağ analizleri, ultrasonik testler vs.) ve meydana gelen durum doğru yorumlanarak müdahale edilmelidir. Ancak veri takibinin zor ve maliyetli oluşu, hata verilerinin her zaman sağlıklı olmaması bu stratejinin etkinliğini ve geçerliliğini azaltmaktadır (Al-Najjar ve Alsyouf, 2003: 86).

Bir başka dezavantaj ise sistemi takip edecek ve stratejinin uygulanmasını sağlayacak sistemlerin ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Ancak etkili ve doğru şekilde uygulanırsa, hasar ve ani duruşlar nedeniyle ortaya çıkabilecek maliyetleri oldukça azaltabilir.

Duruma dayalı bakım programı altında bakım stratejisi seçimi, tanı ve tahmin olarak iki gruba ayrılabilir. Tanı, geçerli durum değerlendirmesine dayalı (Current

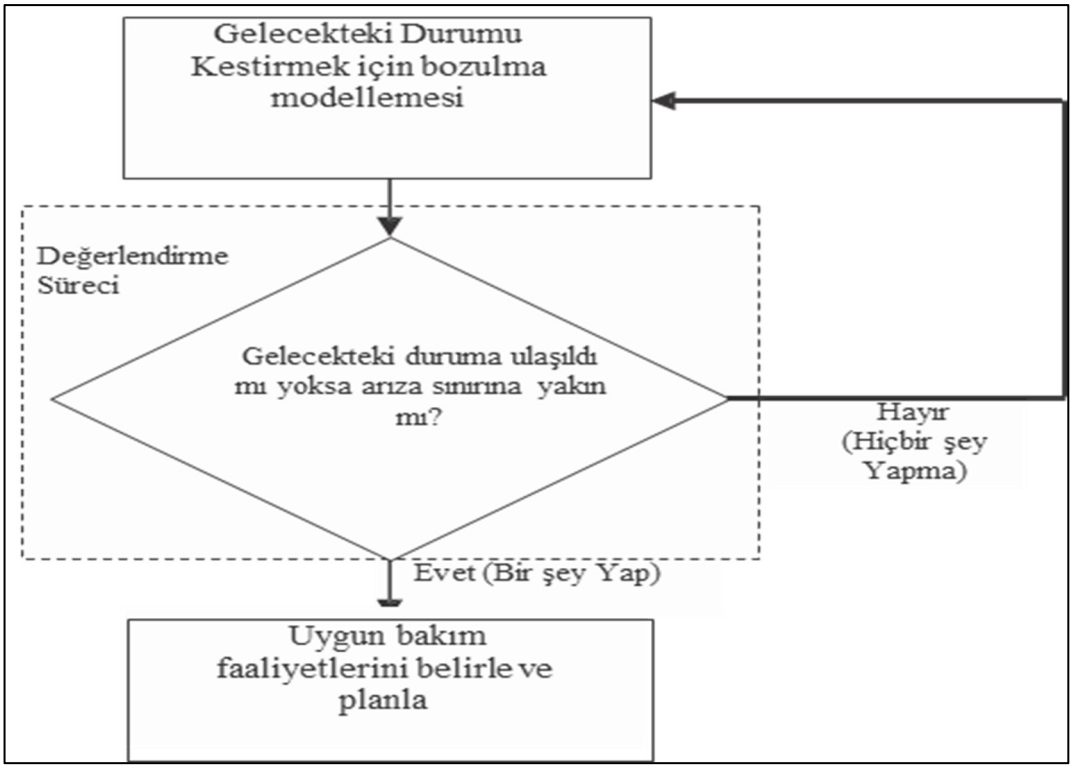
Condition Evaluation-Based) olarak hatanın kaynağını bulmaktır. Tanının esas amacı, izlenen ekipmanlar anormal koşullarda çalışırken mühendislere erken uyarı işaretleri sağlamaktır (bozulma hali). Ekipmanın anormal bir halde çalışıyor olması onun arıza yaptığı anlamına gelmez. Tahmin ise gelecekteki durumu kestirmeye dayalı (Future Condition Prediction-Based) yani arızanın ne zaman meydana gelebileceğini hesaplama/kestirme sürecidir (Ahmad ve Kamaruddin, 2012: 141).

Geçerli Durum Değerlendirmesine Dayalı (Current Condition Evaluation-Based) yöntem, eğer gerekliyse uygun olan bakım yapıldıktan sonra güncel ekipman durumunu değerlendirir. Bu yöntem için karar verme süreci Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Güncel durumla ilgili veriler toplandıktan sonra, halihazırdaki gerçek ekipman durumunu tahmin etmek için, önceden tanımlanmış bir arıza limitiyle karşılaştırılacak modelleme süreci uygulanır. Eğer ekipmanın durum seviyesi limite ulaşır veya limiti aşarsa ekipmanın bakımı yapılır. Aksi takdirde ekipmanın iyi durumda olduğu varsayılır ve ekipman hala kullanılabilirdir. Çoğu durumda bu yöntem güncel durum verilerini toplamak için periyodik izleme veya kontrol izleme faaliyetleri yoluyla uygulanır (Ahmad ve Kamaruddin, 2012: 141).



Şekil 2.6: Geçerli Durum Değerlendirmesine Dayalı Yöntem Süreci
Kaynak: Ahmad ve Kamaruddin, 2012: 141

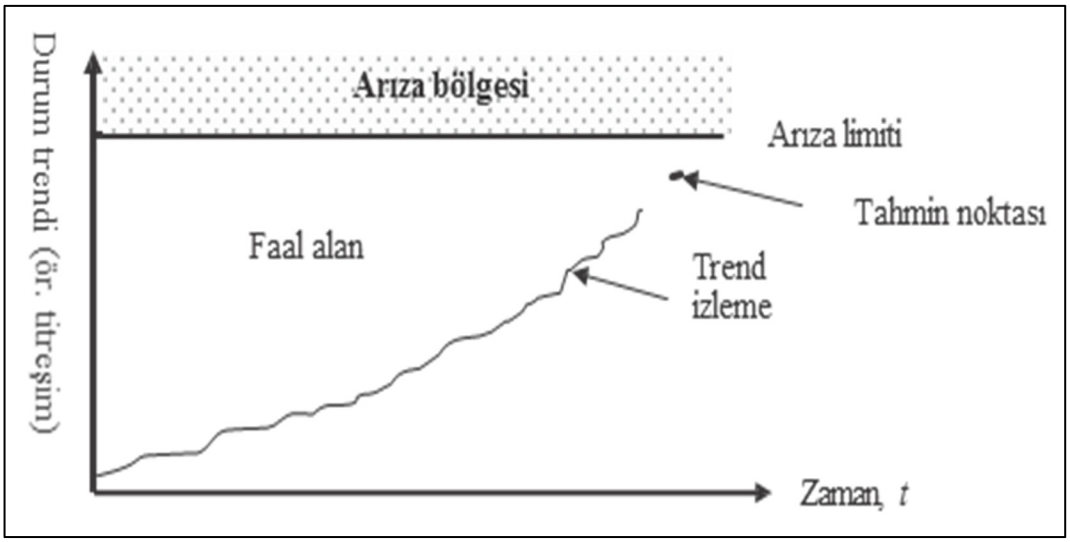
Gelecekteki Durumu Kestirmeye Dayalı (Future Condition Prediction-Based) yöntem, diğer bir duruma dayalı bakım kararı verme yöntemidir. Bu yöntem ekipman durumunun gelecekteki eğilimini öngörür ve önceki yöntemde olduğu gibi eğer gerekliyse uygun bakım planlanır. Gelecekteki Durumu Kestirmeye Dayalı yöntem için genel karar verme prosedürü Şekil 2.7'de gösterilmiştir. Gelecekteki öngörü sonuçlarına göre (modelleme süreci) eğer ekipmanın durumu önceden belirlenen arıza limitine ulaşır veya limiti aşarsa, uygun bakım faaliyetleri planlanır. Aksi takdirde ekipmanın iyi durumda olduğu varsayılır ve ekipman hala çalışma için kullanılabilirdir (Ahmad ve Kamaruddin, 2012: 141).



Şekil 2.7: Gelecekteki Durumu Kestirmeye Dayalı Yöntem Süreci

Kaynak: Ahmad ve Kamaruddin, 2012: 142

Gelecekteki Durumu Kestirmeye Dayalı yönteminde durum izleme süreci sürekli veya periyodik olarak uygulanabilir. Sensörler ve veri toplama sistemleri sürekli izleme için gerekli olabilir. Gelecekteki Durumu Kestirmeye Dayalı yönteminin nasıl çalıştığı grafik olarak Şekil 2.8'de gösterilmiştir (Ahmad ve Kamaruddin, 2012: 141).



Şekil 2.8: Gelecekteki Durumu Kestirmeye Dayalı Yöntem

Kaynak: Ahmad ve Kamaruddin, 2012: 142

Yaşam döngüsü risk haritasının (Life Cycle Risk Map) temel amacı tek başına görev yapabilen (transmisyon vb.) ekipmanların bakım stratejisinin oluşturulmasını hedeflemesidir. Bu yaklaşımda yazar, maliyeti dikkate alarak belli bir bakım stratejisi altında, yaşam döngüsü risk haritasının optimum tamir stratejisi için kullanışlı olduğunu gösteren (çalışmadaki ekipmanın tüm ömrü boyunca tamirinin zamanlama ve maliyeti) ekipmanın ömrü boyunca eskime riskinin değişimini gösteren bir haritanın kullanışlı olduğunu ifade etmiştir (Gandhare ve Akarte, 2012: 1331).

2.3.3. Kestirimci Bakım (Predictive Maintenance)

Kestirimci bakım çoğu zaman durum tabanlı bakım olarak adlandırılır. Özellikle, belirli bir ekipmanın durumunu çözmek için yapılır. Kestirimci bakımda teşhis cihazları, ekipmanın sıcaklık, titreşim, gürültü, yağlama ve korozyon gibi fiziksel durumlarını ölçmek için kullanılır. Bu göstergelerden biri belirlenen bir seviyeye ulaştığında bakım yapılarak ekipman yeniden uygun duruma getirilir. Bunun anlamı, ekipmanın bozulduğuna dair doğrudan bir kanıt varsa, ancak o zaman ekipman servis dışı bırakılır (Swanson, 2001: 238).

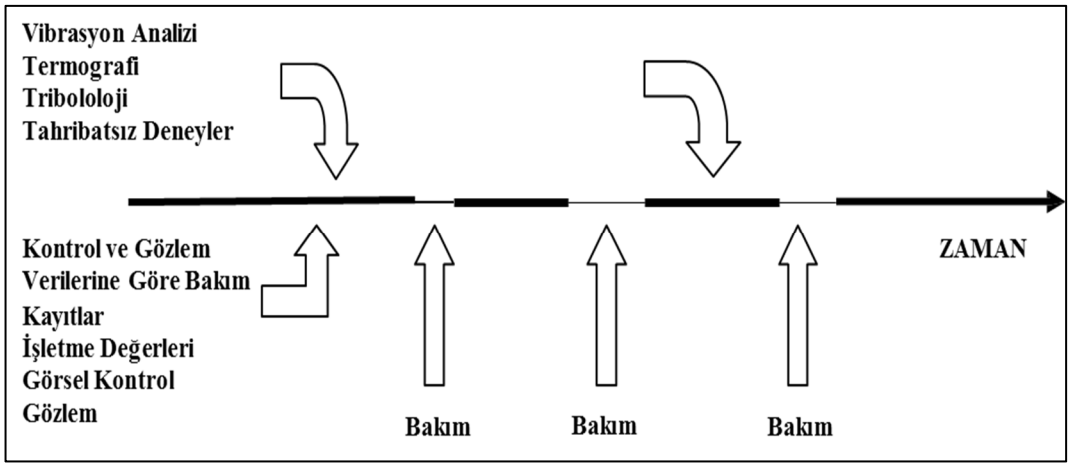
Kestirimci bakım için ortak fikir, üretim bandındaki makinelerin mekanik durumlarının düzenli olarak izlenmesi, Ortalama Arızalar Arası Sürenin artmasını, planlı olmayan kesinti sayısının ve maliyetin düşürülmesini sağlamasıdır. Ayrıca

kestirimci bakım imal ve üretim ünitelerinin verimliliğini, ürün kalitesini ve tüm ekipmanları geliştiren bir araçtır. Kestirimci bakım titreşim izleme, termal görüntüleme, yağ analizi veya kestirimci bakım araçları olarak pazarlanan diğer başka hasarsız test tekniği değildir. Kestirimci bakım, tesiste kullanılan ekipman ve sistemlerinin gerçek çalışma durumunu kullanarak, tesisin toplam çalışmasını optimize eden bir felsefe ve tutumdur (Mobley, 2004: 4).

Kestirimci bakım, belirli bakım faaliyetleri için ihtiyaçların belirlemesinde farklı kriterler kullanmasına rağmen koruyucu bakımla aynı ilkeye dayanır. Koruyucu bakım gibi, kestirimci bakım da ekipmanın arıza olasılığını düşürür. Buna ilave olarak faydası, bakımın icra edilmesi ihtiyacının belirli bir zaman geçmesinden sonra değil sadece yakın zamanda olmasından gelir (Swanson, 2001: 238).

Tesisteki arıza veya bozulmadan sakınılan planlı bir bakım yaklaşımıdır. Aslında bu yaklaşım yıpranma, aşınma veya ekipmanın ömrünü farklı yaklaşımlar kullanarak tahmin etmeye çalışır ve buna göre düzeltici bir eylem önerir. Hata öngörme, bakım mühendislerinin bakım için plan yapmalarını kolaylaştırır. Genelde arıza oranı, eğer koruyucu bakım stratejileri, özellikle duruma dayalı/kestirimci bakım, doğru seçilirse düşürülebilir. Bununla ilgili literatürde en çok kullanılanlar zamana dayalı koruyucu bakım ve duruma dayalı bakımdır (Gandhare ve Akarte, 2012: 1330-1331).

Bu bakım stratejisinde karar; periyodik ölçümlerle elde edilen verilere göre yapılır. Şekil 2.9'da elde edilen verilerin analizi sonucunda, parçanın ya da ekipmanın gözlemlenen değeri, olması gereken normal değerinin dışında ise sisteme müdahale edilir. Genelde dönüsü olan ya da pistonlu tip makinelerde kullanılır. (Türbin, kompresör vb.)



Şekil 2.9: Kestirimci Bakım Yaklaşımı

Kaynak: Özdoğan, 2011: 25

Şekil 2.9'da Kestirimci Bakım felsefesinde bakım nedeni ile meydana gelen duruşlar gösterilmektedir. Bu bakım felsefesinde yapılan/kurulan sistemler mevcut makinelerin çalışması esnasında meydana gelen değişiklikleri fark ederek bakım yapma zamanının geldiği konusunda kullancıyı uyarır ve daha büyük arızaların meydana gelmesine engel olur.

Durum Esaslı Bakım, Kestirimci Bakım olarak da bilinir, en modern ve popüler bakım stratejisi olarak literatürde yer almaktadır. Duruma dayalı bakımın temel taşı, sinyallerin belirli türde sensör veya diğer uygun göstergeler kullanılarak devamlı olarak takip edildiği bir durum izleme sürecidir (Ahmad ve Kamaruddin, 2012: 140).

Kestirimci bakım, durum odaklı bir koruyucu bakım programıdır. Bakım faaliyet programlarını endüstriyel veya tesis içindeki ortalama ömür istatistiklerine güvenmek yerine, kestirimci bakım, mekanik durum, sistem verimliliği ve diğer göstergeleri kullanarak gerçek Ortalama Arızalar Arası Süre (Mean Time To Failure) veya her makine grubu ve tesisteki sistem için verim kaybını belirleyen doğrudan izlemeyi kullanır. Geleneksel zaman odaklı bakım yöntemleri en fazla normal makine gruplarının ömür sürelerinin ana hatlarını verir (Mobley, 2004: 5).

Son yıllardaki çalışmalar kestirimci bakım yaklaşımının yüksek güvenirlik ve performans sağladığını göstermiştir (Bansal vd., 2004: 759).

Elektrik motorlarındaki arıza tespitinde Yapay Sinir Ağı metodu etkili bir yöntemdir. Yapay Sinir Ağı metodunun uygulanması ile motorların arıza tespit ve teşhisinde % 90'dan fazla doğruluk oranı elde edilmiştir. Ancak bu uygulama tüm olası durumlar için parametrelere ihtiyaç duyar, çünkü gerçekleşecek herhangi bir durum için alternatifin devreye girmesi gerekmektedir. İdeal bir çözüm için eğitim verileri yerine gerçek üretim verilerini kullanmak daha doğru olacaktır. Fakat bunun uygulanması pratikte aşağıdaki sunulan nedenlerden dolayı pek mümkün olamayacaktır (Bansal vd., 2004: 760);

a. Tüm makinelerin parametrelerini toplamak için çok sayıda sensöre ihtiyaç duyulacaktır,
b. Makinelerde arıza nadir ve düzensizdir,
c. Tüm makinelerin tüm işlemlerini taramak pratikte mümkün değildir.

Kestirimci bakım yönteminde genelde kullanılan tahribatsız teknikler (Mobley, 2004: 6);

1. Titreşim izleme,
2. Süreç parametresi izleme,
3. Isı dağılımı,
4. Sürtünme, aşınma ve yağlama,
5. Görsel kontroldür.

Her teknik, bakım yöneticisine bakımı belirlemek için ihtiyaç duyduğu gerçek bilgileri tespit etmek için benzersiz bir veri tabanı sunar.

2.4. GÜVENİLİRLİK MERKEZLİ BAKIM (RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE - RCM)

1960'lı yıllarda Amerikan hava endüstrisinin sürekli artan bakım maliyetleri, düşük verimlilik ve geleneksel periyodik bakım stratejisinin etkisizliğinden kaynaklanarak ortaya çıkmıştır. Güvenirlik Merkezli Bakım önceleri daha çok uçak bakımlarında kullanılmaya başlanmıştır.

Güvenirlik Merkezli Bakım (GMB) görevi yerine getirmek için yapılacak bakıma en etkili yaklaşımı belirlemek için kullanılan devamlı bir süreçtir. En uygun uygulanabilir ve verimli bakım görevlerini, güvenirliği ve sistemlerin güvenliğini, en düşük maliyetli ekipman ve personel ile yapmak için belirlemede sistematik, mantık tabanlı en uygun bakım görevlerini seçmek için objektif bir yaklaşım kullanır. Süreç bu kararları oluşturmak, onaylamak ve desteklemek için operasyonel tecrübeyi ve arıza geçmişini kullanır (Smith ve Hawkins, 2004: 92).

Birinci safha tesis güvenliği için önemli olan üretim ve varlığı koruyan ekipmanı tespit etmekten oluşur.

İkinci safha, birinci safhada tespit edilen ekipman için zorunlu olan önleyici bakım görevlerini belirlemekten oluşur. Bu görevler hem uygulanabilir hem de verimli olmalıdır.

Üçüncü safha, ikinci safhada belirtilen görevleri uygun şekilde gerçekleştirmekten oluşur.

Birinci safha sürecin başlama noktasıdır. Kritik ekipman fonksiyonlarını korumak ve tesisin karşılaşacağı zorlukları en aza indirmek amacıyla ekipmanın arızaları önlemek ve güvenilir kalması için önleyici bakım stratejisine sahip olması gerektiğinin tespit edildiği yerdir. Bu, önleyici bakımın gerekli olduğu ve mal güvenirliği kriterini korumak için önemli sayılan ekipman miktarıdır.

Bu miktar tespit edildiği zaman ikinci safhada belirtildiği gibi önleyici bakım çeşidi belirlenebilir. Mümkün olan görevlerin seçimi çok geniştir ve nispeten yeni olan kestirimci bakım teknikleri bu görevleri başarmak için ilave maliyet etkinliği sunar (Smith ve Hawkins, 2004: 92). Güvenirlik Merkezli Bakımın kuvvetli yanı, teknik karakteristiklerinden çok daha önemli olarak arızaların sonuçlarını ayırt etmesidir. Aslında herhangi bir proaktif bakım yapılma nedeninin arızadan kaçınmak olmadığını, en azından arızanın sonuçlarını en aza indirmek olduğunu fark eder. GMB süreci bu sonuçları dört grupta sınıflandırır (Moubray, 1997: 10):

Gizli arıza sonuçları: Gizli arızaların doğrudan etkisi yoktur ancak şirketi ciddi, çoğu zaman felaket boyutunda, katlanarak büyüyen arızalara maruz bırakır.

Güvenlik ve çevresel sonuçlar: Bir arıza eğer birini öldürüyor veya yaralıyorsa güvenlikle ilgili sonuçları vardır. Eğer herhangi bir bölgesel, ulusal veya uluslararası standardı ihlal ediyorsa çevresel sonuçları vardır.

Operasyonel sonuçlar: Bir arıza eğer üretimi (üretim, ürün kalitesi, müşteri servisi veya tamir masraflarına ilave olarak çalışma maliyetleri) etkiliyorsa operasyonel sonuçları vardır.

Operasyonel olmayan sonuçlar: Bu kategoriye giren belli (aşikar) arızalar ne güvenliği ne de üretimi etkiler. Bu yüzden sadece doğrudan tamir masraflarını içerir.

Güvenirlik Merkezli Bakım (GMB) hızla artan bakım maliyetlerine, yetersiz uygunluk ve geleneksel zamana bağlı koruyucu bakımın geçerliliği üzerindeki endişeye cevap olarak 1960'ların başlarında A.B.D. havayolu endüstrisinde başlatılmıştır. Güvenirlik Merkezli Bakıma dayalı program iş gereksinimlerini ve amacı hesaba katarak gerekli olan üretkenlik hedefinin başarılmasını sağlar. Bu yaklaşımın başarısı hedefe ulaşmada arıza verilerinin elde edilebilir olmasına, analiz yöntemlerine ve çalışma tecrübesine bağlıdır. GMB'nın ünite arıza verilerinin elde edilebilir olmaması nedeniyle yürütme zorlukları bulunmaktadır (Gandhare ve Akarte, 2012: 1331).

Güvenirlik merkezli bakımın olumsuz bir yanı karmaşık bir yapıya sahip olması ve maliyet açısından pahalı olmasıdır. Güvenirlik, sürdürülebilirlik ve hazır-oluş parametrelerine göre daha önde gelen ana unsurdur (Waeyenbergh ve Pintelon, 2002: 303).

Güvenirlik Merkezli Bakım, şirketlerin benimsediği yeni bir bakım stratejisi değil, daha çok üç farklı bakım yaklaşımın birleşimidir. Bu yaklaşımlar:

- ✓ Arızadan sonra tamir faaliyetlerinin yapıldığı Reaktif Bakım,
- ✓ Arızadan önce yapılan sağlıklı bakım faaliyetlerini içeren Planlı Önleyici Bakım yada Zaman Esaslı Bakım stratejisi,
- ✓ Ekipman durumlarının izlendiği ve ölçüldüğü ekipman / parça arızasının öngörülmesinin kolaylaştırıldığı Kestirimci ve Duruma Dayalı Bakım.

2.5. TOPLAM VERİMLİ (ÜRETKEN) BAKIM (TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE)

Japonya'nın büyük bir endüstri gücü haline geliş hızı, Amerikan yöneticilerinde korku ve Japon imalat başarısının sırrını çözme isteği doğurmuştur. Genel kanının tersine, bu gelişme, robotlar gibi ileri teknolojinin kullanılmasından ileri gelmemektedir. Japon işletmelerinde, yönetimler hiçbir zaman temel kurallara önem vermekten vazgeçmemişler, onlar için mamulün tasarımından, dağıtımına kadar imalatın her safhası aynı derecede önem taşımıştır. Teçhizat tasarımı, stok kontrol sistemleri, işçi kabiliyeti gibi kavramları daha ileriye götürebilmek için, her seviyede sürekli iyileştirme çalışması yapılmaktadır. Amaç, mükemmel mamul ve hatalardan arındırılmış işletmelerdir. Japonların uyguladığı yeni bir sistem değildir. Onlar, mevcut sistemleri alarak geliştirmiş ve yeni boyutlar kazandırmışlardır. İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra Japon Endüstrisinde başlayan bu süreç, günümüze değin gelişerek gelmiştir. Bu dönemde, Japonlar Amerika'dan üretim, yönetim, teknik ve becerilerini almışlar sonrasında ise sürekli geliştirmişlerdir.

Toplam Verimli Bakımın (TVB) Japon üretim tesislerinde, Tam Zamanında Üretim, gelişmiş üretim teknolojilerinin ve ürün kalitesinin iyileştirmesi çabalarını desteklemek için geliştirilen bir bakım yönetim felsefesidir (Swanson, 2001: 239).

Toplam Verimli Bakımın (TVB) gelişmesi 1970'lerde Japon şirketlerinin etkinliğini ve karlılığını arttırdığından başarılı bir şekilde kanıtladığı Japonya'da başlamıştır. TVB günümüzde Japon sanayiciler tarafından kabul edilir ve dünyada çeşitli kuruluşlar tarafından uygulanmaktadır. TVB ile elde edilebilecek faydalar küçümsenmeyecek boyuttadır. TVB'yi başarılı bir şekilde benimseyen şirketlerde arıza için % 50 daha az emek, üretim kayıplarında % 70 azalma, kuruluşta % 50-90 arası azalma ve ünite başına bakım maliyetinde % 60 azalma olduğu dikkat çekmiştir (Fraser, 2014: 27).

Toplam Verimli Bakım bir organizasyondaki tüm çalışanların ekipman iyileştirmesine odaklanmasıyla ilgilenen bir yönetim anlayışıdır. Toplam Verimli Bakımın 5 temel amaca sahip olduğu ifade edilmiştir (Mete, 2007: 26):

a. Toplam ekipman etkinliğinin artırılması,

b. Sürdürebilirlik, güvenirlik ve yaşam çevrim maliyetine sistematik bir yaklaşım getirmesi,

c. İşletme personelini, malzeme yönetimi, bakım, mühendislik ve ekipman yönetimine dahil edilmesi,

d. Tüm seviyelerdeki yönetici ve işçileri bünyesinde tutması,

e. Küçük grup faaliyetleri ve ekip performansıyla ekipman performansının iyileştirilmesi.

Sıfır hata ve TVB arasında bir bağlantı mevcuttur. Çünkü sıfır hatada amaç, mal ve hizmet üretiminde ilk defada ve her zaman doğru yapmayı hedeflemektedir. Bu kavram esas olarak müşteri-tedarikçi zinciri bağlamında, çalışanların müşterilerin mal ve hizmet ihtiyaçlarına karşı tutumlarını değiştirmiştir. TVB kullanılması, dolayısıyla mal ve hizmetlerde ilk seferde doğruyu bulma ihtimalinden dolayı Tam Zamanında Üretim (JIT) operasyonlarını gerçekleştirmek için fırsat sağlar (Fraser, 2014: 27-28).

TVB üretim ekipmanının güvenirliğini ve etkinliğini optimize etmek için yapılan bir girişimdir. TVB takım çalışmasına dayalı proaktif bir bakımdır. Şirkette en üstteki yöneticiden üretimde çalışan personele kadar her seviye ve fonksiyonu içerir. TVB bütün üretim sisteminin ömür döngüsüne hitap eder ve tüm kayıpları önlemek için kaynakların ve siparişlerin gerçek zamanlı olarak yönetilmesine dayalı bir sistem inşa eder. TVB bütün kazaların, kusurların ve arızaların ortadan kaldırılmasını amaçlar. Toplam Verimli Bakım kısa sürede, problem çözen ve bakım maliyetlerini düşüren bir program değildir. Ortaklık kültürünü değiştiren, sürekli olarak gelişen, operatörlerin ve şirketin tüm diğer üyelerinin aktif olarak dahil olmasıyla ekipmanın tüm etkinliği koruyan bir süreçtir. TVB uygulayan birçok şirket önceden tahmin edilen sonuçları elde etmede başarısız olmuştur. Çünkü TVB maliyet düşüren bir girişim olarak görülmüş ancak hiçbir zaman üst yönetimden destek ve vaat edileni almamıştır (Smith ve Hawkins, 2004: 55).

Agresif bir bakım stratejisi ekipmanların arızalarını önlemek için çabalar. TVB gibi agresif bir bakım stratejisi, tüm ekipmanların görevlerini düzenli hale getirmek için yol aramaktadır. Bakım, yeni ve mevcut ekipmanları geliştirmek amacı ile bu konuda destek sağlar (Swanson, 2001: 239).

Toplam verimli bakım sisteminde, bakım kilit bir konu olmasına karşın toplam verimli bakım gerçek anlamda bir bakım çeşidi değildir. Çünkü hangi bakım çeşidinin (düzeltici bakım, durum esaslı bakım veya kullanım bazlı bakım) uygulanması hakkında kesin kurallar koymamaktadır. Toplam verimli bakım, bakım konusundan ziyade toplam üretken yönetim stratejisine benzemektedir (Waeyenbergh ve Pintelon, 2002, 304). Güvenirlik merkezli bakım sisteminde hangi tip bakımın uygulanması kararı için varlık merkezli bir metodoloji esas alınırken, toplam verimli bakımda ise farklı bir düşünce tarzı vardır (Tsang, 2002, 25).

Toplam verimli bakımın başlıca hedefi ekipmanın geçerliliğini ve verimliliğini en yükseğe çıkarmak ve tüm makine kayıplarını gidermek, ekipmanın kullanıcısında eğitim ve ilgi yoluyla sahiplik duygusu yaratmak, üretim, mühendislik ve bakım personelinin dahil olduğu küçük grup faaliyetleri yoluyla devamlı gelişmeyi desteklemektir. Her girişimin TVB için kendine has tanıma ve görüşe sahiptir. Ancak çoğu durumda ortak unsur ve temalar bulunmaktadır. Bunlar; Varlık Stratejisi, Güçlendirme, Kaynak Planlaması ve Zamanlama, Sistemler ve Prosedürler, Ölçme, Sürekli İyileştirme Takımları ve Süreçtir. (Gandhare ve Akarte, 2012: 1331).

2.5.1. Toplam Verimli Bakımın Özellikleri

TVB'nin diğer bir önemli amacı Genel Ekipman Etkinliği için gayret etmektir. Bunu başarmak için TVB ekipman etkinliği için zorlu engeller oluşturan ''Makinelerin Altı Büyük Kaybı''nı yok etmeye çalışır (Waeyenbergh ve Pintelon, 2002: 304; Fraser, 2014: 28). Bunlar:

Kesintiler:

1. Ekipman arızası,
2. Kurulum ve ayar.

Hız Kayıpları:

1. Aylak Zaman ve Küçük Duruşlar,
2. Düşük Hız.

Kusur:

1. Üretim Hataları,
2. Devreye Alma ve Rejime Ulaşma Kayıpları.

2.5.2. Altı Büyük Kayıp

Toplam Verimli Bakımın hedeflerinden biri ekipman verimini yüksek tutmaktır. Makinelerin işleyişi incelendiğinde ekipman verimliliğini düşüren Altı Büyük Kayıp göze çarpmaktadır. Üretim sürecindeki kronik ve seyrek kayıplar farklı zararlara ve kayıplara neden olmaktadır. Bunlar kaynakları tüketen ancak katma değer üretmeyen faaliyetler olarak tanımlanabilir. TVB'ın amacı bu kayıpları ortaya çıkarmak ve bu kayıpları kaldırarak en iyi Toplam Ekipman Etkinliğini elde etmeye çalışan, bütün çalışanların katılımını destekleyen bir organizasyon yaratmaktır. Altı büyük kayıp ekipmandaki mevcut kronik ve seyrek kayıpların neden olduğu etkilerin toplandığı ana başlıkları ifade etmektedir. Aşağıda altı büyük kayıp kapsamında ele alınan kayıplar detaylı olarak anlatılmıştır.

2.5.2.1. Arıza Kayıpları

Arızalar ekipmanın tamamen duruşuna neden olduğu gibi, sık küçük duruşlara da neden olabilir. İşlev bozukluğu veya performans düşmesi olmak üzere iki çeşit arıza tanımlanabilir. İşlev bozukluğu arızaları; zaman zaman ve aniden meydana gelme eğiliminde olup, kolayca tespit edilebilir. Performansın düşmesi nedeni ile oluşan arızalar ise; donanımın çalışmasına engel olmamakla beraber, performansın düşmesi şeklinde kendini göstermektedir. Genelde düşük performans arızaları, sadece çok dikkatli gözlemlerle saptanabilir. TVB yaklaşımı ise, küçük hataların birikerek orta ve hatta büyük hatalara neden olabileceğini varsaymaktadır. Ekipmanın verimliliğini maksimize etmek için; arıza kayıplarının sıfıra indirgenmesi önemlidir.

Her türlü hatanın ortaya çıkartılıp giderilmesinde aşağıdaki beş önlem esas kabul dilebilir;

a. Tasarım zayıflıklarının düzeltilmesi,
b. İşletme prosedürlerine uyulması,
c. Standart fonksiyonlardan sapmaların giderilmesi,

d. İyi tanımlanmış bazı temel şartların (temizleme, yağlama, sıkılama gibi sürdürülmesi,
e. Operatör ve bakım becerilerinin geliştirilmesi.

Bakım bölümünde çalışanlarının üzerine düşen görevler belirlenip, eğitim eksikleri tamamlandıktan sonra, donanımın en az arıza yapacak şekilde ve parçaların yıpranma ömürlerinin tespit edilmesi ile bakımcı inisiyatifinde donanım durdurularak istenmeyen duruşlar minimum seviyeye indirilmesi gerekmektedir.

2.5.2.2. Ölçü Değişim ve Ayar Kayıpları

Bu kayıplara işletmedeki koşulların ya da ortamın değişimleri neden olmaktadır. Bunlardan bazıları, her üretim bandında veya vardiya başlangıcında oluşan üretim akışındaki değişiklikler, ürünlerdeki ve üretim koşullarındaki değişiklikler olarak gösterilebilir. Bu tip kayıpları, kod değişim ayarları (donanım değişiklikleri, kalıp, düzenek, el aletleri değişimleri), makine duruşları, üretim başlangıcı ve ayarlar oluşturur.

2.5.2.3. Aylak Zaman ve Küçük Duruşlar

Aylak zaman ekipmanın üretim yapmadan çalışmasıdır. Genellikle, gerek boş kalmaya, gerekse küçük duruşlara, malzemenin transfer hattında takılması gibi geçici aksaklıklara sebep olur. Donanımın meydana gelen bir arızadan dolayı üretim yapmadan çalışması veya durması sonucu oluşan kayıplardır. Diğer yandan, otomasyonun artması ile birlikte, boş kalma ve küçük duruşlarda artma eğilimi oluşurken, bunların fark edilmelerinde de gecikmeler başlayabilir. Küçük duruşların bir nedeni de donanımın veya transfer hattının aşırı yüklenmesi ile malzeme veya işlenen parçalarda kalite ve şekil düzensizlikleridir. Bu duruşlar, arızalar gibi donanımın işlevlerinin kaybolmasına veya azalmasına neden olmazlar, sadece kısa bir süre için üretim hattının kesilmesine neden olur. Kolaylıkla giderilebilmelerine karşın aslında üretimde neden oldukları kayıplar oldukça fazladır.

Boş kalma ve küçük duruşların önlenebilmesi için öncelikle bunların iyi tanımlanması, özelliklerinin ve sebeplerinin bilinmesine ihtiyaç vardır. Boş kalmanın

en sık rastlanan nedeni malzeme akışının durmasıdır. Bunu önlemek için transfer hattındaki gizli hatalar ve aksaklıkları tespit edecek sensörler yerleştirmelidir.

2.5.2.4. Düşük Hız

Hız kaybının gerçekleşmesi; donanımın teorik olarak üretim hızı ile donanımın gerçek çalışma hızı arasındaki farktır. Üretim sırasında hız kaybının oluşması net olarak fark edilememektedir. Ancak donanımın verimliliğini etkilemede büyük bir paya sahip olduğu düşünülmektedir. İşletmelerin amacı, üretimin uygun düzeyde devamlılığını sağlamak olduğu için bu kayıpların titizlikle takip edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, her ekipman ve her ürün tipi için bir "Standart Hız" belirlenmesi ve hız kaybı ölçümlerinde baz olarak, teorik hız yerine bu "Standart Hız"ın kullanılması daha doğru bir uygulama olacaktır. Hız kayıplarını azaltmak, işletmenin genel etkinliğini oldukça artırabilmektedir.

Donanım çalışma hızının; mekanik problemler, kalitenin düşmesi, sorunların çözümlenemeden yeniden ortaya çıkması, donanımı aşırı yükleme korkusu gibi nedenlerden dolayı düştüğü gözlenebilmektedir. Aslında donanımların uygun hızlarının ne olduğu bilinememektedir. Teorik bilgiler ile işletmenin gerçek şartları birbiri ile çelişebileceği için, uygun çalışma hızının işletmenin şartlarına göre hesaplanması gerekmektedir.

2.5.2.5. Üretim Hataları

Bir üretim sırasında üretilen parçaların veya ürünlerin tamamının veya bir kısmının yapılan ölçümler sonucu istenilen kalite standartlarını karşılamamasına kalite hataları denir. Fark etmede geç kalındığında, aniden hata miktarının arttığı görülmektedir. Genel olarak donanım ve operatör hatalarından kaynaklanan kalite hataları ortaya çıktığında ürünler ya yeniden işlenmekte ya da fire olarak çöpe atılmaktadır. Bu kayıplar da işletmeye ilave maliyet yükü olarak dönmekte, işletmenin saygınlık kaybına neden olmaktadır.

2.5.2.6. Devreye Alma ve Rejime Ulaşma Kayıpları

Bu kayıplar, standartlara uymayan hammaddelerden kaynaklanabilmektedir. Ürün tasarımı ve üretim yöntemlerinden dolayı donanım sınırlamasından kaynaklanan hammadde kayıplarıdır. İşlem değişikliği veya işlem başlangıcındaki koşulların kararı ile ilgili kalite hatalarından kaynaklanan, ayarlama kayıplarıdır. Kayıpların büyüklüğü üretim şekline, donanımın ürün seviyesine, yedek parça ve operatörün teknik becerisi gibi etmenlere bağlıdır. Kaybın en aza indirilebilmesi için, üretim, bakım ve mühendislik bölümlerinde çalışan personelin iyi eğitilerek, sorunların anında çözüm için gerekli koşulların yerine getirilmesi beklenmektedir. Donanım başına üretilen ürün çeşidi çok olan işletmelerde cihazlara daha fazla ayar yapılacağından bu kayıplar önemli düzeylere varabilmektedir.

Benzer şekilde aşağıdaki sunulan hususların da TVB'nin pratik uygulama alanında sorun yaratan başlıklar olduğunu göz ardı edilmemesi gerekir (Kodali vd., 2009: 48):

- ✓ Gösterilmesi gereken total emeğin organizasyon nezdinde idrak edilememesi,
- ✓ Üst yönetim desteğinin istenen seviyede olmaması,
- ✓ Sendikal direnç gözlenmesi (çıktılara göre total çalışan sayısının azaltılması gereken departmanlar oluşabilmekte),
- ✓ Operasyon ekiplerine yeterli seviyede teknik eğitimin verilmemesi,
- ✓ Şirketin stratejik önceliklerinin değişmesi,
- ✓ İyi bir kurulum stratejisinin geliştirilememesi,
- ✓ Sürekliliğin sağlanamaması.

2.6. DÜNYA KLASMANINDA BAKIM SİSTEMİ (WORLD – CLASS MAINTENANCE SYSTEM)

TVB modelinin kullanıldığı bakım yönetim süreçlerinde yıllar içinde bazı eksiklikler gözlemlenmiştir. Dünya klasmanı, bir şirketin en iyi seviyede performans göstermesine izin veren ve bunu arayan bir araç olarak tanımlanabilir. Tesisi analiz seviyesinde kullanmak önemlidir çünkü dünya klasmanında üretimin stratejik bir yaklaşım olmasına rağmen bu yaklaşımın birçok ölçülebilen geliştirme girişimleri tesis

seviyesinde meydana gelmiştir. Stratejik faktörler ve operasyonel kararlar; üretim, finans, kalite ve insan kaynakları gibi diğer ortak fonksiyonlar tarafından etkilenir. Operasyonel seviyede bu sistemler tarafından toplanan bilgilerin ve alınan önlemlerin; stratejik geliştirilmiş varlık ulaşılabilirliği, verimlilik, kalite, yönetim kaynakları, envanter kontrolü ve planlama olduğu bir gerçektir (Labib, 1998: 66).

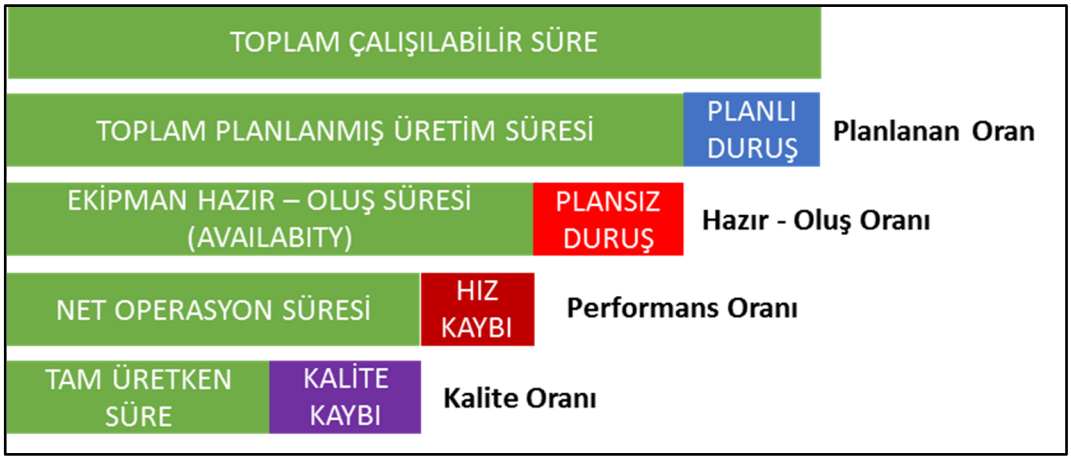
TVB metodolojisinde ortaya çıkan uygulama sıkıntıları ve eksik noktalardan yola çıkarak akademisyenler ve profesyoneller "Dünya Klasmanında Bakım Sistemleri" (World-Class Maintenance Systems) kavramını geliştirmişlerdir. Dünya Klasmanında Bakım terimi ilk kez Kuzey Amerika'da kullanılmaya başlanmıştır. (Kodali vd., 2009: 52).

Dünya klasmanında bakım, etkin ve verimli bakım mühendisliği ve süreç yönetiminin birleşmesinde omurga görevi görmektedir. Dünya klasmanında bakım yaklaşımının uygulanmasıyla bir endüstriyel organizasyon; doğru görevleri, optimum kaynakları doğru yerde kullanarak doğru zamanda (veya ekipman) yetkili personel tarafından yapılmasını temin edebilir. Dolayısıyla varlık yoğunluğu olan endüstriyel bir organizayon daha yüksek sağlık, güvenlik ve çevre performansına ulaşabilir ve işletilen varlıklardan geri dönüş alabilir. Burada 'dünya klasmanında' teriminin anlamı; dünyanın herhangi bir yerinde herhangi bir rakibe ürün fiyatı, kalite ve zamanında teslim konusunda üstün gelebilmektir. Birçok yazar dünya klasmanında bakımı önleyici bakımdan kestirimci bakıma olan bir geçiş olarak tanımlamaktadır. Diğer bazı yazarlar ise anahtar performans ölçütleri yoluyla üstünlük kurma üzerine yoğunlaşmıştır. Dünya çapında bakım, kendilerini dünya çapında üretici olarak gören çeşitli organizasyonlar tarafından takip edilen ve benimsenen en iyi bakım uygulamalarının toplanmasıdır. Bu nedenle dünya klasmanında görsellerle bakım fonksiyonu, bir şirketin sahip olduğu ve ekipmanın servis ömrü boyunca iyi bir entegre yönetimi yoluyla izin verilen stratejik kapasite olarak yorumlanabilir. Dünya klasmanında bakım, organizasyonel fonksiyonlarla birlikte bakım yönetim entegrasyonu gerektirir. Dünya klasmanında bakım göstergelerinin kurulmasının amacı sadece ölçülebilen göstergeleri tanımlamak değil, aynı zamanda performans ölçümü için kabul edilmiş bir kriter sağlamaktır (Iman vd., 2013: 1).

Chad ve Shirvani (2000)'de TVB uygulanan otomotiv parçaları imal eden bir fabrika ile yaptıkları çalışmada gözlemledikleri zaman dilimi sonunda % 97'lik sağlam mamul, % 0.33 kullanılamaz mamul, % 2.67'lik yeniden üretime girmesi gereken malzeme oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Öte yandan aynı süre içinde Toplam Ekipman Etkinliği (Overall Equipment Effectiveness - OEE) tarafından % 36'lık bir zaman kaybı olduğu gözlemlenmiştir. Gözlemleri sonucunda aşağıdaki başlıkların TVB kullanım alanında gözlemlenen pratik sorunlar olduğunu belirtmişlerdir;

- ✓ TVB'nin birçok makinede aynı anda kullanılmaya çalışılması,
- ✓ Görevli operatörlerin sürece aktif olarak dahil olmaması,
- ✓ TVB'nin üretim sürecinde doğrudan etkin olmayan makinelerde uygulamaya konmaya çalışılması.

Dünya standartlarında üretim felsefesinden yola çıkarak, gelişen rekabetçi piyasada ayakta kalabilmek için bakım konusunda, üretimi kesintisiz sürdürmek ve yüksek hızda üretmek üzere çalışanların katılımının sağlandığı dünya klasmanında bakımda, toplam ekipman etkinliğini geliştirmek amacıyla koruyucu bakım ve planlı bakımların etkin bir şekilde yürütülmesi, takım çalışması ve eğitim kilit konulardır. Dünya standartlarında bakım, işi duraksatan iş kayıplarını yok ederek veya en aza indirerek sıfır planlı olmayan duruş ve sıfır hata hedefleyen bir programdır. Şekil 2.10'da üretimde meydana gelen duruşlardan kaynaklanan kayıplar gösterilmiştir.



Şekil 2.10: Toplam Ekipman Etkinlik Performansı

Kaynak: Muchiri ve Pintelon, 2008: 3522

Dünya klasmanında bakımın temel özelliği kayıpları ortadan kaldırmak, kalifiye eleman çalıştırmak, bakım performansını en üst düzeyde sağlamak, yeni ve gelişen teknolojileri bakıma adapte etmek vb. üstün bakım yetenekleri kazanmaktır. Dünya klasmanında bakım, bakım işleri ile ilgili yapılan en iyi uygulamaları içermektedir. Amaç, toplam verimli bakım felsefesi genişletilerek üstün bakım yetenekleri kazanmaktır (Özdoğan, 2011:). DKB, TVB ile tamamen aynı olmamakla temellendirilip geliştirilmiş bir model olduğunu söyleyebiliriz.

Dünya Klasmanında Üreticiler (World Class Manufacturers) metodolojilerindeki uygulamalardan yola çıkarak bakım sistemleri için de Dünya Klasmanında Bakım (DKB) kavramı ortaya atıldı. DKB'de ürün tasarımı, kalite, düşük üretim maliyeti, inovasyon, daha kısa tedarik süresi, güvenilir sevkiyat performansı ve yüksek müşteri memnuniyet seviyesi ön plandadır. Birçok fabrikada envanter seviyesi olması gerekenden % 20-30 daha yüksek seviyede olabilir. Firmalar bakım zaman kısıdını çözebilmek için gerekenden fazla stok tutabilmektedir. Başarılı bakım envanter yönetimiyle malzeme maliyetleri % 19 kadar düşürülebilir. DKB ile işleyen bir sistemin servis seviyesi % 95'in üzerinde olmalıdır. Bu değerin altında bir yüzde malzeme eksikliğine bağlı olarak duruşlara sebep olabilecektir. % 97'in üzerinde bir servis seviyesi de çok fazla malzeme taşındığını gösterir (Iman vd., 2013: 4).

Dünya standartlarında üretimin amacı, üstün üretim yetenekleri kazanarak "üretimde mükemmeliyeti" sağlamaktır. Dünya standartlarındaki üretimin genel özellikleri (Özdoğan, 2011: 45):

- ✓ En iyi rekabet eden olmak,
- ✓ Kayıpları azaltmak,
- ✓ Rakiplere göre daha fazla kar elde etmek,
- ✓ Yüksek nitelikli eleman çalıştırmak,
- ✓ Değişen pazar koşullarına hızlı ve kararlı şekilde cevap vermek,
- ✓ Performansı maksimize edecek ürün ve süreç mühendisliği yaklaşımını benimsemek,
- ✓ Sürekli gelişimi sağlamak olarak sıralanabilir.

2.7. YALIN BAKIM YÖNETİMİ (LEAN MAINTENANCE)

Yalın üretim; müşteri ilişkileri (satış, dağıtım, faturalama, servis ve ürün memnuniyeti), ürün tasarımı, tedarikçi ağı, üretim akışı, bakım, mühendislik, kalite güvencesi ve fabrika yönetimi de dahil olmak üzere üretimin her alanındaki israfın ortadan kaldırılmasıdır. Yalın üretimin amacı mümkün olan en verimli ve ekonomik hareketlerle daha az insan gücü, stok ve zaman kullanarak müşteri taleplerine cevap vermek, daha az zamanda ürünleri geliştirmek ve daha az yerde en yüksek kalitede üretim yapmaktır (Smtih ve Hawkins, 2004: 16; Kister ve Hawkins, 2006: 22).

Yalın Bakımın temeli Toplam Verimli Bakımdır. Yalın bakım yirminci yüz yılın son on yılında ortaya çıkan ancak ilkeleri Toplam Verimli Bakımda (TVB) iyi bir şekilde belirlenmiş nispeten yeni bir terimdir. Yalın üretimin öncülük ettiği yalın bakım TVB kavramlarına daha çok yapılandırılmış bir uygulama yolu sunan yeni tekniklerin uygulanmasıdır. Kökleri Henry Ford'a kadar dayanan, modern geliştirmelerle Japon üretiminde, özellikle Toyota Üretim Sisteminden doğmuştur. Yalın bakım, bakım çalışmalarının da dahil olduğu üretim sürecindeki bütün israf çeşitlerini ortadan kaldırmaya çalışır.

Her örgütsel unsurun yönetim ilkeleri ana şirket veya kuruluş ile aynı olmalıdır. Üretim, servis işlemleri (finansal işlemler), tesis işlemleri (hastane) ve buna benzer çeşitli firmaların da dahil olduğu işletmelerde, örgütsel unsurlar kendi yönetim ilkeleri olduğu gibi ana şirketin de yönetim unsurlarının alt kümesidirler. Farklı ilke veya politikalar yaratan örgütsel unsurların hedefleri, birbiriyle ilgili ve hatta birbirine bağlı unsurların amaçlarına karşı risk oluşturur. Böylece bakım çalışmasının yönetim ilkeleri, biraz farklı odaklı olmasına rağmen, ana tesisteki gibi kalır. Farklı odağı ortadan kaldırmak için bakım yönetim ilkeleri aşağıdaki gibi yeniden şekillendirilebilir (Kister ve Hawkins, 2006: 43):

İsrafın ortadan kaldırılması: Aktif olarak müşteri için veya müşteriye yarar sağlamayan her türlü (herhangi bir parça, uygulama, bakım süreci, araç ve gereçler, yedek tezgah, bekleme zamanı, ulaşım zamanı (bir işten diğerine tesisin karşılıklı bölümlerinde ilerleme), iş çevresi, şirket ilke veya politikası) israfı tanımlamaya ve

ortadan kaldırmaya çalışır. Bakım ekiplerinin müşterileri genellikle işletmedeki işleyiştir fakat hala tesis dışındaki müşterileri de kapsamaktadır.

Müşteriye odaklanma: Bakım çalışması öncelikli olarak operasyonların (müşteri) değer verdiği ekipman güvenirliğine odaklanmalıdır. Operasyonların müşterisinin değer verdiği çalışmalar, planlanan bakımın zamanında tamamlanması, ekipmanın bakımın tamamlandıktan sonra üretime hazır durumda olacak şekilde yenilenmesi ve bakım faaliyetlerindeki belirli benzer üretim gereksinimleridir. Bu prensip aynı zamanda üretim sürecinin desteği ile işletme tarafından üretilen ürünleri satın alan en uçtaki müşteriye katma değer sağlar.

Kaynakta oluşturulan kalite: Bakım faaliyetlerinin kalitesi, doğru zamanda, doğru şekilde ve ilk seferde doğru uygulanan (bakım görevleri ilk seferde doğru uygulandığı için tekrarlama olmaması) bakıma bağlıdır. Bakım görevleri doğru parçaların, malzemelerin ve saf malzemelerin doğru miktarda kullanılarak sağlanır. Bakım faaliyetleri birinci kalite parçaları ve ürünleri ilk seferde üreten makineleri, yeniden işleme ve geçici çözümleri geri çevirerek sağlar.

Başarılı bakım fonksiyonları temel yönetim ilkelerine ve destek kavramlarına dayanır. Yalın Bakım çalışması desteği olarak kabul edilen on kavram aşağıda sunulmuştur. Tesislerde hangi bakım türünün uygulandığı, Bireysel Bakım çalışmalarına bağlı olabilir ancak bakım görevi dahil yine de ortak görev ve vizyonu desteklemek zorundadır (Kister ve Hawkins, 2006: 44).

1. Yönetim, bölüme ait işletme faaliyetlerinin çalışma planı ve stratejileriyle tutarlı olmasını sağlamak amacıyla tutarlı ve destekleyici bakım görevini açık bir ifade ile geliştirmiş ve bildirmiştir.
2. Çalışmanın muhafaza altında bulundurulma kavramı tesis felsefesinin temelidir.
3. Bakım ihtiyaçlarının en iyi nasıl karşılanabileceğine karar vermede sorumluluk teknik olarak nitelikli bilgi ve tavsiye yoluyla bakım departmanına aittir.
4. Süreçlerin, ekipman ve tesislerin bakımı, organizasyonun tüm birimleri tarafından paylaşılan bir sorumluluktur.

5. Bakım, çalışmanın bir temel taşıdır. Politikalar, bakım programının önemli bir parçası olmasını sağlamak için yönetim tarafından verilir. Böylece bakım için ortak bir anlayış sağlanır ve prosedürler tesis genelindeki uygulamalarda yer alır.

6. Bakım felsefeleri ve tesis stratejilerini destekleyen fonksiyonlar, prosedürler kılavuzuna yazılır ve etkin bir biçimde tüm ilgili bölümlere bildirilir.

7. Verimli bakım yöntemi reaktif değil proaktiftir. Bir arıza meydana geldiğinde, bu arızanın tekrarlanmaması için önleyici tedbirler aranır.

8. Üretim ve bakım departmanları arasında sorumlulukların (birincil ve destekleyici) açık bir tanımı ve anlayışı vardır.

9. Karşılıklı anlayış ve işbirliği mükemmeldir. İş sırası gibi önemli prosedürler makul bir tekdüzelik ile takip edilir.

10. Toplam Verimli Bakım (TVB) programının önleyici doğası, tesis üretim hedeflerini karşılamak için baskı altındayken gözden kaçırılmaz.

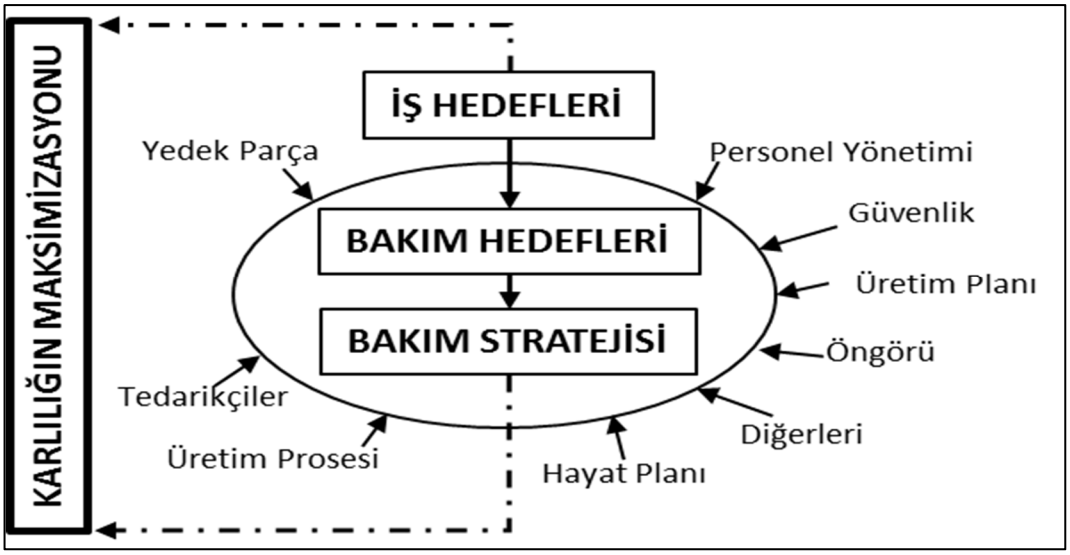
2.8. İŞ MERKEZLİ BAKIM YÖNETİMİ (BUSINESS CENTRED MAINTENANCE)

İş merkezli bakımın amacı, diğer bakım yönetim sistemlerinden oldukça farklıdır. Bakım mükemmeliyetinin sağlanması, kritik makinelerin risk sınıflarının belirlenerek bakım politikaların oluşturulması, güvenirlik analizleri yapılarak varlıkların belirli zaman aralıkları içeresinde güvenilir şekilde çalışmasını sağlamak, teknik performansı maksimize etmek vb. amaçlarından ziyade bakımın işletme karlılığına olan katkısını artırmaya çalışır.

İş merkezli bakım kavramı, işletme karlılığını esas aldığı için üretim süreci, üretim planı, talep tahminleri, iş yükleri, ekipman ömürleri, personel bilgisi, fiziksel varlıkların hazır-oluş düzeyleri vb. parametrelerle ilgili birçok bilgiyi ele alarak bakım amaçları ve bakım yaklaşımları oluşturulur.

İş merkezli bakımın ana hedefi, karlılık için bakımın katkısını maksimize etmeye yöneliktir. Güvenirlik Merkezli Bakımın bu yöntemden temel farkı, teknik performansını maksimize etmeye odaklanmış olmasıdır (Waeyenbergh ve Pintelon, 2001, 303).

Şekil 2.11'de iş merkezli bakım sistematiği gösterilmiştir.



Şekil 2.11: İş Merkezli Bakım Yaklaşımı ve Karlılığın Maksimizasyonu

Kaynak: Waeyenbergh ve Pintelon, 2001, 303

Şekil 2.11'de görüldüğü gibi bakım stratejileri birçok dış etkenden etkilenmektedir. Karlılığı maksimize etmek için bu etkenlerden kaynaklanan olumsuz etkilerin azaltılmasına ihtiyaç vardır. Bunun için firma yetkilileri yapılan işi etkileyen ve karın artamasına engel olan unsurları azaltmaya çalışması gerekmektedir.

2.9. EVRİMSEL BAKIM METODU (EVOLUTIONARY MAINTENANCE METHOD)

Xu ve Wu (2015)'deki çalışmalarında, bir ürünün uzun zaman bakım gerektirmeden faaliyet göstermesini destekleyen birçok farklı fikirler ve teknolojiler olduğunu ifade etmişlerdir. Dört tane ana faktör belirlemişlerdir. Birinci faktör başlangıçta olan güvenirlik; eğer sistemler ya da parçalar en iyi güvenirliğe sahip olurlarsa istenen bakım gerektirmeyen çalışma periyodu uzunluğuna sahiptir. İkinci faktör belirti; sonucu önceden gösteren sistemler bakım gerektirmeyen çalışma periyodu konseptinin önemli bir parçası olarak değer görür. Sonucu önceden gösteren sistemlerde ürün arızasının fiziksel bilgileri ve arıza zamanı dağılımını kullanarak gelecekteki arızaları tahmin edebiliriz. Üçüncü faktör arıza teşhisi; arıza teşhis sistemleri ürünlerdeki mevcut hataları kontrol ve tespit/teşhis eder. Birçok arıza bakım

mühendisleri tarafından yapılan denetimlerde tespit edilir. Dördüncü faktör fazlalık ya da tekrar yapılandırabilirlik; bakım gerektirmeyen çalışma periyodu konsepti bazı üniteleri için arızaların, ürünün geneli faaliyetine devam ettiği sürece kabul eder. Arıza toleranslı birimler, ister fazlalık ister yeniden yapılandırabilirlik içersin netice olarak anahtar etkidirler. Ürün Bakım Gerektirmeyen Çalışma Periyodu sağlamak için her bakım gerektirmeyen çalışma periyodunun sonunda ürünün onarılarak tamamı ile çalışabilmesi için bir toparlanma bakım periyodu gereklidir.

Bakım Gerektirmeyen Çalışma Periyodu (Maintenance Free Operating Period) fikri yeni değildir, aslında garanti periyodu ile aynıdır. Yeni olan, bu konseptin yaşam süresi boyunca uzamasına kullanıcıların dikkat ediyor olmasıdır (Xu ve Wu, 2015: 588).

Evrimsel Bakım, düzeltici bakımı ve her Bakım Gerektirmeyen Çalışma Periyodunun ardından ayarlanan, yaşa dayalı önleyici bakımı içeren bir bakım planıdır. Neticeyi önceden gösteren teknikler ile sadece arızalanacak ünite değiştirilir (Xu ve Wu, 2015: 588). Bakım Gerektirmeyen Çalışma Periyodu (BGÇP), sistemin herhangi bir bakım gerektirmeden ayarsız olarak çalışacağı, bununla birlikte kontratlarla belirlenmiş ufak kusurların ve arızaların hoş görülebileceğini söyleyen bir süreçtir (Xu ve Wu, 2015: 589).

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME

3.1. KARAR ANALİZİNDE KULLANILAN TEMEL KAVRAMLAR

İşletme yönetiminde karar, yöneticinin ya da herhangi birinin, herhangi bir konuda yaptığı seçimi ifade eder. Bu nedenle ‘’seçme, tercih etme, tavır koyma, benimseme’’ ile ‘’karar verme’’ birbiri ile çok ilgilidir (Koçel, 2013: 109).

Karar analizi, alternatiflerin en iyisini seçmek için akılcı bir sürecin kullanılmasıyla ilgilenir. Seçilen bir alternatifin ‘’iyiliği’’ karar durumunun tanımında kullanılan verinin kalitesine bağlıdır (Taha, 2015: 511).

Genel anlamda Karar Verme, aşağıdaki adımlardan oluşur (Saaty, 1980: 5)

a. Planlama,
b. Alternatiflerin belirlenmesi,
c. Önceliklerin belirlenmesi,
d. Alternatiflere karar verildikten sonra en iyi hareket tarzının seçilmesi,
e. Kaynaklara göre ayrıştırılması,
f. Gereksinimlere karar verilmesi,
g. Çıktılar hakkında tahmin yapılması,
h. Sistemin tasarlanması,
i. Performansın ölçülmesi,
j. Sistemin kararlığını sağlanması,
k. Optimize edilmesi,
l. Uyuşmazlıkların çözülmesi.

Çok Kriterli Karar Analizi alanında kullanılan terimlerin daha anlaşılır olması için temel bazı terimler aşağıda açıklanmıştır.

Karar Verici (Decision Maker): Karar verici; kararla ilgili detaylar, ilgili insanlar ve aktörler, ilgili hedefler ve politikalar, kararın sonuçlarına etki eden etkenler ve kararın zaman boyutu ve kısıtlarıyla ilgili bilgi ve tecrübeye sahip olmalıdır (Saaty, 1999: 403). Karar verici, mevcut seçenekler içerisinden bir alternatifi seçen kişi veya gruptur (Wallenius, vd., 2008: 3; Yılmaz, 2014: 138). Karar verici bütün karar verme sürecini etkileyen ve dönüştüren aktif bir aktördür (Guitouni ve Martel, 1998: 512). Amaçların nispi değerlerine ilişkin yargılar analizci tarafından değil karar verici tarafından oluşturulmaktadır (Ünal, 2010: 33).

Analist (Analyst): Sorunlar siteminin tanımlanmasından probleme ait modelin kurulmasına kadar karar verici ile etkileşimde bulunan, problem çözme teknikleri konusunda uzman kişi veya gruptur (Timor, 2011: 4). Karar verme sürecinden sorumlu olan kişi/kişilerdir (Ünal, 2010: 33; Yılmaz, 2014: 38).

Alternatifler: Alternatifler, olası çözümleri (seçenekler, stratejiler, planlar) belirtmektedir (Koen, 2008: 13). Karar verici/vericilerin seçebileceği alternatifler olup, kontrol edilebilir değişkenlerdir. Alternatifler çoklu amaçların ya da kriterlerin performansı bağlamında tanımlanmaktadır (Ünal, 2010: 33).

Hedef (Goal - Target): Karar vericilerin arzu ettiği genel bir ifade, hareket edilmek istenen yön, istekleri doğrultusunda maksimize veya minimize edilmek istenen özellikleridir. Hedef istenilen durumun veya mevcut durumun değişmiş halini tanımlamaktadır (Schneider, 2008: 27).

Kriter (Criterion): Her alternatifin kıyaslanması için ihtiyaç duyulan faktörler ya da özellik ifade eden ve çözüm sürecinde kullanılan niteliklerdir (Koen, 2008: 13).

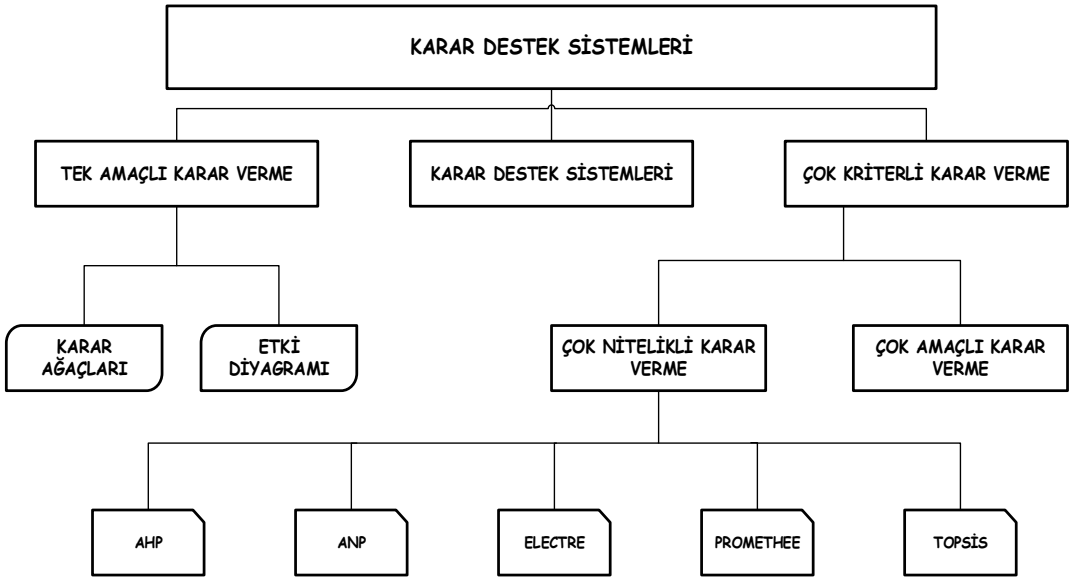
Nitelik Ağırlığı (Attribute Weight): Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) işlemlerinde her bir niteliğin nispi önemine dair bilgiye gerek duyulmaktadır. Bu bilgiler genellikle ordinal veya kardinal ölçek tarafından sağlanmaktadır (Ünal, 2010: 33).

Karar Matrisi (Decision Matrix): ÇKKV'de problem bir matris şeklinde ifade edilir. Sütunlar problemle ilgili özellikleri, satırlar da çatışan alternatifleri gösterir. Karar matrisi, karar vericiyi karar vermede desteklemek, karar durumlarını formüle etmek ve karar vericinin gözünde canlandırmak için kullanılmaktadır (Schneider, 2008: 26).

Ölçme (Measurement): Ölçme, kriterlerin ya da tercihlerin sayısallaştırılmasını ifade etmektedir (Koen, 2008: 13).

3.2. KARAR ANALİZ METOTLARI

Karar analizi metotları Şekil 3.1'de görüldüğü gibi genel olarak Tek Amaçlı Karar Verme, Karar Destek Sistemleri ve Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) olmak üzere 3 grupta incelenmektedir (Zhou vd., 2006: 2606; Timor, 2011: 17).



Şekil 3.1: Karar Analizi Metotları

Kaynak: Zhou vd., 2006; Timor, 2011 ve Aruldoss vd. 2013'den derlenmiştir.

Şekil 3.1'de görüldüğü gibi, Tek Amaçlı Karar Vermeye, karar ağaçları ve etki diyagramları gösterilebilir. Çok Kriterli Karar Verme, Çok Nitelikli ve Çok Amaçlı Karar Vermeden oluşmaktadır. Bu tez çalışmasında kullanılan Analitik Hiyerarşi Süreci, Çok Nitelikli Karar Verme metodlarından biridir.

3.2.1. Tek Amaçlı Karar Verme Metotları

Tek Amaçlı Karar Verme Metotları, tek amaçlı durumlarda belirsiz sonuçlarla elde edilebilir alternatifleri değerlendiren metotlardır. Karar Ağacı ve Etki Diyagramları bu metotların en önemlileridir. Bu metotlar problemi basit ve daha bütün bir şekilde yansıtmaktadır (Zhou vd., 2006: 2605).

3.2.2. Karar Destek Sistemi

Karar Destek Sistemi (KDS), karar vericinin karar vermede kullanabileceği modelleri, veri kaynaklarını ve diğer karar verme araçlarını entegre eden ve bir araya getiren interaktif, esnek ve programlanabilir yazılımlardır. KDS, karmaşık, zor ve yapılandırılmamış problemlerin çözümünü desteklemektedir (Zhou vd., 2006: 2606).

3.2.3. Çok Kriterli Karar Verme

Çok Kriterli Karar Verme (Multi Criteria Decision Making), somut ve soyut kriterlere veya niteliklere (özelliklere) göre potansiyel karar seçeneklerinden en iyisinin seçimiyle ilgilenmektedir (Cho, 2003: 1099). Uluslararası Çok Kriterli Karar Verme Cemiyeti'ne göre ÇKKV çoklu çelişen kriterlerle ilgili metotların ve prosedürlerin çalışmasıdır. Bütün ÇKKV metotlarının amacı "iyi" öneride bulunmaya yardım etmektir (Guitouni ve Martel 1998: 502).

ÇKKV üç çeşit problemle ilgilenmektedir; seçme problemi, sıralama problemi ve sınıflandırma problemi. Her bir problemde karar vericinin amacı farklıdır. Seçme probleminde karar vericinin amacı en iyi alternatifi bulmakdır. Sıralama probleminde karar vericinin amacı bütün alternatiflerin en iyiden en kötüye göre sıralamaktır. Sınıflandırma probleminde ise karar vericinin amacı hangi alternatifin önceden belirlenmiş hangi sınıflara ait olduğunu belirtmektir (Mateu, 2002: 1).

3.2.3.1. Çok Amaçlı Karar Verme

Çok Amaçlı Karar Verme (Multi Objective Decision Making – MODM), karar alanının sürekli olduğu problemler üzerinde çalışır. Çok amaç fonksiyonlu matematiksel programlama ile ilgili problemler bunun belirgin örneğidir

(Triantaphyllou vd., 1998: 175). Lineer programlamanın bir uzantısı olarak geliştirilen Hedef Programlama (Goal Programming) ÇAKV'nin öneklerindendir.

ÇAKV'de bir amaç fonksiyonu yerine n tane amaç fonksiyonu vardır ve problemin optimum çözümü, tüm amaç fonksiyonlarını karşılayan çözümdür. Ancak, genellikle amaçlar birbirleriyle çelişkili ve negatif yönde etkileşim içinde olduğu için böyle bir çözüme ulaşmak çok zordur. Bu nedenle ÇAKV'de optimum çözüm yerine "En İyi Uzlaşmacı Çözüm" söz konusu olmaktadır. Çünkü her bir amaç için optimum olan çözümlerin karar vericinin tercihlerini de dikkate alarak uzlaştırılması gerekmektedir (Bölat ve Kuzucu, 2006: 115).

3.2.3.2. Çok Nitelikli Karar Verme

ÇNKV tekniklerinin hemen hepsi kriter seti temelinde alternatif setlerinin kriter puanları veya değerlendirmelerini kapsayan performans çizelgelerine gerek duymaktadır. Genellikle iki set birbirinden farklı olarak tanımlanmaktadır. Ancak karar probleminin etkin bir şekilde kavranması alternatifler ve kriter setinin birlikte tanımlanmasını gerektirmektedir. ÇNKV'de ikinci adım spesifik bir sentezleme süreci (Aggregation Procedure) kullanarak ve karar vericinin tercihlerini dikkate alarak farklı kriterlere atanan puanları ya da ağırlıkları sentezlemektir. Kriter puanlarını sentezleme karar vericiye farklı kriterleri, kriter puanlarına göre karşılaştırma imkanı verir (Chakar ve Martel, 2004: 100).

Çok Nitelikli Karar Verme, birden fazla kritere göre sıralama yapma imkanı veren teknikler içermektedir. Çok Nitelikli Karar Verme tekniklerine örnek olarak, AHP (Analytic Hierarchy Process), ELECTRE (Elimination and Choice Translating Reality), PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation), MAUT (Multible Attribute Utility Theory), TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarityto Ideal Solution) ve UTADIS (Utilities Additives Discriminantes) gibi yöntemler verilebilir (Timor, 2011: 16).

Literatürde Çok Nitelikli Karar Verme tekniklerinin kullanıldığı birçok çalışma mevcuttur. Çalışmaların çoğunda Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Analitik Ağ

Prosesi (ANP), TOPSIS, ELECTRE ve PROMETHEE'nin tek başına veya karşılaştırmalı sonuçları göstermek için bir arada kullanıldığı görülmektedir.

3.3. ÇOK NİTELİKLİ KARAR VERME TEKNİKLERİ

Çok Nitelikli Karar Verme (Multiple Attribute Decision Making – MADM), karar vermenin en yaygın kolunu oluşturmaktadır. Bu kol genel Yöneylem Araştırması (Operational Research) sınıfına aittir (Triantaphyllou vd., 1998: 175).

3.3.1. Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytic Hierarchy Process)

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS), karmaşık karar problemlerinde, karar alternatif ve kriterlerine göreceli önem değerleri verilmek suretiyle yönetsel karar mekanizmasının çalıştırılması esasına dayanan bir karar verme işlemidir.

Sürecin özü, karmaşık olan bir problemin en üstte hedef (amaç) ve altında kriter ve alt kriterler olacak şekilde parçalara ayrıştırılarak problemin hiyerarşik bir yapıda sıralanmasıdır. En altta karar alternatifleri yer almaktadır (Pohekar ve Ramachandran, 2004: 369).

Birçok karar problemi hem objektif, hem de sübjektif unsurlar içermektedir. AHS, bu iki unsuru da bulunduran bir çözüm yapısına sahip olduğu için birçok karar verme yöntemine göre daha gerçekçi bir çözüm yöntemidir. AHP ile problem çözümünde, öncelikle hedef (problem) belirlenmekte, daha sonra hedeften yola çıkılarak Analitik Hiyerarşi Süreci çözüm aşamaları uygulanmaktadır.

Hiyerarşik modelde, sisteme ait bileşenler iç ilişkileri ile saptanmalıdır. Modelde, en üstte amaç (hedef) yer alırken, izleyen aşamada ise karara ilişkin kriterler yer almaktadır. Bunu izleyen aşamada karar alternatifleri bulunmaktadır.

3.3.2. Analitik Ağ Süreci (Analytic Network Process)

Literatürdeki farklı kaynaklarda Analitik Ağ Prosesi (Analytic Network Process/ANP) olarak da geçen, Analitik Ağ Süreci (AAS) faktörler arasındaki ilişkilerin dikkate alınmasını gerektiren bu tür karar problemlerinin modellenmesinde kullanılabilecek ve daha etkin sonuçlara ulaşılmasını sağlayacak bir yöntemdir

(Timor, 2011: 18). AHS'nin geliştirilmesinde etkenlerden biri, Saaty'nin AHS'nde hiyerarşik yapılandırma gerekliliğinden kurtulmaktır. AHS'de yukarıdan aşağıya doğru tek yönlü bir hiyerarşi yerine ağ yapısı mevcuttur (Önder, 2014: 75). AAS yönteminde, bir amaç veya hedefi etkileyen faktörler, birbirine olan etkilerine göre gruplandırılmakta ve amaca uygun bir ağ (network) şeklinde model kurulmaktadır.

3.3.3. TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)

Çok Nitelikli Karar Verme Tekniklerinden biri olan TOPSIS (Techniquef or Order Priority of Similarity to Ideal Solution) yöntemi Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilmiş, kavram ve uygulamada değer tabanlı telafi edici bir yöntemdir. TOPSIS yöntemi, alternatifleri eşzamanlı olarak pozitif ideal çözümden en kısa mesafeye ve negatif ideal çözümden en uzun mesafeye sahip olacak şekilde seçmeyi dener. Pozitif ideal çözüm fayda kriterini maksimize ederken, maliyet kriterini minimize eder. Negatif ideal çözüm ise maliyet kriterini maksimize ederken, fayda kriterini minimize eder. Alternatifler belirli kriterler doğrultusunda sıralanır. Yöntemin ilk aşaması karar matrisinin oluşturulmasıdır. Karar matrisinde, alternatifler yukarıdan aşağıya doğru kaydedilerek, her bir alternatifin karşısına o alternatifle ilgili kritere göre özellikleri yazılır. Hazırlanan bu matris kullanılarak sıralama işlemleri yapılır.

TOPSIS yönteminin başlıca kuvvetli yanları aşağıdaki gibidir (Kabir vd., 2014: 1180):

- ✓ Uygulaması kolay ve anlaşılabilirdir,
- ✓ Bilgiler tam topladığında uygulanabilirdir,
- ✓ Alternatiflerin sıralaması için iyi inşa edilmiş analitik iskelet,
- ✓ Belirizlik problemleriyle uğraşmak için belirsiz sayıların kullanılabilir.

Bu yöntemin zayıf tarafı ise çok boyutlu problemlerin çözümünde için vektör normalizasyonu gereklidir.

3.3.4. ELECTRE (Elimination and Choice Translating Reality)

Optimizasyon amaçlı matematiksel programlama tekniklerinden birisi olan ELECTRE tekniği, ilk olarak 1960'ların sonunda Roy tarafından, daha sonra Nijkamp ve Delft ile Voogd tarafından farklı açılardan geliştirilmiştir. ELECTRE yönteminin esası, her bir değerlendirme faktörü için alternatif karar noktaları arasında ikili üstünlük kıyaslamalarına dayandırılmasıdır. ELECTRE yönteminin zaman içinde ELECTRE II, III, IV gibi farklı versiyonları geliştirilmiştir (Ersöz ve Kabak, 2010: 111). Tüm geliştirilen bu versiyonların tümü aynı temel kavramlara dayanır, ancak operasyonel ve karar probleminin türüne göre birbirinden ayrılır. Özellikle ELECTRE I yöntemi problemlerin seçimi, ELECTRE TRI yöntemi problemlerin tayini, ELECTRE II, III ve IV yöntemleri problemlerin sıralaması için tasarlanmıştır. Buradaki ana fikir ilişkilerin önem derecesine göre sıralanmasında kullanımıdır. ELECTRE yöntemi, modele, koordinasyon indisleri kullanarak bir karar süreci olanağı yaratır. Bu indisler uyum ve uyumsuzluk matrisleridir. Kara verici, farklı alternatifler arasında ilişkilerin önem derecesine göre sıralanmasını analiz etmek ve net verileri kullanarak en iyi alternatifi seçmek için uyum ve uyumsuzluk indislerini kullanır (Aruldoss vd., 2013: 33). Bu teknik ile karar verici çok sayıda nicel ve nitel kriteri karar verme sürecine dahil edebilmekte, kriterleri amaçları doğrultusunda ağırlıklandırabilmekte, kriterlerin verimlilik ölçülerinin büyüklüklerini seçebilmekte ve ağırlıklarını toplayarak en uygun alternatifi belirleyebilir.

ELECTRE yöntemlerinin bütün versiyonları aynı temel kavramlara dayanır ancak işletimsel olarak farklılık gösterir. ELECTRE bir seferde bulunan iki alternatif arasındaki ilişkilerin görece daha önemli olmasının tanımına dayanır. ELECTRE yönteminin başlıca kuvvetli yanları aşağıdaki gibidir (Kabir vd., 2014: 1179);

- ✓ Bilgi eksikliği olsa bile uygulanabilirdir,
- ✓ Karşılaştırılamaz alternatifler olsa bile uygulanabilirdir,
- ✓ Belirsizliklerin birleşmesinin gerekli olduğu zaman bile uygulanabilirdir,
- ✓ Tercih edilen alternatife ulaşabilir veya ulaşamayabilir,
- ✓ Nicel ve nitel vasıflarının her ikisi için de uygulanabilirdir.

3.3.5. PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation)

Bu metod 1982'de Brans tarafından ortaya konmuş ve Brans and Vincke tarafından daha ileriye götürülmüştür. PROMETHEE çelişkili kriterlerin arasında sıralanacak ve seçilecek alternatif hareketlerin sonlu seti için önem sırasına koyma yöntemidir. PROMETHEE basit ve verimli bir bilgiye ihtiyaç olunması durumunda bile uygulanabilirdir. Her kritere göre alternatiflerin gösterdiği sapmanın göz önünde bulundurulduğu alternatiflerin karşılaştırmasına dayanır ve daha çok yer belirleme problemlerinde kullanılan bir yöntemdir. PROMETHEE Yöntemi, alternatifleri, farklı tercih fonksiyonları temelinde değerlendirerek, alternatifler için kısmi ve tam önceliklerin hesaplanmasını sağlayan bir Çok Nitelikli Karar Verme Tekniğidir. Diğer karar analizi yöntemlerinde olduğu gibi PROMETHEE tekniğinde de alternatiflerin çeşitli kriterler açısından değerlendirilerek sıralanması söz konusudur. Alternatifler, kriterler açısından değerlendirilirken her kriterin yapısına uygun olarak seçilen tercih fonksiyonlarından yararlanılmaktadır.

TOPSIS yöntemi her kriterin monoton bir şekilde artan veya azalan, kolayca pozitif veya negatif ideal çözüme götüren bir fayda eğiliminin olduğunu varsayar. İdeal çözüme giden alternatiflerin bağıl yakınlığını değerlendirmek için Euclidean mesafe yaklaşımı önerilmiştir. Bu bağıl mesafelerin bir dizi karşılaştırması, alternatiflerin tercih sırasını temin eder. TOPSIS yöntemi ELECTRE yöntemine benzer şekilde ilk olarak çeşitli kriter boyutlarını boyutsuz kriterlere çevirir. TOPSIS yönteminin konsepti, seçilen alternatifin pozitif ideal çözümden en yakın mesafede ve negatif ideal çözümden en uzak mesafede olmasıdır. Bu yöntem çok kriterli karar vermede sıralama amacıyla ve en iyi performansı elde etmek için kullanılır (Aruldoss vd., 2013: 33).

3.4. ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİNİN ÖZELLİKLERİ

İlk olarak 1968 yılında Myers ve Alpert tarafından ortaya atılan ve 1971-1975 yılları arasında Thomas L. Saaty tarafından (Saaty, 1987: 161) geliştirilen metot Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytic Hierarchy Process-AHP) olarak adlandırılmıştır (Ömürbek vd., 2013: 140,).

Analytic Hierarchy Process (AHP); Türkçe kaynaklarda Analitik Hiyerarşi Süreci (Hacımenni, 1998; Albayrak, 2004; İnan, 2008; Ersöz ve Kabak, 2010; Güngör ve Biberci, 2011; Öztürk, 2011; Akman vd., 2012; Ömürbek vd., 2013), Analitik Hiyerarşi Yöntemi (Ecer ve Küçük, 2008; Yılmaz, 2014), Analitik Hiyerarşik Süreç (Kazançoğlu, 2008), Analitik Hiyerarşi Yaklaşımı (Akad, 2006; Güngör ve İşler, 2005), Analitik Hiyerarşik Proses (Göksu, 2008) ve Analitik Hiyerarşi Prosesi (Dağdeviren vd., 2004; Ünal, 2010; Sarıoğlan, 2011; Tatman, 2011; Harputlugil, 2012) olarak aktarılmaktadır. Bu çalışmada Analitik Hiyerarşi Süreci olarak kullanmak tercih edilmiştir.

Bevilacqua ve Braglia (2000)'ye göre Analitik Hiyerarşi Süreci, nitel ve nicel yaklaşımların birlikte göz önünde bulundurulması gerekten karmaşık problemlerde, güçlü ve geniş kullanım alanına sahip bir Çok Kriterli Karar Verme metodudur. Analitik Hiyerarşi Süreci problemlerle ilgili kritik yaklaşımları aile ağacına benzer hiyerarşik bir yapıda inceler. Bunu yaparken öncelikle karmaşık kararları kıyaslamalar ve sıralamalar yapılabilecek basit serilere dönüştürür, sonrasında da karar verme süreciyle ilgilenir. Analitik Hiyerarşi Süreci yalnızca en iyi karara ulaşmaya yardımcı olmaz, bunun yanında yapılan seçimlerle ilgili açık bir rasyonellik sağlar.

3.5. ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİNİN UYGULAMA ALANLARI

Analitik Hiyerarşi Süreci metodu birçok sektör ve iş alanında kullanılmaktadır. Analitik Hiyerarşi Süreci'nin gerçek yaşamda oldukça geniş bir kullanım yeri mevcuttur. Özellikle karar verme zorunluluğu olan üst düzey yöneticiler bu yönteme sık sık başvururlar. Örneğin bir fabrikada hangi makinenin veya hattın hangi bakım modeli ile çalışacağının kararı verilirken veya aynı fabrikada mevcut ham maddeden hangi ürünlerin hangi miktarlarda üretileceğinin seçiminde kullanılabilir. Aynı zamanda bu fabrikanın kurulacağı bölgenin seçimiyle ilgili verilecek kararlar da Analitik Hiyerarşi Süreci'nin uygulama alanına girer. Kullanım alanları Tablo 3.1'de gösterilmektedir (Göksu, 2008: 28-30; İnan, 2008: 63).

Tablo 3.1: Analitik Hiyerarşi Süreci'nin Kullanım Alanları

İŞLETME ORGANİZASYONU İLE İLGİLİ KARAR VERME SORUNLARI	Reklam Kampanyaları
	Müşteri İlişkileri
	İşgücü ve Terfi Kararları
	İşveren İlişkileri
	Ar – Ge
	Fizibilite
	Pazarlama
	Satın Alma – Leasing Kararları
İŞLETME YÖNETİMİ İLE İLGİLİ KARAR VERME SORUNLARI	Stratejik Planlama
	Kazanç Arttırma Planları
	Ortaklık Kurma
	Ar – Ge
	Pazarlama
	Yeni Ürün Geliştirme
	Ürün Hayat Eğrisi Analizi
	Sermaye Artırımı
	Yatırım Analizleri
İŞLETME FONKSİYONLARI İLE İLGİLİ KARAR VERME SORUNLARI	Stratejik Planlama
	Yeni Ürün Geliştirme
	Ürün Hayat Eğrisi Analizi
	Satış Gücünü Teşvik Planları
	Talep Değerlendirme
	Hukuki Kararlar
	Zaman Planlaması
	İşe Alma – İşten Çıkarma
	Sağlık – Eğitim Planlaması
MİLLİ POLİTİKALAR – HÜKÜMET KARARLARI	Stratejik Planlama
	Nükleer Silahsızlanma Anlaşmaları
	Bütçe Düzenleme
	Uluslararası Krizler
	Destek Olma – Karşı Çıkma Kararları
	Fizibilite
	Askeri Kararlar
HALK YÖNETİMİ (FEDERAL VE YEREL)	Kaynak Belirleme
	Politik Kararlar
	Talep Değerlendirme
	Uygulanabilir Projeler
	Yasal Kararlar
	Bütçe Düzenleme

AHS uygulanmasıyla ilgili yapılan çalışmardan bazıları, Hacımenni (1998), analitik hiyerarşi sürecinin bilişim teknolojisi kararların seçiminde uygulanması üzerine bir doktora tezi hazırlamıştır.

İç ve Yurdakul (2000), Analitik Hiyerarşi Sürecini yöntemini kullanarak bir kredi değerlendirme sistemi modellediği çalışmada, firmaların "subjektif kredi değerliliği, faaliyet gösterdikleri sektörün durumu ve kredi teminatları" gibi nitel ve nicel faktörleri beraberce değerlendirmiş ve genel bir kredi puanı ile sonucu ifade eden bir model oluşturulmuştur. Modelin ana hedefi kredi değerlendirme işlemini doğru ve gerçekçi bir şekilde yapabilmektir.

Toksarı (2007), Analitik Hiyerarşi Süreci yaklaşımı kullanılarak mobilya sektörü için Ege Bölgesi'nde hedef pazarın seçilmesi ile ilgili bir uygulama gerçekleştirmiştir.

Ömürbek vd. (2013), ürün alternatifi seçimi Analitik Hiyerarşi Sürecini kullanarak bir uygulama yapmıştır. Bu çalışmada bir süt ürünleri fabrikasında üretim süreci incelenerek sütten üretilecek ürünlerin seçimini etkileyen kriterler ve alternatifler belirlenmiştir. Sütten üretilecek ürün alternatiflerinin seçiminde önemli olan ana kriterler; satılabilirlik, verimlilik, üretim süresi, karlılık ve hammadde temini olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu kriter, alt kriter ve alternatifler çerçevesinde hiyerarşik yapı oluşturulup üretilebilecek optimum ürün alternatifine karar verilmiştir.

Tablo 3.2'de AHS'nin kullanıldığı çalışmalardan bazıları gösterilmiştir.

Tablo 3.2: Analitik Hiyerarşi Süreci Literatür

YAZAR	KULLANIM ALANI	ALTERNATİF	ANA KRİTERLER	SONUÇ
Cho, S. vd. (2015) Application of fuzzy AHP to select the optimal heating facility for Korean horticulture and stockbreeding sectors.	Kore tarım ve hayvancılık sektöründe optimum ısıtma tesisinin seçilmesinde bulanık AHP yönteminin uygulanması	Jeo-termal	Faydalar	Tarım ve hayvancılık sektöründe ısıtma sistemlerinin seçiminde AHP kullanılmıştır. 4 tane ana kriter ve bunlara bağlı 11 tane alt kriter kullanılmıştır. Bunların yardımıyla 6 tane alternatif içinden en uygun ısı kaynağı olarak jeotermal ısı pompası seçilmiştir.
		Petrol	Fırsatlar	
		Kömür	Maliyet	
		Elektrik		
		Odun	Riskler	
		Aero-termal		

Tablo 3.3'nin devamı

YAZAR	KULLANIM ALANI	ALTERNATİF	ANA KRİTERLER	SONUÇ
Kurşunoğlu, N. ve Önder, M. (2015) Selection of an appropriate fan for an underground coal mine using the AHP.	Yer altı kömür madeni için uygun fan seçimi	Fan 2	Ekonomik	AHP yöntemi kullanılarak dört tane ana kriter yardımıyla üç tane alternatif fan çeşidi değerlendirilmiştir. Maden için en uygun fan çeşidinin Fan 1 olduğu ortaya konulmuştur.
		Fan 1	Çevresel	
			Teknik	
		Fan 3	Operasyonel	
Sun, W. vd. (2015) Selection of reference standard during method development using the AHP	Bu çalışmada Salvia Miltiorrhiza olarak bilinen ve ilaç yapımında kullanılan bitkiden elde edilen 6 farklı asit ve hazırlanışları AHP yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir.	danshensu	Elde edilebilirlik	Çalışma sonucunda protokateşik aldehitin ideal referans standart olduğu ve rozmanirik asitin % 79,8'lik kabiliyetle ikinci seçenek olduğu görülmüştür.
		protocatechuic aldehyde	Örnekteki bolluk	
		rosmarinic acid	Kimyasal denge	
		lithospermic acid	Doğruluk	
		salvianolic acid	Hassasiyet	
		alvianolic acid	Sağlamlık	
Zhou, Y. vd. (2015) Resource-based destination competitiveness evaluation using a hybrid AHP: The case study of West Virginia.	AHP yöntemi kullanılarak West Virginia eyaletinin diğer komşu eyaletlerle olan turizm rekabetinin değerlendirilmesi	Virginia	Tesisler	891 ziyaretçinin katıldığı bu çalışmada West Virginia eyaletinin macera-doğa tabanlı aktivitelerde ve eyalet sakinlerinin misafirperverlik-arkadaşlık alanında önde olduğu görülmüştür. Ancak restoran çeşitliliği ve çocuklara yönelik aktiviteler bakımından komşu eyaletlerle olan rekabetçiliği düşük kalmıştır.
		Maryland	Esas zenginlikler	
		West Virginia	Çekim merkezleri	
		Pennsylvania	Ayrıntılı belirleyiciler	
Yavaş, M. vd. (2014) Otomobil Seçimine Çok Kriterli Yaklaşım Önerisi.	Bu çalışmada müşterilerin otomobil seçim yaklaşımları incelenmiş, satın almada dikkat edilen kriterler tespit edilmiş. ANP ve AHP yöntemlerinin farklılıkları ifade edilmiş, uygulamadaki sonuçları karşılaştırılmıştır.	A1	Donanım	ANP Yöntemine göre ilk üç kriterlerin sıralaması; iç tasarım, güvenlik donanımı ve 1600cc motor hacmi, alternatifler; A1, A3 ve A2 otomobil markaları olarak; AHP Yöntemine göre ilk üç kriterler; donanım, tasarım ve yakıt türü, alternatifler ise A1, A2 ve A3 otomobil markaları şeklinde belirlenmiştir.
			Tasarım	
		A2	Yakıt Türü	
			Motor Hacmi	
			Şanzuman Türü	
		A3	Fiyat	
			Satış Sonrası Hizmetler	
Ömürbek, N. vd. (2013) Ürün Alternatif Seçiminde AHS bir Süt Fb. Uygulanması.	Bir süt fabrikasında AHP yöntemi kullanarak ürün alternatifi seçimi.	Beyaz Peynir	Satılabilirlik	Alternatiflerin sıralanması yogurt, ayran, kaşar peyniri, beyaz peynir, kaymak, tereyağ ve kefir şeklinde olmuştur. Hammadde temin ana kriterine göre yoğurt, satılabilirlik ana kriterine göre ayran ve karlılık ana kriterine göre ise yine yoğurt ilk sırada yer almaktadır.
		Kaşar Peynir	Verimlilik	
		Yoğurt	Üretim Süresi	
		Ayran		
		Kefir	Karlılık	
		Tereyağı	Hammadde Temini	
		Kaymak		
İpek, M. vd. (2013) Bir Otomobil Fabrikasında AHP ve BAHP ile Tedarikçi Seçimi.	Çalışma AHP ve BAHP yaklaşımlarıyla otomobil fabrikasında ön cam için tedarikçi alternatifleri arasından firmanın üretim sürecini aksatmayacak en uygun tedarikçinin seçilmesi.	Cam 1	Kalite	Uygulanan her iki yaklaşımda da önceden belirlenmiş kriterler ve ağırlıklar doğrultusunda CAM 3 firmasının seçilmesi uygun bulunmuştur.
		Cam 2	Kapasite	
		Cam 3	Sevkiyat	
			Fiyat	

Tablo 3.4'nin devamı

YAZAR	KULLANIM ALANI	ALTERNATİF	ANA KRİTERLER	SONUÇ
Kapar, K. (2013) Bir Üretim İşletmesinde AHS ile Tedarikçi Seçimi.	Bir işletmenin tedarikçi seçiminde AHS yönteminden yararlanılmış	A Tedarikçisi	Fiyat	Analiz edilen üç tedarikçi arasında uygulanan AHS yöntemi sonucunda elde edilen tedarikçi ağırlıklı puanları hesaplanmıştır. Buna göre; A Tedarikçisi 0,524, B Tedarikçisi 0,330, C Tedarikçisi 0,146 olarak bulunmuştur.
			Kalite	
		B Tedarikçisi	Teslimat	
			Esneklik	
		C Tedarikçisi	Teknoloji	
			Modern Yönetim Anlayışı	
Akman, S. vd. (2012) Tersine Lojistik Ağında Partnerlerin Etkin Seçimine Yönelik Kriterlerin Değerlendirilmesi.	Bu çalışmada, AHS yöntemi ile geri dönüşümü yapılan maddelerin lojistik ve nakliyat işlemleri kapsamında, partnerlerin belirlenmesinde etkili olacak seçim ve değerlendirme kriterleri belirlenmeye çalışılmış.	Samsun partnerliği	Genel Özellikler	Karar verici değerlendirmelerine bakıldığında en önemli ilk üç kriter; % 43 genel özellikler, % 26 coğrafi konum ve % 14 ekonomikdir.
			Coğrafi Konum	
		Eskişehir partnerliği	Ekonomik	
			Teslimat	
		Hannover partnerliği	Üretim	
			Teknik Yeterlilik	
Ayan, T. - Papuççu, H. (2012) Yenilenebilir Enerji Kaynakları Yatırım Projelerinin AHS ile Değerlendirilmesi.	Türkiye için hangi enerji kaynağına yatırımın daha uygun olacağının Analitik Hiyerarşi Süreci Yaklaşımı kullanılarak tespit edilmesidir	Güneş	Enerji	Analiz sonucunda; 0,29 önem oranıyla hidroelektrik, 0,19 önem oranıyla rüzgâr enerjisi, 0,18 önem oranıyla güneş enerjisi, 0,18 önem oranıyla jeotermal enerji, 0,16 önem oranıyla biyoyakıt enerjinin yatırım için uygun olabileceği tespit edilmiştir.
		Biyoyakıt	Eknonomik	
		Rüzgar	Çevresel	
		Hidroelektrik	Kurumsal	
		Jeotermal		
Dadaloğlu, Ö. vd. (2012) Depo Yeri Seçimi Problemine AHP-Vikor Yaklaşımı.	Çalışmada bir döküm fabrikasında alternatif iller arasından en iyi depo yerini belirleyerek, depo yeri seçimi modeli geliştirilmiştir. Kriterlerin ağırlıklandırılmasında AHP ve Konjoint Analizi yöntemi, alternatiflerin sıralanmasında ise VIKOR yaklaşımı kullanılmıştır.	Samsun	Satışlar	AHP-VIKOR modeli ile bulunan sıralama Samsun, Amasya, Ankara, Tunceli, Antalya, Diyarbakır, İstanbul, İzmir, Konya, Mardin, Eskişehir şeklindedir. Konjoint -VIKOR modeli ile bulunan sıralama ise Samsun, Amasya, Tunceli, Antalya, Ankara, Diyarbakır, İstanbul, Konya, Mardin, İzmir, Eskişehir şeklindedir.
		Antalya	Toptan ve Perakende Satış Arasındaki Oran	
		Konya		
		Eskişehir	Yolların Bulunması	
		İstanbul		
		Amasya	Rakip Firmaların Bulunması	
		Diyarbakır		
		Mardin	Depo Kiralama Maliyeti	
		Tunceli		
		Ankara	Potansiyel Büyüme	
		İzmir		
Yavuz, S. (2012) Öğretmenlerin Otomobil Tercihlerinde Etkili Olan Faktörlerin AH Yöntemiyle Belirlenmesi.	Çalışmada, öğretmenlerin otomobil tercihlerinde etkili olan faktörler bulunmaya çalışılmıştır. Bu amaç için kriterler ve bu kriterleri karşılayan alternatifler belirlenmiştir.	A Segmenti	Performans	Kriterler dikkate alındığında öğretmenlerin otomobil tercihi bakımından en önemli alternatif, A segmenti (0,233) otomobillerdir. Orta öneme sahip alternatifler, B segmenti (0,171), C segmenti (0,171) ve LCV segmenti (0,172) otomobillerdir. En az öneme sahip alternatifler ise, D segmenti (0,138) ve MPV segmenti (0,112) otomobillerdir.
		B Segmenti	Yakıt	
		C Segmenti	Güvenlik	
		D Segmenti	2. El Durumu	
		MPV Segmenti	Bakım Masrafları	
			Vergi ve Muayane	
		LCV Segmenti	Konfor ve Rahatlık	
			İç ve Bagaj Hacmi	

AHS'nin etkinliği ve popülerliğinden dolayı Expert Choice (www.expertchoice.com), Decision Lens (www.decisionlens.com), Super Decisions

(www.superdecisions.com), Criterium Decision Plus (www.infoharvest.com) ve ERGO (www.technologyevaluation.com) gibi ticari yazılımlar geliştirilmiştir.

3.6. ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİNİN AVANTAJ VE KISITLARI

Her yöntemin mutlaka olumlu veya olumsuz yönleri olduğu gibi Analitik Hiyerarşi Sürecinin de vardır. Aşağıda AHS'nin avantaj ve kısıtları sunulmuştur.

3.6.1. Analitik Hiyerarşi Sürecinin Avantajları

Saaty (1977: 261) Hiyerarşik yapının avantajlarını şu şekilde ifade etmektedir;

a. Hiyerarşik yapı sistemlere uyumlu entegrasyonların yapılmasını sağlar. Entegre davranış veya fonksiyon, hiyerarşik yapıdaki organizasyonda tek bir bileşende yapılan değişiklik, büyük bir sistemde karmaşık değişiklikler yaratabilme gerçeğine dayanır. Bu durum genellikle beklenenin tersidir.

b. Hiyerarşi ağacının tepesinde bulunan amacı gerçekleştirmek için, hiyerarşi kademelerindeki kriterlerin toplamlarını kullanırlar.

c. En fazla ayrıntı aşağı seviyelerde oluşur, daha fazla derinlemesine bilgi hiyerarşi ağacının üst seviyelerinde gerçekleşir. Bilgi ihtiyacı oluştukça hiyerarşik katman seviyesi de artmaktadır. Üst seviyede yapılan bir kısıtlama alt seviyede daha fazla olacaktır.

ç. Hiyerarşik yapıya sahip bir sistem verimli ve aynı eleman sayısına sahip hiyerarşik olmayan doğal bir sisteme göre daha hızlı gelişecektir.

d. Hiyerarşiler güvenilir ve esnektir. Lokal olan bir yanlışlık tüm sistemi etkilememektedir. Hiyerarşide tepede yer alan asıl problem, hiyerarşi katmanlarında ayrı ayrı yer alan problem sahalarına hiyerarşi vasıtası ile dağıtılmıştır. Seviyelerin hepsi ayrı bir problemi çözmektedir.

Kuruüzüm ve Atsan (2001: 93), Göksu (2008: 30) ve Kazançoğlu (2008: 110-111)'de çalışmalarında Analitik Hiyerarşi Sürecinin avantajları şu şekilde sıralamaktadırlar;

a. Karmaşık problemleri basitleştiren bir yapısı/süreci vardır,

b. Karar vericinin kararlarının tutarlılık derecesini ölçebilmesine imkan verir,

c. Bir karar problemine ilişkin hem objektif hem sübjektif düşüncelerle, hem nitel hem de nicel bilgilerin karar sürecine dahil edilmesine olanak verir,

d. AHS, karar vericinin hedefe ilişkin tercihlerini doğru bir şekilde belirlemesine olanak veren uygulaması kolay bir karar verme metodolojisi sağlar,

e. Grup kararlarında uygulanabilir olması,

f. Öğeler arası hiyerarşik yapının kurulması,

g. Karar vericilerin karar probleminin tanımı ve unsurlarına ilişkin anlayışlarını arttırır,

h. Çok sayıda ve türde kriteri ele alabilmesi,

i. Güvenilir olması,

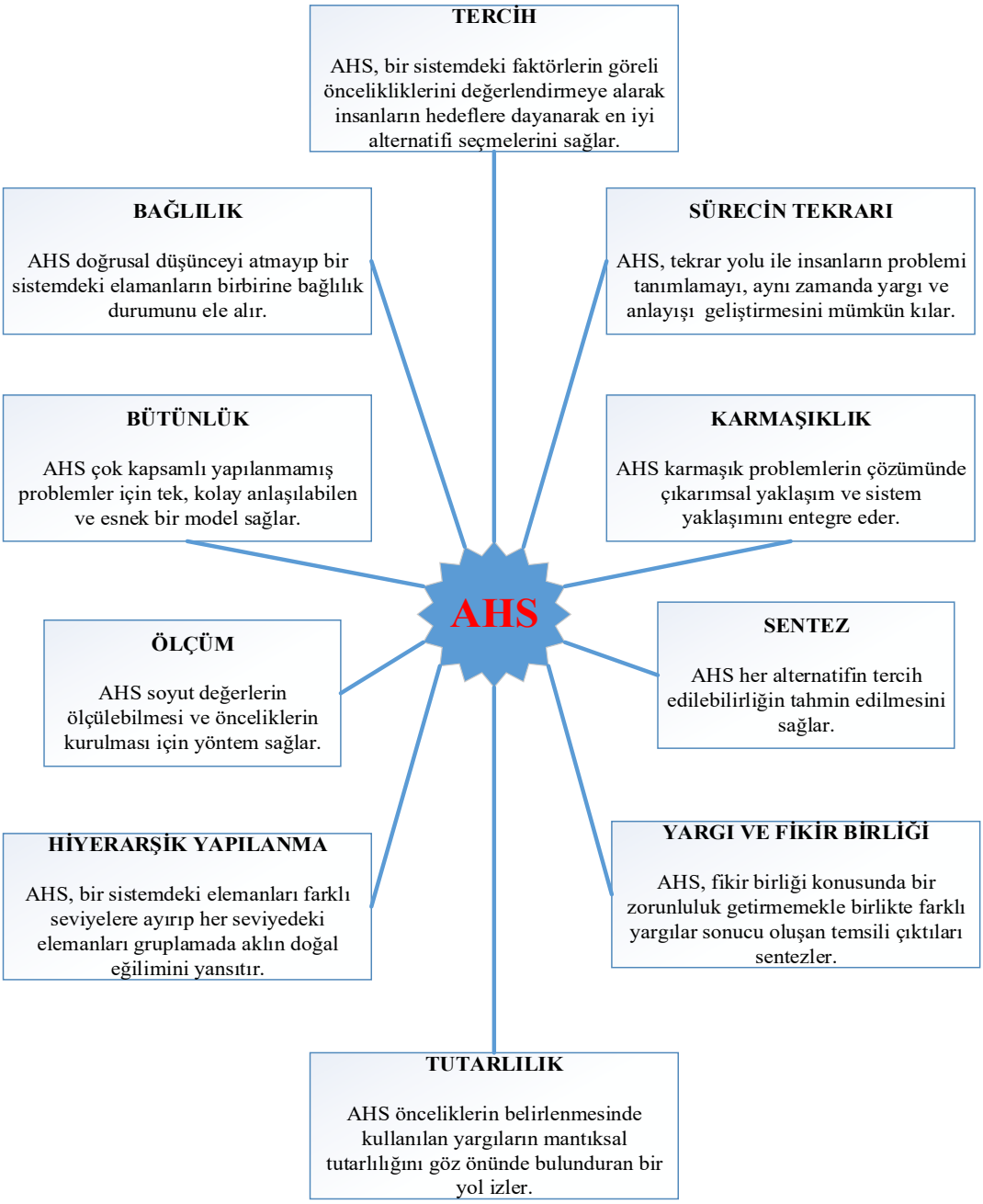
j. Yönetimsel karar ve sezgilerin farklılıklarında çok boyutlu yapısı,

k. Uzlaştırıcı özelliği,

l. Bilgi teknolojileri ile uyumlu,

m. Karar vericinin duyarlılık analizi yaparak nihai kararın esnekliğini analiz etmesi mümkündür.

Şekil 3.2'de Analitik Hiyerarşi Sürecinin faydaları özet olarak sunulmuştur.



Şekil 3.2: Analitik Hiyerarşi Sürecinin Faydaları

Kaynak: Ünal, 2010: 99; Yılmaz, 2014: 144

3.6.2. Analitik Hiyerarşi Sürecinin Kısıtları

AHS teorik ve uygulamaya yönelik bazı eleştirilere konu olmaktadır. Kuruüzüm ve Atsan (2001: 93)'de yaptıkları çalışmada AHS'nin kısıtları olarak aşağıdakileri belirtmişlerdir:

a. Sıra değiştirme (Rank Reversal) olgusu, AHS'nin uygulanmasında dikkat edilmesi gereken bir konudur ve herhangi bir karar alternatifi probleme eklendiğinde veya çıkarıldığında karar alternatifleri sıralamasının değişmesi durumudur. Sıra değiştirme durumunun geçerliliği konusunda literatürdeki tartışmalar devam etmektedir.

b. Modelleme sürecinin subjektif doğası, AHS'nin bir kısıtı olarak görülmektedir. Bu, metodolojinin "kesinlikle doğru" kararları garanti edemeyeceği anlamına gelir.

c. Bir karar hiyerarşisindeki kademe sayısı arttıkça ikili karşılaştırma sayısı da artar. Bu durum, AHS modelini kurmak için daha fazla zaman ve çabayı gerektirir. Expert Choice ve diğer yazılım programlarının kullanılması gereken zaman ve çabayı azaltmasına rağmen, metodolojinin yine de daha az biçimsel yöntemlere göre daha fazla zaman ve çabayı gerektirdiği ileri sürülmektedir.

3.7. ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİNİN AKSİYOMLARI

Tüm teoriler aksiyomlara dayanır. Aksiyomlar ne kadar basit ve az ise, teoriler de daha genel ve uygulanabilir olmaktadır. Başlangıçta AHS çok basit üç aksiyoma dayalıydı (Adamcsek, 2008: 5).

Analitik Hiyerarşi Sürecinde temel model bir pasta grafiğidir. Bir dilim grafiği çiziminde grafiğin tümü karar problemin amacını gösterir. Pastanın her bir dilimi amaca katkıda bulunan hedefleri gösterir. Pastadaki her bir dilim daha küçük hedefleri gösteren dilimlere ayrılabilir. Sonuç olarak en alt seviyedeki hedefler dilimlere bölünebilirler. Burada alternatif dilimlerin alt kriterlere ne kadar katkı sağladığı görünür. Alternatiflerin gösterdiği dilimlerdeki öncelikleri toplayarak her bir alternatifin organizasyonun hedeflerine ne katkı sağladığı bilinebilir (Forman ve Gass, 2001: 480; Ünal, 2010: 63).

Analitik Hiyerarşi Sürecinin karşılıklılık, homojenlik, bağımsız olma ve beklentiler olmak üzere 4 aksiyomu bulunmaktadır. Aşağıda bu aksiyomlar incelenecektir.

3.7.1. Karşılıklılık Aksiyomu

Çift taraflılık veya geçiş aksiyomu olarak da adlandırılan karşılıklılık aksiyomu (Reciprocal Axiom) iki taraflı olma veya tersi olma şeklinde de ifade edilmektedir (Kuruüzüm ve Atsan, 2001: 85). Bu aksiyom karşılaştırma matrislerinin oluşturulmasında kullanmaktadır.

Sonlu n elemanlı $\mathcal{A}$ kümesi, karar hiyerarşisinde aralarında seçim yapılacak alternatifler kümesi olmak üzere, bu kümedeki önem dereceleri $A_i$ve A_j olan herhangi iki i ve j alternatiflerinin $\mathfrak{D}$ kriterler kümesindeki herhangi bir C kriteri altında ikili karşılaştırmaları (Saaty: 1986: 844; Saaty: 2008b: 267);

Tüm Ai, Aj $\in \mathcal{A}$ ve $\mathcal{C} \in \mathfrak{D}$ olmak üzere,

$$P_c(A_i, A_j) = \frac{1}{P_c(A_j, A_i)}$$

Bir karşılaştırma matrisinin bilinmesi buna karşılık gelen diğer matrisinde bilinmesini sağlamaktadır. Eğer matrisin biri Aij ise diğeri Aji'dir (Saaty: 1986: 844). Yani A_i kriteri A_j kriterinden 5 kat önemli ise A_j kriteri de $A_i$kriterinden 1/5 kat önemli olmalıdır. Bu işlem karşılaştırma matrislerinin oluşturulmasında yardımcı olmaktadır.

Karşılaştırma matrisi ikili karşılaştırmalar yoluyla elde edilir. AHS'nin temeli olan bu özellik çok kriterli problemlerin çözümü için basit fakat güçlü bir yol olarak görülmektedir (Saaty, 2008b: 268).

3.7.2. Homojenlik Aksiyomu

Homojenlik aksiyomu (Homogeneity Axiom), karşılaştırılan elemanlar arasında aşırı farklılıklar olmaması gerektiğini, aksi durumda kararlarda ortaya çıkacak hataların artacağını ifade eder (Saaty, 1990: 20; Adamcsek, 2008: 6). Tutarlılığı arttırmak ve yapılacak ölçümlerin doğru olmasını sağlamak için karşılaştırılacak elemanların sayısı 9'dan fazla olmamalıdır (Saaty, 1990: 20; Ünal, 2010: 60).

İkili karşılaştırmalarda a ve b ölçütlerinden biri diğerine göre ∞ kez üstün kabul edilemez (Timor, 2011: 34).

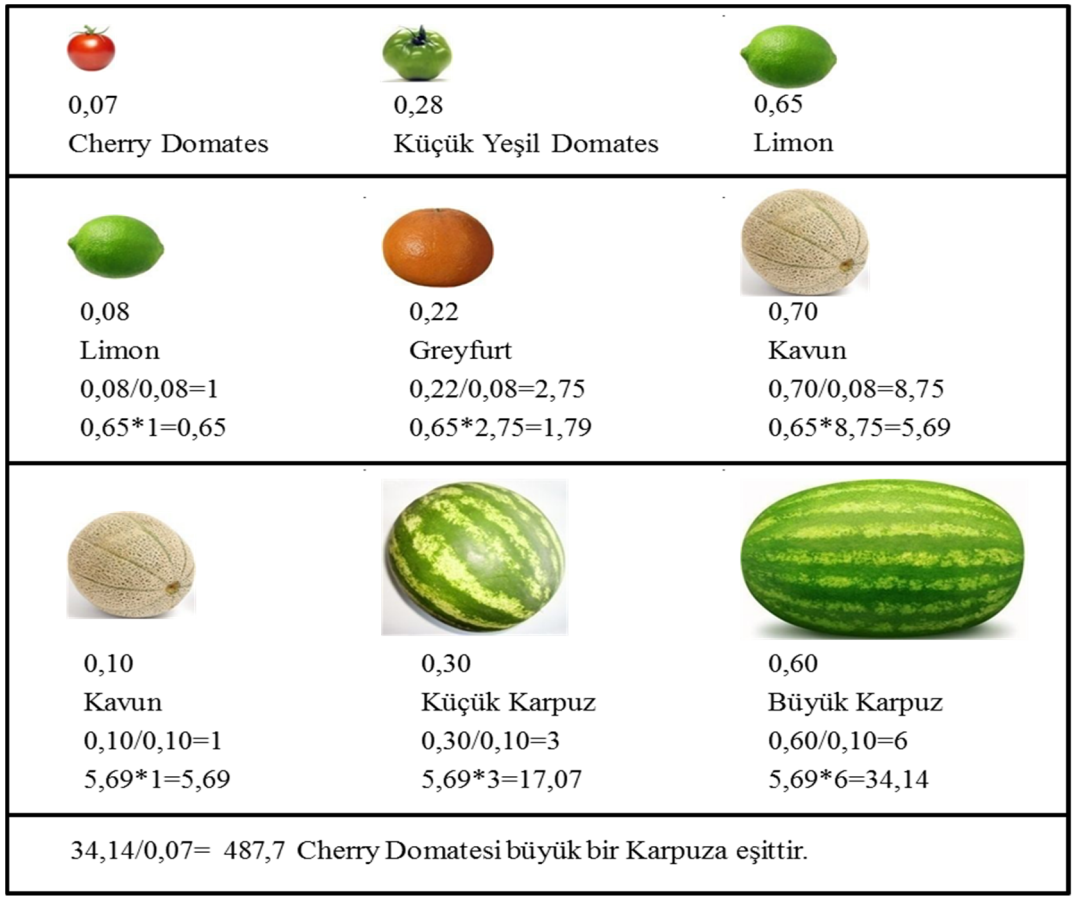
$$a_{ij} \neq \infty \text{ 'dir. } (\forall \text{ i ve j 'ler için})$$

Kullanılan temel ölçek 1-9 aralığında olduğundan aij değerleri de 1/9, 1/8, … , 1, … , 7, 8, 9 aralığında bir değer alacaktır (Timor, 2011: 34).

Bir kum tanesi ile bir portakalı hacim açısından kıyaslanamaz. İki kriter arasındaki farklılıklar çok büyük ise onları farklı kümelere yada hiyerarşideki farklı seviyelere yerleştirmek gerekir (Önder ve Önder, 2014: 35).

1-9 ölçeğinin ihtiyaç duyulan karşılaştırma aralığını kapsamadığı diğer bir değişle karşılaştırılan elemanların heterojen olmadığı durumlarda gruplandırma (clustering) kullanılır (Saaty, 2008b: 258). Gruplama, elemanları ortak bir özelliğe göre gruplandırılması sürecidir. Gruplandırma ile temel ölçek 1 - 9 aralığından 1 - ∞ aralığına genişletilmiş olmaktadır (Saaty, 2001: 400; Bushan ve Rai, 2004: 19).

Thomas L. Saaty Şekil 3.3'de 1 - 9 ölçeğini kullanarak bir misket domatesi büyük bir karpuz ile karşılaştırmıştır. Bu karşılaştırmanın yapılabilmesi için araya farklı büyüklüklerde meyveler eklemiştir. Bu aşamadan sonra, büyüklük bakımından benzer meyveleri gruplamıştır. Daha sonra her grupta bir meyveyi referans alıp bu kıyaslamayı büyük karpuza kadar sürdürmüştür. Referans meyveler üzerinden hesaplanan nispi büyüklüklerden yola çıkılarak cherry domates ve büyük karpuzun büyüklük bakımından kıyaslanabilmesi sağlanmıştır. Bu da ölçeği 1 – 9'dan 1 – 721'e kadar çıkarmıştır (Saaty ve Vargas, 2012: 32).



Şekil 3.3: Büyük ve Küçük Hacimli Nesneleri Gruplayarak Karşılaştırma

Kaynak: Saaty, 1999: 403; Saaty, 2001: 400; Saaty, 2004: 7; Saaty ve Vargas, 2012: 32

Bu karşılaştırma için yapılan gruptaki bütün önceliklerin o gruptaki eksenin önceliklerine bölmek ve önceki gruptaki eksenin öncelikleriyle çarpmaktır. Böylece grupların bütün öncelikleri birleştirilebilmektedir. Bunun için ikinci gruptaki kavunun birinci gruptaki cherry domatesine göre nispi büyüklüğünü elde etmek gerekir. Bunun için öncelikle ikinci gruptaki kavunu limonla karşılaştırılır (0,70/0,08). Sonucu (8,75) birinci gruptaki limonun önceliği (0,65) ile çarpılır ve 5,69 elde edilir. Böylelikle iki grup birleşmiş olur. Kavunun elde edilen önceliğini (5,69) cherry domatesinin önceliğine bölündüğünde elde edilen 81,29 bize kavunun, cherry domatesinden kaç kat büyük olduğunu gösterir. Bu işleme devam edilirse üçüncü gruptaki kavun ortak elaman olarak kullanılır. Sonuçta büyük karpuzun misket domatesinden 487,7 kez büyük olduğu sonucuna ulaşılır.

3.7.3. Bağımsız Olma Aksiyomu

Bağımsız olma aksiyomu (Synthesis Axiom) bir hiyerarşideki elemanların önceliklendirilmesi ile ilgili yargıların daha alt seviyedeki elemanlara bağlı olmadığını ifade eder. Bu aksiyom, uygulanacak hiyerarşik yapıdaki üst seviye hedeflerin öneminin, alt seviyelerle ilgili ağırlıklandırma, şekillendirme gibi herhangi bir faktöre bağlı olmadığı anlamına gelir (Adamcsek, 2008: 6).

Ölçütler kendi aralarında ve seçeneklerden bağımsızdır. Hiyerarşide elemanlar hakkında yargılar alt seviyedeki elemanlara bağlı değildir. Hiyerarşinin oluşturulmasında bu aksiyom baz alınır (Timor, 2011: 34).

Üst seviyedeki kriterlerin öncelikleri yeni bir alternatif eklendiğinde veya çıkarıldığında değişmemesi gerekmektedir (Kuruüzüm ve Atsan, 2001: 85; Timor, 2011: 34).

3.7.4. Beklentiler Aksiyomu

Beklentiler aksiyomu (Expectation Axiom) Thomas L. Saaty tarafından ve daha sonraki tarihlerde ileri sürülmüştür. Bu aksiyom, çıktı önceliklerinin karar vericinin ön bilgilerinden veya beklentilerinden radikal olarak farklı olmaması gerektiğini ifade eder (Adamcsek, 2008: 6).

Bir karar problemi ancak hiyerarşik yapıda sunulabilir ve bir karara varmak için, hiyerarşik yapının tam olduğu varsayılmalıdır. Mevcut karar problemini etkileyen her bir kriter ve alternatif hiyerarşide gösterilmek zorundadır (Timor, 2011: 34).

Beklentiler aksiyomu, AHS ile ilgili iki fikir öne sürmektedir. Birincisi, insanların düşüncelerinin arkasında bir kısım gerçekler olduğu ve insanların fikirlerinin sonuçlara yeterince yansıtıldığından emin olmak istemeleridir. İkincisi, alternatiflerin sırası hem karar vericilerin kararına hem de karar probleminin doğasına bağlı olduğudur (Saaty, 2008b: 271).

Bu önemli aksiyom AHS'nin genelliğini AHS'nin birçok yolla uygulanmasını mümkün kılmaktadır. Bundan dolayı bu aksiyoma bağlı kalmak AHS'nin uygun

olmayan yollarla kullanımını da engellemektedir (Forman ve Selly, 2001: 53; Forman ve Gass, 2001: 472).

AHS uygulamalarına katılan uzmanlar yargılarının güvenilir bir şekilde modelde temsil edildiklerinden emin olmak isterler. Hiyerarşi karar vericilerin beklentilerini karşılamalı ve karar problemi ile ilgili tüm unsurların sürece dahil edildiği konusunda uzmanları tatmin etmelidir. Ayrıca elde edilen öncelik sıraları, karar vericileri çok fazla şaşırtmamalıdır. Fakat karar vericinin bilgi, tecrübe ve beklentileri ile sonuçlar çok büyük farklılıklar da göstermemelidir (Önder ve Önder, 2014: 35).

3.8. ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİNİN PRENSİPLERİ

AHS ile problem çözmede üç temel ilke vardır. Saaty bunu üç temel prensibinde; Ayrıştırma (Decomposition), Mukayeseli Yargılama (Comparative Judgments) ve Önceliklerin Sentezlenmesi (Synthesis of Priorities) şeklinde sıralamaktadır (Saaty, 1986: 841; Harker ve Vargas, 1987: 1384; Forman ve Selly, 2001: 51). Bu prensipler aşağıda açıklanmıştır.

3.8.1. Ayrıştırma

Ayrıştırma (Decomposition) prensibi karmaşık problem gruplarını, alt gruplara ve daha alt grupların hiyerarşisi (Hierarchy Cluster) olarak yapılandırılmasını mümkün kılmaktadır (Forman ve Gass; 2001: 471).

AHS'nin ilk adımı olan ayrıştırma işlemi, bir karar probleminin daha kolay kavranmasını ve değerlendirilmesini sağlayan hiyerarşik bir düzende alt problemlere ayrıştırılmasıdır. Yani ayrıştırma işlemi karar hiyerarşisinin kurulması anlamına gelmektedir (Sarıoğlan, 2011: 167).

Thomas L. Saaty'ye (1990: 9) göre problemi hiyerarşi şeklinde düzenlemek iki amaca hizmet etmektedir. Birincisi, konuyla ilgili karmaşık ilişkilerin genel bir görünümü elde edilmektedir. İkinci olarak, karar verici, problemin büyüklüğünü her seviyede aynı düzeyde olup olmadığını değerlendirme imkanını elde etmektedir. Böylelikle karar verici homojen elemanları doğru bir şekilde karşılaştırabilmektedir.

Karar hiyerarşisi oluşturulurken seviyelerin sayısı problemin karmaşıklığına ve karar vericinin problemi çözerken ihtiyaç duyduğu ayrıntıya inme derecesine bağlıdır (Zahedi, 1986: 98).

Thomas L. Saaty, her seviyedeki elemanın sayısını 7 ± 2 olarak tavsiye etmektedir. Karşılaştırılacak eleman sayısının üst sınırı 9 olarak belirlemiştir (Saaty ve Özdemir, 2003: 233). Ancak bu gerekli bir şart değildir ve bu sınırlama bütün uygulamalar için ileri sürülmemektedir (Zahedi, 1986: 98). İkili karşılaştırmalarda bir elemanın en fazla kendisiyle birlikte 9 eleman ile karşılaştırılmasını insanın bilişsel yeteneklerinin sınırları bakımından önemli olduğu, yapılacak psikolojik çalışmalarda uygulanması önerilmektedir (Bhushan ve Rai, 2001: 19). Miller (1955: 5) insan beyninin kısa dönem hafızada işleyebileceği öğe sayısının üst sınırının 7 olduğunu, bu miktarın bazı kişilerde 5 iken, bazı kişilerde de 9 olabileceğini, ileri sürmüştür.

3.8.2. Mukayeseli Yargılama

Yargılama (Comparative Judgments) bir elemanın diğer eleman üzerindeki baskınlığı (önem, tercih veya olasılık) ile ilgili bir fikir beyanıdır (Saaty, 2008b: 273). İkili karşılaştırma, insanların belirli bir nesneyle ilgili tercih, önem ve olasılık bakımında karşılaştırma yaparken duygularını açıklamada kullandıkları doğal bir süreçtir (Saaty, 2001: 397). Mukayeseli (ikili) karşılaştırma, karar yargılarının oluşturulmasında yada bir kriterin diğer kritere göre ne kadar önemli olduğu bir karar vericiye sorulduğunda, karar vericinin düşüncesinin saptanması olayıdır (Sarıoğlan, 2011: 167).

Forman ve Selly (2001: 62)'ye göre bir modelde her seviyedeki elemanların karşılaştırılması üç bakımdan yapılmaktadır. **Önem (**Hedefleri veya aktörleri nispi önemleri bakımından karşılaştırırken), **Tercih (**Alternatifleri hedeflere göre karşılaştırılırken) ve **Olasılık (**Belirsiz olay veya senaryoları olma ihtimalleri bakımından karşılaştırırken).

3.8.3. Sentezleme/Hiyerarşi Kompozisyonu

Sentezleme ya da hiyerarşi kompozisyonu bir gruptaki elemanların lokal önceliklerin aynı grubun global önceliği ile çarpılmasıdır. Bu sayede hiyerarşideki her

bir elemanın global önceliği elde edilmektedir (Forman ve Gass, 2001: 471; Ünal, 2010; 67).

İkili karşılaştırma matrisleri oluşturulduktan sonra karşılaştırılan her elemanın önceliğinin (göreceli öneminin) hesaplanması anlamına gelmektedir (Sarıoğlan, 2011: 167). Karşılaştırılan her elemanın önceliğinin (göreli öneminin) hesaplanması sentezleme olarak adlandırılmaktadır. Sentezleme aşaması, en büyük öz değer ve karşılık gelen öz vektörün hesaplanması ve normalize edilmesi işlemidir. Normalizasyon işleminde çeşitli yöntemler olmasına rağmen her sütunun elemanlarının sütün toplamına bölünmesi ve elde edilen satır toplamlarının bu satırdaki eleman sayısına bölünmesi en fazla tercih edilen yöntemdir. Bu şekilde her kriter için öncelik vektörleri bulunmaktadır (Kuruüzüm ve Atsan, 2001: 87; Ünal 2010, 67).

Thomas L. Saaty, her hangi bir karar teorisinde en az iki sentezleme modeli olduğunu, ikili karşılaştırmalardan öncelikleri türetirken de, aşağıda sıralandığı gibi en az beş farklı yol bulunduğunu belirtmiştir (Saaty, 1990: 19; Ünal, 2010: 67).

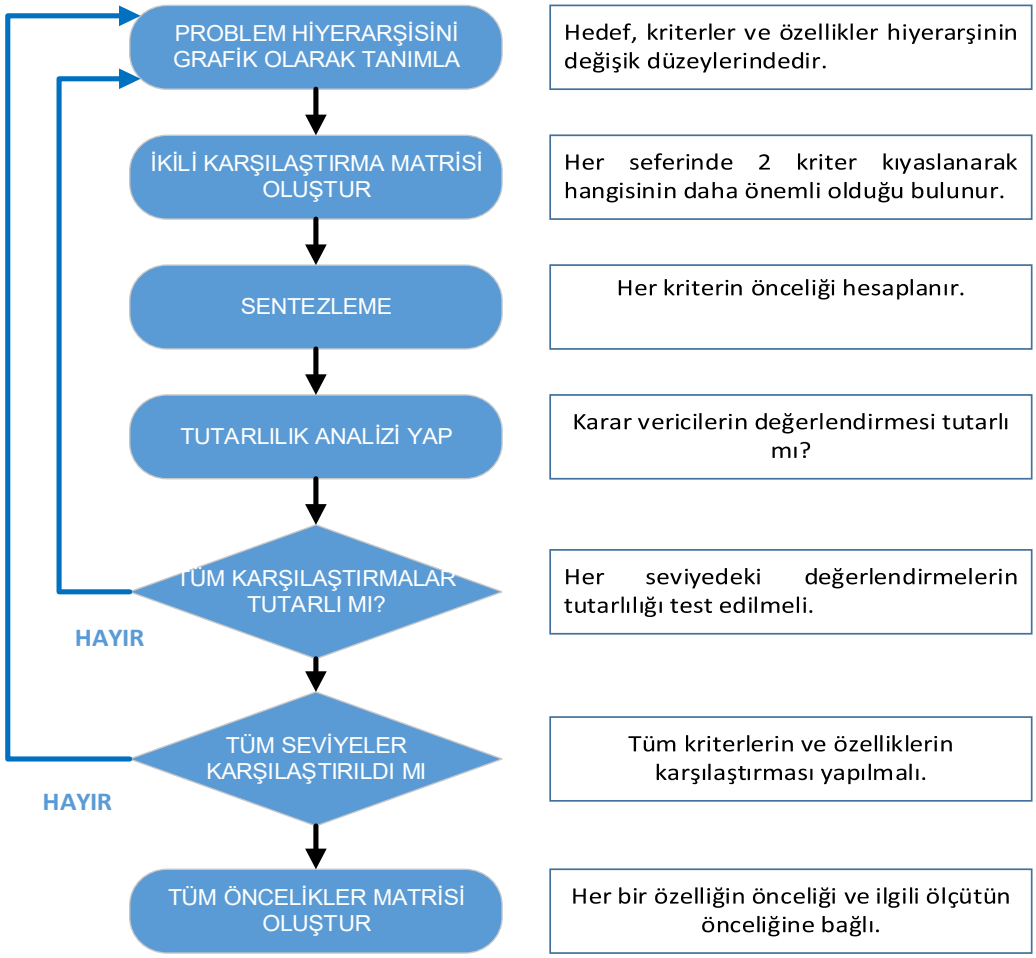
- ✓ Öz vektör çözümü,
- ✓ Satır toplamının ortalaması,
- ✓ Normalleştirilmiş kolon ortalaması,
- ✓ En küçük kare metodu ve logaritmik en küçük kareler metodu,
- ✓ Yargıların türetilmiş değerleri arasındaki farkların hataları toplamını minimize etme metotlarıdır.

3.9. ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİNİN AŞAMALARI

AHP metodu ile yapılacak seçimlerde ilgili karar probleminde temel olarak dört aşama mevcuttur. Bunlar;

Problemin *ayrıştırılması, önceliklerin oluşturulması, sentezleme* ve *duyarlılık analizi* şeklinde sıralanabilir (Forman ve Selly, 2001: 109). Problemin *tanımlanması ve aranan bilgilerin belirlenmesi,* en tepede amaç olacak şekilde karşılaştırmalardan elde edilen öncelikleri kullanarak *nispi ve genel ağırlıklara göre alternatiflerin sıralanması* (Saaty, 2008a: 85; Adamcsek, 2008: 5) şeklinde ifade edilmektedir.

Aşağıda Analitik Hiyerarşi Sürecinin akış şeması Şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4: AHS'nin Akış Şeması

Kaynak: Ho, 2008: 212; Harputlugil, 2012: 67

Şekil 3.4'de AHS hiyerarşi oluşumu, öncelik analizi ve tutarlılık tespiti olmak üzere üç temel aşamadan oluşur. Belirlenen amaç doğrultusunda oluşturulan hiyerarşi ağacı ve alt kriterler listelenerek kıyaslama matrisleri oluşturulur. Ana kriterler ve alt kriterler kendi aralarında ikili olarak kıyaslanır. Kıyaslama değerlerinin sonuçları tutarlılık analizine tabi tutulur. % 10'a kadar olan tutarsızlıklar kabul edilebilir ölçüler içinde kabul edilir. Bunu aşan değerlendirmeler için tutarsız cevaplara dönülerek uzman ve katılımcılardan tekrar değerlendirmesi ya da o kıyaslamaların geçersiz olması sağlanır. Tutarlılık analizinden sonra bireysel ya da grup karar verme süreçleri için öncelikler ortaya konmuş olur ve karar vericilerin alternatiflerin aldığı değerlere göre seçim yapmalarına yardımcı olur.

AHS ile çözüm aşamaları aşağıda çeşitli kaynaklardan derlenerek sunulmuştur (Saaty, 1999: 406; Kodali ve Chandra, 2001: 701-702; Saaty, 2008a: 85; Timor, 2011: 26-27; Saaty, 2013: 17-18; Önder ve Önder, 2014: 23-24).

a. Karar verme probleminin tanımlanması, amacın belirlenmesi,

b. Muhtemel karar alternatiflerin belirlenmesi,

c. Amacı gerçekleştirmek için gerekli kriterlerin belirlenmesi,

d. Karar problemi için Hiyerarşik Modelin belirlenmesi (En tepede karara ait hedef, ara düzeylerde kriterler ve en alt düzeyde alternatifler olacak şekilde),

e. Hiyerarşinin her seviyesi için kriterlerin ikili karşılaştırmalarının yapılması ve öncelik değeri/özdeğer/özvektörlerden yararlanarak kriterlerin göreceli önem derecelerinin hesaplanması,

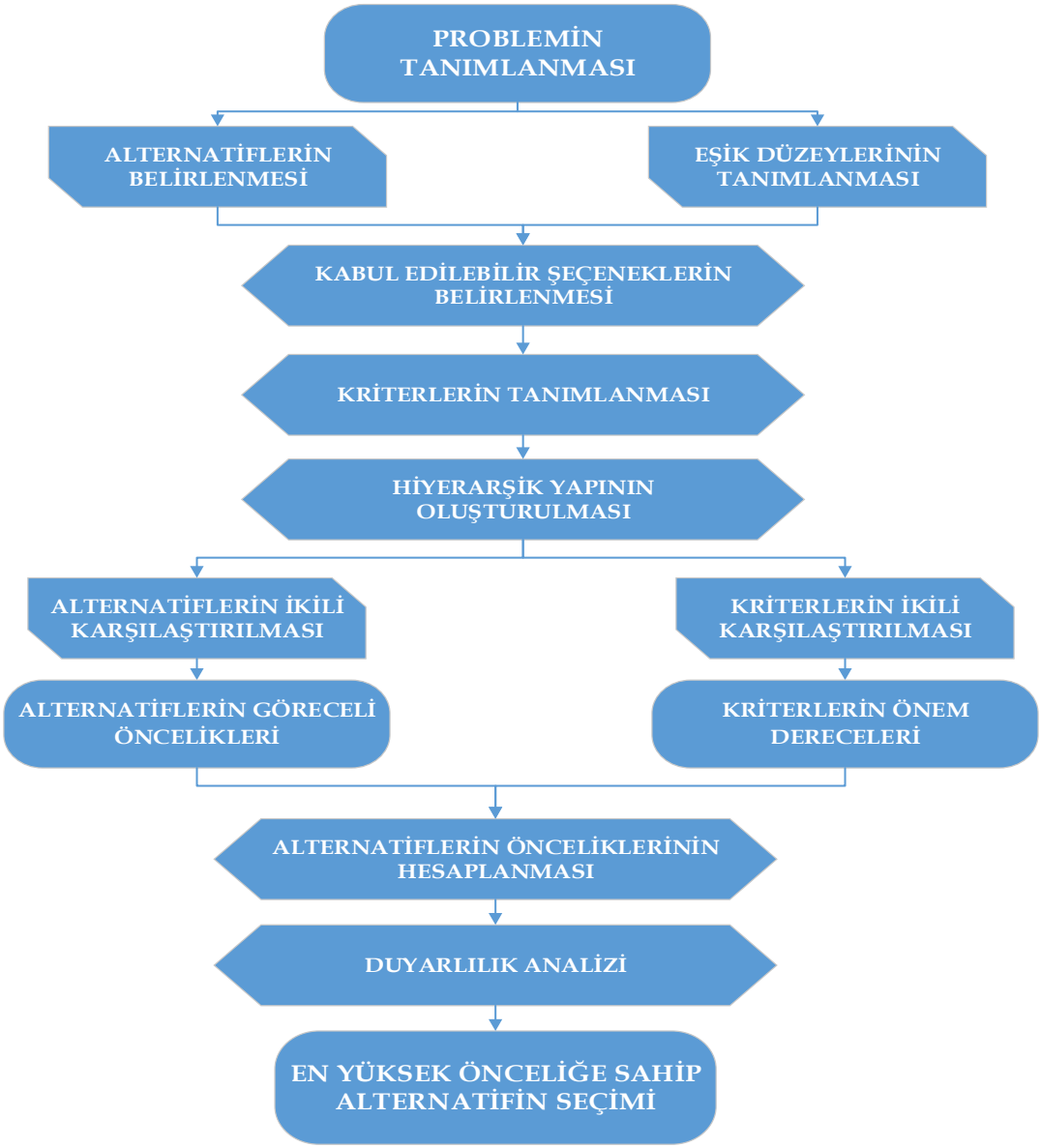
f. Kriterlere göre alternatiflerin ikili karşılaştırmaların yapılması ve önceliklerinin hesaplanması,

g. Uyum Oranının hesaplanması ve öncelik değerlerine göre alternatiflerin sıralanması,

h. Duyarlılık analizinin yapılması,

i. Göreli öncelik değerlerine göre alternatiflerin sıralanması ve en yüksek öncelik değerine sahip alternatifin seçilmesi.

Huizingh ve Vrolijk (1995: 4) bilgi sistemleri yönetiminde proje seçimi için AHP sürecini Şekil 3.5'de görüldüğü gibi 9 adımda tasarlamışlardır.



Şekil 3.5: Analitik Hiyerarşi Sürecinin Aşamaları

Kaynak: Huizingh ve Vrolijk, 1995: 4; Koçak, 2008: 869; Ünal, 2010; 77; Şener, 2011: 97; Yılmaz, 2014: 146

Şekil 3.5'de bir problemin AHS ile çözümü esnasında uygulanan adımlar gösterilmiştir. Bazı kaynaklarda farklı aşamalar gösterilse de, esasında ana basamaklar hep aynıdır. Bunlar, problemin tanımlanması, çözüm için kullanılacak kriterlerin ve alternatiflerin belirlenmesi, ikili karşılaştırmaların yapılması ve elde edilen öncelikler değerlerine göre alternatiflerin sıralanması şeklindedir.

3.9.1. Karar Probleminin Tanımlanması

Karar probleminin ilk aşamasında, problem tanımlanarak çözüm sürecinde uygulanacak kriterlerin seçimi ve kararın amacı oluşturulmalıdır. Daha sonra, yapılandırılmamış sorunun özellikleri tanımlanmalı, hedefler ve sonuçlar açıkça belirtilmelidir (Lee, 2010: 127). Kriter ve alternatifler amaç doğrultusunda şekilleneceğinden ilk başta karar problemin amacının açık ve net bir şekilde belirlenmesi önem arz etmektedir.

AHS'de, karar probleminin daha kolay anlaşılabilmesi için kademelendirmeler yapılması gerekmektedir. Hiyerarşinin en üstünde ana amaç, daha sonra kriterler ve alt kriterler ve en alt seviyede ise karar alternatifleri (seçenekler) yer almalıdır. Ayrıca sonuçların gerçekçi olması için AHS yöntemi, sadece nicel değil nitel öğelerin de hiyerarşiye dahil edilmesine olanak vermelidir.

Karar kriterleri ilk adımda amaç hiyerarşisi bazında tanımlanmakta ve bu hiyerarşi farklı seviyeler için yapılandırılmaktadır. Amaç hiyerarşisi aşağıdaki gibi seviyelere göre yapılandırılır (Bevilacqua ve Braglia, 2000: 75-76; Adamcsek, 2008: 7):

a. En üst seviyede Hedef (The Goal),
b. Orta seviyelerde Kriterler ve Alt Kriterler (Criteria & Sub-criteria),
c. En alt seviyede Alternatifler (The Alternatives).

Karar vericiler birbiriyle bağlantılı öğelerden oluşan karmaşık bir problemle karşılaştıklarında sağlıklı kararlar alabilmek için öncelikle bu sistemi iyi bir şekilde anlamaları gerekir. Ancak aynı yöntem kullanılsa bile, karar vericilerin değer yargılarındaki farklılıklarından dolayı aldıkları kararlar aynı olmayabilir. Çünkü farklı yargılar farklı önceliklerin oluşmasına ve farklı alternatiflerin seçilmesine neden olacaktır. Bundan dolayı da kullanılan yöntem aynı olsa bile yaklaşım özneldir.

3.9.2. Hiyerarşik Yapının Oluşturması

Thomas L. Saaty (1990: 9)'e göre problem yapılandırılırken hiyerarşinin tam olmasına gerek yoktur. Diğer bir değişle bir özellik veya kriter olarak her hangi bir

seviyedeki elemanın daha aşağı seviyedeki tüm elemanların görevini yapması gerekmez. Hiyerarşi geleneksel karar ağacı anlamına gelmemektedir. Her bir seviye problemin ayrı bir kesimini gösterebilir. Karar verici gerek gördüğünde herhangi bir seviyeyi veya elemanı sisteme ekleyebilir veya sistemden çıkararak amacı (hedefi) daha belirgin ortaya çıkarabilir.

Problemin tanımı yapıldıktan sonra, problemi alt parçalarına ayıran bir hiyerarşik yapı oluşturulur. Burada amaç, analistin seçim problemiyle ilgili ihtiyaçları genel bir pencereden görebilmesini sağlamaktır (Bevilacqua ve Braglia, 2000: 76; Adamcsek, 2008: 7; Lee, 2010: 136).

Bu hiyerarşide 3 ana seviye vardır:

a. Hedef (The Goal) : Toplam genel önceliği ifade eder.
b. Kriterler (Objectives) : Üzerinde düşünülmesi gereken faktörlerdir.
c. Alternatifler (Alternatives) : Hedefe ulaşmak için uygun alternatifleri ifade eder.

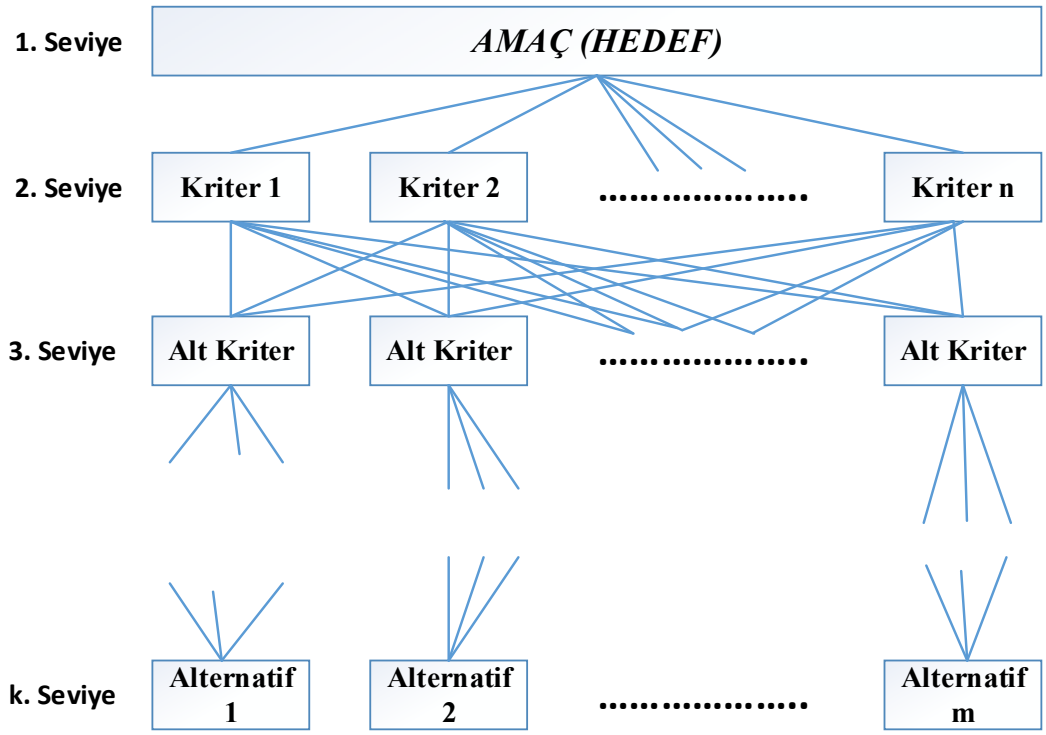
Satty (1999: 406), hiyerarşinin oluşturulmasında aşağıdaki konulara dikkat edilmesini tavsiye etmektedir.

1. Genel amacı belirleyiniz. Neyi başarmaya çalışıyorsunuz? Temel soru nedir?
2. Ana amacı oluşturan alt amaçları belirleyiniz. Eğer uygunsa kararı etkileyen zaman boyutunu belirleyiniz.
3. Alt amaçları tatmin edecek kriterleri belirleyiniz.
4. Kriterlerin alt kriterlerini belirleyiniz.
5. Kriterlerin veya alt kriterlerin parametrelerin değer aralıklarına veya orta, düşük ve yüksek gibi sözel yoğunluklara (verbal intensities) ayrıntılandırılabileceğine dikkat ediniz.
6. Gereken aktörleri belirleyiniz.
7. Aktörlerin amaçlarını belirleyiniz.
8. Aktörlerin politikalarını belirleyiniz.

9. Seçenekleri ya da sonuçları belirleyiniz. Evet-Hayır kararları için en çok tercih edilen sonucu alınız. Karar vermenin fayda ve maliyetini bu kararı vermememin fayda ve maliyet i ile karşılaştırınız.

10. Marjinal değerleri kullanarak fayda/maliyet analizi yapınız. Hangi alternatif en çok fayda sağlar? Hangi alternatif en fazla maliyetlidir? Hangi alternatif daha fazla risklidir? sorularına cevap arayınız.

Şekil 3.6'da örnek bir hiyerarşik yapı gösterilmiştir. En tepeden başlayarak kararın amacı, geniş bakış açışıyla hedefler, ara seviyeler, bir sonraki elemanların bağlandığı kriterler ve en aşağı seviyelerdeki seçenekler hiyerarşik bir şekilde yapılandırılmıştır.



Şekil 3.6: Hiyerarşi Örneği

Problem ortaya konurken mümkün olduğu kadar derinlemesine detaylara inilmelidir (Saaty, 1990: 9);

a. Fakat detaya inme elemanlara değişiklik yapıldığı zaman duyarlılığı kaybettirecek düzeyde olmamalıdır,
b. Probleme etki eden çevreyi (kriterleri) dikkate alın,
c. Çözüme katkı sağlayacak konu ya da özellikleri belirleyin,

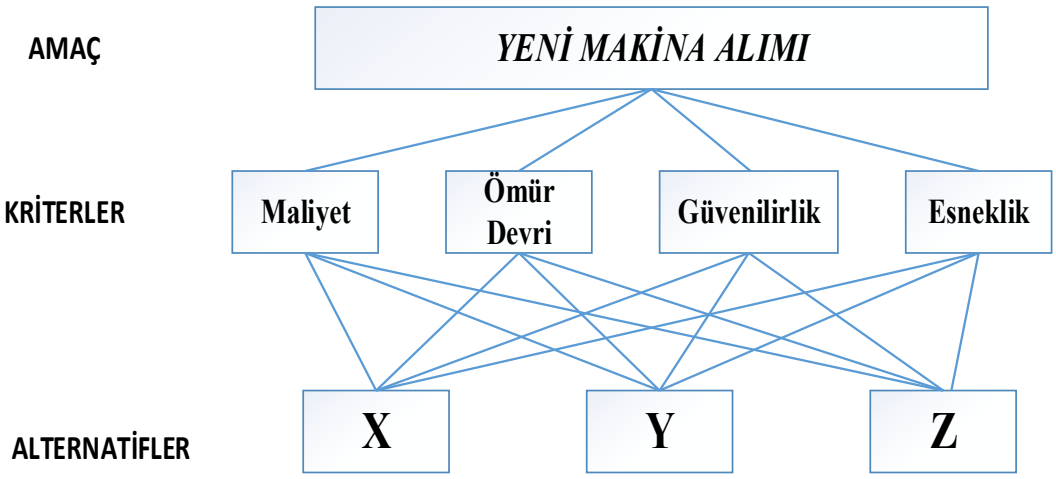
d. Problemle etki eden faktörleri belirleyin.

3.9.2.1 Hiyerarşi Oluşturma Örneği

Hiyerarşi oluşturmayı basit bir örnekle açıklamak gerekirse; bir firma belirli bir tipte yeni bir makine satın almak istemekte ve bu firma stratejisine göre satın almayı yönlendiren 4 faktör bulunmaktadır. Bunlar, maliyet, ömür devri (Kullanım Süresi), güvenirlik ve farklı üretim hatlarında kullanımlara uygunluk veya esnekliktir. Üreticiler firmanın bu ihtiyacı için 3 farklı ürün sunmaktadırlar (X, Y ve Z). Bu örneğe göre:

Kriter 1 : Maliyet
Kriter 2 : Ömür Devri
Kriter 3 : Güvenirlik
Kriter 4 : Esneklik
Alternatif 1 : X makinesini satın almak
Alternatif 2 : Y makinesini satın almak
Alternatif 3 : Z makinesini satın almak

Yukardaki örnek verilere göre oluşturulmuş hiyerarşi ağacı Şekil 3.7'de sunulmuştur.



Şekil 3.7: Hiyerarşi Ağacı Örneği

Şekil 3.7'de görüldüğü gibi oluşturulan hiyerarşi ağacının en tepesinde amaç (yeni makine alımı) yer almaktadır. Bir alt seviyede kriterler; maliyet, ömür devri,

güvenirlik ve esneklik, en alta ise alternatifler X, Y ve Z olacak şekilde hiyerarşi ağacı oluşturulmuştur.

3.9.3. İkili Karşılaştırma Matrislerinin Oluşturulması

Yargılama (Judgement) bir elemanın diğer eleman üzerindeki baskınlığı (Önem, tercih veya olasılık) hakkında fikir beyanıdır. Karşılaştırma (comperative judgement, pairwise comparison, reciprocal paired comparison) ise yargıları mutlak sayı ölçeği ile ilişkilendirerek anlamlı (semantic) şekle sokulmasıdır. Diğer bir deyişle iki eleman arasındaki ilişkinin numerik gösterimini ifade eder.

Bir modelde her bir seviyedeki elemanların karşılaştırılması üç bakımdan yapılır (Forman ve Selly, 2001: 62; Ünal, 2010: 65).

Önem : Hedefleri veya aktörleri nispi bakımdan karşılaştırırken,

Tercih : Alternatifleri hedeflere göre karşılaştırırken,

Olasılık : Belirsiz olay veya senaryoları olma ihtimalleri bakımından kıyaslarken yararlanılır.

Problem hiyerarşik yapıya oturtulduktan sonra bir sonraki adım önceliklerin yerleştirilmesidir. AHS'de iki çeşit parçalı karşılaştırma vardır; birincisi kriterler arasında yapılan ve öncelikleri gösteren karşılaştırmadır. İkincisi alternatifler arasında yapılan karşılaştırmadır ve bunlar alternatiflerin nispi değerlerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır (Adamcsek, 2008: 9).

Karşılaştırma yaparken bir kriterin diğer kritere göre ne kadar daha öncelikli/önemli olduğunu gösteren bir ölçeğe ihtiyaç vardır. Tablo 3.3'de Saaty tarafından hazırlanan ölçek verilmiştir.

Tablo 3.5: AHS 'de Puanlamalar

Tanım	Açıklayıcı Tanım	Puan	Açıklama
Eşit *(Equally)*	Eşit	1	İki faaliyet amaca eşit katkı sağlamaktadır
	Zayıf veya Cüzi (Weak or slight)	2	
Orta *(Moderately)*	Orta	3	Tecrübe ve yargı, faaliyetlerden birisini diğerine cüzi bir şekilde tercih ettirmektedir.
	Orta + (Moderate plus)	4	
Güçlü *(Strongly)*	Kuvvetli	5	Tecrübe ve yargı, faaliyetlerden birisini diğerine kuvvetli bir şekilde tercih ettirmektedir.
	Kuvvetli + (Strong plus)	6	
Çok Güçlü *(Very Strongly)*	Çok Kuvvetli veya Kanıtlanmış	7	Faaliyetlerden birisini diğerine güçlü bir şekilde tercih ettirmektedir ve o faaliyetin baskınlığı uygulamada görünmektedir.
	Çok Çok Güçlü (Very, very strong)	8	
Aşırı *(Extremeley)*	Aşırı	9	Bir faaliyet diğerine mutluk şekilde tercih edilmektedir.

Kaynak: Saaty, 1977: 246; Bevilacqua ve Braglia 2000: 76; Kuruüzüm ve Atsan, 2001: 88; Saaty, 2004: 6; Saaty, 2008a: 86; Saaty, 2008b: 257

İkili karşılaştırma, değerlendirmeyi yapan kişi veya komiteye iki elemanı karşılaştırarak tercihlerini açıklamasına imkan verir. Karşılaştırma yapılırken yalnızca iki kriterin düşünülmesi karşılaştırma yönteminin bir avantajıdır (Ünal, 2010: 65). İkili karşılaştırma sırasında yargılamaya konsantre olmak için iki elemanla ilgili tek bir özellik üzerinde yoğunlaşılır. Diğer özellikler ve elemanlar düşünülmez (Saatty, 1990: 12; Ünal, 2010: 66).

İkili karşılaştırmalar bir matrise dönüştürülür Faktörler arası karşılaştırma matrisi, $n \times n$ boyutlu bir kare matristir. Bir matriste n elemanlı bir set için $\frac{n.(n-1)}{2}$ adet karşılaştırmaya gerek vardır. İkili karşılaştırma matrisinin genel formu aşağıda gösterilmiştir:

$$\mathbf{A}=\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & . & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & . & a_{2n} \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ a_{n1} & a_{n2} & . & a_{nn} \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & . & a_{1n} \\ 1/a_{12} & a_{22} & . & a_{2n} \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & . & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Kaynak: Saaty, 2003: 236; Timor, 2011: 32

AHS'de sonuçlar, tamamen kişilerin vereceği ikili karşılaştırma yargılarına bağlı olduğundan sonuçların tutarlı olabilmesi için bu kişilerin konularında uzman veya en az orta derecede bilgili olmaları tercih edilir. Bu yargılara bağlı olarak AHS'deki ikili karşılaştırmalar matrisi oluşturulur. Bu matris, yargıların sayısal değerlere dönüştürülmesi ile oluşturulmaktadır (Forman ve Selly; 2001: 201).

3.9.3.1 Kriterleri Kıyaslama Örneği

Şekil 3.7'deki örneğin karşılaştırma matrislerini oluşturmak için öncelikle kriterlerin birbirlerine göre önem derecelerinin kıyaslamasının yapılabiliyor olması gerekmektedir. Bu doğrultuda, satın alma yapacak firma aşağıdaki bilgileri vermektedir (Maliyet, Ömür Devri, Güvenirlik ve Esneklik kriterleri n=4 elemanlı bir seti oluşturmaktadır).

$C(n,2)=\frac{n!}{(n-2)!x2!}$, $(n \geq 2)$ Buna göre formül düzenlenirse $\frac{n.(n-1)}{2}$ ifadesi elde edilir. Bu formülasyona göre 6 adet karşılaştırmaya gerek vardır.

Ömür Devri, Maliyetten 3 kat daha önemlidir.
Maliyet, Güvenirlikten 5 kat daha önemlidir.
Ömür Devri ve Esneklikten 5 kat daha önemlidir.
Esneklik, Güvenirlikten 3 kata daha önemlidir.
Ömür Devri, Güvenirlikten 5 kat daha önemlidir.
Maliyet ve Esneklik eşit öneme sahiptir.

$\mathbf{n=4}$ olduğuna göre ve kare matris hazırlanacağından $\mathbf{n^2}$ = 16 adet hücreye ihtiyaç vardır. Matris çizildikten sonra köşegenlere "1" yazılıp, verilen sayısal karşılaştırmalar girilir, 1'e göre simetrik alanlara bu sayıların tersi alınıp yazıldığında aşağıdaki gibi bir matris elde edilir.

Tablo 3.6: Karşılaştırma Matrisi Örneği I

KRİTERLER	Maliyet (A)	Ömür Devri (B)	Güvenirlik (C)	Esneklik (D)
Maliyet (A)	A ile A'nın karşılaştırmasının sonucu 1'e eşittir. (A/A)	A ile B'nin karşılaştırmasının sonucu 1/3'e eşittir. (A/B)	A ile C'nin karşılaştırmasının sonucu 5'e eşittir. (A/C)	A ile D'nin karşılaştırmasının sonucu 1'e eşittir. (B/A)
Ömür Devri (B)	B ile A'nın karşılaştırmasının sonucu 3'e eşittir. (B/A)	B ile B'nin karşılaştırmasının sonucu 1'e eşittir. (B/B)	B ile C'nin karşılaştırmasının sonucu 5'e eşittir. (B/C)	B ile D'nin karşılaştırmasının sonucu 5'e eşittir. (B/A)
Güvenirlik (C)	C ile A'nın karşılaştırmasının sonucu 1/5'e eşittir. (C/A)	C ile B'nin karşılaştırmasının sonucu 1/5'e eşittir. (C/B)	C ile C'nin karşılaştırmasının sonucu 1'e eşittir. (C/C)	C ile D'nin karşılaştırmasının sonucu 1/3'e eşittir. (C/D)
Esneklik (D)	D ile A'nın karşılaştırmasının sonucu 1'e eşittir. (D/A)	D ile B'nin karşılaştırmasının sonucu 1/5'e eşittir. (D/B)	D ile C'nin karşılaştırmasının sonucu 3'e eşittir. (D/C)	D ile D'nin karşılaştırmasının sonucu 1'e eşittir. (D/D)

Kaynak: Timor, 2011: 42; Şener, 2011: 100; Önder ve Önder, 2014: 29'den uyarlanmıştır

Tablo 3.4'e göre;

(AA) Köşegen üzerindeki bütün elemanların değeri 1'dir,

(BB) Köşegen üzerindeki bütün elemanların değeri 1'dir,

(CC) Köşegen üzerindeki bütün elemanların değeri 1'dir,

(DD) Köşegen üzerindeki bütün elemanların değeri 1'dir,

(AC) A ile C, A'ya göre karşılaştırılarak: A, C'ye göre (5) ''Kuvvetli Derecede Önemli'' bulunmuştur,

(BA) B ile A, B'ye göre karşılaştırılarak: B, A'ya göre (3) ''Orta Derecede Önemli'' bulunmuştur,

(BC) B ile C, B'ye göre karşılaştırılarak: B, C'ye göre (5) ''Kuvvetli Derecede Önemli'' bulunmuştur,

(BD) B ile D, B'ye göre karşılaştırılarak: B, D'ye göre (5) ''Kuvvetli Derecede Önemli'' bulunmuştur,

(DC) D ile C, D'ye göre karşılaştırılarak: D, C'ye göre (3) ''Orta Derecede Önemli'' bulunmuştur,

(AD) A ile D, A'ya göre karşılaştırılarak: A, D'ye göre (1) ''Eşit Derecede Önemli'' bulunmuştur,

(CA) $X_{31} = 1/X_{13} = 1/5$'dir.

(AB) $X_{12} = 1/X_{21} = 1/3$'dür.

(CB) $X_{32} = 1/X_{23} = 1/5$'dir.

(DB) $X_{42} = 1/X_{24} = 1/5$'dir.

(CD) $X_{34} = 1/X_{43} = 1/3$'dir.

(DA) $X_{41} = 1/X_{14} = 1$'dir.

Yukarıda yapılan işlemlerin sonucu karşılaştırma matrisi şeklinde Tablo 3.5'de gösterilmiştir.

Tablo 3.7: Karşılaştırma Matrisi Örneği II

KRİTERLER	Maliyet	Ömür Devri	Güvenirlik	Esneklik
Maliyet	1	1/3	5	1
Ömür Devri	3	1	5	5
Güvenirlik	1/5	1/5	1	1/3
Esneklik	1	1/5	3	1

Tablo 3.5'de maliyet, ömür devri, güvenirlik ve esneklik kriterlerine verilen öncelik (önem) değerleri tabloya işlendikten sonra elde edilen değerler gösterilmiştir. Bu değerler kullanılarak ikili kıyaslama işlemine geçilecektir.

3.9.3.2 Alternatiflerin Kriterlere Göre Kıyaslanması Örneği

Kriterlerin önemi değerlendirilmeden önce, alternatiflerin kriterlere göre tercih edilebilirliğinin değerlendirilmesi yapılmalıdır. Bu yaklaşım, kriterlerin önemi hakkında verilecek kararların alternatiflere bağlı olabileceği göz önünde bulundurulursa, alternatiflerin daha iyi anlaşılmasını sağladığından tavsiye edilmektedir (Adamcsek, 2008, 11-12).

Şekil 3.7'deki örnek için firma mühendislerinin X, Y ve Z opsiyonları hakkındaki değerlendirmeleri aşağıdaki gibidir:

X ürünün maliyeti düşük ve ömür devri uygun ama çok güvenilir değil ve diğer kullanımlar için kolay adapte olamamaktadır.

Y ürünü biraz daha maliyetli, ömür devri uygun ve çok güvenilir ama diğer kullanımlar için çok esnek değildir.

Z ürünü çok maliyetli, ömür devri çok uygun değil, Y ürününden biraz daha az güvenilir ama çok geniş kullanım alanlarına sahiptir.

Bu bilgilere göre, X, Y ve Z ürünlerinin 4 kriter (Maliyet, Ömür Devri, Güvenirlik ve Esneklik) bazında performanslarının gösterildiği 4 adet parçalı kıyaslama yapılmalıdır.

Maliyet	X	Y	Z
X	1	5	9
Y	1/5	1	3
Z	1/9	1/3	1

Ömür Devri	X	Y	Z
X	1	1	5
Y	1	1	3
Z	1/5	1/3	1

Güvenilirlik	X	Y	Z
X	1	1/3	1/9
Y	3	1	1/3
Z	9	3	1

Esneklik	X	Y	Z
X	1	1/9	1/5
Y	9	1	2
Z	5	1/2	1

3.9.4. Uyum Oranının Hesaplanması ve Öncelik Değerlerine Göre Alternatiflerin Sıralanması

Yukarıda görüldüğü gibi oluşturulan karşılama matrislerinden göreceli önem değerleri bazı yazılımlar (Expert Choice, Lotus 123 veya Microsoft Excel) yardımıyla

belirlenebilir. Bu yazılımların bulunmadığı durumlarda, göreceli önem vektörlerinin hesaplanmasında, en kaba yöntem, daha iyi yöntem, bölmeli iyi yöntem ve çarpmalı iyi yöntem olmak üzere 4 metot geliştirilmiştir (Saaty, 1980: 19; Albayrak, 2004: 58; Göksu, 2008: 25).

En Kaba Yöntem: Her satırın toplamı ayrı ayrı alınarak her toplam değeri söz konusu toplamların toplamına bölünür. Cevapların toplamı 1'e eşitlenir. Önem vektörü normalize edilmiş olur. Elde edilen vektörde 1'inci eleman 1'inci faaliyetin göreli önemini, 2'nci eleman 2'nci faaliyetin göreli önemini vb. ifade eder.

Daha İyi Yöntem: Her sütunda elemanlar toplanarak eşlenikleri bulunur. Bulunan her eşlenik, eşlenikler toplamına bölünmek suretiyle normalize edilir.

Bölmeli İyi Yöntem: Her sütunda elemanlar, o sütun toplamına bölünür. Elde edilen değerlerin satır toplamı bulunur ve bu toplam satırda bulunan eleman sayısına bölünür.

Çarpmalı İyi Yöntem: Her satırda n adet eleman birbiriyle çarpılarak çarpım sonucunun n'inci dereceden kökü alınır. Elde edilen değerler normalize edilir.

Bu yöntemlerle veya bazı yazılımlar yardımıyla hesaplanan önem dereceleri tutarlı olup olmadığının kontrolü sağlanmalıdır. Tutarlılık, önceliklerin birbirleriyle olan matematiksel ve mantıksal ilişkisini ifade eder.

Genellikle karmaşık bir karar problemi nicel (kantitatif) ve nitel (kalitatif) kriterleri kapsar. Bu nedenler ikili karşılaştırmalardan elde edilen yargılamalar doğası gereği sübjektiftir. Aynı zamanda insan doğasının gereği karşılaştırmalar tutarlı (consistent) olmayabilir. Karşılaştırmalardaki tutarsızlık alternatiflerin sıralanma tercihlerinin öncelik değerlerinin tutarsız olması sonucunu doğurabilir. İkili karşılaştırmalardaki yargılarda karar vericinin tutarlılığı iki şekilde anlaşılmalıdır. Birincisi geçişli (transitive) tercihlerin tanımlanması, ikincisi ise tercihlerin önemini gösteren ilişkilerin belirlenmesi ve bu ilişkinin diğer karşılaştırmalar üzerindeki etkisidir. Geçişli tercih denince eğer A, B'ye tercih ediliyor ve B de C'ye tercih ediliyorsa o zaman A, C'ye tercih edilmelidir. Tercihin önemi denince şu anlaşılmalıdır; Eğer A, B'den 2 kez önemli ise ve B, C'den 3 kez önemli ise, o zaman

A, C'den 6 kez önemli olmalıdır. Çoğu kez karar verici bu tip ilişkiyi doğru şekilde ifade edemeyebilir. Sonuç olarak bu ilişkinin ihlal edilmesi tutarsızlığa sebep olur (Vila and Beccue, 1995: 992-993).

Thomas L. Saaty (1990: 16), 3x3 matris için yaklaşık % 5, 4x4 matris için yaklaşık % 8 ve daha büyük matrisler için yaklaşık % 10 tutarsızlık oranının kabul edilebileceğini belirtmiştir. Forman ve Selly'ye (2001: 49) göre AHP teorisi mükemmel bir tutarlılık talep etmediği için bazı durumlarda % 10'dan daha yüksek tutarsızlık oranları kabul edilebilir. Tutarsızlık oranının düşük olması karar verme sürecinin amacı olmamalıdır. Düşük tutarsızlık oranı gerekli fakat yeterli değildir. Doğru (accurate) olma tutarlı olmadan daha önemli olarak kabul edilmektedir (Ünal, 2010: 93-94) .

Tutarlılık hesaplanırken sübjektif algıların tutarlılığını ve göreceli ağırlıkların doğruluğunu sağlamak için tutarlılık indeksi (CI) ve uyum oranı (CR) olmak üzere iki katsayı kullanılmaktadır. Söz konusu Tutarlılık İndeksinin (CI) hesaplanabilmesi için denklem 3.1, Uyum Oranı (CR) için ise denklem 3.2'deki formül kullanılır.

Tutarlılık oranının hesaplanmasında izlenecek adımlar ise şu şekildedir;

1. *Karşılaştırma matrisinin* her bir satırı için, sütunlarda yer alan elemanların ağırlıklarının toplamı hesaplanır.

2. Karşılaştırma matrisinin her bir sütunundaki eleman, elde edilen toplam sütun ağırlığına bölünerek *Normalize Edilmiş Matris* hesaplanır.

3. Normalize edilmiş matrisin her bir satırının ortalaması alınarak *Öncelikler Vektörü* hesaplanır.

4. Öncelikler vektörü hesaplandıktan sonra, elde edilen vektör başlangıçta verilen karşılaştırma matrisi ile çarpılarak, Karşılaştırma matrisini dikkate alan *Tüm Öncelikler Matrisi* oluşturulur.

5. Tutarlılık İndeksi (CI) olup aşağıdaki formül 3.1 ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Tutarlılık İndeksi } (CI) = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \qquad \textbf{(3.1)}$$

Bir kare matrisinin özdeğerleri arsındaki en büyük değer λ_{max} ile ifade edilmektedir. λ_{max}'ı hesaplamak için tüm öncelikler matrisinin her bir elemanı, öncelikler vektörü elemanına bölünerek elde edilen yeni matris elemanlarının ortalaması alınmaktadır. Bu arada λ_{max} değeri n değerine ne kadar çok yakınsa bulunan sonuçlar da o kadar tutarlı olur.

6. Uyum Oranının (CR) hesaplanabilmesi tutarlılık indeksi, tesadüfilik göstergesine bölünür. Bunun için ise aşağıda 3.2 formülü kullanılmaktadır.

$$\text{Uyum Oranı } (CR) = \frac{Tudarlılık\ İndeksi\ (CI)}{Tesadüfilik\ Göstergesi\ (RI)} \qquad \textbf{(3.2)}$$

Tutarlılık indeksi (Consistency Index) ve uyum oranı (Consistency Ratio) yukarıda gösterilen formüllerle (3.1 ve 3.2) hesaplanmaktadır. Uyum oranı hesaplanmasında kullanılmak üzere, Saatty tarafından geliştirilen 15 boyutlu matrislere kadar hesaplanan tesadüfilik çizelgesi Tablo 3.6'daki gibidir.

Tablo 3.8: Tesadüfilik Göstergesi

Karar Alternatifleri Sayısı (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Tesadüfilik Göstergesi (RI)	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49	1,51	1,53	1,56	1,57	1,59

Kaynak: Saaty ve Özdenir, 2003: 241; Saaty ve Tran, 2007: 966

Uyum oranını bulmak için tutarlılık indeksi, tesadüfilik göstergesine bölünür. Elde edilen oran 0.10'a eşit veya daha düşükse yapılan işlemlerin tutarlı olduğuna karar verilir (Göksu, 2008: 26). Tutarlı olmadığı durumlarda ikili karşılaştırmalardaki değerler tekrar gözden geçirilip, hesaplamalar tekrar yapılır. Bu işlem tutarlı sonuca ulaşıncaya kadar devam eder.

Bir örnek ile açıklamak için örnek vaka için oluşturulan Şekil 3.6'daki hiyerarşi şeması ve Tablo 3.5'de oluşturulan karşılaştırma matrisindeki değerler kullanılmıştır.

Tablo 3.9: Normalizasyon İşlemi

KRİTERLER	Maliyet	Ömür Devri	Güvenirlik	Esneklik
Maliyet	1/(5.20)	0.33/(1.73)	5/(14)	1/(7.33)
Ömür Devri	3/(5.20)	1/(1.73)	5/(14)	5/(7.33)
Güvenirlik	0.20/(5.20)	0.20/(1.73)	1/(14)	0.33/(7.33)
Esneklik	1/(5.20)	0.20/(1.73)	3/(14)	1/(7.33)
TOPLAM	**5.20**	**1.73**	**14**	**7.33**

Tablo 3.7'de normalizasyon işleminde her bir hücre, sütundaki hücreler toplamına bölünmekte ve böylece normalize edilmiş matris elde edilmektedir. Bulunan bu değerler Tablo 3.8'de gösterildiği gibi öncelik vektörü (ağırlık, özvektör) hesabında kullanılacaktır.

Tablo 3.10: Normalize Edilmiş Matris ve Öncelik Vektörü Hesabı

KRİTERLER	Maliyet	Ömür Devri	Güvenirlik	Esneklik	ORTALAMA
Maliyet	0,192	0,191	0,357	0,136	**0,219**
Ömür Devri	0,577	0,578	0,357	0,682	**0,549**
Güvenirlik	0,038	0,116	0,071	0,045	**0,068**
Esneklik	0,192	0,116	0,214	0,136	**0,165**

Tablo 3.8'de normalize edilmiş matristeki değerler kullanarak öncelik vektörü hesabı yapılmıştır. Bunun için her satırdaki değerler toplanarak sütün sayısına bölünmüştür. Yani aritmetik ortalaması alınmıştır.

Aşağıda gösterilen matematiksel işlemde matris hesabı yapılmıştır. Tablo 3.5'de oluşturulan örnek karşılaştırma matrisindeki değerler kullanılmıştır. Her sütun ayrı ayrı Tablo 3.8'de hesaplanan öncelik vektör değeri ile çarpılarak tüm öncelikler matrisi oluşturulmuştur.

$$\begin{bmatrix} 1 & 0,33 & 5 & 1 \\ 3 & 1 & 5 & 5 \\ 0,20 & 0,20 & 1 & 0,33 \\ 1 & 0,20 & 3 & 1 \end{bmatrix} X \begin{bmatrix} 0,219 \\ 0,549 \\ 0,068 \\ 0,165 \end{bmatrix} =$$

$$= 0,219X\begin{bmatrix} 1 \\ 3 \\ 0,20 \\ 1 \end{bmatrix} + 0,549X\begin{bmatrix} 0,33 \\ 1 \\ 0,20 \\ 0,20 \end{bmatrix} + 0,068X\begin{bmatrix} 5 \\ 5 \\ 1 \\ 3 \end{bmatrix} + 0,165X\begin{bmatrix} 1 \\ 5 \\ 0,33 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0,219 & 0,181 & 0,340 & 0,165 \\ 0,657 & 0,549 & 0,340 & 0,825 \\ 0,044 & 0,110 & 0,068 & 0,055 \\ 0,219 & 0,110 & 0,204 & 0,165 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,905 \\ 2,371 \\ 0,277 \\ 0,698 \end{bmatrix}$$

Daha sonra ağırlıklı toplam matrisin her bir elemanı sırasıyla aşağıda gösterildiği şekilde öncelik vektörü elemanına bölünür.

0,905/0,219= 4,132

2,371/0,549= 4,208

0,277/0,068= 4,074

0,698/0,165= 4.230

Bulunan bu değerlerin ortalaması alınarak λ_{max} bulunur. Bir kare matrisin özdeğerleri arasındaki en büyük kıymet λ_{max} ile ifade edilmektedir.

$$\lambda_{max} = \frac{(4,132 + 4,208 + 4,074 + 4,230)}{4} = 4,161$$

λ_{max} hesaplandıktan sonra Tutarlılık İndeksi (CI) aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$\text{Tutarlılık İndeksi } (CI) = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{4,161 - 4}{4 - 1} = 0,054$$

$$\text{Uyum Oranı } (CR) = \frac{\textit{Tudarlılık İndeksi (CI)}}{\textit{Tesadüfilik Göstergesi (RI)}} = \frac{0,054}{0,89} = 0,061$$

Tasarlanan modelde 0,061 tutarsızlık değeri 0,1 değerinden *daha küçük olduğundan* dolayı *karşılaştırma matrisi tutarlı olarak kabul* edilmiştir.

Uyum oranı başka bir deyişle Tutarsızlık (inconsistency) oranının "0" olması karar verici yargılarında tümü ile tutarlı olduğunu göstermektedir. Bu oranının % 10 ve daha aşağı olması genellikle kabul edilebilir bulunmaktadır. Hesaplamalarda 0.10'a eşit veya daha düşük bir tutarlılık indeksi elde edilirse, alternatiflerin sıralaması aşamasına geçilebilir. Alternatifler hesaplanan göreli ağırlıklarına göre sıralanır. En büyük göreli ağırlığa sahip olan alternatif seçilir ve uygulanır.

3.9.5. Duyarlılık Analizinin Yapılması

Bevilacqua ve Braglia, (2000)'ye göre; Duyarlılık Analizi (Sensitivity Analysis) alternatiflerin, hedefin hemen altındaki kriter önceliklerindeki değişimlere duyarlılığını araştırmak için kullanılır. Bir kriterin önceliği arttığında, kalan diğer kriterlerin öncelik toplamları mutlaka azalır. Böyle bir durumda tüm alternatiflerin öncelikleri tekrar hesaplanmalıdır.

Alternatiflerin sıralamaları oluşturulduktan sonra kurulan modelin sonuçlarını gözden geçirmek gerekmektedir. Bu amaçla AHS'nin bu aşamasında, alternatiflerin sıralamasının ve nihai kararın, yargılardaki değişikliklere karşı ne kadar duyarlı olduğu değerlendirilir. İkili karşılaştırmaların oluşturulmasında yargıların kişiden kişiye göre değişebileceği veya daha önce belirli bir yargıda bulunan kişinin zamanla düşüncelerinin değişebileceği göz önüne alınmaktadır (Keçek ve Yıldırım, 2010: 202).

Duyarlılık analizi (Sensitivity Analysis) alternatiflerin her bir hedefle ne kadar iyi performansa sahip olduğunu ve alternatiflerin hedeflerin öneminde yapılacak değişikliklere ne kadar duyarlı olduklarını göstermektedir (Forman ve Selly; 2001:79).

Alternatiflerin sıralanmasından sonra, duyarlılık analizi ikili karşılaştırmaların oluşturulmasında yargıların kişiden kişiye farklılık gösterebileceği ya da daha önce belirli bir yargıda bulunan karar vericinin zamanla düşüncelerinin farklılaşabileceği varsayımına dayanmaktadır. Duyarlılık analizi modelin herhangi bir üyesi veya üyelerinde değişiklik yapılırsa, bundan çözüm nasıl etkilendiğini göstermektedir. Herhangi bir üyedeki değişimin karar üzerindeki etkisi fazla ise kararın o elemandaki değişime karşı duyarlı olduğu sonucuna varılır (Tatman, 2011: 42).

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ METODU İLE ALTERNATİF BAKIM STRATEJİSİ SEÇİMİ: BEYAZ EŞYA SOĞUTUCU KOMPONENTLERİ ÜRETİCİSİ OLAN İŞLETMEDE YAPILAN BİR UYGULAMA

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) metodu ile alternatif bakım stratejisi seçimi ile ilgili örnek bir uygulama yapabilmek için İstanbul Serbest Bölge'de faaliyet gösteren ve beyaz eşya soğutucu komponentleri üreten bir işletme seçilmiştir.

Çalışmada kullanılacak olan verilere ulaşma konusunda firma yetkilileri ve çalışanları ile olan olumlu diyalog, çalışmanın firmaya ve firmanın bu çalışmaya karşılıklı olarak sağlayacağı olumlu yönde katkı, bu firmanın seçilmesinde etkili olmuştur.

Analitik Hiyerarşi Sürecinin çalışmada yönetm olarak seçilmesinin nedeni ise, çok kriterli karar vermede kriterlerin ve alternatiflerin önceliklendirilmesinde, sıralanmasında ve seçiminde bilgisyar yazılımları (MS Excel, Expert Choice) ile çözümlemesine uygun olmasıdır. Ayrıca literatürde bu şekilde çalışmaların olması ve kıyaslama/karşılaştırmaların ikili yapılmasına imkan tanıması AHS metodunun seçilmesinde etkili olmuştur.

Uygulama yapılan fabrikada çözümlemeye geçmeden önce; konuyla ilgili literatür genişçe taranmış, yapılan bu uygulamalardaki bakım stratejilerine etki eden faktörler (kriterler) ayrıntılı olarak incelenmiştir. Literatür taraması sonucunda uygulamalarda kullanılacak bu kriterlerin belirlenmesi için şahsım, fabrikada çalışan fabrika müdürü, bakım mühendisi, bakım personeli ve ilgili personel ile yüz yüze

karşılıklı fikir alışverişi içerisinde problem çözümü için gerekli olan ana kriter ve alt kriterlere karar verilmiştir.

İşletme için önemli olan ana kriterler ve alt kriterlerin belirlenmesi ve tanımlanmasından sonra, işletmede uygulanabilecek alternatifler (bakım stratejileri) gözden geçirilmiştir. İlgili personelin bilgi ve tecrübeleri ışığında uygulanabilecek bakım stratejileri ve firma için önem arz eden kriterlerin ne kadar öneme sahip olduğu ilgililerle karşılıklı görüşmeler yapılarak değerlendirilmiş, kriterlerin ve alternatiflerin karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur. Oluşturulan karşılaştırma matrisleri Expert Choice paket programına girilmiş, programın oluşturduğu sonuçlar incelenerek personelin yaptığı değerlendirmelerin tutarlı olup olmadığı test edilmiştir.

Sonra, programın oluşturduğu tutarlı sonuçlar ve elde edilen bulgulara göre uygun bakım alternatifleri sıralanmış ve işletmede hangi bakım stratejisinin uygulanmasının optimum faydayı sağlayacağı belirlenmeye çalışılmıştır.

Sonra, belirlenen bu kriterlerin değerlendirmesinde (önem derecesinde) değişiklikler olması durumunda, buna bağlı olarak bakım alternatiflerdeki sıralama değişiklikleri (duyarlılık analizi) incelenmiş ve bu bilgiler firma yetkilileri ile paylaşılmıştır.

4.1. UYGULAMANIN YAPILDIĞI FİRMA HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Uygulamanın yapıldığı firma, Avrupa'nın buzdolabı parçaları üreten en büyük firmalarından birisi olup, yıllık 8.000 ton bakır boru üretim kapasitesine sahiptir. İşletmenin Eskişehir'de 1, Manisa'da 1 ve İstanbul'da 4 olmak üzere toplam 6 fabrikası vardır. Soğutma ve ısıtma üzerine çalışan bu uluslararası firmanın 40'ı mühendis, 45'i teknisyen, 235'si beyaz yakalı (mühendis ve teknisyenler dahil), 1480'i mavi yakalı olmak üzere toplam 1800 çalışanı mevcuttur.

Toplam 32 ülkede 130 müşterisi bulunan şirket, 2015 yılında 44,6 milyon € ihracat gerçekleştirmiştir. İmalatının % 44,5 ihraç eden firma, % 10,3 BSH, % 9 ARÇELİK, % 8,5 VESTEL, % 5,2 LG-ARÇELİK, % 4 VAILLANT, % 4 UĞUR

SOĞUTMA, % 2 WHIRLPOOL ve % 12 DİĞERLERİ olmak üzere değişik firmalara üretim yapmaktadır.

Firma 2015 yılında, 4.200 ton bakır boru, 18 milyon metre çelik boru, 1.500 ton çelik tel, 3.750 ton alüminyum boru, 1.900 ton alüminyum yaprak, 42 milyon işlenmiş parça hammadde üretimini gerçekleştirmiştir.

Firma, 2006 yılından beri tüm ısı eşanjörlerinde bakır borular yerine alüminyum bakır borular kullanmaya başlamıştır. Klasik bakır bağlantı borulardan, alüminyum borulara başarılı bir şekilde geçiş yapmıştır.

Firmanın ürün yelpazesinde; Soğutma ve A/C: No Frost Evaporatör (soğutma serpantini), WOT Evaporatör, TOP Evaporatör, Isı Değiştirici, Kondansatör, Filtre Kurutucu, Pişiriciler: Brülör Başlıkları, Alüminyum Gaz Boruları, Gaz Çoğaltıcı, Isı Esanjörleri yer almaktadır.

4.2. KARAR PROBLEMİNİN TANIMLANMASI

Analitik Hiyerarşi Sürecinde, öncelikle problemin ne olduğu ve amacın belirlenmesi gerekmektedir. Yapılan bu tez çalışmasında; bir işletmede mevcut makinelere ve ekipmanlara uygulanabilecek bakım stratejilerinden hangisinin en uygun tercih olacağı belirlenmeye çalışılmıştır.

Bakım ve onarım faaliyetlerini etkileyen ve karar aşamasında kullanılacak karar kriterlerinin belirlenmesi için ilgili literatür taranmış ve aşağıda tanımları yapılmıştır.

4.3. KRİTERLERİN BELİRLENMESİ

En uygun bakım stratejisi seçiminde birçok kriter vardır. Bu kriterlerin bazıları niceliksel; donanım ve yazılım maliyetleri, eğitim masrafları, arızalar arası süre, ekipman güvenirliği gibi, bazıları da niteliksel; emniyet, esneklik, çalışanlar tarafından kabul görme, yüksek ürün kalitesi gibi kriterler sayılabilir. İnsan hayatında eksik yada mevcut olmayan bilgi ve verilerin bulunması, belirli olmayan bu durumların insanın algısı ve yargısı tarafından değerlendirilebilir olması nedeniyle kişiden kişiye değişkenlik gösterebilen ana kiterlerin belirlenmesi (Bashiri vd., 2011: 154) problem

çözümü için gerekli olan en önemli aşamadır. Bu kriterlerden öne çıkan ve uygulamada kullanılacaklar aşağıda sıralanmıştır.

4.3.1. Maliyet Kriteri

Firmaların gider kalemi içerisinde % 15 ile % 70'lere kadar ulaşabilen bakım maliyetleri, toplam maliyet kalemi içerisinde önemli bir yer oluşturabilmektedir (Bevilacqua ve Braglia, 2000: 71). İşletmelerde gereksiz işgücü, hatalı yönetim, arıza, hammadde ve yarı mamullerin depoda beklemesi, yeniden imalat vb. ek maliyet oluşturan durumlar, üretim süreçlerinde önemli kayıplara neden olmaktadır (Perçin ve Ustasüleyman, 2009: 20). Değişik bakım stratejileri, değişken harcama kalemleri oluşturabilir (Momeni vd., 2011: 700). Kısacası, maliyetler bakım alternatiflerine ait; donanım, yazılım, yedek parça stoku, uzman çalışan maliyeti, bakım - onarım süresinden kaynaklanan boşta kalma maliyetleri ve verimlilik gibi hususları kapsar.

4.3.1.1. Yedek Parça Stoku Kriteri

Yedek parça mevcudunun yeterli seviyede olmaması makinenin kritikliğini artırmakta (Bevilacqua ve Braglia, 2000: 74; Kodali ve Chandra, 2001: 700), üretim akışını olumsuz etkilemektedir. İşletmelerin kullandıkları makinelerin, bakım veya onarımı sırasında gerekli olacak yedek parçaların stok maliyetini (depolama) ifade etmektedir. Tamir-Onarım genellikle diğer bakım stratejilerine göre daha fazla yedek parça stokuna ihtiyaç duyduğundan bazı yedek parça maliyetleri çok yüksek olabilmektedir (Wang vd., 2007: 154; Görener, 2013: 169).

4.3.1.2. Bakım - Onarım Süresi Kriteri

Arıza oluşmadan önce veya meydana geldikten sonra yapılan bakım - onarım süresi oldukça önemlidir (Mete, 2007: 59). Bu süre genelde saat olarak ele alınır (Labib vd., 1998: 90). Arızanın tahmin edilebildiği (öngörülebildiği) bakım stratejilerinde, bu süre genellikle daha kısa olacaktır (Görener, 2013: 170). Geçmişte ürün kayıplarına sebep olan makine arızalarında, arıza verileri kayıt altında tutulup, "Arızalar arası ortalama süre" ve "Ortalama tamir süresi" gibi önemi analizler yapılabilir. Belirlenen bu sürelere göre değişkenlik gösteren maliyetlerin hesaplanması da mümkündür.

4.3.1.3. Donanım Kriteri

Strateji seçiminde en etkili kriterlerden biri ekipman ve uygun teknoloji seçimidir (Momeni vd., 2011: 700). Kestirimci bakım ve durum tabanlı bakım stratejilerine göre donanım maliyetleri, diğer maliyetlere göre daha yüksek olmaktadır (Wang vd., 2007: 154). Bakım-Onarım esnasında veya arıza tespitinde kullanılan; bilgisayar tabanlı veya manuel sistemleri ve onarım cihazlarını donanım olarak nitelendirmek mümkündür. Uygulanacak bakım stratejisinin donanımsal maliyetlerinin öneminden dolayı ana kriterlere dahil edilmiştir (Görener, 2007: 57).

4.3.1.4. Verimlilik Kriteri

Verimlilik, bir işi yapmanın, bir ürün üretmenin veya bir hizmeti sunmanın daha kolay, daha ucuz ve daha güvenli yolunu bulmayı içeren fikirlerin geliştirilmesidir. Herhangi bir faktörün girdisi ile çıktısı arasındaki oran, ilgili faktörün verimliliğini ifade etmektedir (Perçin ve Ustasüleyman, 2009: 20). Verimlilik, son ürün veya süreçlerdeki verimlilik oranlarında gözlenen değişimlerden kaynaklanabilecek maliyetleri de ifade eder.

4.3.2. Güvenlik Kriteri

Uygulanacak bakım stratejisinin; personel, tesis, ürün ve çevre güvenliği açısından değerlendirilmesidir (Görener, 2013: 168). Arıza meydana geldiğinde personel, tesis veya makinelerde meydana gelebilecek emniyetsiz durumları ifade etmektedir (Bevilacqua ve Braglia, 2000: 74).

4.3.2.1. Personel Kriteri

Arıza oluştuğunda çalışan personelin göreceği zararı ifade eden bir kriterdir. İş sağlığı ve güvenliği faktörleri de bu kapsama dahildir. Ölüme, yaralanmaya ve meslek hastalıklarına neden olan durumların önünde tutulmasıdır (Mete, 2007: 59). İş sağlığı ve iş güvenliği kapsamında değerlendirildiğinde, özellikle makinelerin ani olarak arızalanmalarının yol açabileceği ciddi hasarlar, bakımsızlık nedeniyle fark edilemeyen riskler sonucunda oluşabilecek sorunlar ve hatta ölümle sonuçlanabilecek

yaralanmalar, işveren için ciddi sorunlara neden olabildiğinden (Görener, 2013: 168) bu kriterin de değerlendirmeye dahil edilmesi önemli ve gereklidir.

4.3.2.2. Tesis Kriteri

Tesiste hasar ve/veya kayba neden olabilecek durumların ortadan kaldırılması kriteridir (Mete, 2007: 59). Birbiriyle etkileşimli parça veya makinelerin olduğu imalat sistemlerinde, bir elemanda oluşabilecek bir arıza veya hasar tüm sistemin çalışmasına engel olabilmektedir (Görener, 2013: 168). Fabrikada herhangi bir arıza oluştuğunda veya arızadan kaynaklanabilecek bir olaydan dolayı ilgili tesiste oluşan zararı ifade etmektedir. Elektrik kaçağından kaynaklanacak bir yangın, imalat hattında bulunan ana konveyöre ait bir rulonun korozyon sonucu hasar görmesi gibi nedenlerle tüm sistemin aksaması gibi durumları ifade eder.

4.3.2.3. Ürün Kriteri

Üretim sisteminde oluşabilecek bir arıza, imal edilen ürünlerin defolu (hatalı) olmasına neden olabilir. (Görener, 2013: 169). Bu kriter arıza oluştuğunda veya arızadan kaynaklanabilecek bir olaydan ötürü ürünle ilgili oluşan zararı ifade eder (Üretim bandında iken işlenen malzemenin özelliğini kaybetmesi, çimento imalatı yapan bir firmada asansör çökmesi, üretilen ürünlerin hasar almasına neden olabilir. Otomobil üretimi yapan bir işletmedeki üretim hattında, bir kaynak robotunun arızalanarak aşağı yönlü bir hareketi, üretilen araca zarar vermesi gibi durumlar).

4.3.2.4. Çevre Kriteri

Çevreye zarar veren durumların ortadan kaldırılmasıdır (Mete, 2007: 59). Uygulanacak bakım stratejisi, çevre için en düşük oranda tehlike arz etmeli, mümkünse çevreye hiç zarar vermemelidir. (Görener, 2013: 169). Bu kriter arıza oluştuğunda genel olarak çevreye verilen zararları ifade etmektedir. Kimyasal atıkların veya zehirli gazların doğaya salınması, imalat işletmesinde elektrik kontağı nedeniyle yangın oluşumu sonucu çevreye verilen zarar, tekstil boyama işlemi yapan bir tesiste, biyolojik arıtma sisteminin arızalanması neticesinde tehlikeli atıkların kanalizasyona karışması gibi durumlar, bu kritere örnek olarak verilebilir.

4.3.3. Uygulanabilirlik Kriteri

Teknik güvenirlik, makine - teçhizat, teknoloji ihtiyacı ve personelin eğitimi bakım stratejisinin uygulanabilirliği açısından önemli kriterlerdir (Görener, 2013: 169). Uygulanması zor bir bakım yöntemi maliyetleri olumsuz yönde etkileyecektir. Bakım stratejisi seçiminde etkili olan faktörlerden biri gerekli olan ekipman ve teknolojiye erişimdir (Momeni vd., 2012: 700).

4.3.3.1. Teknik Güvenirlik Kriteri

Koşullara bağlı olarak durum esaslı bakım ve kestirimci bakım gelişme süreçleri devam eden üretim tesisleri için uygulamada zorluklar ortaya çıkabilmektedir (Wang vd., 2007: 155; Görener, 2007: 57; Görener, 2013: 170; Momeni vd., 2011: 700). Hatanın doğru tespiti, kullanılan yaklaşımın doğruluğu ve bakım sonrası makinelerin son durumunu, ilk günkü kadar iyi olup olmadığını ifade etmektedir.

4.3.3.2. Makine – Teçhizat Kriteri

Makinenin bakım-onarım kolaylığı, onarılıp onarılamaması ve eldeki imkanların yeterli olup olmaması da başka bir kriterdir. (İşletmede Yalnızca Alman mühendisler tarafından ve Japon teknolojisi ile bakım - onarım yapılabiliyorsa, bakımı zordur denebilir). Daha karmaşık donanıma sahip makinelere daha yüksek kritiklik seviyesi atanması gerekir. Bu makineler aynı zamanda daha yüksek bakım maliyetleri (malzeme ve insan gücü) ve daha uzun tamir süreleri gerektirirler (Bevilacqua ve Braglia, 2000: 74).

4.3.3.3. Eğitim Kriteri

Bakımdaki istenen hedefe ancak personelin başarılı bir bakım eğitiminden geçirilmesinden sonra, kullanılacak teknik alet ve avadanlık ile ulaşabilir (Wang vd., 2007: 154). Bu kriter bakım personelinin arıza tespiti, bakım - onarım konularındaki kabiliyetlerini ifade eder.

4.3.4. Rekabet Avantajı Kriteri

Bakım stratejileri, zaman, maliyet, kalite, teslimat, satış sonrası hizmetler, hızlı tasarım ve müşteri memnuniyetini içeren performans göstergelerinin iyileştirilmesini sağlar (Perçin ve Ustasüleyman, 2009: 20). Bir firmanın rekabet avantajı, yalnızca maliyet ile ilgili değil, bunun yanında toplam üretim zamanı, satış sonrası hizmetler, güvenilir teslimat, hızlı tasarım değişikliği, tutarlı kalite, sadakat ve müşterilere verilen taahhütleri de kapsar (Kodali ve Chandra, 2001: 700).

4.3.4.1. Teknik Bilgi Kriteri

Firmanın makineleri ve süreçleri hakkında daha iyi bilgiye sahip olması bakım-onarım süreçlerini olumlu etkileyeceğinden rekabet avantajı sağlar. Ayrıca firmalar arasında teknik bilgi (Know-How) paylaşımı, rekabet avantajı sağladığından sürekli yapılmaktadır.

4.3.4.2. Ürün Kalitesi Kriteri

Makine bakım-onarım operasyonları iyi yapıldığında ürün kalitesi de bu doğrultuda iyileşecektir. Kalite, bir işletmenin müşterileri için daha kabul edilebilir ürün veya hizmetler sağlamasının bir ölçüsüdür. Bakım stratejileri, firmalara, müşterilerinin gereksinimlerini karşılayan çok daha kullanılabilir ürün veya hizmetler üretmelerini sağlar (Perçin ve Ustasüleyman, 2009: 20).

4.3.4.3. Arıza Teşhisi Kriteri

Cihazlarda arıza teşhisi ve bakım tecrübesi gibi teknikler, kestirimci ve durum esaslı bakımda bakım mühendislerine nerede ve neden arıza meydana geldiğini hızlı ve doğru bir şekilde bildirmektedir. Bunun sonucunda, bakım süresi kısalmakta ve sistemin verimli çalışma süresi de daha da uzamaktadır (Wang vd., 2007: 155). Uygulanan bakım stratejisine göre, makine arızalandığında veya arıza öncesi yapılacak operasyonlarda doğru arıza teşhisinin yapılması, firmaya birçok avantaj sağlayacaktır.

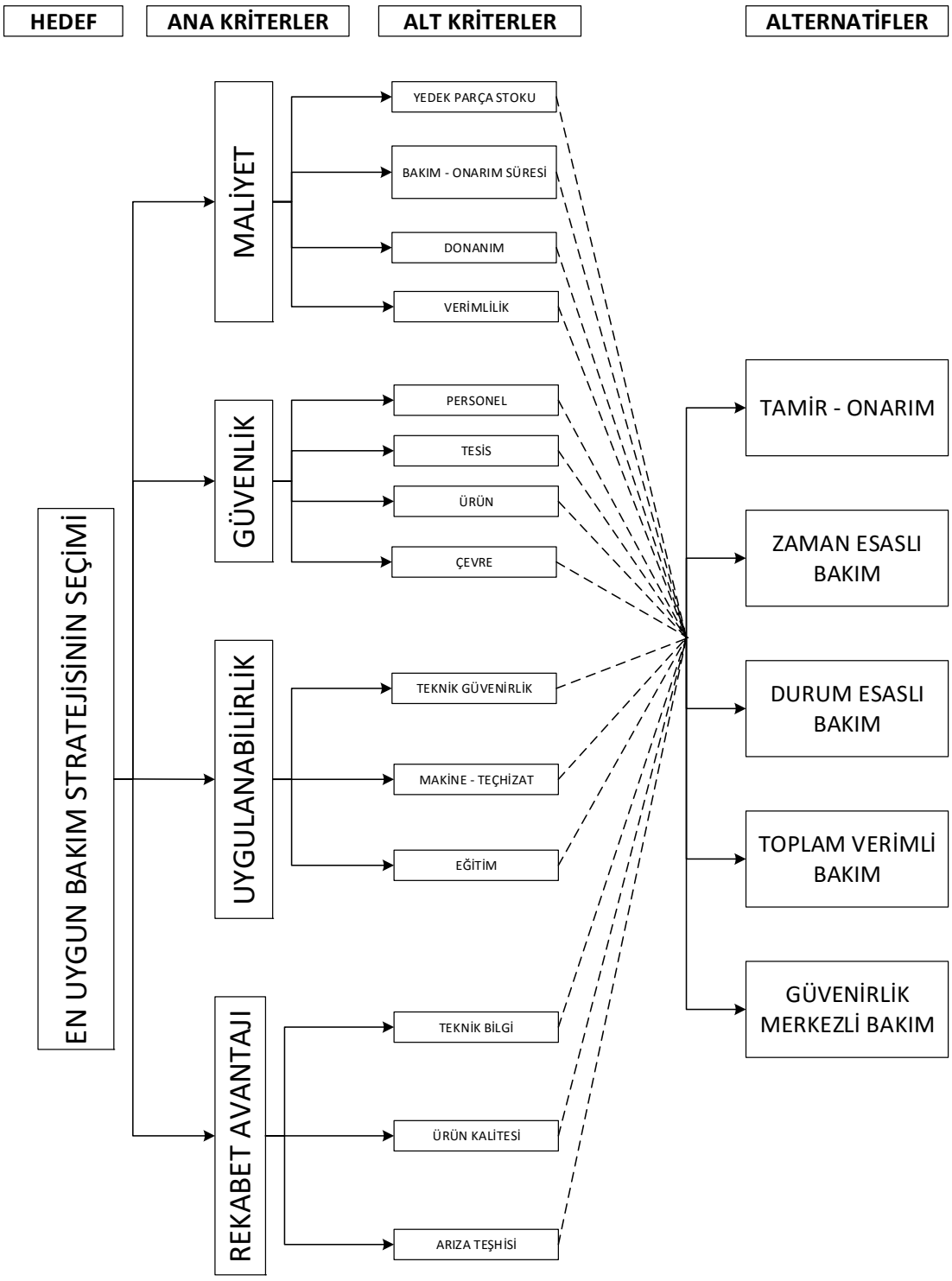
4.4. ALTERNATİF STRATEJİLERİN BELİRLENMESİ

Çalışmanın bu kısmında, Alternatif bakım stratejileri olarak ikinci bölümde anlatılan bakım stratejilerinden aşağıda belirtilenler alınacaktır. Durum Esaslı Bakım ve Kestirimci Bakım literatürde birbirine çok yakın ve aynı anlamda kullanılmaktadır (Swanson, 2001: 238; Ahmad ve Kamaruddin, 2012: 140; Gandhare ve Akarte, 2012: 1330). Kestirimci Bakım, Durum Esaslı bir Önleyici Bakım programıdır (Mobley, 2004: 5). Bu nedenle aşağıda bulunan bakım stratejileri alternatif stratejiler olarak belirlenmiştir. Bunlar;

- ✓ Tamir – Onarım,
- ✓ Zaman Esaslı Bakım,
- ✓ Durum Esaslı Bakım,
- ✓ Toplam Verimli Bakım,
- ✓ Güvenirlik Merkezli Bakım stratejileridir.

4.5. HİYERARŞİK MODELİN BELİRLENMESİ

Karar kriterleri ve alternatif stratejiler belirlendikten sonra, probleme yönelik hiyerarşinin oluşturulması aşamasına geçilmiştir. Problem çözümü için oluşturulan karar ağacı Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1: Problem Çözümü İçin Geliştirilen Karar Ağacı

Şekil 4.1'de görüldüğü gibi ana ve alt kriterler aşağıda gösterildiği gibi belirlenmiştir.

- Maliyet

- ✓ Yedek Parça Stoku
- ✓ Bakım - Onarım Süresi
- ✓ Donanım
- ✓ Verimlilik

- Güvenlik
  - ✓ Personel
  - ✓ Tesis
  - ✓ Ürün
  - ✓ Çevre
- Uygulanabilirlik
  - ✓ Teknik Güvenirlik
  - ✓ Makine-Teçhizat
  - ✓ Eğitim
- Rekabet Avantajı
  - ✓ Teknik Bilgi
  - ✓ Ürün Kalitesi
  - ✓ Arıza Teşhisi

Ayrıca Alternatif bakım stratejileri ise;

- Tamir - Onarım
- Zaman Esaslı Bakım
- Durum Esaslı Bakım
- Toplam Verimli Bakım
- Güvenirlik Merkezli Bakım olarak belirlenmiştir.

4.6. KRİTERLERİN İKİLİ KARŞILAŞTIRMA MATRİSLERİNİN OLUŞTURULMASI VE ÖNCELİK VEKTÖR HESABI

Problemin hiyerarşik yapısı oluşturulduktan sonra, en uygun bakım stratejisi seçimini etkileyen kriterlerin karşılaştırma matrislerinin oluşturulması aşamasına geçilmiştir. Bunun için Thomas L. Saaty tarafından ortaya atılan ve üçüncü bölüm 3.9.4'de açıklaması yapılan Tablo 3.6'daki Tesadüfilik Göstergesi kullanılır. Matrislerde kullanılan öncelik değerleri, işletmede görev yapan bakım mühendisi, bakım personeli ve işletme müdürü ile yapılan yüz yüze görüşmelerden elde edilmiştir.

Elde edilen bu değerler Expert Choice paket programına girilip çalıştırıldıktan sonra, ilgili personel ile birlikte sonuçlar incelenmiş ve sonuçların mantıklı ve anlamlı olduğu kararına varılmıştır.

4.6.1. Ana Kriterlerin Karşılaştırma Matrisi ve Öncelik Vektörün Belirlenmesi

İşletmedeki yetkililerle yapılan görüşmeler sonucunda, uzmanların ana kriterlere verdikleri önem dereceleri (öncelikler) aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur.

- ✓ Maliyet: 8,
- ✓ Güvenlik: 9,
- ✓ Uygulanabilirlik: 6,
- ✓ Rekabet Avantajı: 4

Uzman görüşleri de alınarak belirlenen yukardaki önem dereceleri kullanılarak Tablo 4.1'de görülen ana kriterlerin karşılaştırılmasının yapıldığı matris tablosu oluşturulmuştur. Tablo 4.1'de maliyet, güvenlik, uygulanabilirlik, rekabet avantajı ana kriterlerinin önem derecelerinin ikili karşlaştırma matrisi gösterilmiştir.

Tablo 4.1: Ana Kriterlerin Karşılaştırma Matrisi

ANA KRİTER	M	G	U	RA
MALİYET (M)	1	8/9	4/3	2/1
GÜVENLİK (G)	9/8	1	3/2	9/4
UYGULANABİLİRLİK (U)	3/4	2/3	1	3/2
REKABET AVANTAJI (RA)	1/2	4/9	2/3	1

Tablo 4.1'de görülen karşılaştırma matrisi oluşturulduktan sonra normalizasyon işlemine geçilir. Uzman kişilerin verdikleri rakamsal değerler Tablo 4.1'e girildikten sonra bu değerlere matematiksel işlem uygulanır ve değerler ondalık sayılara çevrilir. Böylelikle aşağıda gösterilen Tablo 4.2 oluşturulur.

Tablo 4.2: Normalizasyon İşlemi (1)

ANA KRİTER	M	G	U	RA
MALİYET (M)	1,00	0,89	1,33	2,00
GÜVENLİK (G)	1,13	1,00	1,50	2,25
UYGULANABİLİRLİK (U)	0,75	0,67	1,00	1,50
REKABET AVANTAJI (RA)	0,50	0,44	0,67	1,00
TOPLAM	**3,38**	**3,00**	**4,50**	**6,75**

Normalizasyon işleminde ilk olarak her bir sütundaki hücreler toplanır. Tablo 4.2'de sütun toplamları ve değerlerin ondalık değerleri gösterilmiştir. İkinci aşamada Tablo 4.3'de gösterildiği gibi her bir hücredeki değerler sütun toplamlarına bölünür.

Tablo 4.3: Normalizasyon İşlemi (2)

ANA KRİTER	M	G	U	RA
Maliyet (M)	1/(3,38)	(0,89)/(3)	(1,33)/(4,50)	2/(6,75)
Güvenlik (G)	(1,13)/(3,38)	1/(3)	(1,50)/(4,50)	(2,25)/(6,75)
Uygulanabilirlik (U)	(0,75)/(3,38)	(0,67)/(3)	1/(4,50)	(1,50)/(6,75)
Rekabet Avantajı (RA)	(0,50)/(3,38)	(0,44)/(3)	(0,67)/(4,50)	1/(6,75)

Bir sonraki aşamada, yapılan Bu matematiksel işlemlerin sonuçları Tablo 4.4'de gösterilmiştir. Son olarak, elde edilen bu değerler normalize edilmiş matrisin her bir satırının aritmetik ortalaması (AO) alınarak (satır toplamı sütun sayısına bölünerek), öncelik vektörü (ağırlık, özvektör, özdeğer) (w) değerleri elde edilir. Elde edilen bu öncelik vektörleri Tablo 4.4'de gösterilmiştir.

Tablo 4.4: Normalize Edilmiş Matris ve Öncelik Vektörü Hesabı

ANA KRİTER	M	G	U	RA	ÖNCELİK VEKTÖRÜ
Maiyet (M)	0,296	0,297	0,296	0,296	**0,296**
Güvenlik (G)	0,334	0,333	0,333	0,333	**0,333**
Uygulanabilirlik (U)	0,222	0,223	0,222	0,222	**0,222**
Rekabet Avantajı (RA)	0,148	0,147	0,149	0,148	**0,148**

Tablo 4.1'deki ilk verilere normalizasyon işlemi uygulandıktan sonra elde edilen sonuçlar Tablo 4.4'de gösterilmiştir. Böylece normalize edilmiş matris oluşturulmuştur. Tablo 4.1'deki verilere yapılan matematiksel işlemler sonucu elde edilen Tablo 4.5'de, bakım stratejisi seçimini etkileyen ana kriterlere ait karşılaştırma matrisi ve öncelik vektör değerleri gösterilmiştir.

Tablo 4.5: Ana Kriterlerin Karşılaştırma Matrisi ve Öncelik Vektörü

ANA KRİTER	M	G	U	RA	ÖNCELİK VEKTÖRÜ
MALİYET (M)	1	8/9	4/3	2/1	**0,296**
GÜVENLİK (G)	9/8	1	3/2	9/4	**0,333**
UYGULANABİLİRLİK (U)	3/4	2/3	1	3/2	**0,222**
REKABET AVANTAJI (RA)	1/2	4/9	2/3	1	**0,148**

Böylece bakım stratejisi seçimini etkileyen ana faktörlerin öncelikleri yukarıda gösterilen Tablo 4.5'deki değerler elde edilmiştir. Tablo 4.5'de görüldüğü gibi, bakım stratejisi seçimine etki eden ana faktörlerin sıralamasında Güvenlik 0,333 öncelik vektörü ile en fazla ve Rekabet Avantajı 0,148 öncelik vektörü ile en az önem derecesine sahiptir. Bunun anlamı; en önemli konu veya kritik önceliğe sahip olan ana kriterin Güvenlik olduğudur. Firma personeli ile yapılan görüşmede bu sonucun mevcut İş Sağlığı ve Güvenliği ile ilgili mevzuattan kaynaklandığı ve bu mevzuattaki ceza ve yaptırımların çok ağır olmasının sonucu etkilediği belirlenmiştir.

Bakım stratejisi seçimini etkileyen faktörlerin hiyerarşik yapısında yer alan diğer faktörlerin (kriterlerin) karşılaştırma matrislerini oluşturmak için yukarıda anlatılan işlemler aynı şekilde tüm kriterler için uygulanır. Yukarda yapılan işlemler, karşılaştırma matrislerine uygulandıktan sonra sonuçlar ve öncelik vektörleri (ağırlık, özdeğer, özvektör) aşağıda sırasıyla Tablo 4.6 - 4.9'da verilmiştir.

4.6.2. Maliyet Kriterinin Karşılaştırma Matrisi ve Öncelik Vektörün Belirlenmesi

Yapılan görüşmeler sonrasında işletmedeki Uzman kişilerin ''Maliyet'' kriterine vermiş olduğu önem dereceleri (değerleri) aşağıda sırasıyla gösterilmiştir.

- ✓ Yedek Parça Stoku: 7
- ✓ Bakım - Onarım Süresi: 9
- ✓ Donanım: 5
- ✓ Verimlilik: 6

Yukarıda elde edilen bu değerler kullanılarak bölüm 4.6.1'de açıklanan normalizasyon işlemi yapılmış ve sonuçları elde edilen maliyet ana kriterine bağlı alt

kriterlerin karşılaştırma matrisi ve öncelik vektörü hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 4.6'da gösterilmiştir.

Tablo 4.6: Maliyet Kriterine Bağlı Alt Kriterlerin Karşılaştırma Matrisi ve Öncelik Vektörü

MALİYET	YPS	B-O S.	D	V	ÖNCELİK VEKTÖRÜ
Yedek Parça Stoku (YPS)	1	7/9	7/5	7/6	**0,259**
Bakım-Onarım Süresi (B-0 S.)	9/7	1	9/5	3/2	**0,333**
Donanım (D)	5/7	5/9	1	5/6	**0,185**
Verimlilik (V)	6/7	2/3	6/5	1	**0,222**

Tablo 4.6'da normalizasyon işlemi için matematiksel işlemlerin sonucunda elde edilen değerler gösterilmiştir. Tablo 4.6'da görüldüğü gibi maliyet ana kriterine bağlı, bakım-onarım süresi 0,333 öncelik vektörü ile en çok ve 0,185 öncelik vektörü ile verimlilik en az önem derecesine sahip olduğu belirlenmiştir. Bakım-onarımda maliyet kriterine en fazla etki eden faktör bakım veya onarımda geçen süre yani makinenin atıl kalma süresi oluşturmaktadır.

4.6.3. Güvenlik Kriterinin Karşılaştırma Matrisi ve Öncelik Vektörün Belirlenmesi

Yapılan görüşmeler sonrasında işletmedeki Uzman kişilerin ''Güvenlik'' kriterine vermiş olduğu önem dereceleri (değerleri) aşağıda sırasıyla gösterilmiştir.

- ✓ Personel: 9,
- ✓ Tesis: 7,
- ✓ Ürün 5,
- ✓ Çevre: 4 olarak elde edilmiştir.

Yukarıda elde edilen bu değerler kullanılarak, normalizasyon işlemi sonucunda elde edilen güvenlik ana kriterine bağlı olan alt kriterlerin, karşılaştırma matrisi ve öncelik vektörü Tablo 4.7'de gösterilmiştir.

Tablo 4.7: Güvenlik Kriterine Bağlı Alt Kriterlerin Karşılaştırma Matrisi ve Öncelik Vektörü

GÜVENLİK	P	T	Ü	Ç	ÖNCELİK VEKTÖRÜ
Personel (P)	1	9/7	9/5	9/4	**0,360**
Tesis (T)	7/9	1	7/5	7/4	**0,280**
Ürün (Ü)	5/9	5/7	1	5/4	**0,200**
Çevre (Ç)	4/9	4/7	4/5	1	**0,160**

Tablo 4.7'de normalizasyon işlemi için yapılan matematiksel işlemlerin sonucunda, elde edilen değerler gösterilmiştir. Tablo 4.7 incelendiğinde güvenlik ana kriterine bağlı personel 0,360 öncelik vektörü ile en çok ve 0,160 öncelik vektörü ile çevre en az önem derecesine sahip olduğu görülmektedir. Bakım-onarımda güvenlik kriterine en fazla etki eden faktör personel, yani insana gelecek bir zarar en önemli unsur olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle son yıllarda özellikle iş sağlığı ve güvenliği de önem kazanmıştır.

4.6.4. Uygulanabilirlik Kriterinin Karşılaştırma Matrisi ve Öncelik Vektörün Belirlenmesi

Yapılan görüşmeler sonrasında işletmedeki Uzman kişilerin ''Uygulanabilirlik'' kriterine vermiş olduğu önem dereceleri (değerleri) aşağıda sırasıyla gösterilmiştir.

- ✓ Teknik Güvenirlik: 4,
- ✓ Makine - Teçhizat: 5,
- ✓ Eğitim: 7.

Yukarıda gösterilen, elde edilen bu değerler kullanılarak normalizasyon işlemi yapılmış ve bu işlemler sonucunda elde edilen, uygulanabilirlik ana kriterine bağlı alt kriterlerin karşılaştırma matrisi ve öncelik vektörü Tablo 4.8'de gösterilmiştir.

Tablo 4.8: Uygulanabilirlik Kriterine Bağlı Alt Kriterlerin Karşılaştırma Matrisi ve Öncelik Vektörü

UYGULANABİLİRLİK	TG	M-T	E	ÖNCELİK VEKTÖRÜ
Teknik Güvenirlik (TG)	1	4/5	4/7	**0,250**
Makine-Teçhizat (M-T)	5/4	1	5/7	**0,313**
Eğitim (E)	7/4	7/5	1	**0,438**

Tablo 4.8'de normalizasyon işlemini yapmak için matematiksel işlemlerin sonucunda elde edilen değerler gösterilmiştir. Tablo 4.8 incelendiğinde uygulanabilirlik ana kriterine bağlı eğitim 0,438 öncelik vektörü ile en çok ve 0,250 öncelik vektörü ile teknik güvenirlik en az önem derecesine sahip olan kriterdir. Yani bakım ve onarımda eğitimli personel, arızayı daha hızlı ve doğru teşhis edebilmektedir.

4.6.5. Rekabet Avantajı Kriterinin Karşılaştırma Matrisi ve Öncelik Vektörün Belirlenmesi

Yapılan görüşmeler sonucunda işletmedeki Uzman kişilerin ''Rekabet Avantajı'' kriterine verdiği önem dereceleri (değerleri) aşağıda sırasıyla verilmiştir.

- ✓ Teknik Bilgi: 8,
- ✓ Ürün Kalitesi: 4,
- ✓ Arıza Teşhisi: 6, olarak belirlenmiştir.

Yukarıda elde edilen bu değerler kullanılarak normalizasyon işlemi yapılmış ve sonucunda elde edilen "rekabet avantajı" ana kriterine bağlı alt kriterlerin karşılaştırma matrisi ve öncelik vektörü Tablo 4.9'da gösterilmiştir.

Tablo 4.9: Rekabet Avantajı Kriterine Bağlı Alt Kriterlerin Karşılaştırma Matrisi ve Öncelik Vektörü

REKABET AVANTAJI	TB	ÜK	AT	ÖNCELİK VEKTÖRÜ
Teknik Bilgi (TB)	1	2/1	4/3	**0,444**
Ürün Kalitesi (ÜK)	1/2	1	2/3	**0,222**
Arıza Teşhisi (AT)	3/4	3/2	1	**0,334**

Tablo 4.9'da normalizasyon işlemi için matematiksel işlemlerin sonucunda elde edilen değerler gösterilmiştir. Tablo 4.9 incelendiğinde rekabet avantajı ana

kriterine bağlı teknik bilgi kriteri 0,444 öncelik vektörü ile en çok ve 0,222 öncelik vektörü ile ürün kalitesi en az önem derecesine sahip olan kriter olduğu belirlenmiştir. Yani rekabet avantajı sağlayan en önemli husus teknik bilgi olarak görülmektedir. Yapılan bakım-onarımda iyi bir arıza teşhisi ve işçilik onarım süresini ve müşteri memnuniyetini artıracaktır.

Ana kriterlerin karşılaştırılması ve öncelik vektörü, bu kriterlerin bakım strateji seçimini ne ölçüde etkilediğini göstermektedir. Elde edilen Bu değerler alt kriterlerin bakım stratejilerini etkileme (önceliklendirme) derecesini belirlemektedir. "Güvenlik" ana kriterine bağlı "personel", "tesis", "çevre" ve "ürün" kriterlerinin önem derecesinde olacak herhangi bir değişiklik, alternatif seçimini de en fazla etkileyecektir.

4.7. KRİTERLERE GÖRE ALTERNATİFLERİN İKİLİ KARŞILAŞTIRMA MATRİSLERİNİN OLUŞTURULMASI VE ÖNCELİK VEKTÖRLERİN BELİRLENMESİ

Bölüm 4.6.1'de anlatılan ve uygulaması yapılan normalizasyon işlemlerinin aynısı, alt kriterlere göre alternatifler için de yapılmaktadır. Bunu için; öncelikle karşılaştırma matrisi oluşturularak normalizasyon işlemi yapılır ve ardından öncelik vektörü hesaplarına geçilir. Aşağıda yer alan karşılaştırma matrislerine, aynı işlemler uygulandıktan sonra elde edilen sonuçlar ve öncelik vektörleri sırasıyla Tablo 4.10'dan Tablo 4.23'e kadar verilmiştir.

4.7.1. Yedek Parça Stoku Kriterine Göre Alternatiflerin Karşılaştırılması

İşletmedeki yetkililerle yapılan görüşmeler sonucunda, uzman kişilerin ''Yedek Parça Stoku'' kriterine verdikleri önem dereceleri (değerleri) aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

Tamir - Onarım : 3
Zaman Esaslı Bakım : 7
Durum Esaslı Bakım : 5
Toplam Verimli Bakım : 9

Güvenirlik Merkezli Bakım : 8

Elde edilen ve yukarıda gösterilen bu değerler kullanılarak normalizasyon işlemi yapılır. Normalizasyon işlemi sonucunda "yedek parça stoku" kriterine göre hesplanan öncelik değerelri Tablo 4.10'da gösterilmiştir.

Tablo 4.10: Yedek Parça Stokuna Göre Alternatiflerin Karşılaştırması ve Öncelik Vektörü

YEDEK PARÇA STOKU	T - O	ZEB	DEB	TVB	GMB	ÖNCELİK VEKTÖRÜ
Tamir - Onarım (T- O)	1	3/7	3/5	1/3	3/8	**0,094**
Zaman Esaslı Bakım (ZEB)		1	7/5	7/9	7/8	**0,219**
Durum Esaslı Bakım (DEB)			1	5/9	5/8	**0,156**
Toplam Verimli Bakım (TVB)				1	9/8	**0,282**
Güvenirlik Merkezli Bakım (GMB)					1	**0,250**

Yedek parça stoku kriterine göre en uygun bakım alternatifi incelendiğinde, "toplam verimli bakım" alternatifini seçmenin (en yüksek öncelik vektörü = 0,282) en uygun strateji olduğu, Tablo 4.10'da açıkça görülmektedir.

4.7.2. Bakım - Onarım Süresi Kriterine Göre Alternatiflerin Karşılaştırılması

İşletmedeki yetkililerle yapılan görüşmeler sonucunda, uzman kişilerin '' Bakım - Onarım Süresi'' kriterine verdiği önem dereceleri (değerleri) aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

Tamir - Onarım : 3
Zaman Esaslı Bakım : 7
Durum Esaslı Bakım : 5
Toplam Verimli Bakım : 9
Güvenirlik Merkezli Bakım : 4

Elde edilen ve yukarıda gösterilen bu değerler kullanılarak normalizasyon işlemi yapılır. Normalizasyon işlemi sonucunda "bakım-onarım süresi" kriterine göre hesplanan öncelik değerelri Tablo 4.11'de gösterilmiştir.

Tablo 4.11: Bakım - Onarım Süresine Göre Alternatiflerin Karşılaştırma ve Öncelik Vektörü

BAKIM - ONARIM SÜRESİ	T - O	ZEB	DEB	TVB	GMB	ÖNCELİK VEKTÖRÜ
Tamir - Onarım (T- O)	1	3/7	3/5	1/3	3/4	**0,107**
Zaman Esaslı Bakım (ZEB)		1	7/5	7/9	7/4	**0,250**
Durum Esaslı Bakım (DEB)			1	5/9	5/4	**0,179**
Toplam Verimli Bakım (TVB)				1	9/4	**0,322**
Güvenirlik Merkezli Bakım (GMB)					1	**0,143**

Tablo 4.11'de görüldüğü gibi bakım-onarım süresine göre, en uygun bakım alternatifi "toplam verimli bakım" seçeneğidir. Tabloda görüldüğü gibi öncelik vektörü (0,322) ve uzmanların bu kritere verdiği önem derecesinden (9) yararlanılarak bu sonuca ulaşılmıştır.

4.7.3. Donanım Kriterine Göre Alternatiflerin Karşılaştırılması

İşletmedeki yetkililerle yapılan görüşmeler sonucunda, uzman kişilerin 'Donanım'' kriterine verdiği önem dereceleri (değerleri) aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

Tamir - Onarım : 9
Zaman Esaslı Bakım : 7
Durum Esaslı Bakım : 5
Toplam Verimli Bakım : 6
Güvenirlik Merkezli Bakım : 3

Elde edilen ve yukarıda gösterilen bu değerler kullanılarak normalizasyon işlemi yapılır. Normalizasyon işlemi sonucunda "donanım" kriterine göre hesplanan öncelik değerelri Tablo 4.12'de gösterilmiştir.

Tablo 4.12: Donanıma göre Alternatiflerin Karşılaştırma ve Öncelik Vektörü

DONANIM	T - O	ZEB	DEB	TVB	GMB	ÖNCELİK VEKTÖRÜ
Tamir - Onarım (T- O)	1	9/7	9/5	3/2	3/1	**0,300**
Zaman Esaslı Bakım (ZEB)		1	7/5	7/6	7/3	**0,233**
Durum Esaslı Bakım (DEB)			1	5/6	5/3	**0,167**
Toplam Verimli Bakım (TVB)				1	2/1	**0,200**
Güvenirlik Merkezli Bakım (GMB)					1	**0,100**

Donanıma kriterine göre en uygun bakım alternatifi incelendiğinde, "tamir-onarım" alternatifini seçmenin (en yüksek öncelik vektörü = 0,300) en uygun strateji olduğu, Tablo 4.12'de açıkça görülmektedir.

4.7.4. Verimlilik Kriterine Göre Alternatiflerin Karşılaştırılması

İşletmedeki yetkililerle yapılan görüşmeler sonucunda, uzman kişilerin ''Verimlilik'' kriterine verdiği önem dereceleri (değerleri) aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

Tamir - Onarım : 3
Zaman Esaslı Bakım : 7
Durum Esaslı Bakım : 6
Toplam Verimli Bakım : 9
Güvenirlik Merkezli Bakım : 8

Elde edilen ve yukarıda gösterilen bu değerler kullanılarak normalizasyon işlemi yapılır. Normalizasyon işlemi sonucunda "verimlilik" kriterine göre hesplanan öncelik değerelri Tablo 4.13'de gösterilmiştir.

Tablo 4.13: Verimliliğe Göre Alternatiflerin Karşılaştırma ve Öncelik Vektörü

VERİMLİLİK	T - O	ZEB	DEB	TVB	GMB	ÖNCELİK VEKTÖRÜ
Tamir - Onarım (T- O)	1	3/7	1/2	1/3	3/8	**0,091**
Zaman Esaslı Bakım (ZEB)		1	7/6	7/9	7/8	**0,212**
Durum Esaslı Bakım (DEB)			1	2/3	3/4	**0,182**
Toplam Verimli Bakım (TVB)				1	9/8	**0,273**
Güvenirlik Merkezli Bakım (GMB)					1	**0,242**

Tablo 4.13'de görüldüğü gibi verimliliğe göre, en uygun bakım alternatifi "toplam verimli bakım" seçeneğidir. Tabloda görüldüğü gibi öncelik vektörü (0,273) ve uzmanların bu kritere verdiği önem derecesinden (9) yararlanılarak bu sonuca ulaşılmıştır.

4.7.5. Personel Kriterine Göre Alternatiflerin Karşılaştırılması

İşletmedeki yetkililerle yapılan görüşmeler sonucunda, uzman kişilerin ‘’Personel’’ kriterine verdiği önem dereceleri (değerleri) aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

Tamir - Onarım : 4
Zaman Esaslı Bakım : 5
Durum Esaslı Bakım : 6
Toplam Verimli Bakım : 8
Güvenirlik Merkezli Bakım : 7

Elde edilen ve yukarıda gösterilen bu değerler kullanılarak normalizasyon işlemi yapılır. Normalizasyon işlemi sonucunda “personel” kriterine göre hesplanan öncelik değerelri Tablo 4.14’de gösterilmiştir.

Tablo 4.14: Personele Göre Alternatiflerin Karşılaştırma ve Öncelik Vektörü

PERSONEL	T - O	ZEB	DEB	TVB	GMB	ÖNCELİK VEKTÖRÜ
Tamir - Onarım (T- O)	1	4/5	2/3	1/2	4/7	**0,133**
Zaman Esaslı Bakım (ZEB)		1	5/6	5/8	5/7	**0,167**
Durum Esaslı Bakım (DEB)			1	3/4	6/7	**0,200**
Toplam Verimli Bakım (TVB)				1	8/7	**0,266**
Güvenirlik Merkezli Bakım (GMB)					1	**0,234**

Personel kriterine göre en uygun bakım alternatifi incelendiğinde, “toplam verimli bakım” alternatifini seçmenin (en yüksek öncelik vektörü = 0,266) en uygun strateji olduğu, Tablo 4.14’de açıkça görülmektedir.

4.7.6. Tesis Kriterine Göre Alternatiflerin Karşılaştırılması

İşletmedeki yetkililerle yapılan görüşmeler sonucunda, uzman kişilerin ‘’Tesis’’ kriterine verdiği önem dereceleri (değerleri) aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

Tamir - Onarım : 3
Zaman Esaslı Bakım : 5
Durum Esaslı Bakım : 6

Toplam Verimli Bakım : 8

Güvenirlik Merkezli Bakım : 7

Elde edilen ve yukarıda gösterilen bu değerler kullanılarak normalizasyon işlemi yapılır. Normalizasyon işlemi sonucunda "tesis" kriterine göre hesplanan öncelik değerelri Tablo 4.15'de gösterilmiştir.

Tablo 4.15: Tesise Göre Alternatiflerin Karşılaştırma ve Öncelik Vektörü

TESİS	T - O	ZEB	DEB	TVB	GMB	ÖNCELİK VEKTÖRÜ
Tamir - Onarım (T- O)	1	3/5	1/2	3/8	3/7	**0,103**
Zaman Esaslı Bakım (ZEB)		1	5/6	5/8	5/7	**0,172**
Durum Esaslı Bakım (DEB)			1	3/4	6/7	**0,207**
Toplam Verimli Bakım (TVB)				1	8/7	**0,276**
Güvenirlik Merkezli Bakım (GMB)					1	**0,242**

Tablo 4.15'de görüldüğü gibi tesise göre, en uygun bakım alternatifi "toplam verimli bakım" seçeneğidir. Tabloda görüldüğü gibi öncelik vektörü (0,276) ve uzmanların bu kritere verdiği önem derecesinden (8) yararlanılarak bu sonuca ulaşılmıştır.

4.7.7. Ürün Kriterine Göre Alternatiflerin Karşılaştırılması

İşletmedeki yetkililerle yapılan görüşmeler sonucunda, uzman kişilerin ''Ürün'' kriterine verdiği önem dereceleri (değerleri) aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

Tamir - Onarım : 3

Zaman Esaslı Bakım : 9

Durum Esaslı Bakım : 6

Toplam Verimli Bakım : 7

Güvenirlik Merkezli Bakım : 5

Elde edilen ve yukarıda gösterilen bu değerler kullanılarak normalizasyon işlemi yapılır. Normalizasyon işlemi sonucunda "ürün" kriterine göre hesplanan öncelik değereleri Tablo 4.16'da gösterilmiştir.

Tablo 4.16: Ürüne Göre Alternatiflerin Karşılaştırma ve Öncelik Vektörü

ÜRÜN	T - O	ZEB	DEB	TVB	GMB	ÖNCELİK VEKTÖRÜ
Tamir - Onarım (T- O)	1	1/3	1/2	3/7	3/5	**0,100**
Zaman Esaslı Bakım (ZEB)		1	3/2	9/7	9/5	**0,300**
Durum Esaslı Bakım (DEB)			1	6/7	6/5	**0,200**
Toplam Verimli Bakım (TVB)				1	7/5	**0,233**
Güvenirlik Merkezli Bakım (GMB)					1	**0,167**

Ürün kriterine göre en uygun bakım alternatifi incelendiğinde, "zaman esaslı bakım" alternatifini seçmenin (en yüksek öncelik vektörü = 0,300) en uygun strateji olduğu, Tablo 4.16'da açıkça görülmektedir.

4.7.8. Çevre Kriterine Göre Alternatiflerin Karşılaştırılması

İşletmedeki yetkililerle yapılan görüşmeler sonucunda, uzman kişilerin ''Çevre'' kriterine verdiği önem dereceleri (değerleri) aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

Tamir - Onarım : 4
Zaman Esaslı Bakım : 7
Durum Esaslı Bakım : 8
Toplam Verimli Bakım : 6
Güvenirlik Merkezli Bakım : 5

Elde edilen ve yukarıda gösterilen bu değerler kullanılarak normalizasyon işlemi yapılır. Normalizasyon işlemi sonucunda "çevre" kriterine göre hesplanan öncelik değereleri Tablo 4.17'de gösterilmiştir.

Tablo 4.17: Çevreye Göre Alternatiflerin Karşılaştırma ve Öncelik Vektörü

ÇEVRE	T - O	ZEB	DEB	TVB	GMB	ÖNCELİK VEKTÖRÜ
Tamir - Onarım (T- O)	1	4/7	1/2	2/3	4/5	**0,133**
Zaman Esaslı Bakım (ZEB)		1	7/8	7/6	7/5	**0,234**
Durum Esaslı Bakım (DEB)			1	4/3	8/5	**0,266**
Toplam Verimli Bakım (TVB)				1	6/5	**0,200**
Güvenirlik Merkezli Bakım (GMB)					1	**0,167**

Tablo 4.17'de görüldüğü gibi çevreye göre, en uygun bakım alternatifi "durum esaslı bakım" seçeneğidir. Tabloda görüldüğü gibi öncelik vektörü (0,266) ve uzmanların bu kritere verdiği önem derecesinden (8) yararlanılarak bu sonuca ulaşılmıştır.

4.7.9. Teknik Güvenirlik Kriterine Göre Alternatiflerin Karşılaştırılması

İşletmedeki yetkililerle yapılan görüşmeler sonucunda, uzman kişilerin ''Teknik Güvenirlik'' kriterine verdiği önem dereceleri (değerleri) aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

Tamir - Onarım : 3
Zaman Esaslı Bakım : 4
Durum Esaslı Bakım : 6
Toplam Verimli Bakım : 9
Güvenirlik Merkezli Bakım : 7

Elde edilen ve yukarıda gösterilen bu değerler kullanılarak normalizasyon işlemi yapılır. Normalizasyon işlemi sonucunda "teknik güvenirlik" kriterine göre hesplanan öncelik değereleri Tablo 4.18'de gösterilmiştir.

Tablo 4.18: Teknik Güvenirliğe Göre Alternatiflerin Karşılaştırma ve Öncelik Vektörü

TEKNİK GÜVENİLİRLİK	T - O	ZEB	DEB	TVB	GMB	ÖNCELİK VEKTÖRÜ
Tamir - Onarım (T- O)	1	3/4	1/2	1/3	3/7	**0,104**
Zaman Esaslı Bakım (ZEB)		1	2/3	4/9	4/7	**0,138**
Durum Esaslı Bakım (DEB)			1	2/3	6/7	**0,207**
Toplam Verimli Bakım (TVB)				1	9/7	**0,311**
Güvenirlik Merkezli Bakım (GMB)					1	**0,241**

Teknik Güvenirlik kriterine göre en uygun bakım alternatifi incelendiğinde, "toplam verimli bakım" alternatifini seçmenin (en yüksek öncelik vektörü = 0,311) en uygun strateji olduğu, Tablo 4.18'de açıkça görülmektedir.

4.7.10. Makine-Teçhizat Kriterine Göre Alternatiflerin Karşılaştırılması

İşletmedeki yetkililerle yapılan görüşmeler sonucunda, uzman kişilerin ‘’Makine-Teçhizat’’ kriterine verdiği önem dereceleri (değerleri) aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

Tamir - Onarım : 4
Zaman Esaslı Bakım : 5
Durum Esaslı Bakım : 6
Toplam Verimli Bakım : 8
Güvenirlik Merkezli Bakım : 7

Elde edilen ve yukarıda gösterilen bu değerler kullanılarak normalizasyon işlemi yapılır. Normalizasyon işlemi sonucunda “makine-teçhizat” kriterine göre hesplanan öncelik değerelri Tablo 4.19’da gösterilmiştir.

Tablo 4.19 Makine-Teçhizata Göre Alternatiflerin Karşılaştırma ve Öncelik Vektörü

MAKİNE - TEÇHİZAT	T - O	ZEB	DEB	TVB	GMB	ÖNCELİK VEKTÖRÜ
Tamir - Onarım (T- O)	1	4/5	2/3	1/2	4/7	**0,133**
Zaman Esaslı Bakım (ZEB)		1	5/6	5/8	5/7	**0,167**
Durum Esaslı Bakım (DEB)			1	3/4	6/7	**0,200**
Toplam Verimli Bakım (TVB)				1	8/7	**0,266**
Güvenirlik Merkezli Bakım (GMB)					1	**0,234**

Tablo 4.19’da görüldüğü gibi makine-teçhizata göre, en uygun bakım alternatifi “toplam verimli bakım” seçeneğidir. Tabloda görüldüğü gibi öncelik vektörü (0,266) ve uzmanların bu kritere verdiği önem derecesinden (8) yararlanılarak bu sonuca ulaşılmıştır.

4.7.11. Eğitim Kriterine Göre Alternatiflerin Karşılaştırılması

İşletmedeki yetkililerle yapılan görüşmeler sonucunda, uzman kişilerin ‘’Eğitim’’ kriterine verdiği önem dereceleri (değerleri) aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

Tamir - Onarım : 3

Zaman Esaslı Bakım : 4

Durum Esaslı Bakım : 6

Toplam Verimli Bakım : 9

Güvenirlik Merkezli Bakım : 7

Elde edilen ve yukarıda gösterilen bu değerler kullanılarak normalizasyon işlemi yapılır. Normalizasyon işlemi sonucunda "eğitim" kriterine göre hesaplanan öncelik değereleri Tablo 4.20'de gösterilmiştir.

Tablo 4.20: Eğitime Göre Alternatiflerin Karşılaştırma ve Öncelik Vektörü

EĞİTİM	T - O	ZEB	DEB	TVB	GMB	ÖNCELİK VEKTÖRÜ
Tamir - Onarım (T- O)	1	3/4	1/2	1/3	3/7	**0,104**
Zaman Esaslı Bakım (ZEB)		1	2/3	4/9	4/7	**0,138**
Durum Esaslı Bakım (DEB)			1	2/3	6/7	**0,207**
Toplam Verimli Bakım (TVB)				1	9/7	**0,311**
Güvenirlik Merkezli Bakım (GMB)					1	**0,241**

Eğitim kriterine göre en uygun bakım alternatifi incelendiğinde, "toplam verimli bakım" alternatifini seçmenin (en yüksek öncelik vektörü = 0,311) en uygun strateji olduğu, Tablo 4.20'de açıkça görülmektedir.

4.7.12. Teknik Bilgi Kriterine Göre Alternatiflerin Karşılaştırılması

İşletmedeki yetkililerle yapılan görüşmeler sonucunda, uzman kişilerin 'Teknik Bilgi'' kriterine verdiği önem dereceleri (değerleri) aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

Tamir - Onarım : 4

Zaman Esaslı Bakım : 6

Durum Esaslı Bakım : 7

Toplam Verimli Bakım : 9

Güvenirlik Merkezli Bakım : 8

Elde edilen ve yukarıda gösterilen bu değerler kullanılarak normalizasyon işlemi yapılır. Normalizasyon işlemi sonucunda "teknik bilgi" kriterine göre hesplanan öncelik değereleri Tablo 4.21'de gösterilmiştir.

Tablo 4.21: Teknik Bilgiye Göre Alternatiflerin Karşılaştırma ve Öncelik Vektörü

TEKNİK BİLGİ	T - O	ZEB	DEB	TVB	GMB	ÖNCELİK VEKTÖRÜ
Tamir - Onarım (T- O)	1	2/3	4/7	4/9	1/2	**0,118**
Zaman Esaslı Bakım (ZEB)		1	6/7	2/3	3/4	**0,176**
Durum Esaslı Bakım (DEB)			1	7/9	7/8	**0,206**
Toplam Verimli Bakım (TVB)				1	9/8	**0,265**
Güvenirlik Merkezli Bakım (GMB)					1	**0,235**

Tablo 4.21'de görüldüğü gibi teknik bilgiye göre, en uygun bakım alternatifi "toplam verimli bakım" seçeneğidir. Tabloda görüldüğü gibi öncelik vektörü (0,265) ve uzmanların bu kritere verdiği önem derecesinden (9) yararlanılarak bu sonuca ulaşılmıştır.

4.7.13. Ürün Kalitesi Kriterine Göre Alternatiflerin Karşılaştırılması

İşletmedeki yetkililerle yapılan görüşmeler sonucunda, uzman kişilerin ''Ürün Kalitesi'' kriterine verdiği önem dereceleri (değerleri) aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

Tamir - Onarım : 4
Zaman Esaslı Bakım : 7
Durum Esaslı Bakım : 8
Toplam Verimli Bakım : 6
Güvenirlik Merkezli Bakım : 5

Elde edilen ve yukarıda gösterilen bu değerler kullanılarak normalizasyon işlemi yapılır. Normalizasyon işlemi sonucunda "ürün kalitesi" kriterine göre hesplanan öncelik değereleri Tablo 4.22'de gösterilmiştir.

Tablo 4.22: Ürün Kalitesine Göre Alternatiflerin Karşılaştırma ve Öncelik Vektörü

ÜRÜN KALİTESİ	T - O	ZEB	DEB	TVB	GMB	ÖNCELİK VEKTÖRÜ
Tamir - Onarım (T- O)	1	4/7	1/2	2/3	4/5	**0,133**
Zaman Esaslı Bakım (ZEB)		1	7/8	7/6	7/5	**0,234**
Durum Esaslı Bakım (DEB)			1	4/3	8/5	**0,266**
Toplam Verimli Bakım (TVB)				1	6/5	**0,200**
Güvenirlik Merkezli Bakım (GMB)					1	**0,167**

Ürün kalitesi kriterine göre en uygun bakım alternatifi incelendiğinde, "durum esaslı bakım" alternatifini seçmenin (en yüksek öncelik vektörü = 0,266) en uygun strateji olduğu, Tablo 4.22'de açıkça görülmektedir.

4.7.14. Arıza Teşhisi Kriterine Göre Alternatiflerin Karşılaştırılması

İşletmedeki yetkililerle yapılan görüşmeler sonucunda, uzman kişilerin ''Arıza Teşhisi'' kriterine verdiği önem dereceleri (değerleri) aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

Tamir - Onarım : 3
Zaman Esaslı Bakım : 4
Durum Esaslı Bakım : 8
Toplam Verimli Bakım : 6
Güvenirlik Merkezli Bakım : 7

Elde edilen ve yukarıda gösterilen bu değerler kullanılarak normalizasyon işlemi yapılır. Normalizasyon işlemi sonucunda "arıza teşhisi" kriterine göre hesplanan öncelik değereleri Tablo 4.23'de gösterilmiştir.

Tablo 4.23: Arıza Teşhisine Göre Alternatiflerin Karşılaştırma ve Öncelik Vektörü

ARIZA TEŞHİSİ	T - O	ZEB	DEB	TVB	GMB	ÖNCELİK VEKTÖRÜ
Tamir - Onarım (T- O)	1	3/4	3/8	1/2	3/7	**0,107**
Zaman Esaslı Bakım (ZEB)		1	1/2	2/3	4/7	**0,143**
Durum Esaslı Bakım (DEB)			1	4/3	8/7	**0,286**
Toplam Verimli Bakım (TVB)				1	6/7	**0,214**
Güvenirlik Merkezli Bakım (GMB)					1	**0,250**

Tablo 4.23'de görüldüğü gibi arıza teşhisine göre, en uygun bakım alternatifi "durum esaslı bakım" seçeneğidir. Tabloda görüldüğü gibi öncelik vektörü (0,286) ve uzmanların bu kritere verdiği önem derecesinden (8) yararlanılarak bu sonuca ulaşılmıştır.

4.8. TUTARLILIĞIN HESAPLANMASI VE ALTERNATİFLERİN SIRALANMASI

4.8.1. Tutarlılığın (Consistency) Hesaplanması

Sübjektif algıların tutarlılığını ve göreceli ağırlıkların doğruluğunu sağlamak için tutarlılık indeksi (CI) ve tutarlılık (uyum) oranı (CR) olmak üzere iki katsayı kullanılmaktadır. Söz konusu Tutarlılık İndeksinin (CI) hesaplanabilmesi için denklem 4.1'deki formül kullanılır. Tutarlılık oranının hesaplanmasında izlenecek adımlar ise aşağıdaki gibidir.

1. Karşılaştırma matrisinin her bir satırı için, sütunlarda yer alan elemanların ağırlıklarının toplamı hesaplanır (Tablo 4.2 ve 4.3),

2. Karşılaştırma matrisinin her bir sütunundaki eleman, elde edilen toplam sütun ağırlığına bölünerek Normalize Edilmiş Matris hesaplanır (Tablo: 4.5),

3. Normalize edilmiş matrisin oluşturulmasından sonra, bu matrisin tutarlılık oranı hesaplanmaktadır. Bunun için öncelikle Tablo 4.24'deki karşılaştırma matrisinin her bir sütunu, öncelik vektöründe yer alan değerlerle çarpılır.

Tablo 4.24: Ana Kriterlerin Karşılaştırma Matrisi ve Öncelik Vektörü

ANA KRİTER	M	G	U	RA	ÖNCELİK VEKTÖRÜ
Maliyet (M)	1,00	0,89	1,33	2,00	**0,296**
Güvenlik (G)	1,13	1,00	1,50	2,25	**0,333**
Uygulanabilirlik (U)	0,75	0,67	1,00	1,50	**0,222**
Rekabet Avantajı (RA)	0,50	0,44	0,67	1,00	**0,148**

Öncelikler vektörü (ortalamalar) ile başlangıçtaki karşılaştırma matrisi (ilk matris) çarpılarak ''Tüm Öncelikler Matrisi'' aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$Aw = 0,296X\begin{pmatrix}1\\1,13\\0,75\\0,50\end{pmatrix} + 0,333X\begin{pmatrix}0,89\\1\\0,67\\0,44\end{pmatrix} + 0,222X\begin{pmatrix}1,33\\1,50\\1\\0,67\end{pmatrix} + 0,148X\begin{pmatrix}2\\2,25\\1,50\\1\end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix}0,296 & 0,296 & 0,295 & 0,296\\0,335 & 0,333 & 0,333 & 0,333\\0,222 & 0,223 & 0,222 & 0,222\\0,148 & 0,147 & 0,149 & 0,148\end{pmatrix} = \begin{bmatrix}1,183\\1,334\\0,889\\0,592\end{bmatrix}$$

Yukarıdaki matematiksel işlemler sonucunda ağırlıklı toplam (tüm öncelikler) matrisi elde edilmektedir.

Daha sonra ağırlıklı toplam matrisin her bir elemanı sırasıyla aşağıda gösterildiği şekilde öncelik vektörü elemanına bölünür.

$$\frac{1,183}{0,296} = 3,997$$

$$\frac{1,334}{0,333} = 4,006$$

$$\frac{0,889}{0,222} = 4,005$$

$$\frac{0,592}{0,148} = 4,000$$

Bulunan bu değerlerin ortalaması alınarak λ_{maks} bulunur. Bir kare matrisin özdeğerleri arasındaki en büyük kıymet λ_{maks} ile ifade edilmektedir.

$$\lambda_{maks} = (3,997 + 4,006 + 4,005 + 4,000)/4 = 4,002$$

λ_{maks} hesaplandıktan sonra Tutarlılık İndeksi (CI) aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$CI = \frac{\lambda_{maks} - n}{n-1} \quad \textbf{(4.1)}$$

$$CI = \frac{4{,}002 - 4}{4 - 1} = 0{,}0007$$

λ_{maks} : En büyük özdeğeri.
n : Karşılaştırılan öğe sayısını.
CI : Tutarlılık indeksini ifade eder.

Son aşamada ise CI, Rassal İndeks (RI) olarak adlandırılan ve üçüncü bölüm 3.9.4'de açıklaması yapılan ve Tablo 3.6'da gösterilen 15 boyutlu matrislere kadar hesaplanan Tesadüfilik Göstergesinde yer alan standart düzeltme değerine bölünerek Tutarlılık Oranı (CR) elde edilir (Saaty ve Tran, 2007: 966).

İncelenen matris için n = 4 ve RI = 0,89'dur. Tutarlılık Oranının (CR) hesaplanabilmesi için aşağıdaki formülasyon kullanılmaktadır:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad \textbf{(4.2)}$$

Karşılaştırmalar arasındaki tutarlılığı gösteren Uyum Oranı (Tutarsızlık Oranı) yukarda Denklem 4.2'de belirtildiği şekilde hesaplanmaktadır. Tutarsızlık (Inconsistency) oranın ''0'' olması karar vericilerin yargılarında tutarlı olduğunu göstermektedir. Uyum oranının 0,10'dan küçük olması iyi olarak adlandırılır. Tutarsızlığın 0,10'dan büyük olduğu durumlarda değerlendirme yapılmalıdır.

$$CR = \frac{0{,}0007}{0{,}89} = 0{,}0008$$

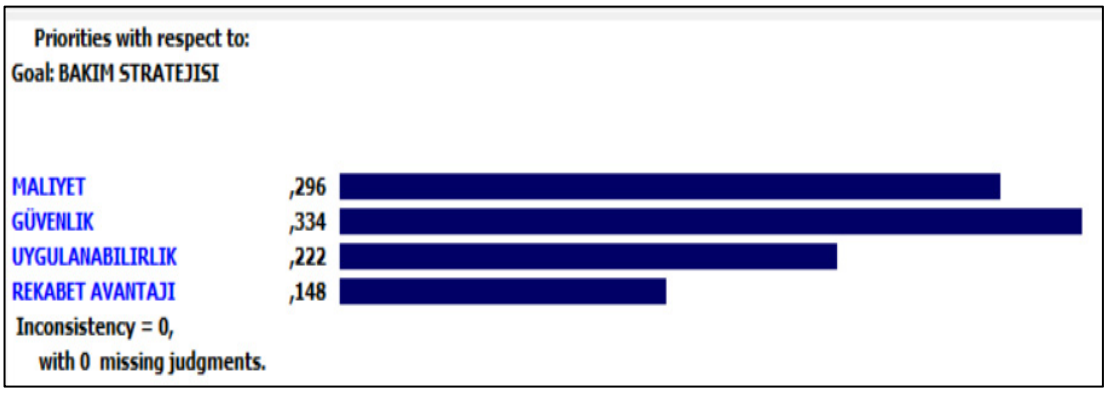
0,008 tutarlılık değeri 0,1 değerinden *çok daha küçük olduğundan* dolayı *karşılaştırma matrisi tutarlı olarak kabul* edilmiştir.

Yukarıda yapılan işlemlerle ana kriterlerin öncelik sıralaması yapılmış ve tutarlılık oranı hesaplanmıştır. Şekil 4.2-4.10'da kriterlerin öncelik değerleri ve sıralaması, Expert Choice programının hesapladığı ve ürettiği sonuçlar sırası ile verilmiştir.

4.8.2. Ana Kriterlerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranının Hesaplanması

Şekil 4.2'de görüldüğü gibi uzman görüşlerinden elde edilen veriler Expert Choice paket programına girilmiş program çalıştırdıktan sonra, programın ürettiği ana kriterlerin ikili karşılaştırmalarının öncelik vektörü (öncelikleri), sıralanmış ve tutarlılık oranına ait ekran çıktılarının görüntüsü Şekil 4.2-4.20'de verilmiştir.

Ekran çıktısında tutarlılık oranının (Inconsistency)**, 0** şeklinde gösterilmesinin nedeni hesaplanan tutarlılık oranlarının on binde oranında olmasından dolayıdır. Bu nedenle tutarlılık oranı ayrıca hesaplanmış ve şekillerin altına yazılmıştır.



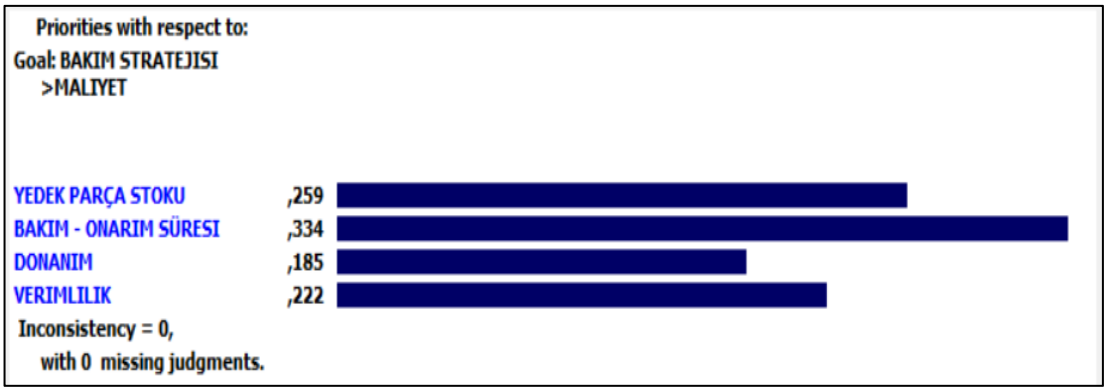
Tutarlılık Oranı: 0,00029

Şekil 4.2: Ana Kriterlerin Öncelik Vektörüne Göre Sıralanması ve Tutarlılık Oranı

Şekil 4.2'de Ana kriterlerin tutarlılık oranı 0,00029 < 0,10'dan küçük olduğundan sonuç tutarlı olup, en önemli kriter 0,334 ile Güvenlik, en etkisiz kriter ise 0,148 ile Rekabet Avantajı kriteri olduğu görülmektedir.

4.8.3. Maliyet Kriterlerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı

Şekil 4.3'de uzman görüşlerinden elde edilen verilerin Expert Choice paket programına girilip çalıştırılmasından sonra, programın ürettiği maliyet ana kriterine bağlı alt kriterlerin ikili karşılaştırmaların öncelik vektörü, sıralanması ve tutarlılık oranına ait ekran çıktı görüntüsü verilmiştir.



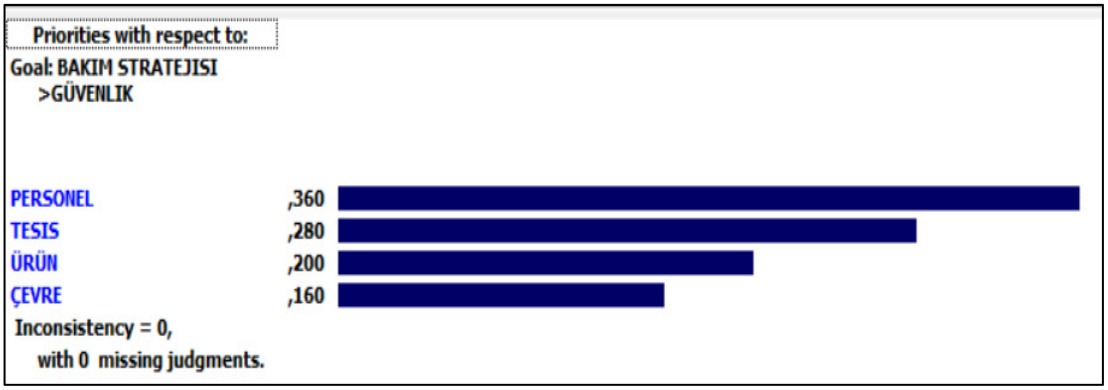
Tutarlılık Oranı: 0,0006

Şekil 4.3: Maliyet Kriterlerin Öncelik Vektörüne Göre Sıralanması ve Tutarlılık Oranı

Şekil 4.3'de Maliyet ana kritere bağlı alt kriterlerin tutarlılık oranı 0,0006 < 0,10'dan küçük olduğundan, sonuç tutarlı olup en önemli kriter 0,334 ile Bakım-Onarım Süresi, en etkisiz kriterin ise 0,185 ile Donanım kriteri olduğuna karar verilmiştir.

4.8.4. Güvenlik Kriterlerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı

Şekil 4.4'de uzman görüşlerinden elde edilen verilerin Expert Choice paket programına girilip çalıştırdıktan sonra, programın ürettiği güvenlik ana kriterine bağlı alt kriterlerin ikili karşılaştırmaların öncelik vektörü, sıralanması ve tutarlılık oranına ait ekran çıktı görüntüsü gösterilmiştir.



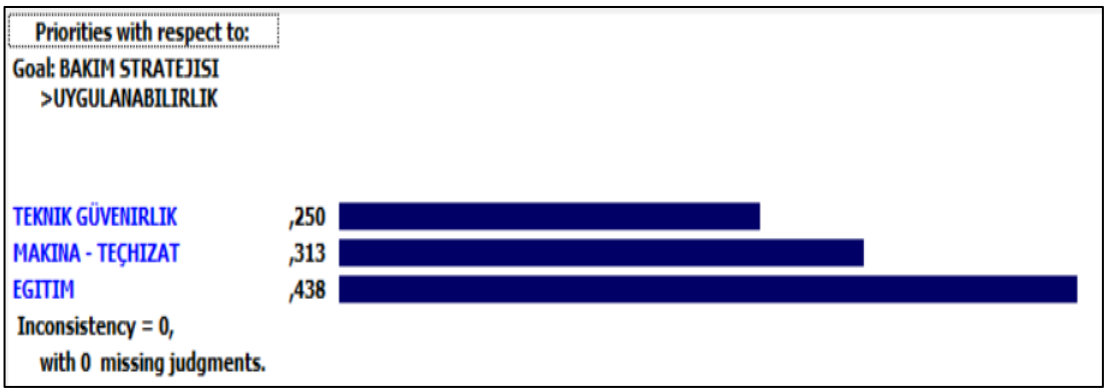
Tutarlılık Oranı: 0,0011

Şekil 4.4: Güvenlik Kriterlerin Öncelik Vektörüne Göre Sıralanması ve Tutarlılık Oranı

Şekil 4.4'de Güvenlik kriterinin tutarlılık oranı 0,0011 < 0,10'dan küçük olduğundan tutarlı olup en önemli kriter 0,360 ile Personel, en etkisiz kriter 0,160 ile Çevre kriteri olduğu görülmektedir.

4.8.5. Uygulanabilirlik Kriterlerinin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı

Şekil 4.5'de uzman görüşlerinden elde edilen verilerin Expert Choice paket programına girilip çalıştırdıktan sonra, programın ürettiği uygulanabilirlik ana kriterine bağlı alt kriterlerin ikili karşılaştırmaların öncelik vektörü, sıralanması ve tutarlılık oranına ait ekran görüntüsü yer almaktadır.



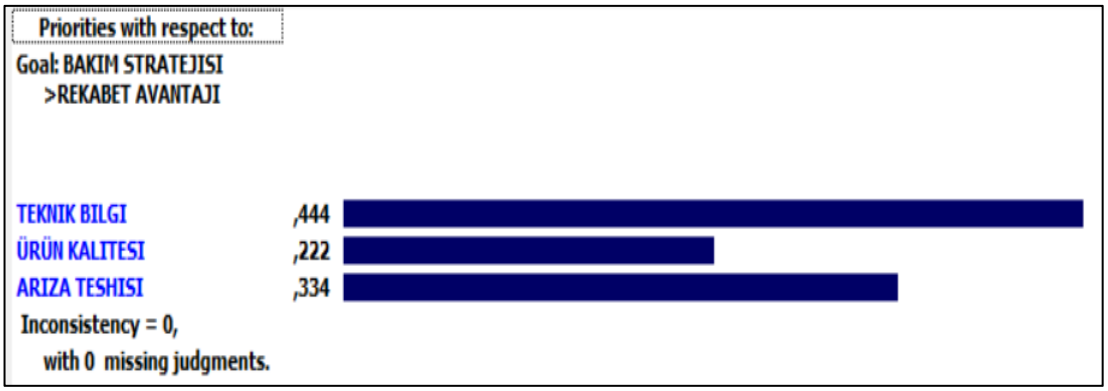
Tutarlılık Oranı: 0,00037

Şekil 4.5: Uygulanabilirlik Kriterlerin Öncelik Vektörüne Göre Sıralanması ve Tutarlılık Oranı

Şekil 4.5'de Uygulanabilirlik kriterinin tutarlılık oranı 0,00037 < 0,10'dan küçük olduğundan sonuç tutarlı olup en önemli kriter 0,438 ile Eğitim, en etkisiz kriterin 0,250 ile Teknik Güvenirlik kriteri olduğu şekilde görülmektedir.

4.8.6. Rekabet Avantajı Kriterlerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı

Şekil 4.6'da uzman görüşlerinden elde edilen verilerin Expert Choice paket programına girilip, program çalıştırıldıktan sonra, programın ürettiği rekabet avantajı ana kriterine bağlı alt kriterlerin ikili karşılaştırma öncelik vektörü, sıralanması ve tutarlılık oranına ait ekran çıktısı verilmiştir.



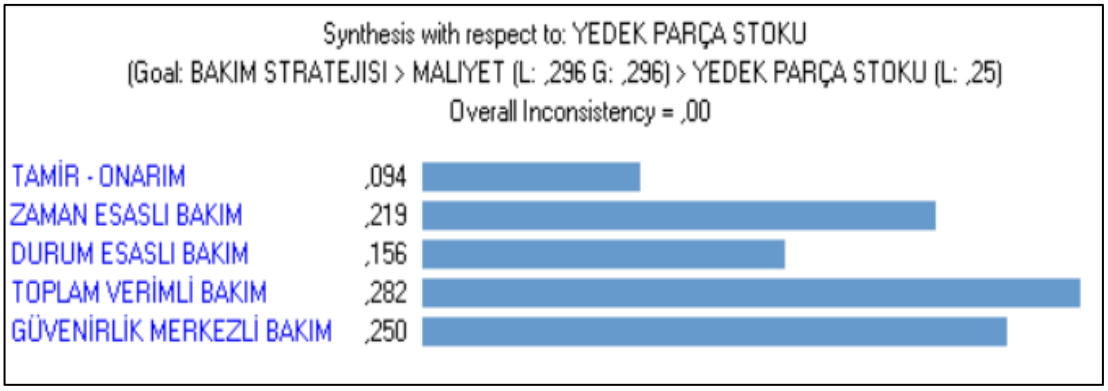
Tutarlılık Oranı: 0,00081

Şekil 4.6: Rekabet Avantajı Kriterlerin Öncelik Vektörüne Göre Sıralanması ve Tutarlılık Oranı

Şekil 4.6'da görüldüğü gibi Rekabet Avantajı kriterinin tutarlılık oranı 0,00081 < 0,10'dan küçük olduğundan, sonuç tutarlı olup en önemli kriter 0,444 ile Teknik Bilgi, en etkisiz kriter ise 0,222 ile Ürün Kalitesi kriteri olduğu görülmektedir.

4.8.7. Yedek Parça Stoku Kriterine Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranının Bulunması

Şekil 4.7'de uzman görüşlerinden elde edilen verilerin Expert Choice paket programına girilip çalıştırdıktan sonra, programın ürettiği yedek parça stoğu kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırmaların öncelik vektörü, sıralanması ve tutarlılık oranına ait ekran çıktı görüntüsü gösterilmiştir.



Tutarlılık Oranı: 0,0015

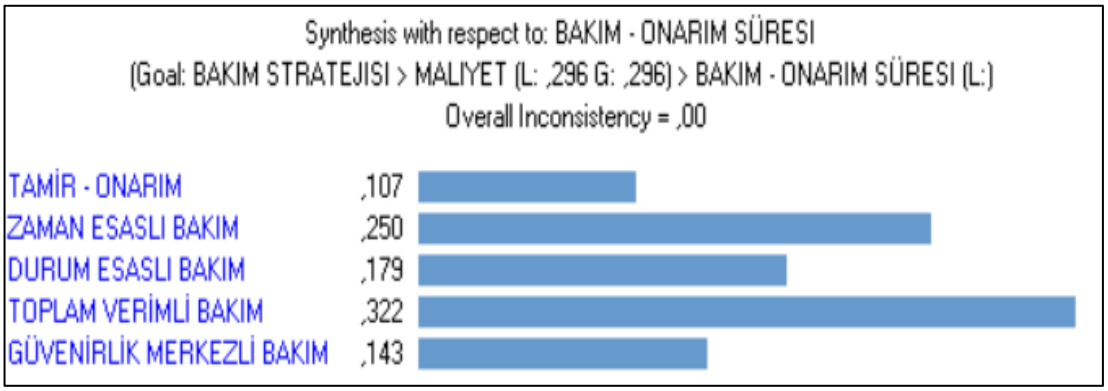
Şekil 4.7: Yedek Parça Stokuna Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı

Şekil 4.7'de görüldüğü gibi sadece yedek parça stoku kriterine göre bakım stratejisi seçimi yapılacak olunsaydı toplam verimli bakım % 28,2 öncelik vektörü ile

en çok ve % 9,4 öncelik vektörü ile tamir-onarım en az tercih edilen bakım stratejisi olacaktı. Ayrıca, Yedek Parça Stoku kriterinin tutarlılık oranı 0,0015 < 0,10'dan küçük olduğundan tutarlı olduğu kabul edilir.

4.8.8. Bakım - Onarım Süresi Kriterine Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı

Şekil 4.8'de uzman görüşlerinden elde edilen veriler Expert Choice paket programına girilip çalıştırıldıktan sonra, programın ürettiği bakım - onarım süresi kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırmalarının öncelik vektörü, sıralanması ve tutarlılık oranına ait ekran çıktısı yer almaktadır.



Tutarlılık Oranı: 0,0022

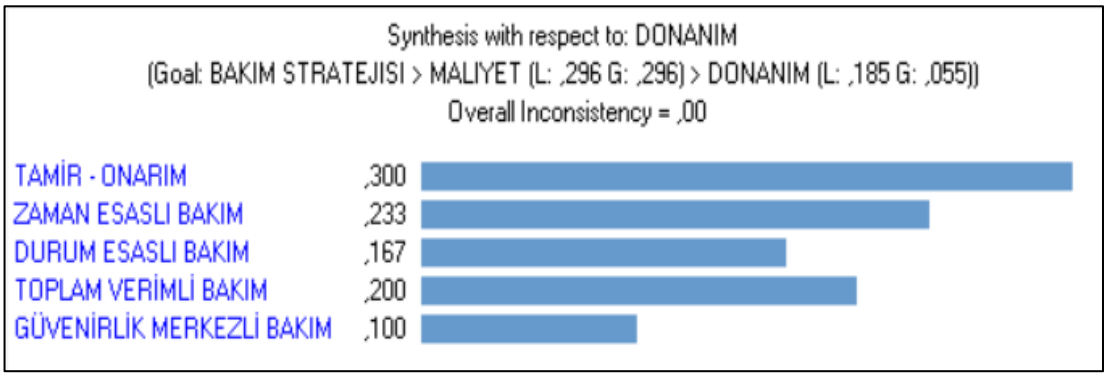
Şekil 4.8: Bakım - Onarım Süresine Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı

Şekil 4.8'de görüldüğü gibi sadece bakım - onarım süresi kriterine göre bakım stratejisi seçimi yapılacak olsaydı, toplam verimli bakım % 32,2 öncelik vektörü ile en çok ve % 10,7 öncelik vektörü ile tamir-onarım en az tercih edilen bakım stratejisi olacak idi. Ayrıca Bakım - Onarım Süresi kriterinin tutarlılık oranı 0,0022 < 0,10'dan küçük olduğundan sonucun tutarlı olduğu kabul edilebilir.

4.8.9. Donanım Kriterine Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı Hesabı

Şekil 4.9'da uzman görüşlerinden elde edilen verilerin Expert Choice paket programına girilip çalıştırılmasından sonra, programın ürettiği donanım kriterine göre

alternatiflerin ikili karşılaştırmalarının öncelik vektörü sıralanması ve tutarlılık oranına ait ekran çıktısı verilmiştir.



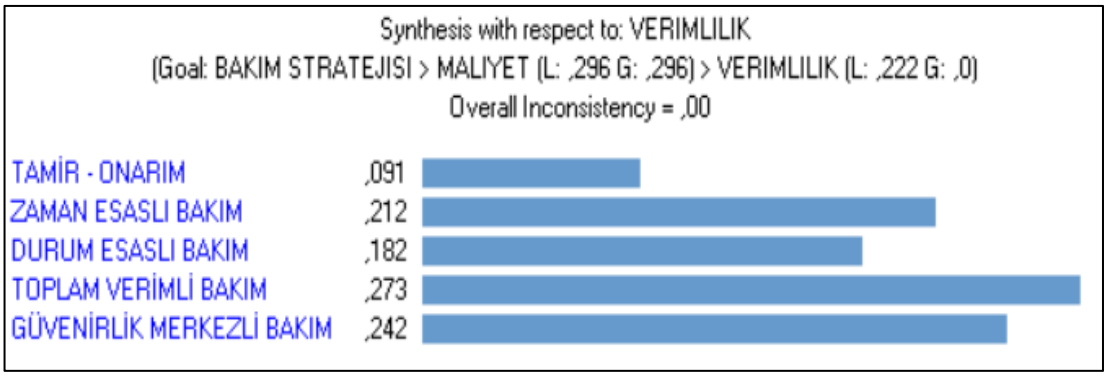
Tutarlılık Oranı: 0,011

Şekil 4.9: Donanıma Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı

Şekil 4.9'da görüldüğü gibi sadece donanım kriterine göre bakım stratejisi seçimi yapılmış olsaydı tamir - onarım % 30 öncelik vektörü ile en çok ve % 10 öncelik vektörü ile durum güvenirlik merkezli bakım en az tercih edilen bakım stratejisi olacaktı. Ayrıca Donanım kriterinin tutarlılık oranı 0,011 < 0,10'dan küçük olduğundan sonucun tutarlı olduğu kabul edilebilir.

4.8.10. Verimlilik Kriterine Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranının Belirlenmesi

Şekil 4.10'da uzman görüşlerinden elde edilen verilerin Expert Choice paket programına girilip çalıştırdıktan sonra, programın ürettiği verimlilik kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırmaların öncelik vektörü, sıralanması ve tutarlılık oranına ait ekran çıktısı gösterilmiştir.



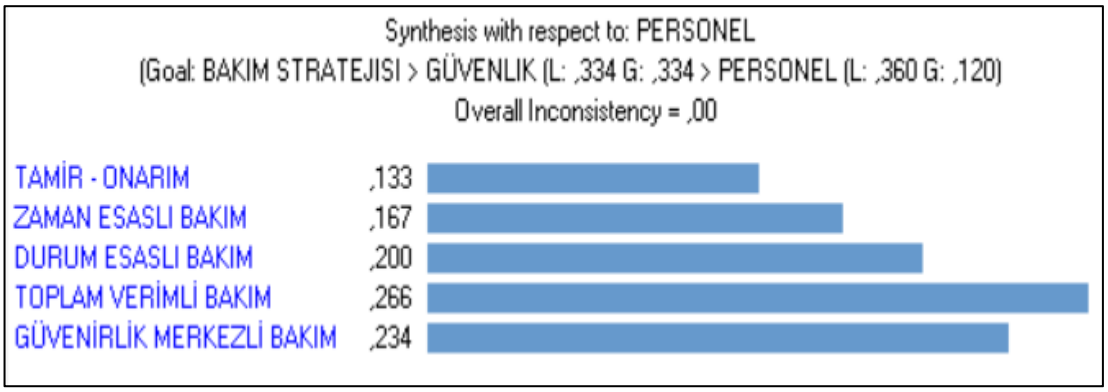
Tutarlılık Oranı: 0,0014

Şekil 4.10: Verimliliğe Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı

Şekil 4.10'dagörüldüğü gibi sadece verimlilik kriterine göre bakım stratejisi seçimi yapılacak olunsaydı toplam verimli bakım % 27,3 öncelik vektörü ile en çok ve % 9,1 öncelik vektörü ile tamir-onarım en az tercih edilen bakım stratejisi olacaktı. Ayrıca verimlilik kriterinin tutarlılık oranı 0,0014 < 0,10'dan küçük olduğundan sonucun tutarlı olduğu kabul edilebilir.

4.8.11. Personel Kriterine Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı Hesabı

Şekil 4.11'de uzman görüşlerinden elde edilen verilerin Expert Choice paket programına girilip çalıştırdıktan sonra, programın ürettiği personel kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırmalarının öncelik vektörü, sıralanması ve tutarlılık oranına ait ekran çıktısı yer almaktadır.



Tutarlılık Oranı: 0,0011

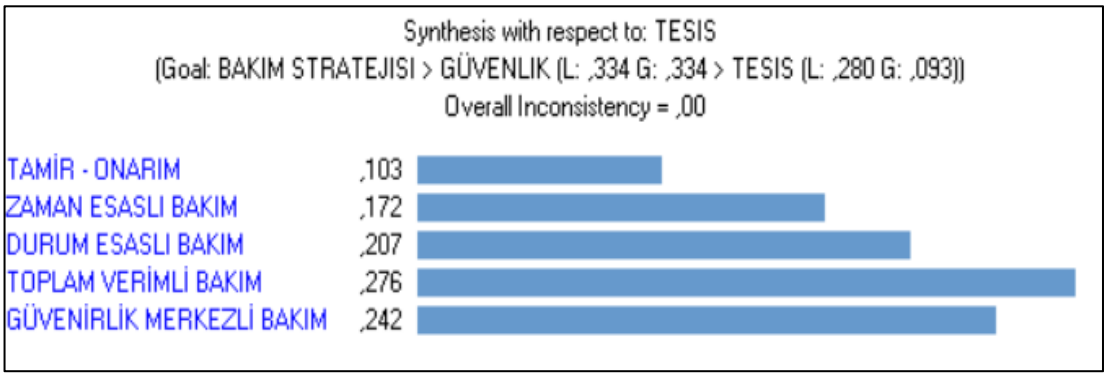
Şekil 4.11: Personele Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı

Şekil 4.11'de görüldüğü gibi sadece personel kriterine göre bakım stratejisi seçimi yapılacak olsaydı toplam verimli bakım % 26,6 öncelik vektörü ile en çok ve % 13,3 öncelik vektörü ile tamir-onarım en az tercih edilen bakım stratejisi olacaktı. Ayrıca personel kriterinin tutarlılık oranı 0,0011 < 0,10'dan küçük olduğundan bu sonucun tutarlı olduğu kabul edilebilir.

4.8.12. Tesis Kriterine Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı Hesabı

Şekil 4.12'de uzman görüşlerinden elde edilen verilerin Expert Choice paket programına girilip çalıştırdıktan sonra, programın ürettiği tesis kriterine göre

alternatiflerin ikili karşılaştırmaların öncelik vektörü, sıralanması ve tutarlılık oranına ait ekran çıktı görüntüsü verilmiştir.



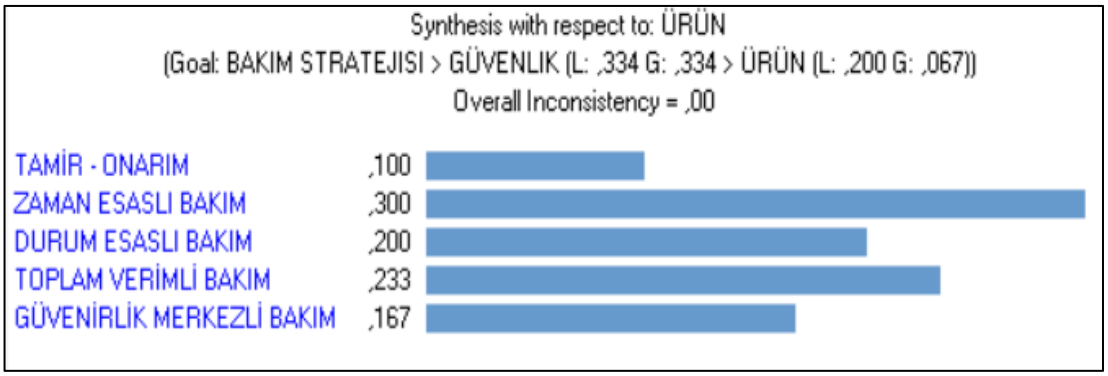
Tutarlılık Oranı: 0,0011

Şekil 4.12: Tesise Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı

Şekil 4.12'de görüldüğü gibi sadece tesis kriterine göre bakım stratejisi seçimi yapılacak olsaydı toplam verimli bakım % 27,6 öncelik vektörü ile en çok ve % 10,3 öncelik vektörü ile tamir-onarım en az tercih edilen bakım stratejisi olacaktı. Ayrıca tesis kriterinin tutarlılık oranı 0,0011 < 0,10'dan küçük olduğundan sonucun tutarlı olduğu kabul edilebilir.

4.8.13. Ürün Kriterine Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı Hesabı

Şekil 4.13'de uzman görüşlerinden elde edilen verilerin Expert Choice paket programına girilip çalıştırdıktan sonra, programın ürettiği ürün kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırmaların öncelik vektörü, sıralanması ve tutarlılık oranına ait ekran çıktısı gösterilmiştir.



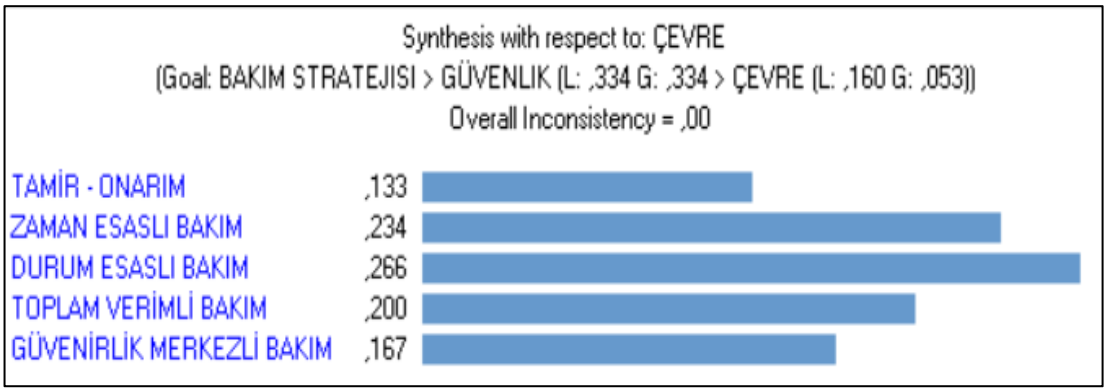
Tutarlılık Oranı: 0,006

Şekil 4.13: Ürüne Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı

Şekil 4.13'de görüldüğü gibi sadece ürün kriterine göre bakım stratejisi seçimi yapılacak olunsaydı, zaman esaslı bakım % 30 öncelik vektörü ile en çok tercih edilen ve % 10 öncelik vektörü ile tamir - onarım en az tercih edilen bakım stratejisi olacaktı. Ürün kriterinin tutarlılık oranı 0,006 < 0,10'dan küçük olduğundan sonucun tutarlı olduğu kabul edilebilir.

4.8.14. Çevre Kriterine Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı

Şekil 4.14'de görüldüğü gibi uzman görüşlerinden elde edilen veriler Expert Choice paket programına girilip çalıştırılmasından sonra, programın ürettiği çevre kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırmaların öncelik vektörü, sıralanması ve tutarlılık oranına ait ekran çıktıları yer almaktadır.



Tutarlılık Oranı: 0,0003

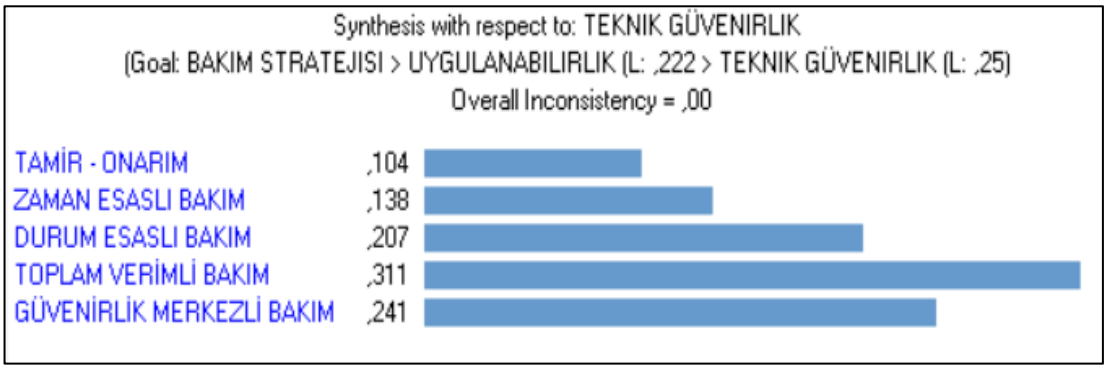
Şekil 4.14: Çevreye Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı

Şekil 4.14'de görüldüğü gibi, sadece çevre kriterine göre bakım stratejisi seçimi yapılacak olsaydı durum esaslı bakım % 26,6 öncelik vektörü ile en çok ve % 13,3 öncelik vektörü ile tamir-onarım en az tercih edilen bakım stratejisi olacaktı. Ayrıca çevre kriterinin tutarlılık oranı 0,0003 < 0,10'dan küçük olduğundan tutarlı olduğu söylenebilir.

4.8.15. Teknik Güvenirlik Kriterine Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı

Şekil 4.15'de uzman görüşlerinden elde edilen verilerin Expert Choice paket programına girilip çalıştırdıktan sonra, programın ürettiği teknik güvenirlik kriterine

göre alternatiflerin ikili karşılaştırmaların öncelik vektörü, sıralanması ve tutarlılık oranına ait ekran çıktı görüntüsü verilmiştir.



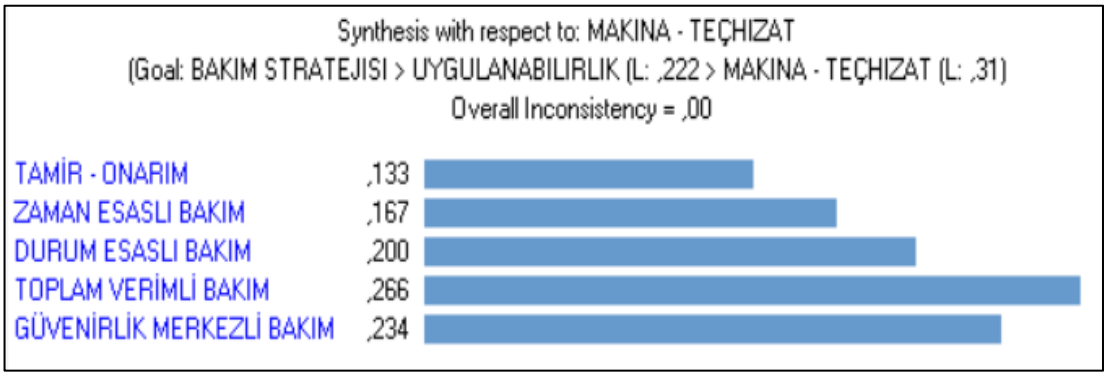
Tutarlılık Oranı: 0,0003

Şekil 4.15: Teknik Güvenirliğe Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı

Şekil 4.15'de görüldüğü gibi sadece teknik güvenirlik kriterine göre bakım stratejisi seçimi yapılacak olsaydı toplam verimli bakım % 31,1 öncelik vektörü ile en çok ve % 10,4 öncelik vektörü ile tamir-onarım en az tercih edilen bakım stratejisi olacaktı. Sonuç olarak, Teknik Güvenirlik kriterinin tutarlılık oranı 0,0003 < 0,10'dan küçük olduğundan elde edilen sonucun tutarlı olduğu kabul edilir.

4.8.16. Makine – Teçhizat Kriterine Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı

Şekil 4.16'da uzman görüşlerinden elde edilen verilerin Expert Choice paket programına girilip çalıştırdıktan sonra, programın ürettiği makine-teçhizat kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırmaların öncelik vektörü, sıralanması ve tutarlılık oranına ait ekran çıktı görüntüsü gösterilmiştir.



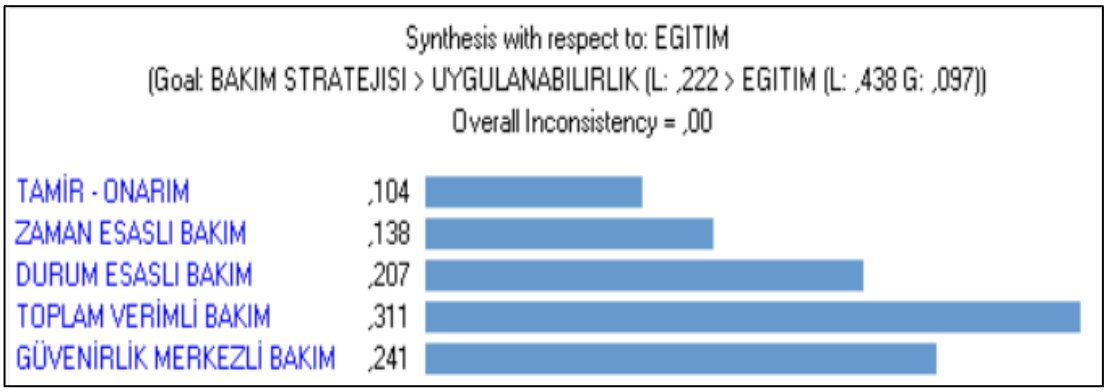
Tutarlılık Oranı: 0,0003

Şekil 4.16: Makine - Teçhizata Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı

Şekil 4.16'da görüldüğü gibi sadece makine-teçhizat kriterine göre bakım stratejisi seçimi yapılacak olsaydı toplam verimli bakım % 26,6 öncelik vektörü ile en çok ve % 13,3 öncelik vektörü ile tamir-bakım en az tercih edilen bakım stratejisi olacaktı. Ayrıca Makine-Teçhizat kriterinin tutarlılık oranı 0,0003 < 0,10'dan küçük olduğundan sonucun tutarlı olduğu kabul edilir.

4.8.17. Eğitim Kriterine Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı

Şekil 4.17'de uzman görüşlerinden elde edilen verilerin Expert Choice paket programına girilip çalıştırılmasından sonra, programın ürettiği eğitim kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırmaların öncelik vektörü, sıralanması ve tutarlılık oranına ait ekran çıktıları yer almaktadır.



Tutarlılık Oranı: 0,00004

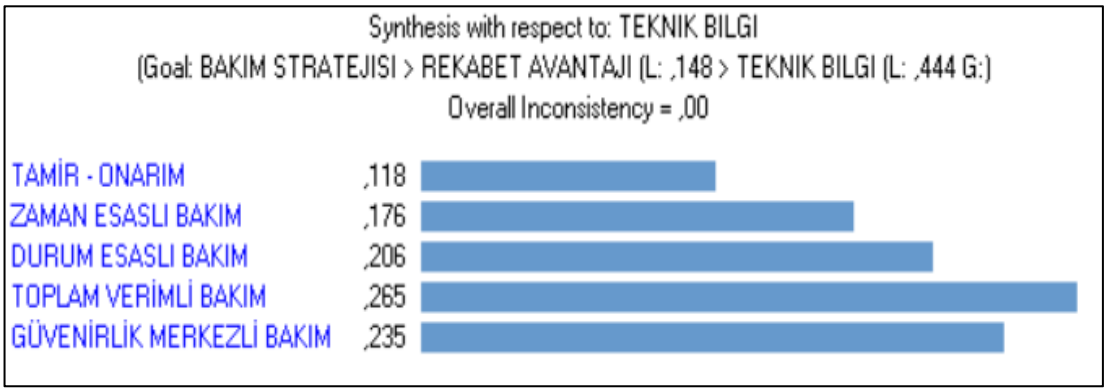
Şekil 4.17: Eğitime Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı

Şekil 4.17'de görüldüğü gibi sadece eğitim kriterine göre bakım stratejisi seçimi yapılacak olsaydı toplam verimli bakım % 31,1 öncelik vektörü ile en çok ve % 10,4 öncelik vektörü ile bakım-onarım en az tercih edilen bakım stratejisi olacaktı. Ayrıca Eğitim kriterinin tutarlılık oranı 0,00004 < 0,10'dan küçük olduğundan sonucun tutarlı olduğu ifade edilebilir.

4.8.18. Teknik Bilgi Kriterine Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı

Şekil 4.18'de görülen ve uzman görüşlerinden elde edilen verilerin Expert Choice paket programına girilip çalıştırılmasından sonra, programın ürettiği teknik

bilgi kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırmaların öncelik vektörü, sıralanması ve tutarlılık oranına ait ekran görüntüleri verilmiştir.



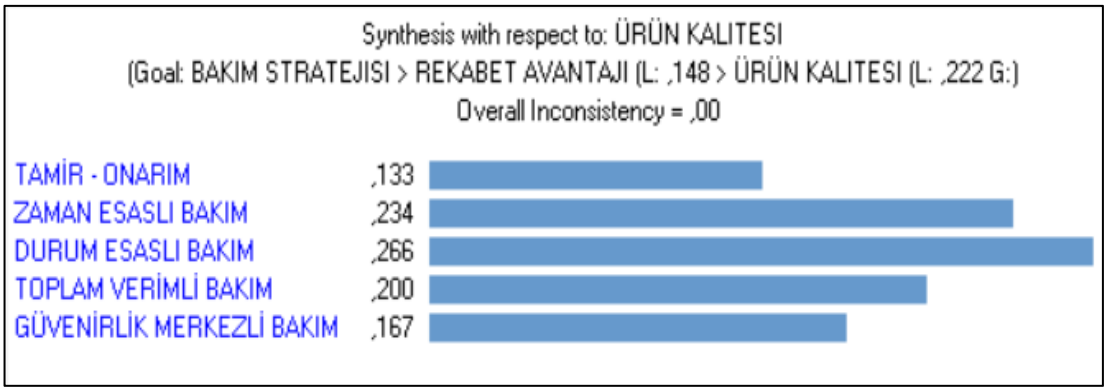
Tutarlılık Oranı: 0,0007

Şekil 4.18: Teknik Bilgiye Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı

Şekil 4.18'de görüldüğü gibi sadece teknik bilgi kriterine göre bakım stratejisi seçimi yapılacak olsaydı toplam verimli bakım % 26,5 ile en çok ve % 11,8 öncelik vektörü ile tamir-onarım en az öncelik vektörü tercih edilen bakım stratejisi olacaktı. Ayrıca Teknik Bilgi kriterinin tutarlılık oranı 0,0007 < 0,10'dan küçük olduğundan sonucun tutarlı olduğu kabul edilebilir.

4.8.19. Ürün Kalitesi Kriterine Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı

Şekil 4.19'da uzman görüşlerinden elde edilen verilerin Expert Choice paket programına girilip çalıştırdıktan sonra, programın ürettiği ürün kalitesi kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırmaların öncelik vektörü, sıralanması ve tutarlılık oranına ait ekran çıktı görüntüsü gösterilmiştir.



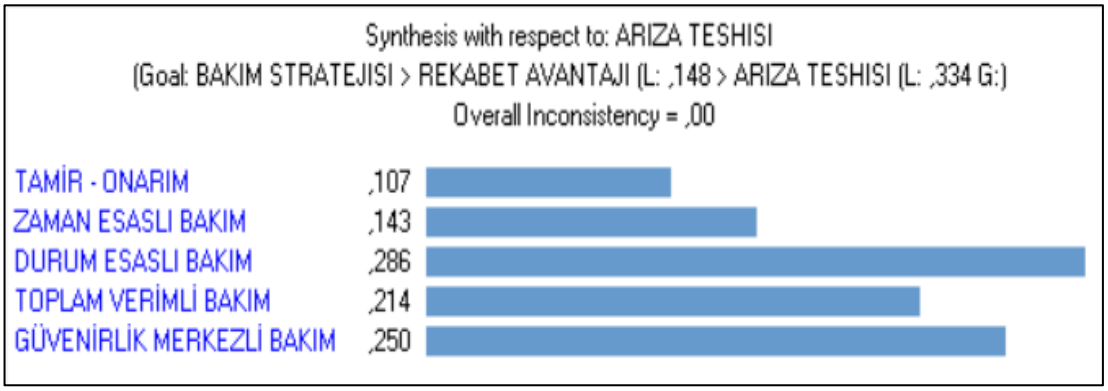
Tutarlılık Oranı: 0,0033

Şekil 4.19: Ürün Kalitesine Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı

Şekil 4.19'da görüldüğü gibi sadece ürün kalitesi kriterine göre bakım stratejisi seçimi yapılacak olsaydı durum esaslı bakım % 26,6 öncelik vektörü ile en çok ve % 13,3 öncelik vektörü ile tamir-onarım en az tercih edilen bakım stratejisi olacaktı. Ayrıca Ürün kalitesi kriterinin tutarlılık oranı 0,0033 < 0,10'dan küçük olduğundan sonucun tutarlı olduğu kabul edilir.

4.8.20. Arıza Teşhisi Kriterine Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı

Şekil 4.20'de uzman görüşlerinden elde edilen verilerin Expert Choice paket programına girilip çalıştırdıktan sonra, programın ürettiği arıza teşhisi kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırmaların öncelik vektörü, sıralanması ve tutarlılık oranına ait ekran çıktı görüntüsü yer almaktadır.



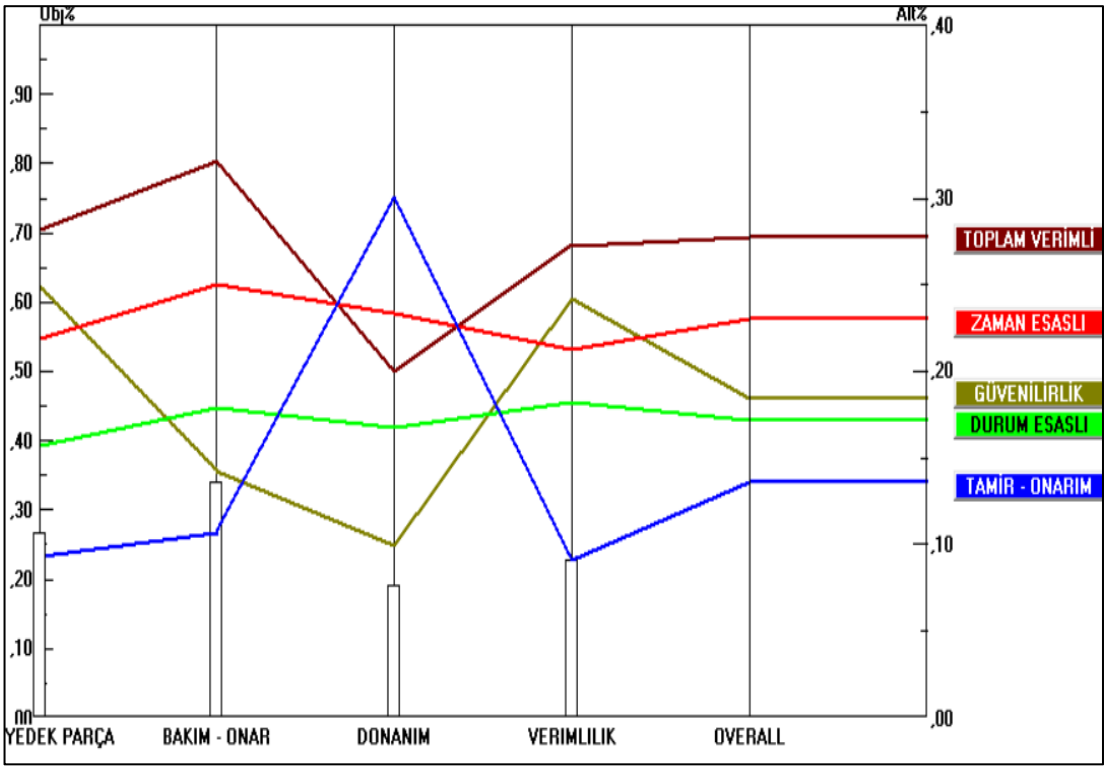
Tutarlılık Oranı: 0,0011

Şekil 4.20: Arıza Teşhisine Göre Alternatiflerin Sıralanması ve Tutarlılık Oranı

Şekil 4.20'de görüldüğü gibi sadece arıza teşhisine kriterine göre bakım stratejisi seçimi yapılacak olsaydı durum esaslı bakım % 28,6 öncelik vektörü ile en çok ve % 10,7 öncelik vektörü ile tamir-onarım en az tercih edilen bakım stratejisi olacaktı. Ayrıca Arıza Teşhisi kriterinin tutarlılık oranı 0,0011 < 0,10'dan küçük olduğundan elde edilen sonucun tutarlı olduğu kabul edilebilir.

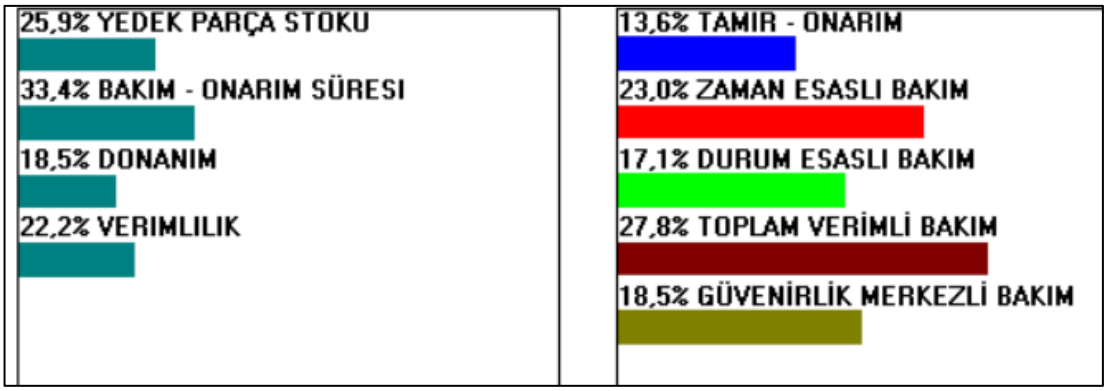
4.8.21. Maliyet Ana Kriteri ve Alt Kriterlerin Alternatiflere Etki Derecelerinin Belirlenmesi

Maliyet ana kriteri ve ana kritere bağlı alt kriterlerin alternatiflerinin seçimine etki dereceleri ve hangi kriter için hangi bakım alternatifinin seçilmesinin daha uygun olacağı incelenmiş olup, Maliyet ana kriteri ve bunun alt kriterlerine göre alternatiflerinin öncelikleri Şekil 4.21'de gösterilmiştir.



Şekil 4.21: Alternatiflerin, Maliyet Alt Kriterlerine Göre Sıralanması

Yukarıda yer alan Şekil 4.21 aynı zamanda Expert Choice paket programının performans duyarlılığını göstermektedir. Şekil 4.21, maliyet ana kriteri altında bulunan yedek parça, bakım-onarım süresi, donanım ve verimlilik kriterlerinin her birinde alternatiflerin öncelik sıralamasını göstermektedir.



Şekil 4.22: Maliyet Ana Kriterine Göre Alternatiflerin Ağırlıkları ve Alt Kriterlerin Alternatiflere Etki Dereceleri

Şekil 4.21 ve Şekil 4.22 incelendiğinde, Maliyet ana kriterinin alt kriterleri olan Yedek Parça Stoku, Bakım-Onarım Süresi, Donanım ve Verimlilik kriterlerine göre;

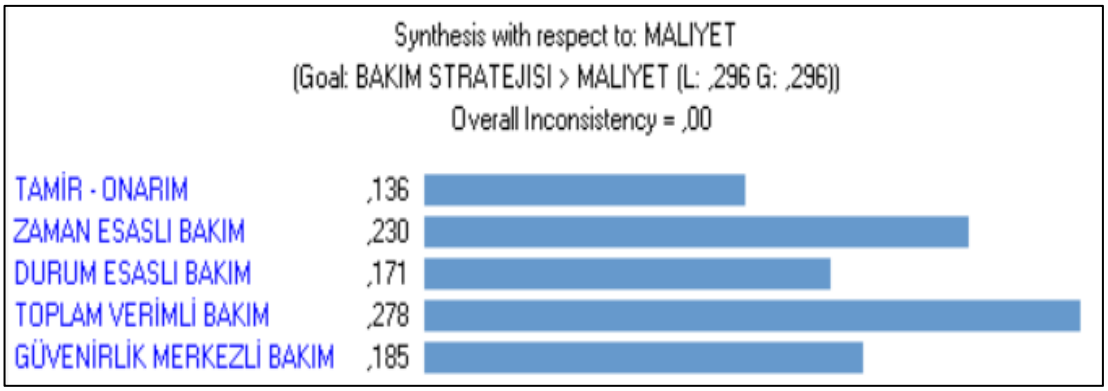
- Yedek Parça Stoku kriteri maliyet ana kriteri içerisinde alternatiflerin öncelikli tercih edilmesine % 25,9 oranında etki etmektedir. Sadece bu kritere göre karar verilseydi; Toplam Verimli Bakım seçeneği en uygun, Tamir-Onarım ise en kötü tercih olacaktı.

- Bakım - Onarım Süresi kriteri alternatiflerin öncelikli tercih edilmesine % 33,4 oranı ile maliyet ana kriterine en fazla etki eden kriterdir. Sadece bu kritere göre karar verilseydi; Toplam Verimli Bakım seçeneği en uygun, Tamir-Onarım ise en kötü tercih olacaktı.

- Donanım kriteri alternatiflerin öncelikli tercih edilmesine % 18,5 oranında etki etmektedir. Sadece bu kritere göre karar verilseydi; Tamir-Onarım seçeneği en uygun, Güvenirlik Esaslı Bakım ise en kötü tercih olmaktadır.

- Verimlilik kriteri alternatiflerin öncelikli tercih edilmesine % 22,2 oranı ile maliyet ana kriterine en az etkisi olan kriterdir. Sadece bu kritere göre karar verilseydi; Toplam Verimli Bakım seçeneği en uygun, Tamir-Onarım ise en kötü tercih olacaktı.

Şekil 4.23'de elde edilen verilerden maliyet ana kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırmaların öncelik vektörü, sıralanması ve tutarlılık oranlarına ait Expert Choice paket programının görüntüsü yer almaktadır.

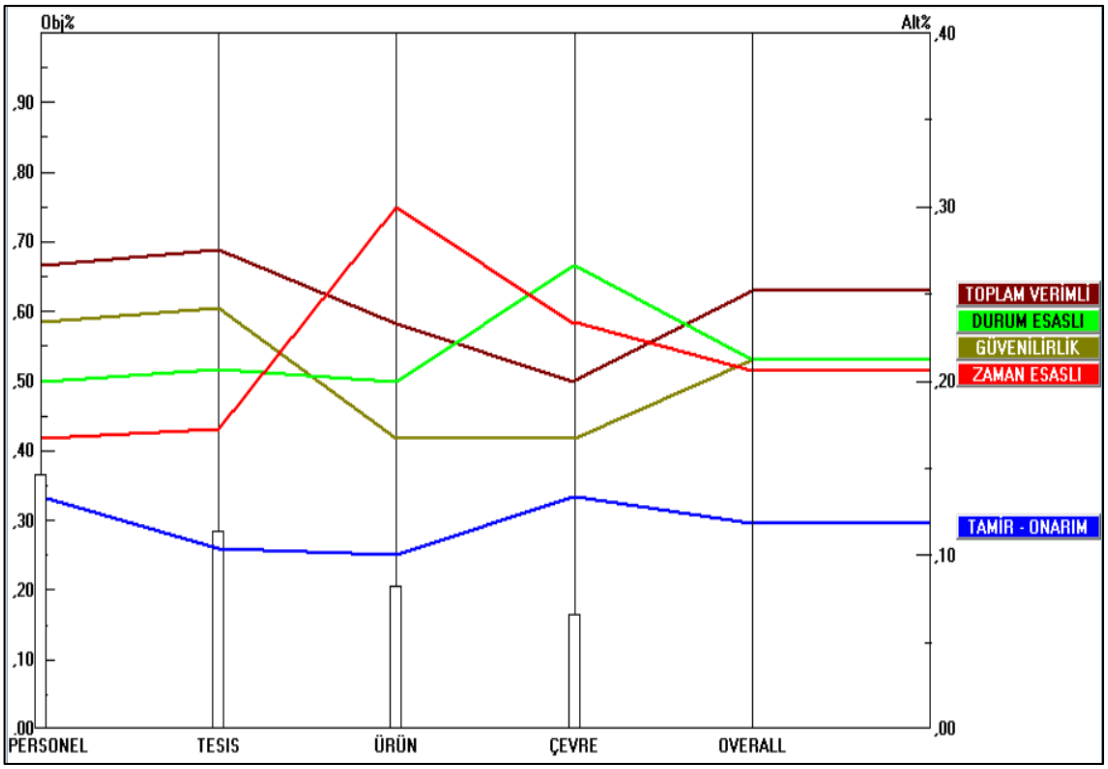


Şekil 4.23: Maliyet Kriterine Göre Alternatiflerin Öncelik Vektörü

Ayrıca sadece Maliyet ana kriterine göre bakım stratejisi seçilecek olsaydı Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'de görüldüğü gibi % 27,8 öncelik oranı ile birinci tercih Toplam Verimli Bakım, ikinci tercih % 23 öncelik oranı Zaman Esaslı Bakım, üçüncü sırada % 18,5 öncelik oranı ile Güvenirlik Merkezli Bakım, dördüncü bakım tercihi % 17,1 öncelik oranı ile Durum Esaslı Bakım ve % 13,6 öncelik oranı ile Tamir-Onarım seçilmesi uygun bir strateji olurdu.

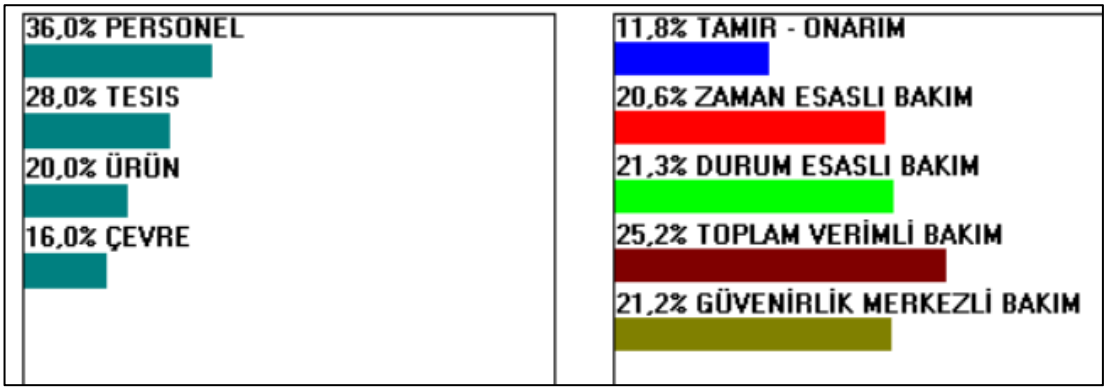
4.8.22. Güvenlik Ana Kriteri ve Alt Kriterlerin Alternatiflere Etki Derecelerinin Belirlenmesi

Güvenlik ana kriteri ve ana kritere bağlı alt kriterlerin alternatiflerinin seçimine etki dereceleri ve hangi kriter için hangi bakım alternatifinin seçilmesinin daha verimli olacağı konuları incelenmiş olup Güvenlik ve alt kriterlerine göre alternatiflerin öncelikleri Şekil 4.24'de gösterilmiştir.



Şekil 4.24: Alternatiflerin, Güvenlik Alt Kriterlerine Göre Sıralanması

Yukarıda yer alan Şekil 4.24, güvenlik ana kriteri altında bulunan personel, tesis, ürün ve çevre kriterlerinin her birinde alternatiflerin öncelik sıralamasını göstermektedir.



Şekil 4.25: Güvenlik Kriterine Göre Alternatiflerin ve Alt Kriterlerin Alternatiflere Etki Dereceleri

Şekil 4.24 ve Şekil 4.25 incelendiğinde Güvenlik ana kriterin alt kriterleri olan Personel, Tesis, Ürün ve Çevre kriterlerine göre;

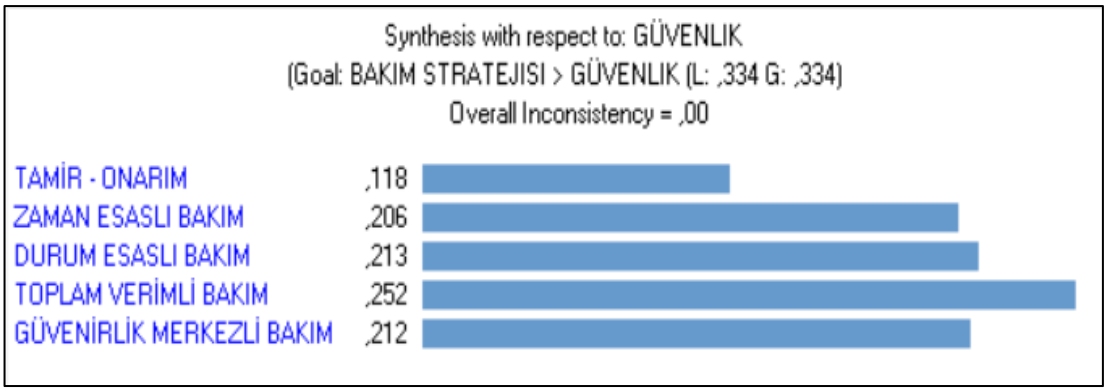
➢ Personel kriteri alternatiflerin öncelikli tercih edilmesine % 36 oranı ile güvenlik kriterine en fazla etki kriterdir. Sadece bu kritere göre karar verilseydi Toplam Verimli Bakım seçeneği en uygun, Tamir-Onarım ise en kötü tercih olacaktı.

➢ Tesis kriteri alternatiflerin öncelikli tercih edilmesine % 28 oranında etki etmektedir. Sadece bu kritere göre karar verilseydi Toplam Verimli Bakım seçeneği en uygun, Tamir-Onarım ise en kötü tercih olacaktı.

➢ Ürün kriteri alternatiflerin öncelikli tercih edilmesine % 20 oranında etki etmektedir. Sadece bu kritere göre karar verilseydi Zaman Esaslı Bakım seçeneği en uygun, Tamir-Onarım ise en kötü tercih olmaktadır.

➢ Çevre kriteri alternatiflere % 16 oranı ile güvenlik ana kriterine en az etkisi olan kriterdir. Sadece bu kritere göre karar verilseydi Durum Esaslı Bakım seçeneği en uygun, Tamir-Onarım Bakım ise en kötü tercih olacaktı.

Şekil 4.26'de elde edilen verilerden güvenlik ana kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırmaların öncelik vektörü (öncelikleri), sıralanması ve tutarlılık oranına ait Expert Choice paket programının çıktı görüntüsü yer almaktadır.



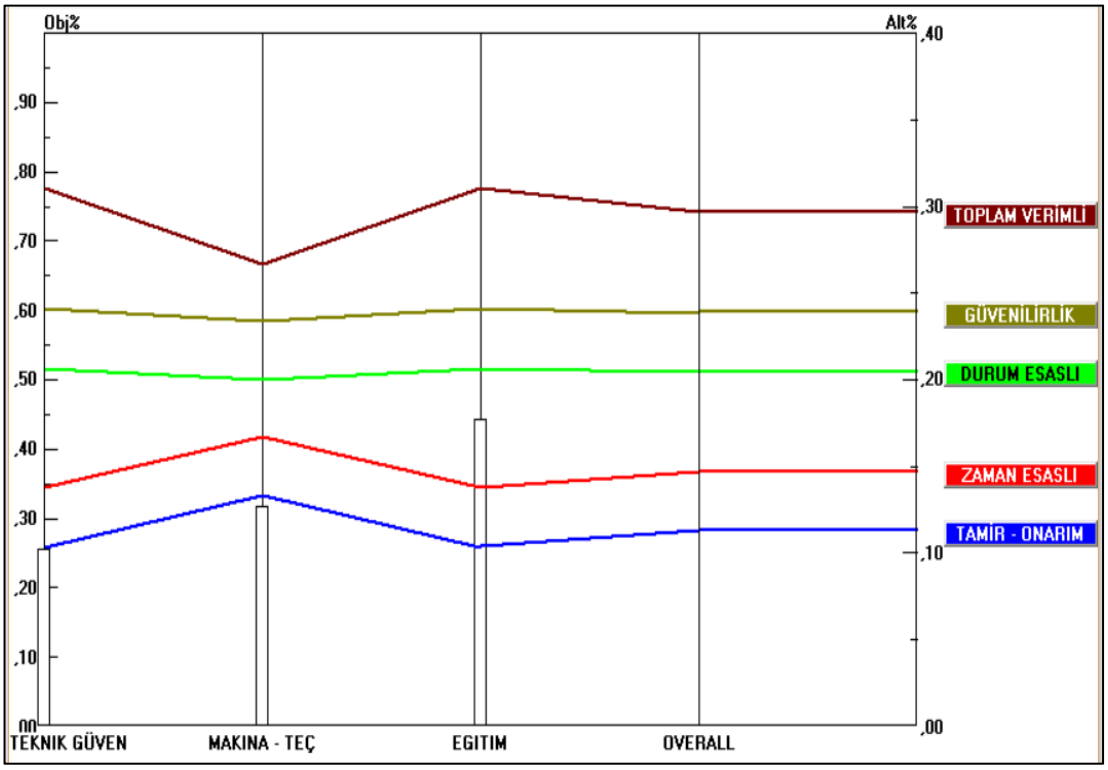
Şekil 4.26: Güvenlik Kriterine Göre Alternatiflerin Öncelik Vektörü

Ayrıca sadece Güvenlik ana kriterine göre bakım stratejisi seçilecek olsaydı Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'de görüldüğü gibi % 25,2 öncelik oranı ile birinci tercih Toplam Verimli Bakım, ikinci tercih % 21,3 öncelik oranı Durum Esaslı Bakım, üçüncü sırada % 21,2 öncelik oranı ile Güvenirlik Merkezli Bakım, dördüncü bakım

tercihi % 20,6 öncelik oranı ile Zaman Esaslı Bakım ve % 11,8 öncelik oranı ile Tamir-Onarım seçilmesi uygun bir strateji olurdu.

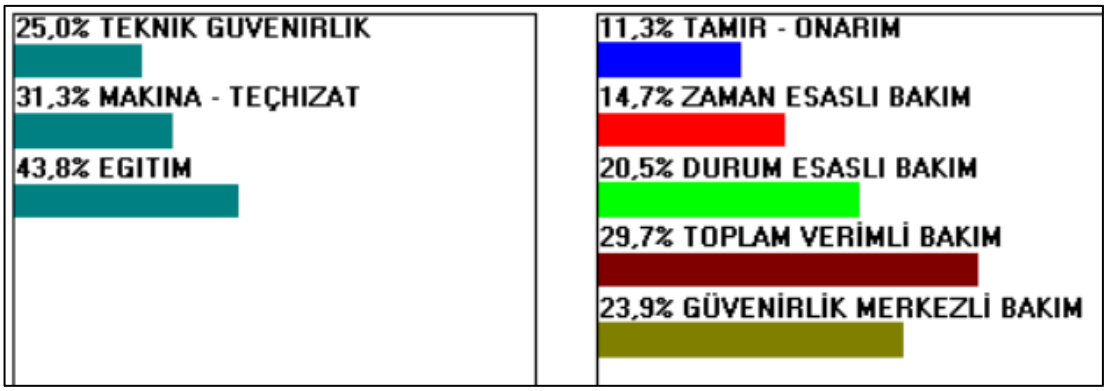
4.8.23. Uygulanabilirlik Ana Kriteri ve Alt Kriterlerin Alternatiflere Etki Derecelerinin Belirlenmesi

Uygulanabilirlik ana kriteri ve ana kritere bağlı alt kriterlerin alternatiflerin seçimine etki dereceleri ve hangi kriter için hangi bakım alternatifinin seçilmesinin daha uygun olacağı incelenmiştir. Uygulanabilirlik ve alt kriterlerine göre alternatiflerin öncelikleri Şekil 4.27'degösterilmiştir.



Şekil 4.27: Alternatiflerin, Uygulanabilirlik Alt Kriterlerine Göre Sıralanması

Yukarıda yer alan Şekil 4.27, uygulanabilirlik ana kriteri altında bulunan teknik güvenirlik, makine teçhizat ve eğitim kriterlerinin her birinde alternatiflerin öncelik sıralamasını göstermektedir.



Şekil 4.28: Uygulanabilirlik Kriterine Göre Alternatiflerin ve Alt Kriterlerin Alternatiflere Etki Dereceleri

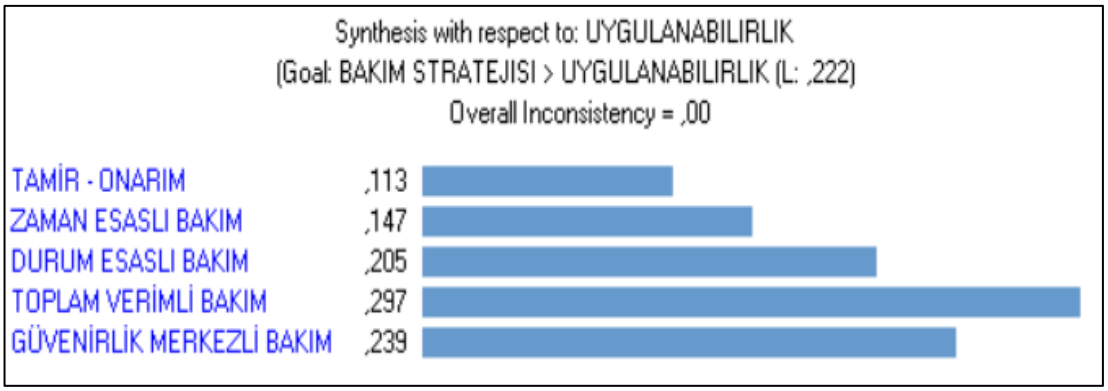
Şekil 4.27 ve Şekil 4.28 incelendiğinde Uygulanabilirlik ana kriterin alt kriterleri olan Teknik Güvenirlik, Makine - Teçhizat ve Eğitim kriterlerine göre;

- Teknik Güvenirlik kriteri alternatiflerin öncelikli tercih edilmesine % 25 oranında etki etmektedir. Sadece bu kritere göre karar verilseydi Toplam Verimli Bakım seçeneği en uygun, Tamir-Onarım ise en kötü tercih olacaktı.

- Makine - Teçhizat kriteri alternatiflerin öncelikli tercih edilmesine % 31,3 oranında etki etmektedir. Sadece bu kritere göre karar verilseydi Toplam Verimli Bakım seçeneği en uygun, Tamir-Onarım ise en kötü tercih olmaktadır.

- Eğitim kriter alternatiflerin öncelikli tercih edilmesine % 43,8 oranı ile uygulanabilirlik ana kriterine en fazla etki eden kriterdir. Sadece bu kritere göre karar verilseydi Toplam Verimli Bakım seçeneği en uygun, Tamir-Onarım ise en kötü tercih olacaktı.

Şekil 4.29'da elde edilen verilerden uygulanabilirlik ana kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırmaların öncelik vektörü (öncelikleri), sıralanması ve tutarlılık oranına ait Expert Choice paket programının çıktı görüntüsü yer almaktadır.

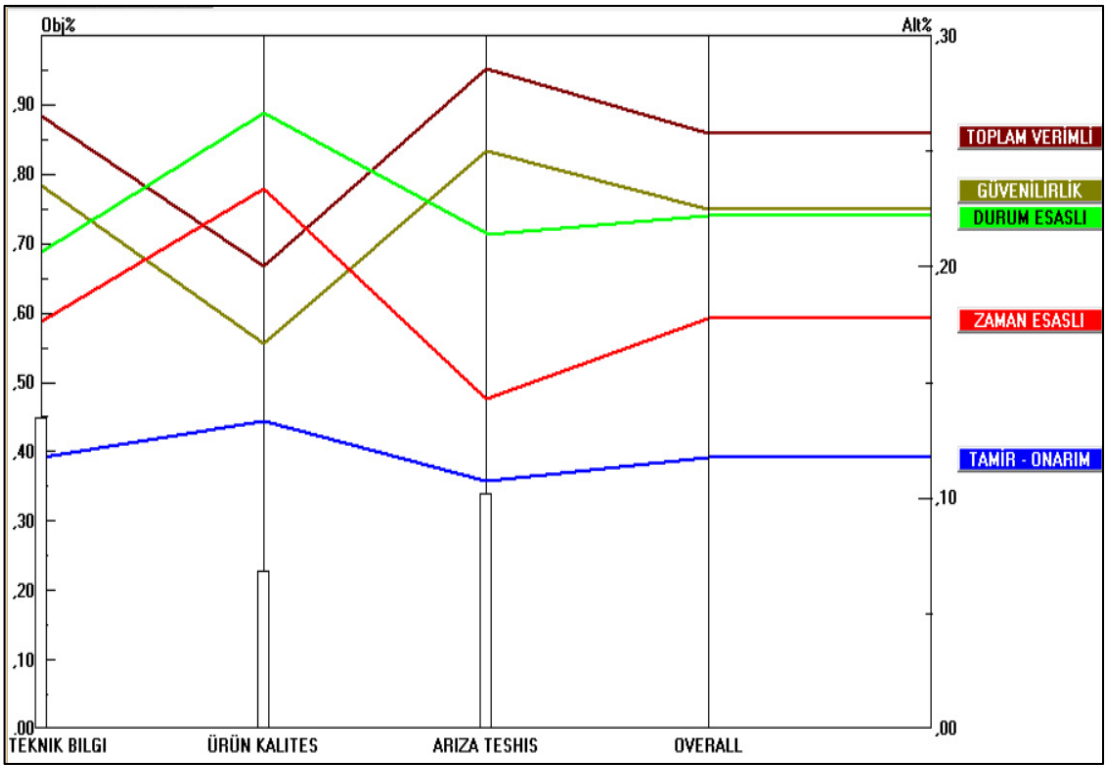


Şekil 4.29: Uygulanabilirlik Kriterine Göre Alternatiflerin Öncelik Vektörü

Ayrıca sadece Uygulanabilirlik ana kriterine göre bakım stratejisi seçilecek olsaydı Şekil 4.28 ve Şekil 4.29'da görüldüğü gibi % 29,7 öncelik oranı ile birinci tercih Toplam Verimli Bakım, ikinci tercih % 23,9 öncelik ile Güvenirlik Merkezli Bakım, üçüncü sırada % 20,5 öncelik oranı ile Durum Esaslı Bakım, dördüncü bakım tercihi % 14,7 öncelik oranı ile Zaman Esaslı Bakım ve % 11,3 öncelik oranı ile Tamir-Onarım seçilmesi uygun bir strateji olurdu.

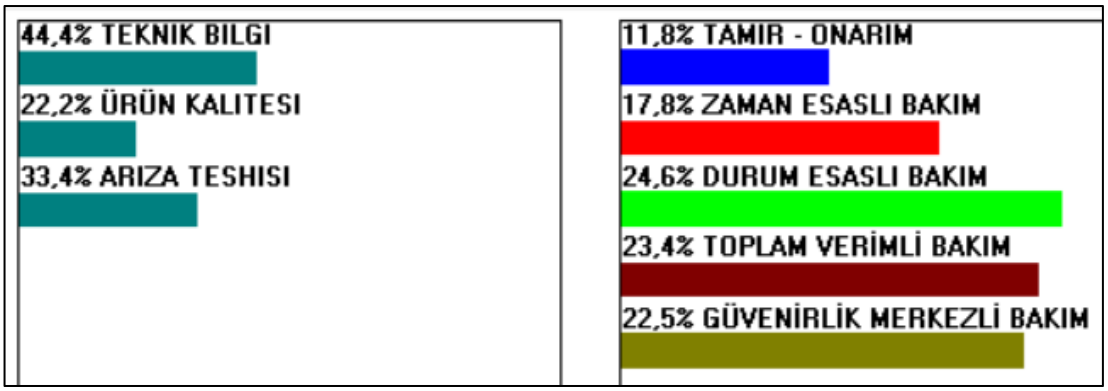
4.8.24. Rekabet Avantajı Ana Kriteri ve Alt Kriterlerin Alternatiflere Etki Derecelerinin Belirlenmesi

Rekabet avantajı ve ana kriterine bağlı alt kriterlerin alternatiflerin seçimine etki dereceleri ve hangi kriter için hangi bakım alternatifinin seçilmesinin daha uygun olacağı incelenmiştir. Rekabet avantajı ve alt kriterlerine göre alternatiflerin öncelikleri Şekil 4.30'de gösterilmiştir.



Şekil 4.30: Alternatiflerin, Rekabet Avantajı Alt Kriterlerine Göre Sıralanması

Yukarıda yer alan Şekil 4.30 rekabet avantajı ana kriteri altında bulunan teknik bilgi, ürün kalitesi ve arıza teşhisi kriterlerinin her birinde alternatiflerin öncelik sıralamasını göstermektedir.



Şekil 4.31: Rekabet Avantajı Kriterine Göre Alternatiflerin ve Alt Kriterlerin Alternatiflere Etki Dereceleri

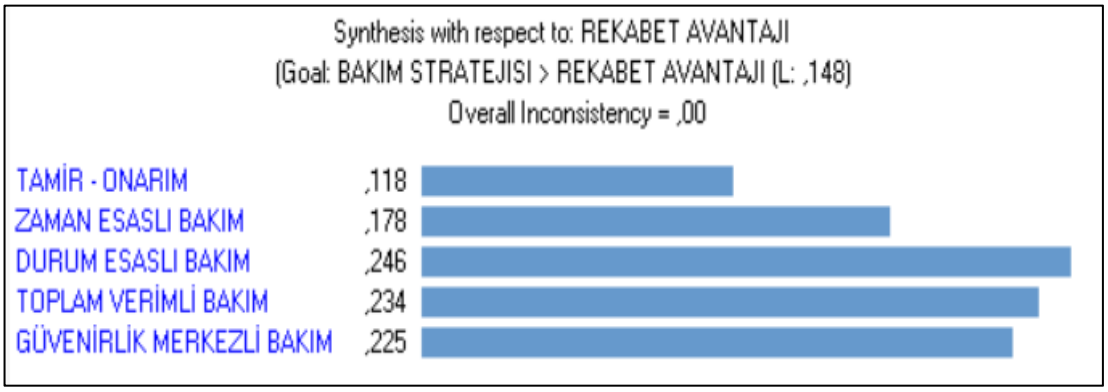
Şekil 4.30 ve Şekil 4.31 incelendiğinde Rekabet Avantajı ana kriterin alt kriterleri olan Teknik Bilgi, Ürün Kalitesi ve Arıza Teşhisi kriterlerine göre;

➢ Teknik Bilgi kriteri alternatiflerin öncelikli tercih edilmesine % 44,4 oranında etki etmektedir. Sadece bu kritere göre karar verilseydi Toplam Verimli Bakım seçeneği en uygun, Tamir-Onarım ise en kötü tercih olacaktı.

➢ Ürün Kalitesi kriteri alternatiflerin öncelikli tercih edilmesine % 22,2 oranı ile rekabet avantajı ana kriterine en fazla etki eden kriterdir. Sadece bu kritere göre karar verilseydi Durum Esaslı Bakım seçeneği en uygun, Tamir - Onarım ise en kötü tercih olacaktı.

➢ Arıza Teşhisi kriteri alternatiflerin öncelikli tercih edilmesine % 33,4 oranında etki etmektedir. Sadece bu kritere göre karar verilseydi Toplam Verimli Bakım seçeneği en uygun, Tamir-Onarım ise en kötü tercih olmaktadır.

Şekil 4.32'de elde edilen verilerden rekabet avantajı ana kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırmaların öncelik vektörü (öncelikleri), sıralanması ve tutarlılık oranına ait Expert Choice paket programının çıktı görüntüsü yer almaktadır.



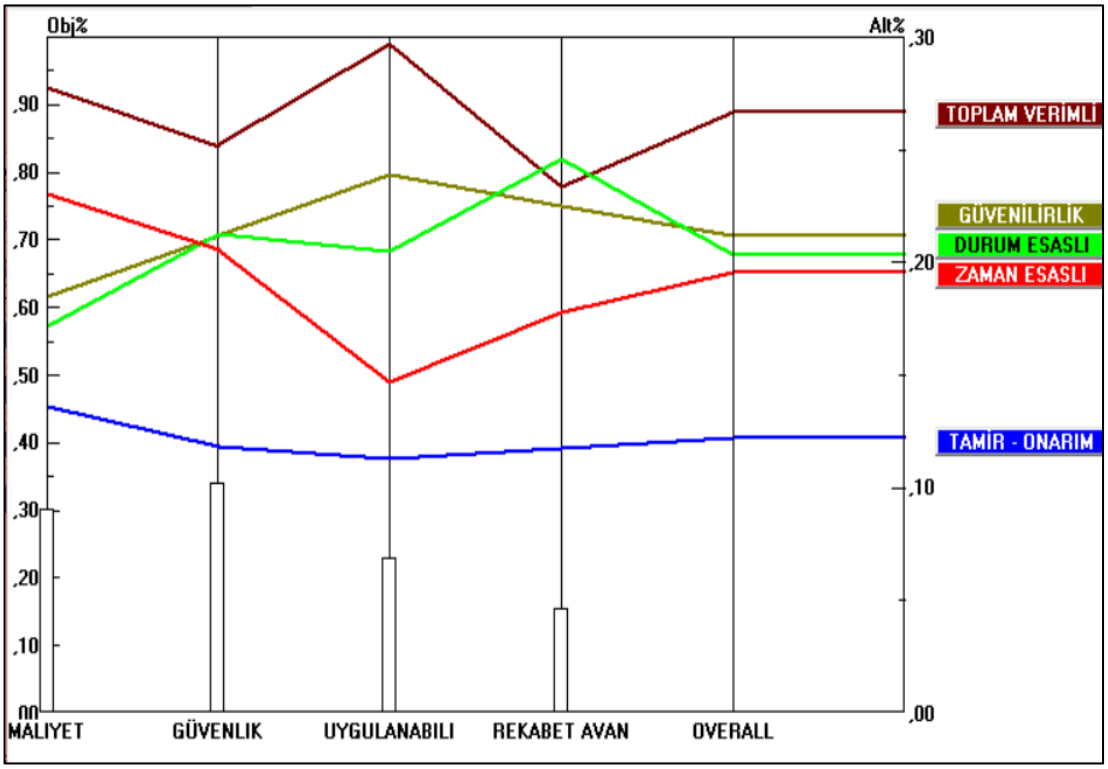
Şekil 4.32: Rekabet Avantajı Kriterine Göre Alternatiflerin Öncelik Vektörü

Ayrıca sadece Rekabet Avantajı ana kriterine göre bakım stratejisi seçilecek olsaydı Şekil 4.31 ve Şekil 4.32'de görüldüğü gibi % 24,6 öncelik oranı ile birinci tercih Durum Esaslı Bakım, ikinci tercih % 23,4 öncelik oranı Toplam Verimli Bakım, üçüncü sırada % 22,5 öncelik oranı ile Güvenirlik Merkezli Bakım, dördüncü bakım tercihi % 17,8 öncelik oranı ile Zaman Esaslı Bakım ve % 11,8 öncelik oranı ile Tamir-Onarım seçilmesi uygun bir strateji olurdu.

4.8.25. Tüm Kriterlerin Alternatiflere Etki Derecelerinin Hesaplanması

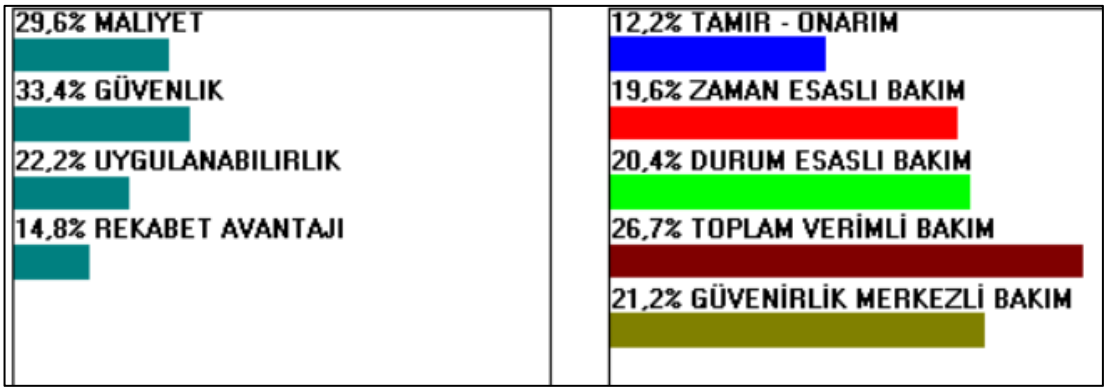
Bakım alternatifleri bütün kriterler açısından karşılaştırıldıktan sonra, elde edilen sonuçlar sentezlenerek genel ağırlıklar hesaplandığında elde edilen sonuçlara ilişkin Şekil 4.33, Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'de aşağıda verilmiştir.

Ana kriterlerin alternatiflerin seçimine etki dereceleri ve hangi kriter için hangi bakım alternatifinin seçilmesinin daha uygun olacağı incelenmiştir. Ana kriterlere göre alternatiflerin öncelikleri Şekil 4.33'de gösterilmiştir.



Şekil 4.33: Alternatiflerin Ana Kriterlere Göre Sıralanması

Yukarıda yer alan Şekil 4.33, ana kriterler olan maliyet, güvenlik, uygulanabilirlik ve rekabet avantajı kriterlerinin her birinde alternatiflerin öncelik sıralamasını göstermektedir.



Şekil 4.34: Ana Kriterlere Göre Alternatiflerin Ağırlıklarının ve Alternatiflere Etki Dereceleri

Şekil 4.33 ve Şekil 4.34 incelendiğinde ana kriterlerden olan Maliyet, Güvenlik, Uygulanabilirlik ve Rekabet Avantajı kriterlerine göre;

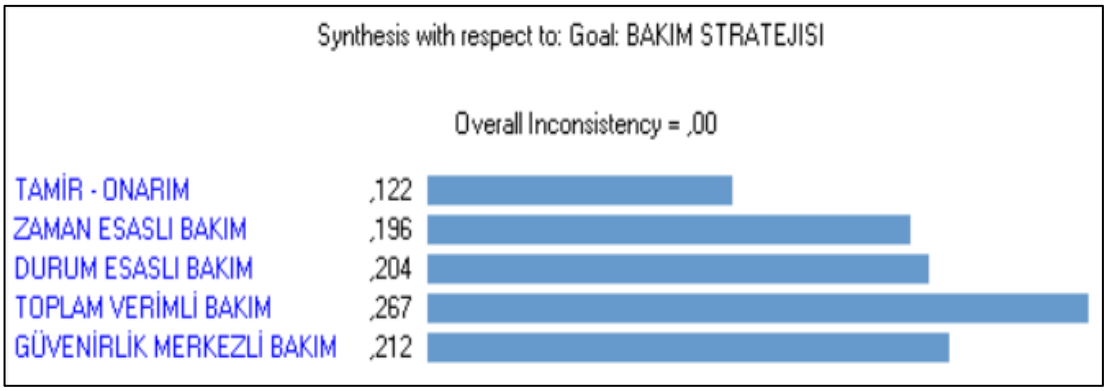
- Maliyet kriteri alternatiflerin öncelikli tercih edilmesine % 29,6 oranında etki etmektedir. Sadece bu kritere göre karar verilseydi Toplam Verimli Bakım seçeneği en uygun, Tamr-Onarım ise en kötü tercih olacaktı.

- Güvenlik kriteri alternatiflerin öncelikli tercih edilmesine % 33,4 oranı ile en fazla etki eden kriterdir. Sadece bu kritere göre karar verilseydi Toplam Verimli Bakım seçeneği en uygun, Tamir-Onarım ise en kötü tercih olacaktı.

- Uygulanabilirlik kriteri alternatiflerin öncelikli tercih edilmesine % 22,2 oranında etki etmektedir. Sadece bu kritere göre karar verilseydi Toplam Verimli Bakım seçeneği en uygun, Tamir-Onarım ise en kötü tercih olmaktadır.

- Rekabet Avantajı kriteri alternatiflerin öncelikli tercih edilmesine % 14,8 oranı ile en az etki eden kriterdir. Sadece bu kritere göre karar verilseydi Durum Esaslı Bakım seçeneği en uygun, Tamir-Onarım ise en kötü tercih olacaktı.

Şekil 4.35'da elde edilen verilerden tüm kriterlere göre alternatiflerin ikili karşılaştırmaların öncelik vektörü, sıralanması ve tutarlılık oranına ait Expert Choice paket programına ait çıktılar yer almaktadır.



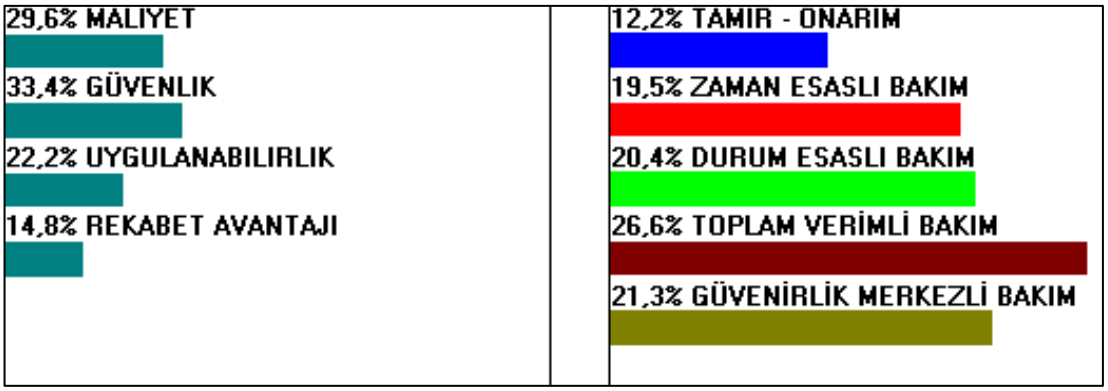
Şekil 4.35: Tüm Kriterlere Göre Alternatiflerin Öncelik Vektörü

Ayrıca tüm kriterler göz ününe alındığında bakım stratejisi seçilirse yukarda Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'de görüldüğü gibi % 26,7 öncelik oranı ile birinci tercih Toplam Verimli Bakım, ikinci tercih % 21,2 öncelik oranı Güvenirlik Merkezli Bakım, üçüncü sırada % 20,4 öncelik oranı ile Durum Esaslı Bakım, dördüncü bakım tercihi %19,6 öncelik oranı ile Zaman Esaslı Bakım ve % 12,2 öncelik oranı ile Tamir-Onarım seçilmesi uygun bir strateji olurdu.

4.9. DİNAMİK DUYARLILIK ANALİZİNİNYAPILMASI

Kriterlerin önem derecelerindeki değişmelere karşın alternatiflerin sıralamasında meydana gelen değişimleri incelemek üzere, duyarlılık analizinin yapılması gerekmektedir. Duyarlılık analizi hem performans hem de dinamik olmak üzere iki şekilde yapılabilmektedir. Bu çalışmada değerlerin daha net ve anlaşılır olması için, dinamik performans analizinin yapılması tercih edilmiştir.

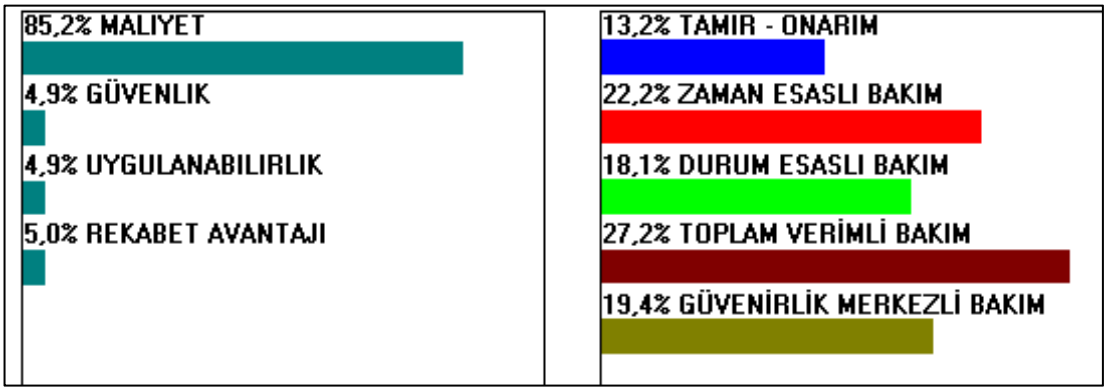
Ana kriterlerin performansa dayalı duyarlılık analizinin Expert Choice programı ekran görüntüsü Şekil 4.36'da ve dinamik duyarlılık analileri yapıldıktan sonraki ekran görüntüleri Şekil 4.37 - 4.40'da gösterilmiştir.



Şekil 4.36: Ana Kriterlerin Alternatiflere Etki Dereceleri

Şekil 4.36 incelendiğinde kriterlerin önem derecelerine (etki dereceleri) göre sıralanmaları; güvenlik (% 33,4), maliyet (% 29,6), uygulanabilirlik (% 22,2) ve rekabet avantajı (% 14,8) şeklindedir. Alternatiflerin sıralanması ise toplam verimli bakım (% 26,6), güvenirlik merkezli bakım (% 21,3), durum esaslı bakım (% 20,4), zaman esaslı bakım (% 19,5) ve tamir-onarım (% 12,2) şeklindedir.

Dinamik Duyarlılık Analizi ile; maliyet kriterinin önem derecesi % 29,6'dan % 85,2'ye çıkarıldığında ve güvenlik kriterinin önem derecesi % 33,4'den % 4,9'a, ugulanabilirlik kriterinin önem derecesi % 22,2'den % 4,9'a, rekabet avantajı kriterinin önem derecesi % 14,8'den % 5'e çekildiğinde, alternatiflerin öncelik vektöründe Şekil 4.37'de görüldüğü gibi sıralama değişiklikleri meydana gelmektedir.



Şekil 4.37: Maliyet Kriterine Göre Alternatiflerin Değişimleri

Ana kriterlerin önceliklerinde Şekil 4.37'deki değişiklikler yapıldıktan sonra alternatiflerde;

➢ Tamir-onarım stratejisinin öncelik vektörü % 12,2'den, % 13,2'ye yükselmiştir. Ancak sıralamada herhangi bir değişiklik olmamış yine 5'inci sıradaki yerini korumuştur,

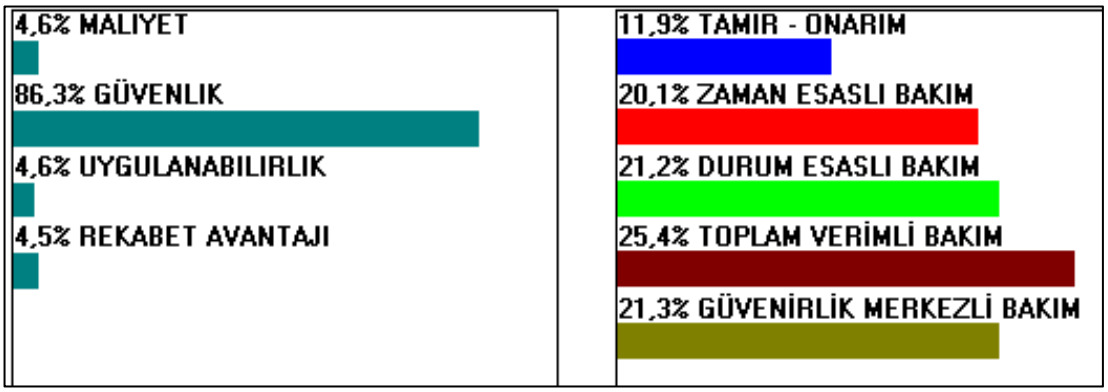
➢ Zaman esaslı bakım stratejisinin öncelik vektörü % 19,5'den, % 22,2'ye yükselmiştir. Böylece öncelik tercihlerinde 4'üncü sıradan 2'nci sıraya yükselmiştir,

➢ Durum esaslı bakım stratejisinin öncelik vektörü % 20,4'den, % 18,1'e gerilemiştir. Böylece öncelik tercihlerinde 3'üncü sıradan 4'üncü sıraya gerilemiştir,

➢ Toplam verimli bakım stratejisinin öncelik vektörü % 26,6'dan, % 27,2'ye yükselmiştir. Ancak sıralamada herhangi bir değişiklik olmamış yine 1'inci sıradaki yerini korumuştur,

➢ Güvenirlik merkezli bakım stratejisinin öncelik vektörü % 21,3'den, % 19,4'e gerilemiştir. Böylece öncelik tercihlerinde 2'nci sıradan 3'üncü sıraya gerilemiştir.

Dinamik Duyarlılık Analizi ile; güvenlik kriterinin önem derecesi % 33,4'den % 86,3'e çıkarıldığında ve maliyet kriterinin önem derecesi % 29,6'dan % 4,6'ya, ugulanabilirlik kriterinin önem derecesi % 22,2'den % 4,6'ya, rekabet avantajı kriterinin önem derecesi % 14,8'den % 4,5'e çekildiğinde, alternatiflerin öncelik vektöründe Şekil 4.38'de görüldüğü gibi sıralama değişiklikleri meydana gelmektedir.



Şekil 4.38: Güvenlik Kriterine Göre Alternatiflerin Değişimleri

Ana kriterlerin önceliklerinde Şekil 4.38'deki değişiklikler yapıldıktan sonra alternatiflerde;

➢ Tamir-onarım stratejisinin öncelik vektörü % 12,2'den, % 11,9'a gerilemiştir. Ancak sıralamada herhangi bir değişiklik olmamış yine 5'inci sıradaki yerini korumuştur,

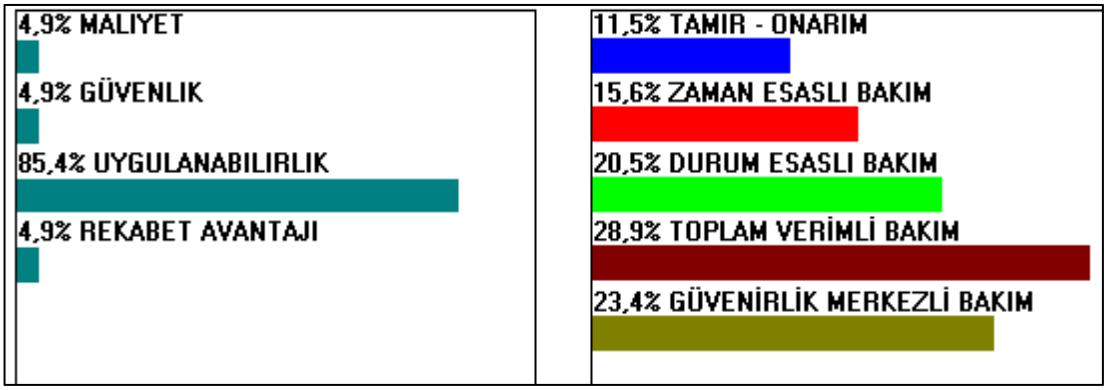
➢ Zaman esaslı bakım stratejisinin öncelik vektörü % 19,5'den, % 20,1'e yükselmiştir. Ancak sıralamada herhangi bir değişiklik olmamış yine 4'üncü sıradaki yerini korumuştur,

➢ Durum esaslı bakım stratejisinin öncelik vektörü % 20,4'den, % 21,2'ye yükselmiştir. Ancak sıralamada herhangi bir değişiklik olmamış yine 3'üncü sıradaki yerini korumuştur,

➢ Toplam verimli bakım stratejisinin öncelik vektörü % 26,6'dan, % 25,4'e gerilemiştir. Ancak sıralamada herhangi bir değişiklik olmamış yine 1'inci sıradaki yerini korumuştur,

➢ Güvenirlik merkezli bakım stratejisinin öncelik vektörü % 21,3 olarak kalmış ve sıralamada herhangi bir değişiklik olmamış yine 2'nci sıradaki yerini korumuştur.

Dinamik Duyarlılık Analizi ile; uygulanabilirlik kriterinin önem derecesi % 22,2'den % 85,4'e çıkarıldığında ve maliyet kriterinin önem derecesi % 29,6'dan % 4,9'a, güvenlik kriterinin önem derecesi % 33,4'den % 4,9'a, rekabet avantajı kriterinin önem derecesi % 14,8'den % 4,9'a çekildiğinde, alternatiflerin öncelik vektöründe Şekil 4.39'da görüldüğü gibi sıralama değişiklikleri meydana gelmektedir.



Şekil 4.39: Uygulanabilirlik Kriterine Göre Alternatiflerin Değişimleri

➢ Tamir-onarım stratejisinin öncelik vektörü % 12,2'den, % 11,5'e gerilemiştir. Ancak sıralamada herhangi bir değişiklik olmamış yine 5'inci sıradaki yerini korumuştur,

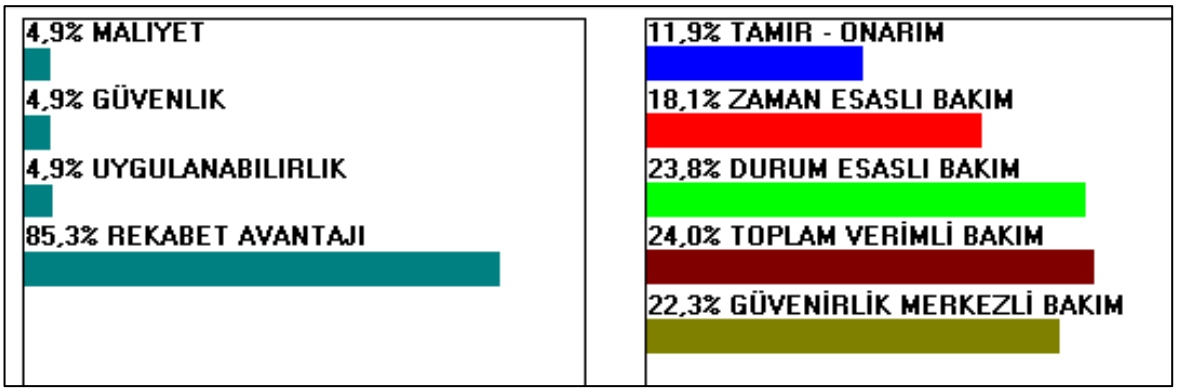
➢ Zaman esaslı bakım stratejisinin öncelik vektörü % 19,5'den, % 15,6'ya gerilemiştir. Ancak sıralamada herhangi bir değişiklik olmamış yine 4'üncü sıradaki yerini korumuştur,

➢ Durum esaslı bakım stratejisinin öncelik vektörü % 20,4'den, % 20,5'e yükselmiştir. Ancak sıralamada herhangi bir değişiklik olmamış yine 3'üncü sıradaki yerini korumuştur,

➢ Toplam verimli bakım stratejisinin öncelik vektörü % 26,6'dan, % 28,9'a yükselmiştir. Ancak sıralamada herhangi bir değişiklik olmamış yine 1'inci sıradaki yerini korumuştur,

➢ Güvenirlik merkezli bakım stratejisinin öncelik vektörü % 21,3'den, % 23,4'e yükselmiştir. Ancak sıralamada herhangi bir değişiklik olmamış yine 2'nci sıradaki yerini korumuştur.

Dinamik Duyarlılık Analizi ile; rekabet avantajı kriterinin önem derecesi % 14,8'den % 85,3'e çıkarıldığında ve maliyet kriterinin önem derecesi % 29,6'dan % 4,9'a, güvenlik kriterinin önem derecesi % 33,4'den % 4,9'a, ugulanabilirlik kriterinin önem derecesi % 22,2'den % 4,9'a çekildiğinde, alternatiflerin öncelik vektöründe Şekil 4.40'de görüldüğü gibi sıralama değişiklikleri meydana gelmektedir.



Şekil 4.40: Rekabet Avantajı Kriterine Göre Alternatiflerin Değişimleri

- Tamir-onarım stratejisinin öncelik vektörü % 12,2'den, % 11,9'e gerilemiştir. Ancak sıralamada herhangi bir değişiklik olmamış yine 5'inci sıradaki yerini korumuştur,

- Zaman esaslı bakım stratejisinin öncelik vektörü % 19,5'den, % 18,1'e gerilemiştir. Ancak sıralamada herhangi bir değişiklik olmamış yine 4'üncü sıradaki yerini korumuştur,

- Durum esaslı bakım stratejisinin öncelik vektörü % 20,4'den, % 23,8'e yükselmiştir. Böylece öncelik tercihlerinde 3'üncü sıradan 2'nci sıraya yükselmiştir,

- Toplam verimli bakım stratejisinin öncelik vektörü % 26,6'dan, % 24'e gerilemiştir. Ancak sıralamada herhangi bir değişiklik olmamış yine 1'inci sıradaki yerini korumuştur,

- Güvenirlik merkezli bakım stratejisinin öncelik vektörü % 21,3'den, % 22,3'e yükselmiştir. Böylece öncelik tercihlerinde 2'nci sıradan 3'üncü sıraya gerilemiştir.

Duyarlılık Analizi sonuçları incelendiğinde ana kriterlerin değerleri % 15 - 85 aralığında değiştirildiğinde alternatiflerin önceliklerinde ve sıralamalarında değişimler meydana gelmiştir. Ancak Toplam Verimli Bakım birinci sıradaki yerini ve Tamir-Onarım alternatifi beşinci sıradaki yerini hep korumuştur.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında ‘’En Uygun Bakım Stratejisi Seçimi’’ probleminin çözümü için Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerinden olan, Analitik Hiyerarşi Süreci metodu kullanılmıştır.

Tablo 4.25’de tüm kriterlerin global ve lokal ağırlıkları gösterilmiştr.

1: Kriterlerin Lokal ve Global Ağırlıkları

KRİTERLER	**Lokal Ağırlık**	**Global Ağırlık**	***ALTERNATİFLERİN ÖNCELİKLERİ***
MALİYET	***0,296***	***0,296***	
Yedek Parça Stoku	**0,259**	**0,077**	**TAMİR-ONARIM (0,122)**
Bakım - Onarım Süresi	**0,334**	**0,099**	
Donanım	**0,185**	**0,055**	
Verimlilik	**0,222**	**0,066**	**ZAMAN ESASLI BAKIM (0,196)**
GÜVENLİK	***0,334***	***0,334***	
Personel	**0,360**	**0,120**	
Tesis	**0,280**	**0,093**	**DURUM ESASLI BAKIM (0,204)**
Ürün	**0,200**	**0,067**	
Çevre	**0,160**	**0,053**	
UYGULANABİLİRLİK	***0,222***	***0,222***	**TOPLAM VERİMLİ BAKIM (0,267)**
Teknik Güvenirlik	**0,250**	**0,056**	
Makine - Teçhizat	**0,313**	**0,069**	
Eğitim	**0,438**	**0,097**	
REKABET AVANTAJI	***0,148***	***0,148***	**GÜVENİRLİK MERKEZLİ BAKIM (0,212)**
Teknik Bilgi	**0,444**	**0,066**	
Ürün Kalitesi	**0,222**	**0,033**	
Arıza Teşhisi	**0,334**	**0,049**	

Tablo 4.25'de görüldüğü üzere, firma için seçilen bakım stratejisi kriterleri ve işletmedeki uzman personelin yaptığı ikili karşılaştırmalara göre yapılan hesaplamalar sonucunda, 0,267 öncelik vektör değeri ile ''Toplam Verimli Bakım'' alternatifinin seçilmesinin uygun olacağına karar verilmiştir.

Hesaplama sonuçlarına göre, ikinci olarak tercih edilebilecek en uygun bakım stratejisi 0,212 öncelik vektörü ile ''Güvenirlik Merkezli Bakım'' kriteridir. Daha sonra sırasıyla 0,204 öncelik vektörü ile ''Durum Esaslı Bakım'' üçüncü ve 0,196 öncelik vektörü ile ''Zaman Esaslı Bakım'' stratejisi de dördüncü sırada seçilebilecek uygun karardır. Uygulama yapılan firma için en kötü seçimin ise, 0,122 öncelik vektörü ile ''Tamir-Onarım'' seçeneğinin olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.25'de görüldüğü gibi 14 alt kriterden bakım stratejisi seçimini en fazla etkileyen kriter, ''Personel'' kriteri olup % 0,120 önem derecesine sahiptir. Yapılan inceleme ve görüşmelerde bunun nedeni olarak 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ve günümüzde insan hayatına artık daha fazla önem verilmesinden kaynaklandığı ortaya çıkmıştır. İkinci sırada % 0,099 önem derecesi ile ''Bakım-Onarım Süresi'' yer almıştır. Bunun sebebi ise üretim esnasında, bakım veya onarımdan kaynaklanan kesintilerin sayısından ziyade, meydana gelen kesintilerin süresinin daha önemli olmasıdır.

Burada yer alan kriterler ve alternatifler firmadan firmaya ya da kişiden kişiye değişiklik gösterebilir. Her şart ve durum için tek bir bakım stratejisi uygulamak çok doğru bir çözüm olmayacaktır. Bulunan yer, zaman, koşullar, uzman kişilerin görüşleri vb. durumlar mutlaka karar verme şeklini ve dolayısıyla sonuçları etkileyecektir. Bu sebeple bu sonuç sadece bu fabrika ve şu anki durum için geçerli bir sonuçtur. Gelecek dönemde makineler için farklı bir strateji uygulamak daha uygun olabilir. Farklı şirketlerin, farklı öncelikleri olduğu, uzman kişilerin tecrübe ve bilgileri, teknolojik gelişmelere bağlı olarak da farklı bakım stratejilerinin uygulanmasının en doğru yöntem olacağını söylemek yanlış olmayacaktır.

Daha önce de belirtildiği gibi bu çalışmada Toplam Verimli Bakım stratejisi en yüksek öncelik vektörü değeriyle ilk sırada gelmiştir. Ancak bakım stratejilerinin kullanım alanları incelendiğinde ve uzman kişiler vasıtasıyla daha detaylı

araştırıldığında görülmüştür ki, Tamir-Onarım yönteminin pratikte firmalar tarafından sıklıkla kullanıldığı görülmüştür. Yabancı kaynaklarda *corrective maintenance* olarak kullanılan ve Türkçe literatürde düzeltici bakım olarak çevrilen bakım stratejisinin esas anlamı tez çalışmamızda Tamir-Onarım olarak kullanılmıştır. Bunun nedeni ise düzeltici bakım ile tamir-onarım kavramının tanımlarda aynı sonuca varmasından ve Türkçe kullanımda bakım ve tamir (onarım) kelimelerinin aynı anlamı taşımamasından dolayı buna karar verilmiştir. Yapılan araştırmalarda Türkçe literatürde böyle bir kullanımın olmadığı görülmüş ve bu çalışmanın gelecek dönemlerde yapılacak araştırmalar vasıtasıyla literatürdeki bu boşluğu önemli ölçüde dolduracağı değerlendirilmiştir.

Kullanılan yöntem itibariyle literatüre bir katkı sağlanamamıştır. Ancak etimolojik bağlamda bakım kavramları ve bunların Türkçe karşılıkları güzel bir derlemeye dönüştürülmüştür. Uygulamada firma için bakım stratejisi önerilmiştir. Bu yönüyle uygulamaya önemli bir katkı sağlamıştır.

İleride yapılacak çalışmalarda bir karar verme metodu olarak AHS uygulanmasının yanında diğer Çok Nitelikli Karar Verme Metotlarının da beraber uygulanması gerçekleştirilerek portföy analiz yöntemlerinden birisi kullanılarak karşılaştırmalı sonuçlar elde edilebilir.

Ayrıca yapılacak çalışmalarda mevcut kullanılan ekipmanlar bazında ve kullanılan mevcut bakım stratejisi ve önerilen bakım stratejisi arasında meydana gelen zaman, maliyet, personel vb. hesaplaması da yapılarak çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKÇA

Abreu, J., Martins, P. V., Fernandes, S. ve Zacarias, M. (2013). *Business Processes Improve on Maintenance Management: A Case Study*. **Procedia Technology,** 9, 320 – 33.

Adamcsek, E. (2008). *The Analytic Hierarcy Process and its Generalizations.* **Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi,** Eötvös Lorand University, Budapeşte.

Ahmad, R. ve Kamaruddin, S. (2012). *An Overview Of Time-Based And Condition-Based Maintenance In Industrial Application.* **Computers & Industrial Engineering,** 63, 135–149.

Akad, M. (2006). *Toplu Tasıma Türü Seçiminde Simülasyon Destekli Analitik Hiyerarşi Yaklaşımı.* **Yayınlanmamış Doktora Tezi.** İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Anabilim Dalı, İstanbul.

Akman, S. İ., Öcal, C. ve Bolat, H. B. (2012). *Tersine Lojistik Ağında Partnerlerin Etkin Seçimine Yönelik Kriterlerin Değerlendirilmesi.* **12. Üretim Araştırmaları Sempozyumu**, 27-29 Eylül 2012, Gediz Üniversitesi, 371-381.

Albayrak, E. (2004). *Hizmet Sektöründe Performans Odaklı Çok Amaçlı Karar Verme: Banka Performans Ölçümünde Analitik Hiyerarşi Süreci Uygulaması.* **Yayınlanmamış Doktora Tezi.** İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Al-Najjar, B. ve Alsyouf, I. (2003). *Selecting The Most Efficient Maintenance* Approach Using Fuzzy Multiple Criteria Decision Making. **Int. J. Production Economics**, 84, 85-100.

Al-Najjar, B. ve Alsyouf, I. (2004). *Enhancing A Company's Profitability And Competitiveness Using Integrated Vibration-Based Maintenance: A Case Study*. **European Journal of Operational Research**, 157, 643-657.

Alsyouf, I. (2004). *Cost Effective Maintenance for Competitive Advantages.* **Yayınlanmamış Doktora Tezi.** School of Industrial Engineering, Växjö University, Sweden.

Alsyouf, I. (2007). *The Role Of Maintenance In Improving Companies' Productivity And Profitability*. **Int. J. Production Economics**, 105, 70-78.

Aruldoss, M., Lakshmi, T. M. ve Venkatesan, V. P. (2013). *Survey on Multi Criteria Decision Making Methods and Its Applications.* **American Journal of Information Systems**. Vol. 1, No. 1, 31-43.

Atay, D., Özgüven, O. ve Önder, H. H. (2013). *Bulanık AHP Yöntemi ile Müşteri Güvenilirlik Düzeyinin Belirlenmesi ve Optimum Kazançlı Fiyatlandırma.* **13. Üretim Araştırmaları Sempozyumu**, 25 – 27 Eylül 2013, Sakarya Üniversitesi, 649-656.

Azizi, A. ve Fathi, K. (2014). *Selection Of Optimum Maintenance Strategies Based On a Fuzzy Analytic Hierarchy Process.* **Management Science Letters,** 4, 893–898.

Baidya, R. ve Ghosh, S. K. (2015). *Model For a Predictive Maintenance System Effectiveness Using the Analytical Hierarchy Process As Analytical Tool.* **IFAC-Papers On Line,** 48-3 (2015) 1463–1468.

Bansal, D., Evans, D. J. ve Jones, B. (2004). *A Real-Time Predictive Maintenance System For Machine Systems.* **International Journal of Machine Tools & Manufacture,** 44, 759-766.

Bashiri, M., Badri, H. ve Hejazi, T. H. (2011). *Selecting Optimum Maintenance Strategy by Fuzzy Interactive Linear Assignment Method.* **Applied Mathematical Modelling,** 35, 152-164.

Bevilacqua, M. ve Braglia, M. (2000). *The Analytic Hierarchy Process Applied To Maintenance Strategy Selection*. **Reliability Engineering and System Safety,** 70, 71–83.

Bhushan, N. ve Rai, K. (2004). *The Analytic Hierarchy Process.* **Strategic Decision Making Applying the Analytic Hierarchy Process** içinde (11-21). Springer-Verlag London.

Bloom, N. B. (2006). Reability Centered Maintenance (RCM) - Implementation Made Simple. **McGraw-Hill.**

Bölat, B. ve Kuzucu, A. (2006). *Çok Amaçlı Karar Verme Problemlerine Etkileşimli Bir Yaklaşım.* **İtü Dergisi / Mühendislik,** Cilt:5, Sayı:1, Kısım:1, 114-126.

Chakar, S. ve Martel, J-M. (2004). *Towards a Spatial Decision Support System: Multi-Criteria Evaluation Functions İnside Geographical information Systems.* **Annales du LAMSADE No:2**, 97-123.

Chand, G. ve Shirvani, B. (2000). *Implementation Of TPM In Cellular Manufacture.* **Journal of Materials Processing Technology,** 103, 149-154.

Chandrahas, Mishra, S. K. ve Mahapatra, D. (2015). *Maintenance Strategy And Decision Making – AHP Method*. **Int. J. Adv. Engg. Res. Studies**/IV/II/ Jan.-Marc, 2015/256-258.

Cho, K. T. (2003). *Multicriteria Decision Methods: An Attempt to Evaluate and Unify.* **Mathematical and Computer Modelling.** 37, 1099-1119.

Creehan, K. D. (2005). *Establishing Optimal Maintenance Practices In A Traditional Manufacturing Environtment.* **Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers**, 22:1, 11-18.

Çamkoru, A. M. ve Sayın, V. O. (2012). *Bakım Maliyeti Yönetimi.* **Mühendis ve Makine Dergisi,** Cilt: 53, Sayı: 635, 16-21.

Dağdeviren, M., Akay, D. ve Kurt, M. (2004). *İş Değerlendirme Sürecinde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Uygulaması.* **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.** Cilt 19, No 2, 131-138.

Dhilon, D. S. (2002). *Engineering Maintenance: A Modern Approach.* **CRC Press LLC,** 2000 N.W. Corporate Blvd., Boca Raton, Florida 33431.

Dekker, R. (1996). *Applications Of Maintenance Optimization Models: A Review And Analysis.* **Reliability Engineering and System Safety**, 51, 229-240.

Ecer, F ve Küçük, O. (2008). *Tedarikçi Seçiminde Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve Bir Uygulama.* **Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi,** Cilt 11, Sayı 1, 355-369.

Endrenyi, J., Allan, R. N., Anders, G. J., Asgarpoor, S., Billinton, R., Chowdhury, N., ... ve Mielnik, T. C. (2001). *The present status of maintenance strategies and the impact of maintenance on reliability. Power Systems*, **IEEE Transactions on Power Systems**, Vol. 16, No. 4, 638-646.

Ersöz, F. ve Kabak, M. (2010). *Savunma Sanayi Uygulamalarında Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Literatür Araştırması***. Savunma Bilimleri Dergisi,** Cilt 9, Sayı 1, 97-125.

Esin, A. (2004). *Bakımın Gelişen Boyutu- Sürdürülebilirlik*. **Mühendis ve Makina Dergisi**, Cilt: 45 Sayı: 538, 16-20.

Forman, E. H. ve Gass, S. I. (2001). "*The Analytic Hierarchy Process – An Exposition"* **Operations Research**. *Vol: 49, No: 4, 469-486.*

Forman, E. H. ve Selly, M. A. (2001*). Decision By Objectives (How To Convince Others That You Are Right),* **World Scientific Pub. Co., Petersburg, USA.**

Fraser, K. (2014). *Facilities Management: The Strategic Selection of a Maintenance System.* **Journal of Facilities Management**, Vol. 12 Iss: 1, 18–37.

Gandhare, B. ve Akarte, M. (2012). *Maintenance Strategy Slection.* **Ninth AIMS International Conference on Management**. Jan. 1-4, 1330-1336.

Goosssens, A. J. M. ve. Basten, R.J.I (2014). *Exploring maintenance policy selection using the Analytic Hierarchy Process: an application for naval ships.* **Beta Working Paper series,** 464.

Göksu, A. (2008). *Bulanık Analitik Hiyerarşik Proses ve Üniversite Tercih Sıralamasında Uygulanması.* **Yayınlanmamış Doktora Tezi.** Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Isparta.

Görener, A. (2012). *Bir İmalat İşletmesinde Bakım Stratejisinin Belirlenmesi.* **Mühendis ve Makine Dergisi,** Cilt: 53, Sayı: 627, 52-62.

Görener, A. (2013). *Bakım Stratejilerinin Bulanık Karar Ortamında Seçimi için WSA ve TOPSIS Yöntemlerinin Uygulanması.* **Sigma Fen ve Mühendislik Bilimleri Der**. Cilt: 31, Sayı: 2, 159-177.

Guitouni, A. ve Martel, J-M. (2008). *Tentative Guidelines To Help Choosing An Appropriate MCDA Method*. **European Journal of Operational Research,** 109, 501-521.

Güngör, F. ve Biberci, M. A. (2011). *360 Derece Performans Değerlendirme Yönteminin AHP Analizi ile Karşılaştırılması ve Bir Uygulama*. **XI. Üretim Araştırmaları Sempozyumu**, 23-24 Haziran 2011, İstanbul Ticaret Üniversitesi, 371-381.

Güngör, İ. ve İşler, B. D. (2005). Analitik Hiyerarşi Yaklaşımı ile Otomobil Seçimi. **ZKÜ Sosyal Bilimler Dergisi,** Cilt 1, Sayı 2, 21-33.

Gürbüz, H. ve Cömert, E. (2012). B*akım Planlama Faaliyetlerinde Tam Sayılı Doğrusal Programlama Ve Bir Uygulama.* **Karadeniz Sosyal Bilimler Dergisi**, Yıl:4, Sayı: 7, 101-123.

Hacımenni, E. (1998). *Analitik Hiyerarşik Süreci ve Bilişim Teknolojisi Kararlarında Uygulanması.* **Yayınlanmamış Doktora Tezi.** Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ekonometri Anabilim Dalı, İzmir.

Harker, P. T. ve Vargas, L. G. (1987). *The Theory Of Ratio Scale Estimation: Saaty's Analytic Hierarchy Process.* **Management Science**, Vol 33, No 11, 1383-1403.

Harputlugil, T. (2012). *Kararların Yapı Elde Etme Sürecinde Mimari Tasarım Kalitesinin Ölçülmesi Ve Arttırılmasına Yönelik Analitik Hiyerarşi Prosesi Tabanlı Karar Destek Yaklaşımı Ve Örnek Olaylarla Sınanması.*

Yayınlanmamış Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Ho, W. (2008). *Integrated Analytic Hierarchy Process And Its Applications - A Literature Review.* **European Journal of Operational Research,** 186, 211-228.

Huizingh, E., ve Vrolijk, H. C. J. (1995). *Decision Support for Information Systems Management: Applying Analytic Hierarchy Process*. **Research Report. Organisation and Management,** University of Groningen.

İç, Y. T. ve Yurdakul, M. (2000). *Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Yöntemini Kullanan Bir Kredi Değerlendirme Sistemi*, **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.,** Cilt 15, No 1, 1-14.

Iman, S. F., Raza, J. ve Ratnayake, R. M. C. (2013). *World Class Maintenance (WCM): Measurable Indicators Creating Opportunities For The Norwegian Oil and Gas Industry.* **Conference Paper, December, 2013.**

İnan, U. H. (2008). *Kalite Yönetim Sistemlerinde Tetkik Performansının Bulanık Mantık ile Analitik Hiyerarşi Süreci ve Bulanık Analitik Ağ Süreci Kullanılarak Ölçülmesi.* **Yayınlanmamış Doktora Tezi.** Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Jafari, A., Jafarian, M., Zareei, A., ve Zaerpour, F, (2008). *Using Fuzzy Delphi Method in Maintenance Strategy Selection Problem.* **Journal of Uncertain Systems,** Vol 2, No 4, 289-298.

Kabir, G, Sadiq, R. ve Tesfamariam, S. (2014). *A Review of Multi-Criteria Decision-Making Methods For Infrastructure Management*. **Structure and Infrastructure Engineering,** Vol. 10, No. 9, 1176–1210.

Kazançoğlu, Y. (2008). *Lojistik Yönetimi Sürecinde Tedarikçi Seçimi ve Performans Değerlendirilmesinin Yöneylem Araştırması Teknikleri ile Gerçekleştirilmesi: AHP (Analitik Hiyerarşik Süreç) ve DEA (Veri Zarflama Analizi)*. **Yayınlanmamış Doktora Tezi**, Ege Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Ana Bilim Dalı, İzmir.

Keçek, G. ve Yıldırm, E. (2010). *Kurumsal Kaynak Planlama (ERP) Sisteminin Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ile Seçimi: Otomotiv Sektöründe Bir Uygulama.* **Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi,** C.15, S.1, 193-211.

Kister, T.C. ve Hawkins, B. (2006). *Maintenance Planning and Scheduling: Streamline Your Organization for a Lean Environment*, **Elsevier Butterworth - Heinemann.**

Kıran, A. (2010). *Avrupa Birliği Uyum Sürecinde JAA/EASA Hava Aracı Bakım Sisteminin İncelenmesi Ve Türkiye'deki Uygulamaların Araştırılması.* **Yayınlanmamış Doktora Tezi.** Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sivil Havacılık Yönetimi Anabilim Dalı, Eskişehir.

Kobu, B. (2013). *Tamir - Bakım Planlaması.* **Üretim Yönetimi (16. Baskı)** içinde (299-321). İstanbul: Beta Basım Yayım Dağ.

Koçak, H. (2008). *En Uygun Özel Dershane Seçiminde Analitik Hiyerarşi Yönteminin Uygulanması.* **Marmara Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi**, Yıl: 2008, Cilt: XXV, Sayı 2, 863-879.

Koçel, T. (2013). *Karar ve Karar Verme Süreci.* **İşletme Yöneticiliği (14. Baskı)** içinde (109-150). İstanbul: Beta Basım Yayım Dağ.

Kodali, R. ve Chandra, S. (2001). *Analytical Hierarchy Process for Justification of Total Productive Maintenance.* **Production Planning & Control,** Vol. 12, No: 7, 695-705.

Kodali, R., Mishra, R. P. Ve Anand, G. (2009). *Justification Of World-Class Maintenance Systems Using Analytic Hierarchy Constant Sum Method*. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, Vol. 15, Iss 1, 47-7.

Koen, R. (2008). *Aspects Of MCDA Classification And Sorting Methods.* **Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi,** University Of South Africa, Güney Afrika.

Kuruüzüm, A. ve Atsan, N. (2001). *Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve İşletmecilik Alanındaki Uygulamalar*. **Akdeniz İ.İ.B.F Dergisi** (1) 2001, 83-105.

Labib, A.W. (1998). *World-Class Maintenance Using a Computerised Maintenance Management System*. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, Vol. 4, Iss 1, 66-75.

Labib, A.W., O'Connor, R.F. ve Williams, G.B. (1998). *An Effective Maintenance System Using The Analytic Hierarchy Process*. **Integrated Manufacturing Systems**, Vol. 2 No. 9, 87-98.

Lee, M-C. (2010). *The Analytic Hierarchy and the Network Process in Multicriteria Decision Making: Performance Evaluation and Selection Key Performance Indicators Based on ANP Model.* Crisan, M. (Ed.). **Convergence and Hybird Information Technologies** içinde (125-148). Rijeka, Croatia: InTech.

Maletic, D., Maletic, M., Lovrencic, V., Al-Najjar, B. ve Gomiscek, B. (2014). *An Application Of Analytic Hierarchy Process (AHP) And Sensitivity Analysis For Maintenance Policy Selection.* **Organizacija,** Vol. 47, no. 3, 177-188.

Marofi, R. (2014). *Selection Of Maintenance Strategies Based On AHP And TOPSIS Techniques.* **Nature and Science,** 12 (10), 163-168.

Mateo, J. R. S. C. (2012). Multi-Criteria Analysis. **Multi - Criteria Analysis In The Renewable Energy Industry** içinde (7-10). Springer-Verlag London.

Mete, M. (2007). *Bakım Yönetiminde Bulanık Çok Amaçlı Karar Verme Modeli*. **Yayınlanmamış Doktora Tezi**, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul.

Miller, G. A. (1955). *The Magical Number Seven, Plus or Minus Two Some Limits on Our Capacity for Processing Information*. **Psychological Review**, Vol. 101, No. 2, 343-352.

Mobley, R. K. (2004). *Maintenance Fundamentals 2nd Edition.* **Elsevier Butterworth - Heinemann.**

Mobley, R. K. (2008). *Maintenance Engineering Handbook 7nd Edition.* **McGraw-Hill.**

Momeni, M., Fathi, M. R., Zarchi, M. K. ve Azizollahi, S. (2011). *A Fuzzy TOPSIS-Based Approach to Maintenance Strategy Selection: A Case Study.* **Middle-East Journal of Scientific Research**, 8 (3), 699-706.

Moubray J., (1997). *Reliability Centered Maintenance*, 2nd ed. **Butterworth-Heinemann, Oxford.**

Murthy, D. N. P. ve Jack, N. (2003). *Warranty and Maintenance.* Pham, H. (Ed). **Maintenance - Handbook Of Reliability Engineering** içinde (305-314). Springer-Verlag London.

Odeyale, S. O., Alamu, O.J. ve Odeyale, E. O. (2013). *The Analytical Hierarchy Process Concept for Maintenance Strategy Selection in Manufacturing Industries.* **The Pacific Journal of Science and Technology,** Vol. 14, Nr. 1., 223-233.

Ömürbek, N., Büyükgebiz, E. ve Başdeğirmen, A. (2013). Ü*rün Alternatifi Seçiminde Analitik Hiyerarşi Sürecinin Bir Süt Fabrikasında Uygulanması.* **Ç.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi,** Cilt 14, Sayı 1, 137-155.

Önder, E. (2014). *Analitik Ağ Süreci.* Yıldırım, B. F. ve Önder, E. (Ed.). **Operasyonel, Yönetsel ve Stratejik Problemlerin Çözümünde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri** içinde (75-116). Bursa: Dora Yayıncılık.

Önder, G. ve Önder, E. (2014). *Analitik Hiyerarşi Süreci.* Yıldırım, B. F. ve Önder, E. (Ed.). **Operasyonel, Yönetsel ve Stratejik Problemlerin Çözümünde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri** içinde (21-73). Bursa: Dora Yayıncılık.

Özdoğan, A. (2011). *Bakım Parametrelerine Dayalı Üretim Politikaları Optimizasyou*. **Yayınlanmamış Doktora Tezi**, Çukurova Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Ana Bilim Dalı, Adana.

Öztürk, B. (2011). *Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerinden Bulanık TOPSIS ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci.* **Yayınlanmamış Doktora Tezi**, Uludağ Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Ana Bilim Dalı, Sayısal Yöntemler Bilim Dalı, Bursa.

Perçin, S. ve Ustasüleyman, T. (2009). *Analitik Hiyerarşi Süreci ve Kalite Fonksiyon Göçerimi Yardımıyla Bakım Stratejisi Seçimi.* **Celal Bayar Üniversitesi, Sosyal Bilimler Dergisi,** Cilt 7, Sayı 2, 11-26.

Pohekar, S.D. ve Ramachandran, M. (2004). *Application of Multi-Criteria Decision Making Tosustainable Energy Planning-A Review*. **Renewable and Sustainable Energy Reviews,** 8, 365–381.

Pophaley, M. ve Vyas, R. K. (2010). *Choice Criteria For Maintenance Strategy In Automotive Industries.* **International Journal of Management Science and Engineering Management***,* 5(6): 446-452.

Ruiz, R., García-Díaz, J. C. ve Maroto, C. (2007). *Considering Scheduling And Preventive Maintenance In The Flowshop Sequencing Problem.* **Computers & Operations Research,** 34, 3314 – 3330.

Saaty, R. W. (1987). *The Analytic Hierarchy Process-What It Is And How It Is Used.* **Mathl Modelling,** Vol. 9, No. 3-5, 161-176.

Saaty, T. L. (1977). *Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures.* **Journal Of Mathematical Psychology**, Vol. 15, 234-281.

Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation.* **McGraw-Hill.**

Saaty, T. L. (1986). *Axiomatic Foundation Of The Analytic Hierarchy Process.* **Management Science,** Vol. 32, No. 7, 841-855.

Saaty, T. L. (1990). *How To Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process.* **European Journal of Operational Research,** 48 (1990), 9-26.

Saaty, T. L. (1999). *Basic Theory Of The Analytic Hierarchy Process: How To Make A Decision.* **Rev. R. Acad. Cienc. Exact. Fis. Nat. (Esp),** 9, Vol. 93, No: 9, 395-423.

Saaty, T. L. (2001). *Deriving The AHP 1-9 Scale From First Principles*. 6'th ISAHP 2001, Berne, Switzerland, August 2-4, 397-402.

Saaty, T. L. (2003). *Decision-Making With The AHP: Why Is The Principal Eigenvector Necessary*. **European Journal of Operational Research** 145, 85-91.

Saaty, T. L. (2004). *Decision Making - The Analytic Hierarchy And Network Processes (AHP/ANP).* **Journal Of Systems Science And Systems Engineerıng,** Vol. 13, No. 1, 1-35.

Saaty, T. L. (2008a). *Decision Making With The Analytic Hierarchy Process.* **Int. J. Services Sciences,** Vol. 1, No. 1**,** 83-98.

Saaty, T. L. (2008b). *Relative Measurement and Its Generalization in Decision Making Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors The Analytic Hierarchy / Network Process. Process.* **Rev. R. Acad. Cien. Serie A. Mat.** Vol. 102 (2), 251–318.

Saaty, T. L. (2013). *Fundamentals of Decision Making and Priorty Theory with The Analytic Hierarchy Process.* **RWS Publications,** 4922 Ellsworth Avenue Pittsburg, PA 15213.

Saaty, T. L. ve Özdemir, M. S. (2003). *Why the Magic Number Seven Plus or Minus Two.* **Mathematical and Computer Modelling**, 38, 233-244.

Saaty, T. L. ve Tran, L. T. (2007). *On The Invalidity Of Fuzzifying Numerical Judgments in The Analytic Hierarchy Process*. **Mathematical and Computer Modelling**, 46, 962–975.

Saaty, T. L. and Vargas, L. G. (2012). *The Seven Pillars of the Analytic Hierarchy Process.* **Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process** içinde (23 - 40). Springer Science + Business Media New York.

Sachdeva, A., Kumar, D. ve Kumar, P. (2008). *Planning And Optimizing The Maintenance Of Paper Production Systems In a Paper Plant.* **Computers & Industrial Engineering.** 55, 817-829.

Sarıoğlan, M. (2011). *Konaklama İşletmelerinde Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi İle Tedarikçi Seçim Kriterlerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma.* **Yayınlanmamış Doktora Tezi**, Balıkesir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Turizm İşletmeciliği ve Otelcilik Ana Bilim Dalı, Balıkesir.

Savsar, M. (2006). *Maintenance Management and Modeling In Modern Manufacturing Systems*. Kordic, V., Lazinica, A. ve Merdan, M. (Ed.). **Manufacturing the Future, Concepts - Technologies – Visions** içinde (259-290). Pro Literatur Verlag, Germany / ARS, Austria.

Schneider, F. (2008). *Multiple Criteria Decision Making İn Application Layer Networks.* **Bayreuth Reports On Information Systems Management**, No. 36.

Shen, Q., Lo, K.-K. ve Wang, Q. (1998) *Priority Setting in Maintenance Management: a Modified Multi-Attribute Approach Using Analytic Hierarchy Process,* **Construction Management and Economics**, 16: 6, 693-702.

Smith, R. ve Hawkins, B. (2004). *Lean Maintenance - Reduce Costs, Improve Quality And Increase Market Share.* **Elsevier Butterworth–Heinemann.**

Smith, R. ve Mobley, R. K. (2003). *Industrial Machinery Repair: Best Maintenance Practices Pocket Guide.* **Elsevier Butterworth–Heinemann.**

Swanson, L., (2001). *Linking Maintenance Strategies to Performance.* **International Journal of Production Economics,** 70, 237–244.

Şener, T. (2011). *Personel Seçimi Probleminde Analitik Hiyerarşi Prosesi: Tekstil Sektörü İçin Örnek Uygulama.* **Yayınlanmamış Doktora Tezi**, Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Ana Bilim Dalı, Konya.

Şimşek, M. S. ve Çelik, A. (2012). *Üretim Yönetimi.* **İşletme Bilimine Giriş (19. Baskı)** içinde (211-242). Konya: Eğitim Kitapevi.

Taha, H. A.. (2015). *Karar Analizi ve Oyun Teorisi.* Baray, Ş.A. ve Esnaf, Ş. (Çev). **Yöneylem Araştırması (6. Baskı)** içinde (511-560). İstanbul: Literatür Yayıncılık.

Tatman, D. T. (2011). *Hazır Giyim Sektöründe Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Kalite Fonksiyon Göçerimi Uygulaması: Bornoz Örneği.* **Yayınlanmamış Doktora Tezi**, Gazi Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Giyim Endüstrisi ve Moda Tasarımı Eğitimi Ana Bilim Dalı, Ankara.

Tekin, M. (2012). *Bakım Planlaması.* **Üretim Yönetimi (Cilt-2) (8. Baskı)** içinde (131-165). Konya: Günay Ofset.

Tekin, M. ve Ömürbek, N. (2013). **Küresel Rekabet Ortamında Teknolojik İşbirliği ve Otomotiv Sektörü Uygulamaları** (8. Baskı). Konya: Günay Ofset.

Timor, M. (2011). **Analitik Hiyerarşi Prosesi**. İstanbul: Türkmen Kitapevi.

Toksarı, M. (2007). *Analitik Hiyerarşi Prosesi Yaklaşımı Kullanılarak Mobilya Sektörü İçin Ege Bölgesi'nde Hedef Pazarın Belirlenmesi*. **Yönetim ve Ekonomi,** Cilt: 14, Sayı: 1, 171-180.

Triantaphyllou, E., Shu ,B. S., Sanchez, B.S. ve Ray, T. (1998). *Multi-Criteria Decision Making: An Operations Research Approach.* **Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering**, (J.G. Webster, Ed.), John Wiley & Sons, New York, NY, Vol. 15, 175-186.

Tsang, A. H. C. (2002). *Strategic Dimensions Of Maintenance Management.* **Journal of Quality in Maintenance Engineering.** Vol. 8, Iss 1,7-39.

Türk Dil Kurumu *BSTS / Bilişim Terimleri Sözlüğü* 1981 http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_bts&arama=kelime&guid=TDK.GTS.54f4e8f840a4b1.45490546. Erişim Tarihi: 03.03.2015

Ünal, Ö. F. (2010). *Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Yetkinlik Bazlı İnsan Kaynakları Yöneticisi Seçimi*. **Yayınlanmamış Doktora Tezi.** Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Isparta.

Vila, J. ve Beccue, B. (1995). *Effect of Visualization On The Decision Maker When Using Analytic Hierarchy Process.* **Proceedings of the 28th Annual Hawaii International Conference on System Sciences,** 992-1001.

Waeyenbergh, G. ve Pintelon, L. (2002). *A Framework For Maintenance Concept Development.* **Iternational Journal of Production Economics,** 77, 299-313.

Wallenius, J., Dyer, J.S., Fishburn, P.C., Steuer, R.E., Zionts, S. ve Deb, K. (2008). *Multiple Criteria Decision Making, Multiattribute Utility Theory: Recent Accomplishments and What Lies Ahead.* **Management Science**, 54 (7), 1336-1349.

Wang, H. (2002). *A Survey Of Maintenance Policies Of Deteriorating Systems.* **European Journal of Operational Research,** 139, 469-489.

Wang, L., Chu, C. ve Wu, J. (2007). *Selection of Optimum Maintenance Strategies Based on a Fuzzy Analytic Hierarchy Process.* **Iternational Journal of Production Economics,** 107, 151-163.

Xu, M. ve Wu, Y. (2015). *Evolutionary Maintenance Based on Maintenance Free Operating Period Philosophy.* **Procedia Engineering,** 99, 587-592.

Yılmaz, D. (2014). *Analitik Hiyerarşi Yöntemi Kullanılarak İstanbul Metropoliten Alanında Toplu Taşıma İle Bütünleşik Bisiklet Ağı Kümelerinin Önceliklendirilmesi.* **Yayınlanmamış Doktora Tezi.** İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Youssouf, A., Rachid, C. ve Ion, V. (2014). *Contribution To The Optimization Of Strategy Of Maintenance By Lean Six Sigma*. **Physics Procedia,** 55, 512-518.

Zahedi, F. (1986). *The Analytic Hierarchy Process - A Survey of the Method and its Applications.* **Interfaces** *16: 4 July-August 1986,96-108.*

Zhou, P., Ang, B. W. ve Poh, K. L. (2006). *Decision Analysis In Energy And Environmental Modeling: An Update.* **Energy** 31, 2604–2622.