

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAYNAK KISITLI BAKIM ÇİZELGELEME
PROBLEMİNE BİR HİBRİD ÇÖZÜM YAKLAŞIMI**

DOKTORA TEZİ

Endüstri Yük. Müh. Fuat ŞİMŞİR

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Emin GÜNDOĞAR

Haziran 2008

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAYNAK KISITLI BAKIM ÇİZELGELEME
PROBLEMİNE BİR HİBRİD ÇÖZÜM YAKLAŞIMI**


DOKTORA TEZİ

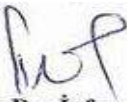
End. Yük. Müh. Fuat ŞİMŞİR

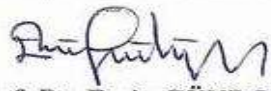
Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ


Bu tez 20/06/2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr. Ramazan YAMAN
Jüri Başkanı


Prof. Dr. İrfan AY
Üye


Prof. Dr. Emin GÜNDOĞAR
Üye


Yrd. Doç. Dr. Hayrettin EVİRGEN
Üye


Yrd. Doç. Dr. Baha GÜNEY
Üye

TEŞEKKÜR

Doktora tez çalışmaları; araştırma, bilgi, emek, tecrübe, destek, sabır ve özveri gibi çok önemli olguların bir araya gelmesiyle, uzun ve zahmetli bir süreçte ortaya çıkmaktadır.

Harcanan emekler neticesinde faydalı sonuçlar ortaya çıkarılmasında tecrübelerin ve doğru yönlendirmelerin önemi yadsınamaz bir gerçektir. Bilgi ve tecrübeleri ile, çalışmam boyunca yol gösteren tez danışmanım, hocam; Sayın Prof. Dr. Emin Gündoğar'a teşekkürlerimi sunuyorum. Tez sürecindeki katkılarından dolayı tez izleme jürimde bulunan Sayın Yrd. Doç. Dr. Baha Güney ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Hayrettin Evirgen hocalarıma da teşekkür ediyorum.

Tezde geliştirilen çizelgeleme algoritmalarının programlanmasında, ileri derecedeki veritabanı yönetimi ve yazılım geliştirme bilgisinin yanında çok özverili bir şekilde değerli katkılarını gördüğüm; arkadaşım, kardeşim Endüstri Mühendisi Süleyman Öcel'e çok teşekkür ediyorum.

Genetik Algoritmalar konusundaki tecrübesiyle çalışmaya değerli katkılarda bulunan, Sayın Yrd.Doç.Dr. Tarık Çakar'a teşekkür ediyorum. Desteğini her zaman yanımda hissettiğim ve çalışmam boyunca önemli yardımlarda bulunan arkadaşım Arş. Gör. Dr. Özer Uygun'a, programlama konusundaki yardımlarından dolayı Arş. Gör. Hasan Kaçamak'a da teşekkür ediyorum.

Sadece bu çalışmamda değil, eğitim hayatım boyunca; her zaman ve her koşulda varlıklarıyla bana moral veren, güç veren, manevi destekleri hep benimle olan çok değerli aileme de teşekkürlerimin en özelini sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
-------------	---

BÖLÜM 2.

BAKIM YÖNETİMİ VE BAKIM ÇİZELGELEME.....	6
2.1.Bakım Faaliyetleri.....	6
2.1.1.Giriş	6
2.1.2.Bakım faaliyetlerinin üretime etkisi	7
2.1.3.Bakım faaliyetlerinin tanımı ve sınıflandırılması.....	9
2.1.4.Koruyucu bakım	11
2.1.4.1.Koruyucu bakımın amaçları.....	12
2.1.4.2.Koruyucu bakım türleri.....	13
2.1.4.3.Koruyucu bakım frekansını belirleme ve frekans türleri	14
2.1.4.4.Koruyucu bakımın yararları	15
2.2.Bakım Yönetimi	15
2.2.1.Giriş	15
2.2.2.Bakım yönetiminin amaçları	16
2.2.3.Bakım yönetimi ve organizasyonu	18
2.2.3.1.Hedef planlaması.....	19

2.2.3.2.Kaynak planlamanın görevleri	19
2.2.3.3.Akış planlamanının görevleri	21
2.2.4.Bakım yönetimi bileşenleri.....	23
2.3.Bakım Yönetim Sistemleri.....	25
2.3.1.Giriş	25
2.3.2.Bakım yönetim sistemleri'nin faydaları	28
2.3.3.Bakım yönetim sistemleri'nin modülleri.....	28
2.3.3.1.Ekipman modülü.....	28
2.3.3.2.İş emirleri modülü.....	29
2.3.3.3.Koruyucu bakımlar modülü	29
2.3.3.4.Kaynaklar modülü.....	30
2.3.3.5.Personel modülü.....	30
2.3.3.6.Takvim modülü.....	30
2.3.3.7.Raporlar modülü	30
2.3.3.8.Çizelgeleme modülü	30
2.3.4.Bakım yönetim sistemlerinde çizelgeleme.....	31
2.4.Bakım Çizelgeleme	32
2.4.1.Giriş	32
2.4.2.Literatür taraması.....	33

BÖLÜM 3.

GENETİK ALGORİTMALAR VE BULANIK MANTIK	45
3.1.Genetik Algoritmalar	45
3.1.1.Giriş	45
3.1.2.Genetik algoritmaların genel yapısı.....	46
3.1.2.1.Çözümlerin kodlanması	48
3.1.2.2.Başlangıç toplumunun (popülasyonun) oluşturulması.....	48
3.1.2.3.Uygunluk değerinin hesaplanması	48
3.1.2.4.Çaprazlama işleminin uygulanması	49
3.1.2.5.Mutasyon işleminin uygulanması	51
3.1.2.6.Yeni oluşan bireylerin uygunluk değerlerinin hesaplanması.....	53
3.1.2.7.Yeni neslin oluşması	53

3.1.2.8.Döngünün durdurulması	54
3.1.3.Genetik Algoritmaların performansını etkileyen faktörler.....	55
3.2.Bulanık Mantık	56
3.2.1.Giriş	56
3.2.2.Bulanık üyelik fonksiyonları	57
3.2.2.1.Üçgen üyelik fonksiyonu	58
3.2.2.2.Yamuk üyelik fonksiyonu.....	58
3.2.2.3.Bulanık üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi.....	59
3.2.3.Bulanık kümelerde işlemler.....	60
3.2.3.1.Kesişim (Ve - And) işlemi	60
3.2.3.2.Birleşim (Veya - Or) işlemi	61
3.2.4.Bulanık sistem	61
3.2.4.1.Bulanık kural tabanı	63
3.2.4.2.Bulanıklaştırma birimi	63
3.2.4.3.Bulanık çıkarım motoru	64
3.2.4.4.Durulaştırma birimi.....	64

BÖLÜM 4.

GELİŞTİRİLEN KORUYUCU BAKIM ÇİZELGELEME SİSTEMİ	67
4.1.Giriş.....	67
4.2.Problemin Tanımlanması	67
4.3.Kullanılan Çözüm Teknikleri.....	69
4.3.1.Hedef koruyucu bakım çizelgesinin oluşturulması	71
4.3.2.Öncelik puanlarının hesaplanması.....	74
4.3.2.1.Doğrusal öncelik puanı hesaplama yöntemi	74
4.3.2.2.Bulanık öncelik puanı hesaplama yöntemi	75
4.3.3.Doğrusal/bulanık öncelik puanlı, simülasyon tabanlı çizelgeleme.....	81
4.3.4.Doğrusal/bulanık öncelik puanlı, genetik algoritma temelli çizelgeleme.....	84
4.3.4.1.Bulanık öncelik puanlı genetik çizelgeleme	84
4.3.4.2.Doğrusal öncelik puanlı genetik çizelgeleme	92

BÖLÜM 5.

SİSTEMİN UYGULANMASI VE ÇIKTILARI.....	95
5.1.Giriş.....	95
5.2.Kullanılan Performans Kriterleri.....	97
5.2.1.Hedefe atanamayan koruyucu bakım sayısı (KS)	98
5.2.2.Hedefe atanamayan koruyucu bakım oranı (KO).....	98
5.2.3.Hedeften sapmaların gün toplamı (GT).....	98
5.2.4.Hedeften sapmaların ortalaması (SO)	98
5.2.5.Bakım ekiplerinin kullanım oranları	99
5.3.Sonuçlar	99
5.3.1.Küçük ölçek.....	100
5.3.2.Orta ölçek	104
5.3.3.Büyük ölçek.....	109
5.4.Genetik Algoritmanın Gelişimi.....	114
5.4.1.Küçük ölçek.....	115
5.4.2.Orta ölçek	116
5.4.3.Büyük ölçek.....	117

BÖLÜM 6.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER	119
KAYNAKLAR.....	122
ÖZGEÇMİŞ.....	132

KISALTMALAR LİSTESİ

BBYS	: Bilgisayarlı bakım yönetim sistemleri
GA	: Genetik Algoritma
GT	: Hedeften Sapmaların Gün Toplamı
HLA	: Yüksek Seviyeli Mimari (High Level Architecture)
KB	: Koruyucu Bakım
KO	: Hedefe Atanamayan Koruyucu Bakım Oranı
KS	: Hedefe Atanamayan Koruyucu Bakım Sayısı
LOX	: Doğrusal Sıralı Çaprazlama (Linear Order Crossover)
OX	: Sıralı Çaprazlama (Order Crossover)
SA	: Tavlama Benzetimi Algoritması (Simulated Annealing)
SO	: Hedeften Sapmaların Ortalaması
TÜB	: Toplam Üretken Bakım (Total Productive Maintenance)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Bakım faaliyetlerinin sınıflandırılması.....	9
Şekil 2.2. Koruyucu bakım tipleri	13
Şekil 2.3. Bakım ve onarımda kaynak planlamanın görevleri	20
Şekil 2.4. Bakım ve onarımda akış planlamasının görevleri	22
Şekil 2.5. Bilgisayarlı bakım yönetim sistemleri genel yapısı	26
Şekil 3.1. Genetik algoritmaların çalışma prensibi	47
Şekil 3.2. OX çaprazlama operatörünün işleyişi	51
Şekil 3.3. LOX çaprazlama operatörünün işleyişi	52
Şekil 3.4. Araya ekleme (insert) mutasyonu	53
Şekil 3.5. Karşılıklı yer değiştirme (reciprocal exchange) mutasyonu	53
Şekil 3.6. Üçgen üyelik fonksiyonu	58
Şekil 3.7. Yamuk üyelik fonksiyonu	59
Şekil 3.8. İki üçgen bulanık sayının kesişimi	61
Şekil 3.9. İki üçgen bulanık sayının birleşimi	61
Şekil 3.10. Bulanık sistemin işleyişi ve bileşenleri	63
Şekil 3.11. Bulanık çıkarım	65
Şekil 3.12. Ağırlıklı ortalama yöntemi	66
Şekil 3.13. Maksimumun ortası yöntemi	66
Şekil 4.1. Bilgisayarlı bakım yönetim sistemleri modülleri ve bakım çizelgeleme ...	68
Şekil 4.2. Örnek bir bakım çizelgesi	69
Şekil 4.3. Koruyucu bakımların çizelgelenmesi modeli genel yapısı	70
Şekil 4.4. Hedef koruyucu bakım çizelgesi oluşturma ekranı	72
Şekil 4.5. Örnek bir hedef koruyucu bakım çizelgesi	72
Şekil 4.6. Senaryo kayıt ekranı	73
Şekil 4.7. Genel bulanık sistem	75
Şekil 4.8. Koruyucu bakım önemi dilsel tanım aralıkları girişi arayüzü.....	76
Şekil 4.9. Koruyucu bakım önemi değişkeninin üyelik fonksiyonu grafiği.....	76

Şekil 4.10. Koruyucu bakım frekansı dilsel tanım aralıkları girişi arayüzü	77
Şekil 4.11. Koruyucu bakım frekansı değişkeninin üyelik fonksiyonu grafiği	77
Şekil 4.12. Koruyucu bakım gecikmesi dilsel tanım aralıkları girişi arayüzü.....	78
Şekil 4.13. Koruyucu bakım gecikmesi değişkeninin üyelik fonksiyonu grafiği.....	78
Şekil 4.14. Koruyucu bakım öncelik puanı dilsel tanım aralıkları girişi arayüzü	79
Şekil 4.15. Koruyucu bakım öncelik puanı çıktı değişkeninin üyelik fonksiyonu grafiği	79
Şekil 4.16. Bulanık kural oluşturma ekranı	80
Şekil 4.17. Bulanık öncelik puanı belirleme	81
Şekil 4.18. Doğrusal öncelik puanlı simülasyon tabanlı çizelgeleme akış diyagramı	82
Şekil 4.19. Bulanık öncelik puanlı simülasyon tabanlı çizelgeleme akış diyagramı..	83
Şekil 4.20. Simülasyon tabanlı çizelgeleme başlatma ekranı.....	84
Şekil 4.21. Bulanık öncelik puanlı genetik çizelgelemenin akış diyagramı.....	86
Şekil 4.22. Bulanık (doğrusal) öncelik puanlı genetik çizelgeleme başlatma ekranı.	87
Şekil 4.23. Puan türü seçimi ekranı	87
Şekil 4.24. Gen ve kromozom yapısı.....	88
Şekil 4.25. Başlangıç toplumu.....	89
Şekil 4.26. KB'ların kaynaklara atanması.....	91
Şekil 4.27. Doğrusal öncelik puanlı genetik çizelgelemenin akış diyagramı.....	93
Şekil 5.1. Küçük ölçekteki deneyler için hedefe atanamayan koruyucu bakım sayıları	101
Şekil 5.2. Küçük ölçekteki deneyler için hedefe atanamayan koruyucu bakım oranları.....	101
Şekil 5.3. Küçük ölçekteki deneyler için hedeften sapmaların gün toplamı	102
Şekil 5.4. Küçük ölçekteki deneyler için hedeften sapmaların ortalaması.....	102
Şekil 5.5. Küçük ölçek için hedefe atanamayan koruyucu bakım oranları ve hedeften sapmaların ortalaması değerlerinin birlikte gösterimi	103
Şekil 5.6. Bulanık öncelik puanlı simülasyon temelli çizelgeleme algoritmasının küçük ölçek için karşılaştırma raporu	103
Şekil 5.7. Bulanık öncelik puanlı genetik temelli çizelgeleme algoritmasının küçük ölçek için karşılaştırma raporu.....	104
Şekil 5.8. Orta ölçekteki deneyler için hedefe atanamayan koruyucu bakım sayıları	105

Şekil 5.9. Orta ölçekteki deneyler için hedefe atanamayan koruyucu bakım oranları.....	106
Şekil 5.10. Orta ölçekteki deneyler için hedeften sapmaların gün toplamı.....	107
Şekil 5.11. Orta ölçekteki deneyler için hedeften sapmaların ortalaması	107
Şekil 5.12. Orta ölçek için hedefe atanamayan koruyucu bakım oranları ve hedeften sapmaların ortalaması değerlerinin birlikte gösterimi	108
Şekil 5.13. Doğrusal öncelik puanlı simülasyon temelli çizelgeleme algoritmasının orta ölçek için karşılaştırma raporu	108
Şekil 5.14. Doğrusal öncelik puanlı genetik temelli çizelgeleme algoritmasının orta ölçek için karşılaştırma raporu	109
Şekil 5.15. Büyük ölçekteki deneyler için hedefe atanamayan koruyucu bakım sayıları	111
Şekil 5.16. Büyük ölçekteki deneyler için hedefe atanamayan koruyucu bakım oranları.....	111
Şekil 5.17. Büyük ölçekteki deneyler için hedeften sapmaların gün toplamı	112
Şekil 5.18. Büyük ölçekteki deneyler için hedeften sapmaların ortalaması.....	112
Şekil 5.19. Büyük ölçek için hedefe atanamayan koruyucu bakım oranları ve hedeften sapmaların ortalaması değerlerinin birlikte gösterimi	113
Şekil 5.20. Bulanık öncelik puanlı simülasyon temelli çizelgeleme algoritmasının büyük ölçek için karşılaştırma raporu	113
Şekil 5.21. Bulanık öncelik puanlı genetik temelli çizelgeleme algoritmasının büyük ölçek için karşılaştırma raporu	114
Şekil 5.22. Küçük ölçek için bulanık öncelik puanlı genetik temelli çizelgelemenin gelişimi	115
Şekil 5.23. Küçük ölçek için doğrusal öncelik puanlı genetik temelli çizelgelemenin gelişimi	115
Şekil 5.24. Orta ölçek için bulanık öncelik puanlı genetik temelli çizelgelemenin gelişimi	116
Şekil 5.25. Orta ölçek için doğrusal öncelik puanlı genetik temelli çizelgelemenin gelişimi	116
Şekil 5.26. Büyük ölçek için bulanık öncelik puanlı genetik temelli çizelgelemenin gelişimi	117

Şekil 5.27. Büyük ölçek için doğrusal öncelik puanlı genetik temelli çizelgelemenin gelişimi	117
Şekil 5.28. Tüm ölçekler için hedefe atanamayan koruyucu bakım oranları ve hedeften sapmaların ortalaması değerlerinin birlikte gösterimi	118

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 5.1. Deneşlerde kullanılan değerler	96
Tablo 5.2. Küçük ölçekteki deneşlerin performans değerleri	100
Tablo 5.3. Orta ölçekteki deneşlerin performans değerleri.....	105
Tablo 5.4. Büyük ölçekteki deneşlerin performans değerleri	110

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Koruyucu Bakım Çizelgeleme, Genetik Algoritmalar, Bulanık Mantık

Bir bakım planlama sisteminin en önemli fonksiyonlarından biri, bir sonraki çalışma döneminde gerçekleştirilmesi gereken Koruyucu Bakım işlerinin listesini; zaman, işgücü, malzeme ve araç-gereç olanaklarını, önceliklerini gözeterek hazırlamaktır. Bu bağlamda çizelgeleme bakım işgücünü dengeler ve ilerde gerekli olacak işgücü büyüklüğünün tahminini sağlar. İyi yapılmış bir çizelgeleme ile yüksek düzeydeki performans değerlerine erişilebilir.

Çizelgeleme problemlerinin, NP-Zor (Polinom olmayan) problemler olması nedeniyle, çözümlerinde analitik yaklaşımlar yerine daha çok bulgusal algoritmaların kullanımı tercih edilmiştir. Genetik Algoritmalar farklı boyutlardaki bu tarz çizelgeleme problemlerinde etkili olmakta ve iyi çözümlere ulaşmada başarılı sonuçlar vermektedir. Çizelgeleme problemlerinde kaynak kısıtları (bakım personeli) nedeniyle bütün işlerin yapılması gerektiği zamanlarda gerçekleştirilmeleri sağlanamıyorsa; hangi işlerin öne alınacağı, hangilerinin geciktirilebileceği ve hangilerinin de geciktirilemeyeceğinin kararını almakta doğru kriterlere göre davranmak gereklidir.

Geliştirilen sistemimizde, istenilen bir zaman aralığındaki her bir koruyucu bakım, bir gen olarak temsil edilmektedir. Genlerin yan yana dizilmesi ile her biri bir çözüm adayı olan kromozomlar oluşturulmaktadır. Çalışmada, farklı dizilişlerdeki kromozomların; kaynak kısıtlarına göre, işlerin öncelikleri de dikkate alınarak tanımlı oldukları günlere atanmasını sağlayacak genetik algoritma temelli bir çözüm tekniği geliştirilmiştir. Koruyucu Bakımların önceliklerinin belirlenmesinde ise Bulanık Mantık yaklaşımı tercih edilmiştir. Geliştirilen bu algoritmanın farklı ölçeklerdeki sonuçları, geleneksel yöntemle ve yine farklı ölçeklerde yapılmış deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

A HYBRID SOLUTION APPROACH UNDER THE RESOURCE CONSTRAINTS FOR MAINTENANCE SCHEDULING PROBLEM

SUMMARY

Keywords: Preventive Maintenance Scheduling, Genetic Algorithms, Fuzzy Logic

One of the major functions of a maintenance planning system is the ability of preparing the list of the Preventive Maintenance tasks to be performed in the next period together with indicating time, labour, materials, and tools feasibilities and priorities. So, maintenance scheduling can balance labour needed and can provide forecast for labour force that is going to be needed in the future. It is obviously possible to reach high degrees of performance with a good scheduled maintenance plan.

Since scheduling is a NP-Hard problem, heuristic algorithms is preferred in the solutions of scheduling problems instead of analytical approaches. Genetic algorithms are quite efficient in scheduling problems of different sizes and gives successful results in obtaining feasible and better solutions. If it is not possible to perform the maintenance tasks in the time they are supposed to be conducted because of resource constraints (maintenance personnel) in scheduling problems, it is necessary to behave based on right criteria in deciding which tasks could be moved forward, which tasks could be postponed, or which tasks can not be delayed.

In the system developed within this study, every preventive maintenance tasks in any given time space is represented as a gene. Lining up the genes in a row, chromosomes are composed that each one is a candidate for the solution. In the study, using the chromosomes in various arrangements considering the resource constraints, a genetic algorithm based solution technique is developed in order to assign tasks to previously defined dates taking account their priorities. Fuzzy Logic approach is preferred in defining priorities of preventive maintenance. The results of the developed algorithm in various sizes are compared with the test results of the traditional methods in various sizes.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Makineler ve aletler zamanla yıpranmaya, bunun sonucu olarak da arızalanmaya ve fonksiyonlarını yerine getirememeye başlarlar. Önceki yıllarda, endüstride çalışan bakım mühendisleri makinelerin optimal biçimde çalışma koşullarını araştırmaksızın bakım problemleri ile uğraşıyorlardı. Ancak geçtiğimiz yıllar daha yüksek üretkenlik ve bunun yanında daha az işletme maliyeti için artan talebe tanık oldu. Kısaca, bir örgütün tüm fonksiyonlarını en uygun biçimde yerine getirebilmesi için baskı artıyordu. Fabrikaların eski ve kötü durumda oluşunun yanı sıra, yeni ve modern fabrikaların satın alınmasını önleyen sermaye harcamalarındaki kısıtlamalar bu isteklerin yerine getirilmesini zorlaştırıyordu. Bu gibi faktörler nedeniyle de makine ve binalara daha akılcı, daha etkili yönetim sistemleri uygulanması gerekliliği belirgin bir şekilde kendini göstermekteydi.

Gerek mal, gerekse hizmet üreten işletmelerde en önemli konulardan biri işletmenin elinde bulunan ve üretimde kullanılan araçların arızalanmaları halinde ne yapılacağı konusudur. Bazı işletmeler bu sorunu gerekenden biraz daha fazla makine almak ve bir kısmını yedek bulundurmak yoluyla üretimin aksamamasını sağlayarak çözümlerler. Kuşkusuz, bu ekonomik açıdan uygun bir çözüm değildir. Bir kısım işletmeler ise, arızalanan ve bir süre devre dışı kalan makinenin yerine yeni bir makine alarak üretime devam ederler ki, bu da ekonomik bir yol sayılamaz. Çünkü arızalanan makine onarıldığı zaman makine sayısı artacağından işletme makine parkında her zaman gereken sayının üzerinde makine bulunur.

İşletme yönetiminde esas olan, kıt kaynakların en akılcı, en ekonomik biçimde kullanımı olduğuna göre, bu durumda başka çözümler aramak yanlış olmayacaktır. Özellikle sürekli üretimde bu durum bir hayli önem kazanır. Birçok tezgahın yer aldığı bir üretim hattında bir ya da bir kaç makinenin arızalanması –eğer yedekleri yoksa- hattı durdurabilir. Kesikli üretimde ise, arıza veya bakım nedeniyle devre dışı

kalan bir makine yerine aynı tip başka bir makinenin geçici olarak kaydırılması da sorunu çözebilir. Üretimin durması, işletme için parasal bir kayıptır. Makine parkının artırılması ise (çoğu durumda atıl) maddi kaynak gerektirir. Öyleyse bu kaybın, üretimi olumsuz şekilde etkilemeyecek bir sistemle azaltılması düşünülmelidir.

Üretimin durması ekonomik olarak bir kayıp olduğuna ve makinelerin arızalanmaları da bir noktadan sonra kaçınılmaz olduğuna göre; ya arızaları en kısa zamanda onarmak, ya da arızalanmaları mümkün olan en düşük seviyeye indirmek hedeflenmelidir. Bunun için de, belirli dönemlerde üretimi durdurup makineleri bakıma almak en akılcı yoldur.

Herhangi bir işletmede bakım bölümü üretime önemli hizmetler sağlar, çünkü onun amacı makineleri ve tesisi sadece gerektiğinde uygun kılmak değil, aynı zamanda iyi durumda olmasını sağlamaktır. Şayet bu amaçlar başarılacaksa ve bozulmalardan sakınılacaksa bazı planlı bakım türleri gereklidir. Bu bağlamda Bakım Yönetim Sistemleri, işletmenin demirbaşları için yapılan her türlü bakım ve onarım işlerinin planlanması ve yönetilmesine, bu işlerle ilgili işçilik, yedek parça, malzeme ve maliyet kayıtlarının izlenmesine olanak sağlayarak işletmenin sabit kıymetlerine değer katar. Böyle bir sistem, üretim zaman kayıplarını minimize etmek için ve bakım kaynaklarının kullanımını maksimize etmek için planlama yapmayı sağlar.

Teknolojideki sürekli gelişmeler, imalat sürecinde kullanılmakta olan makine ve ekipmanların da geliştirilmesini gerektirmiş ve günümüzde özellikle imalat sanayi işletmelerinde otomasyon ve ileri teknoloji ekipmanlar ön plana çıkmıştır. Diğer üretim faaliyetlerinde olduğu gibi imalat sürecinde kullanılan bu varlıkların tümünün bakım işlemlerinin de önceden belirlenmiş plan ve programlar dahilinde yürütülmesi gerekli olmuştur (Özgen, 1987).

Bakım faaliyetlerinin yukarıda anlatılan amaçlara yönelik olarak bilinçli bir şekilde yapılabilmesi, ilgili politikaların değerlendirilebilmesi ve gerektiğinde yeni şartlara göre değiştirilebilmesi için üretim tesisinin bütününe kapsayan bir bakım yönetimi ve kontrol sisteminin kurulması gereklidir.

Bakım işlemlerinin planlı bir şekilde icrasında ve yönetilmesinde kullanılabilen en önemli bileşenlerden olan Koruyucu Bakımların, toplam bakım performansının yükseltilmesinde büyük katkıları vardır.

Koruyucu bakımlar, tezgah ve ekipmanları gerekli çalışma şartlarında tutmak için yapılırlar. Koruyucu bakım standartları oluşturulurken ekipmanların teknik kullanım kılavuzlarından faydalanılır. Periyodik muayeneler, kritik parça değişimleri, kalibrasyon ve yağlama vs. gibi işlemler koruyucu bakım kapsamındadır.

Bakım planlama ile ilgili yukarıda verilen bilgiler ve politikalar doğrultusunda dikkatle incelenmesi gereken bir nokta da bakım personeli. Ekipmanların git gide daha kompleks yapılara dönüşmesi nedeniyle bakım personeli artan bir öneme sahip duruma gelmektedir. Artık, pek çok üretim sistemi, sadece elektriksel veya mekanik bileşenlerden oluşmamakta, bunlarla birlikte elektronik parçalar da içeren mekatronik bir yapıya sahip olmaktadır. Bu tür ekipmanların bakımlarının yapılması da nitelikli bakım işgücüne sahip olmayı gerektirmektedir (Pintelon, 1999).

Bakım işçiliği, özel derecede maharet ve bilgi isteyen bir işçilik türüdür. Bu nedenle, ideal bir kadro oluşturmak oldukça karmaşık yapıya sahip bir problemdir. Bakım işçilerinin yetenekli ve yüksek becerilere sahip olmaları bakım faaliyetlerinin kısa sürelerde tamamlanmasını sağlar. Bununla birlikte, aslında birbiriyle çelişen; Bakım ekibi çalışan sayısının ve bakım işlerinin tamamlanma zamanlarının, minimum olmasını sağlayacak çözümler üzerinde durulması maliyetlerin düşürülmesi için bir gerektir. Küçük bir bakım ekibi maliyetleri düşürebilir fakat pek çok bakım işine yetişemeyebilirler. Geniş bir bakım ekibinde ise nitelikli (yüksek ücretli) eleman fazlalığı yüksek bakım giderlerine neden olmaktadır. Bu nedenle bakım işlerinin uzun bir tamamlanma süresinin olması da, fazla bakım elemanı olması da maliyet etkinliği açısından günümüz rekabetçi ortamında istenmeyen bir durum arz etmektedir.

Bir bakım planlama sisteminin en önemli fonksiyonlarından biri, bir sonraki çalışma döneminde gerçekleştirilmesi gereken KB işlerinin listesini; zaman, işgücü, malzeme

ve araç-gereç olanaklarını, önceliklerini gözeterek hazırlamaktır. Bu doğal olarak, basit, açık ve kolay uygulanabilir kural ve öncelikleri içeren, iyi tanımlanmış ve hızlı seçim yapabilen bir metodun varlığına bağlıdır (Ulusoy vd.,1992). Bu bağlamda çizelgeleme bakım işgücünü dengeler ve ilerde gerekli olacak işgücü büyüklüğünün tahminini sağlar. İyi yapılmış bir çizelgeleme ile yüksek düzeydeki performans değerlerine erişilebilir.

Çizelgeleme, kaynakları kısıtlara uygun olarak optimum bir şekilde kullanmak için pek çok planlanmış işin belirlenmiş zaman dilimine atanmasıdır. Bütün kaynaklar belli ölçüde kısıtlı olup, sınırsız değildir (Sabit işgücü, kısıtlı veya özel yetenek gerektiren beceriler, ekipmanların uygunluğu, kurallar ve düzenlemeler, kısıtlı para ve zaman).

Çizelgeleme problemlerinin, NP-Zor (Polinom olmayan) problemler olması nedeniyle, çözümlerinde analitik yaklaşımlar yerine daha çok bulgusal algoritmaların kullanımı tercih edilmiştir. Koruyucu Bakım çizelgeleme probleminin çözümünde de, konunun kendine has özellikleri ve dinamik yapısı nedeniyle her durumda kullanılacak bir algoritmaya ihtiyaç olduğu açıktır. Aynı anda pek çok farklı noktadan başlayarak, oldukça geniş bir çözüm uzayını tarayabilen bir teknik olarak Genetik Algoritmalar farklı boyutlardaki bu tarz çizelgeleme problemlerinde etkili olmakta ve iyi çözümlere ulaşmada başarılı sonuçlar vermektedir.

Çizelgeleme problemlerinde kaynak kısıtları (bakım personeli) nedeniyle bütün işlerin yapılması gerektiği zamanlarda gerçekleştirilmeleri sağlanamıyorsa; hangi işlerin öne alınacağı, hangilerinin geciktirilebileceği ve hangilerinin de geciktirilemeyeceğinin kararını almakta doğru kriterlere göre davranmak gereklidir. Bu nedenle, koruyucu bakım önceliklerinin etkili bir şekilde belirlenmesi; kaynakların daha efektif kullanılmasında ve işletme amaçlarını en iyileyecek çözümlere ulaşılmasında önemli bir yer tutmaktadır.

Geliştirilen sistemde, istenilen bir zaman aralığındaki her bir koruyucu bakım, bir gen olarak temsil edilmektedir. Genlerin yan yana dizilmesi ile her biri bir çözüm adayı olan kromozomlar oluşturulmaktadır. Çalışmada, farklı dizilişlerdeki

kromozomların; kaynak kısıtlarına göre, işlerin öncelikleri de dikkate alınarak tanımlı oldukları günlere atanmasını sağlayacak genetik algoritma temelli bir çözüm tekniği geliştirilmiştir. Koruyucu Bakımların önceliklerinin belirlenmesinde ise Bulanık Mantık yaklaşımı tercih edilmiştir.

Koruyucu Bakımların çizelgelenmesi problemi; MS SqlServer 2005 veritabanı yönetim sistemi üzerine MS Visual Studio .Net 2005 C# programlama dili ile Genetik Algoritma temelli olarak kodlanan programla çözülmeye çalışılmıştır. Geliştirilen bu teknikle farklı ölçeklerde deneyler yapılmış ve bu deneylerin sonuçları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

BÖLÜM 2. BAKIM YÖNETİMİ VE BAKIM ÇİZELGELEME

2.1. Bakım Faaliyetleri

2.1.1. Giriş

Dünya sanayileşme yolunda hızla ilerlerken, kullanılan tesis, makine ve ekipmanlar daha da hassaslaşmakta ve karmaşıklaşmaktadır. İşletmeler ise, artan rekabet koşulları nedeniyle üretim verimini artırmak, kaliteyi yükseltmek, kayıpları azaltmak, maliyetleri düşürmek ve siparişleri zamanında teslim edebilmek gibi hedefler doğrultusunda üretimlerini gerçekleştirmeye çalışmaktadır. Bu amaçlara ulaşabilmek için de tesis ve ekipmanların ekonomik ömürleri süresince fazla aksamadan çalışmaları hayati önem taşımaktadır. Bir işletmenin yüksek değer taşıyan sabit kıymetlerinin sürekliliği, işletmenin sürekliliği için vazgeçilmezdir.

Üretim prosesleri, bir kısmı direkt operatörlerce yapılan (imalat, işleme, montaj, vb.) ve bir kısmı da indirekt operatörlerce yapılan (malzeme ve alet temini, malzemeleri operasyonlar arasında taşıma, makine bakımı vs.) adımlar sırasını kapsar ve bu zincir zayıf bağlantı içermemelidir. Üretimin durması ekonomik olarak bir kayıp olduğuna ve makinelerin arızalanmaları da bir noktadan sonra kaçınılmaz olduğuna göre; ya arızaları en kısa zamanda onarmak, ya da arızalanmaları mümkün olan en düşük seviyeye indirmek hedeflenmelidir. Bunun için de, belirli dönemlerde üretimi durdurup makineleri bakıma almak en akılcı yoldur.

Herhangi bir işletmede bakım bölümü üretime önemli hizmetler sağlar, çünkü onun amacı makineleri ve tesisini sadece gerektiğinde uygun kılmak değil, aynı zamanda iyi durumda olmasını sağlamaktır. Şayet bu amaçlar başarılabırsa ve bozulmalardan sakınılabırsa bazı planlı bakım türleri gereklidir. Bu bağlamda Bakım Yönetim Sistemleri, işletmenin demirbaşları için yapılan her türlü bakım ve onarım işlerinin

planlanması ve yönetilmesine, bu işlerle ilgili işçilik, yedek parça, malzeme ve maliyet kayıtlarının izlenmesine olanak sağlayarak işletmenin sabit kıymetlerine değer katar. Böyle bir sistem, üretim zaman kayıplarını minimize etmek için ve bakım kaynaklarının kullanımını maksimize etmek için planlama yapmayı sağlar. Diğer faydaları ise şöyledir;

- Üretim veya hizmet süresinde artış
- Servis kalitesinin yükselmesi
- Ürün veya hizmet maliyetlerinde düşüş

Bakım faaliyetlerinin yukarıda anlatılan amaçlara yönelik olarak bilinçli bir şekilde yapılabilmesi, ilgili politikaların değerlendirilebilmesi ve gerektiğinde yeni şartlara göre değiştirilebilmesi için üretim tesisinin bütününe kapsayan bir bakım yönetimi ve kontrol sisteminin kurulması gereklidir.

2.1.2. Bakım faaliyetlerinin üretime etkisi

Araştırmacılar şirket seviyesinde ortalama bakım giderlerinin ürün maliyetinin %6'sına ulaştığını ancak iyi bir planlama ile bu giderlerin %30-%50 azaltılabileceğini belirtmektedir. Öte yandan bir makineye ekonomik ömrü boyunca yapılan bakım giderlerinin indirgenmiş toplamı genellikle o makinenin ilk yatırım giderini fazlasıyla aşmaktadır (Kobu, 1999).

Üretimin programlara uygun biçimde sürdürülmesi, üç temel üretim unsurundan birini oluşturan makine ve tesislerin aksamadan çalışmasına bağlıdır. Makinelerin belirli zamanlardaki bakımları ve beklenmedik zamanlarda ortaya çıkan arızaların giderilmesi üretim akışını mümkün olduğu kadar aksatmadan yapılmalıdır.

Üretim sistemi büyüdükçe, üretim miktarı arttıkça bakım faaliyetlerinin önemi artar. Yüzlerce tezgahtan oluşan bir üretim hattında birkaç makinenin arızalanması, zincirleme etkilerle bütün sistemi felce uğratabilir. Sipariş üretiminde arızalanan veya bakıma alınan makinelerin yokluğunu bir ölçüde giderme olanağı vardır. Fakat sürekli üretimde ve özellikle proses imalatında arızaların üretim akışı üzerindeki

etkisi çok büyüktür. Örneğin, bir petrol rafinerisinde bir noktada beliren arıza tüm sistemin durmasına yol açar. Arıza giderildikten sonra normal üretim düzeyine çıkıncaya kadar da uzun bir süre geçer. Demir-çelik, şeker, çimento vb. imalatta da durum aynıdır. Otomasyonun ağırlık taşıdığı fabrikalarda sorunu güçleştiren bir başka faktör daha vardır: Otomatik makinelerin arızalarının giderilmesinde son derece iyi yetiştirilmiş, yetenekli bakım personeline ihtiyaç vardır. Özellikle karmaşık mekanizmaların ve elektriksel veya elektronik cihazlarının yer aldığı makinelerde kalifiye bakım elemanlarının çalıştırılması zorunludur.

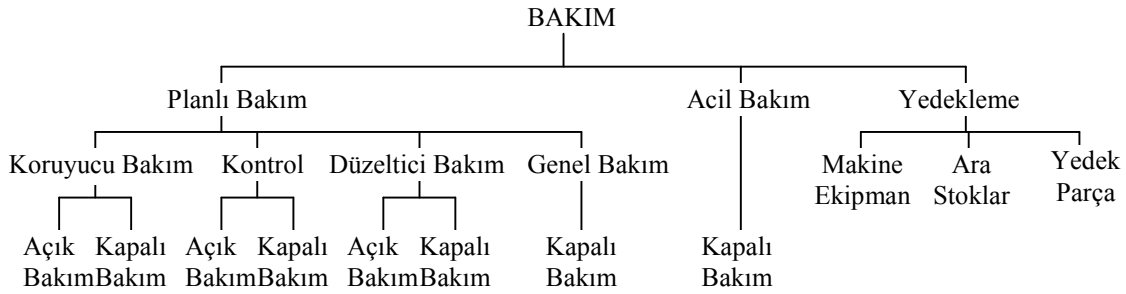
Bakım faaliyetlerinde üretimin aksamasını minimum düzeyde tutmak gerekli, fakat yeterli değildir. Herhangi bir makinenin bakıma alınması diğer makinelerin boş kalmasına sebep oluyorsa kapasite kaybı var demektir. Çok makineli sistemlerde, bakım faaliyetleri yüzünden meydana gelen kapasite kayıplarının önlenmesi de ayrı bir sorundur. Diğer taraftan bakım işlerini yürütecek işgücünden yararlanma oranını da yüksek tutmak gerekir. Bakım faaliyetlerinde belirsizlik bulunduğundan eldeki kısıtlı işgücü kaynaklarından %100 yararlanmak mümkün değildir. Bu oranın yüksek tutulması bakım faaliyetlerinin toplam maliyetinin düşürülmesi açısından önem taşır (Kobu, 1999).

Bakım faaliyetlerindeki aksaklıkların üretim akışı, verimlilik ve dolayısıyla maliyetler üzerindeki etkileri şöyle özetlenebilir:

1. Makinelerin ve dolayısıyla onları çalıştıran işçilerin boş kalmaları.
2. Dolaylı işçilik ve imalat genel masraflarının artması.
3. Müşteri taleplerinin karşılanamaması, satışlarda düşmeler.
4. Aksaklığın meydana geldiği departmanla ilgili bulunan diğer departmanlardaki gecikme ve boş beklemler.
5. Iskarta oranının artması, kalitenin düşmesi.
6. Siparişlerin zamanında teslim edilememesi yüzünden müşteriye kaybetme veya tazminat ödeme.

2.1.3. Bakım faaliyetlerinin tanımı ve sınıflandırılması

Bakım sistemleri herhangi bir üretim veya hizmet tesisinde, kurulu sistemin çalışmasının kabul edilebilir bir düzeye çıkartılması veya böyle bir düzeyde tutulması için yapılan planlı veya plansız tüm faaliyetleri kapsar (Pintelon, 1999). Bakım faaliyetleri Şekil 2.1’de görüldüğü gibi sınıflandırılabilir.



Şekil 2.1. Bakım faaliyetlerinin sınıflandırılması

Planlı bakım faaliyetleri üretim sistemindeki beklenmedik arıza ve bozulmaların çıkma ihtimalini azaltmak amacı ile önceden belirlenmiş zamanlarda yapılan ve önceden belirlenmiş işleri kapsayan faaliyetlerdir. Koruyucu bakımda, ilgili faaliyetlerin zaman aralıkları, süreleri, işgücü, yedek parça ve diğer kaynak gereksinimleri ilgili makine ve ekipmanın özelliklerine ve geçmiş tecrübelerle dayanarak önceden belirlenir ve zaman içinde sık değişmez. Kontrol faaliyetleri de koruyucu bakım faaliyetlerine benzerler, ancak süreleri kısa, işgücü ve kaynak gereksinimleri çok azdır ve düzeltici bakımlara yol açabilirler. Düzeltici bakımda ise ilgili faaliyetlerin süreleri, işgücü, yedek parça ve diğer kaynak gereksinimleri kontrol ve acil bakım faaliyetleri raporlarına ve üretim birimlerinden gelen talep ve ikazlara göre belirlenir ve bir uygulamadan diğerine çok farklı olabilir. Bu tip bakımlarda zaman aralıkları da sabit değildir ve gelen talep ve ikazlara olduğu kadar ilgili makinenin (üretim, bakım veya başka bir kaynaklı) planlanmış duruşlarına yakından bağlıdır. Yine arıza ve bozulmaları azaltmaya yönelik olarak, makine ve ekipmanın bazı spesifik karakteristiklerinin (ısı, titreşim, çatlaklar gibi) özel cihazlarla sürekli veya periyodik olarak denetlenmesi ve yapılan gözlemlere göre ilgili bakım işlerinin tanımlanması ve icrası “kestirimci bakım” olarak adlandırılır ve

düzeltilici bakım sınıfına girer. Kestirimci bakım faaliyetlerinin de zaman aralıkları, süreleri, işgücü, yedek parça ve diğer kaynak gereksinimleri bir uygulamadan diğerine çok farklı olabilir. Genel bakım faaliyetleri bakım amacı ile bütün üretim tesisinin uzunca bir süre (2 ila 6 hafta) üretime ara verdiğinde yapılan faaliyetlerdir. Bu faaliyetlerin de zaman aralıkları, süreleri, işgücü ve kaynak gereksinimleri önceden belirlidir ve zaman içinde sık değişmez (Palmer, 1999).

Acil bakım faaliyetleri ise bir anlamda “yangın söndürme” faaliyetlerine benzerler. Bu tanım ancak ihtiyaç ve acil durum hasıl olduğunda ve bozulmalara müdahaleye yönelik faaliyetleri kapsar. Burada önemli olan acil duruma en kısa sürede ve en etkin biçimde müdahale edebilmek, oluşabilecek tehlike, hasar ve üretim kaybını en aza indirebilmektir. Bazı hallerde makine ve ekipmanı en kısa sürede çalışır duruma geçirebilmek için geçici tamirat yapılması (ve zaman alıcı asıl tamiratın düzeltilici bakım gibi müsait bir zamana ertelenmesi) da bu tip faaliyetler arasındadır. Açık bakım ilgili makine ve ekipmanın üretim faaliyetlerine devam ederken yapılabilen bakımları, kapalı bakım ise ancak ilgili makine ve ekipmanın üretim faaliyetlerini durdurduğu (veya ara verdiği) zaman yapılabilen bakımları ifade eder.

Yedekleme faaliyetleri üretim süreci için kritik bazı makine ve ekipmanın (veya bunların parçaları ile çıktılarının) yedeklerinin (stoklarının) hazır bulundurulmasına yöneliktir. Makine ve ekipmanın yedeklenmesi durumunda, çalışan bir makede arıza olduğunda, yedeği hemen devreye sokularak üretim aksaması önlenir. Ara stokların bulundurulması durumunda ise, çalışan bir makede arıza olduğunda o makinenin çıktıları üzerine yapılan diğer üretim faaliyetlerine ara stoklar kullanılarak devam edilir ve bu şekilde, en azından kısa bir süre için, üretimin aksaması önlenir. Yedek parça stoklanması ise, bilhassa acil bakımlarda, ilgili makinenin en kısa sürede çalışır duruma getirilmesine yöneliktir.

Bakım sistemlerinde yeni bir yaklaşım ilgili faaliyetlerin Toplam Üretken Bakım (Total Productive Maintenance) adı altında, bir bütün olarak ele alınmalarınıdır. Toplam Üretken Bakım (TÜB) içerisinde bilinen planlı ve acil bakım faaliyetleri yer aldığı gibi, bakım azaltma (bilhassa tasarım safhasında), bakım kolaylaştırma (maintainability improvement) ve makine operatörlerinin sorumluluk ve

motivasyonlarını artırma çalışmaları vardır. TÜB uygulaması mühendislik, üretim, bakım gibi birden fazla birim tarafından yapılırken, tüm personelin ilgisini ve katkısını gerektirir.

Bakım faaliyetleri üretim tesislerinin en kritik faaliyetleri arasındadır. Birçok kuruluştaki bakım faaliyetleri işçilik, malzeme, enerji ve üretim maliyetlerinin azaltılmasında ve ürün kalitesinin artırılmasında anahtar rolü oynar. Ancak ilgili üretim ve imalat yöneticileri dışında, kuruluş üst yönetimlerinin genellikle bu faaliyetlerin hayatiyetinin tam bilincinde olduğu söylenemez. Zira bakım faaliyetleri ile nihai ürün stok seviyeleri, yatırım maliyetleri, yedek parça stokları, müşteri güveni, makine parkı teknoloji seviyesi, işgücü eğitimi ve tecrübesi, yönetici becerisi ve üst yönetim stratejileri arasında hassas ilişkiler ilk bakışta görülmeyebilir.

2.1.4. Koruyucu bakım

Teknolojideki sürekli gelişmeler, imalat sürecinde kullanılmakta olan makine ve ekipmanların da geliştirilmesini gerektirmiş ve günümüzde özellikle imalat sanayi işletmelerinde otomasyon ve ileri teknoloji ekipmanlar ön plana çıkmıştır. Diğer üretim faaliyetlerinde olduğu gibi imalat sürecinde kullanılan bu varlıkların tümünün bakım işlemlerinin de önceden belirlenmiş plan ve programlar dahilinde yürütülmesi gerekli olmuştur (Özgen, 1987).

Bakım işlemlerinin planlı bir şekilde icrasında ve yönetilmesinde kullanılabilecek en önemli bileşenlerden olan Koruyucu Bakımların, toplam bakım performansının yükseltilmesinde büyük katkıları vardır (Levitt, 1997).

Koruyucu Bakım; zaman aralığı, üretim miktarı, makine-saati ve kilometre sayacı vs. değerlere göre belirlenen frekanslarda yapılan bir takım işlemler silsilesidir. Koruyucu bakım, ekipmanların ekonomik ömürlerini uzatır, arıza ortaya çıkmadan önce, kötüye gidişi tespit ederek düzeltilmesine imkan sağlar (Levitt, 1997).

Koruyucu bakımın ekonomik açıdan yararlı olabilmesi için, direk bakım masrafları ile bakıma rağmen ortaya çıkacak arızaların doğurduğu maliyetlerin dengelenmesi

gerekir. Bakıma ilişkin maliyetlerin, bakım yapılamadığı takdirde ortaya çıkabilecek zaman kayıpları (makine atıl zamanı) ve pazar kaybı maliyetlerinin altında tutulması gerekir.

Koruyucu bakımın üzerinde en fazla durulması gereken konularından biri, ekipman kontrollerinin hangi sıklıkta, hangi zaman aralığında yapılacağıdır. “kontrol periyodu” olarak bilinen bu zaman aralığının saptanmasında ekonomik nedenler belirleyici olur. Gereğinden daha sık yapılacak kontroller, o sırada geçecek zamanların toplamı, belki de arıza kendini gösterdiğinde geçecek boş zamandan fazla olabileceğinden, ekonomik olmayabilir. Kontrollerin gerekenden daha seyrek yapılması ise ekipmanın arızalarını oluşma zamanından önce saptamak ve gidermek gibi önemli bir koruyucu bakım işlevinden gereği gibi yararlanamamak demektir (O’Donoghue, 2004).

Her makine veya tezgah için hangi tarihte bakımının yapıldığı, hangi tarihlerde ne tür arızalarının giderildiği ve hangi parçaların değiştiğini gösteren kayıtların tutulması zorunludur. Bu kayıtlar ilerideki olası tamir ve bakımların önceden planlanması için gereklidir.

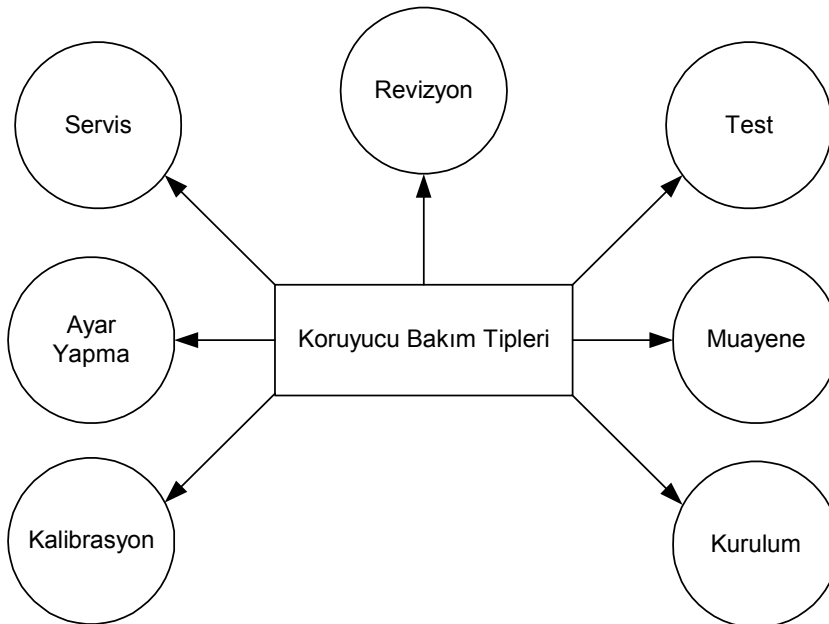
2.1.4.1. Koruyucu bakımın amaçları

Toplam bakım maliyetini minimize etmek için, bu maliyete katkısı olan bileşenlerin maliyetlerinin de düşürülmesi gerekmektedir. Koruyucu bakım maliyetlerini düşürmek için, koruyucu bakım sayılarında yapılacak azaltmalar üretim ekipmanlarının arızalar nedeniyle duruşuna, sonuç olarak da daha fazla tamir işlemlerine ihtiyaç duyulmasına sebep olur. Diğer taraftan, koruyucu bakım sayılarının artırılması ise gereksiz düzeyde bakım maliyetlerine neden olur. İdeal düzeyde koruyucu bakım yapılarak toplam maliyetleri en küçükleme ana amacı çerçevesinde koruyucu bakım uygulamalarının en başta gelen amaçları aşağıda listelenmiştir (O’Donoghue, 2004).

- 1- Ekipman performanslarını yükseltme,
- 2- Ekipmanların, fonksiyonlarını doğru ve etkin bir şekilde yerine getirmelerini sağlama,
- 3- Ekipmanların, arızalanmalarını azaltarak toplam bakım maliyetlerini düşürme,
- 4- Üretimde, arızalar nedeniyle istenmeyen duruşlardan kaynaklanan kayıp zamanları azaltarak üretim kaybı giderlerini azaltma,
- 5- Bakım için kullanılacak malzemelerin gerektiği zamanlarda tedarik edilmelerini sağlayarak, stok maliyetlerini azaltma,
- 6- Bakım kaynaklarını belirsizliklere göre ve anlık kararlara göre değil de, sistematik bir plan ve program dahilinde daha etkin şekilde yönetme ve organize etme.

2.1.4.2. Koruyucu bakım türleri

Koruyucu bakım'ın şekil 2.2'de gösterildiği gibi yedi çeşidi vardır (Dhillon, 2002):



Şekil 2.2. Koruyucu bakım tipleri (Dhillon, 2002).

1. Muayene: Ekipmanların; fiziksel, elektriksel ve mekanik karakteristiklerinin tanımlı standartları içinde olup olmadıkları periyodik olarak muayene edilir.
2. Servis: Temizleme, yağlama, şarj etme vs. işlemlerle başlamakta olan arızalara karşı yapılan koruma işlemleridir.
3. Kalibrasyon: Ekipmanın tanımlı standart değerlerine periyodik olarak set edilmeleri işlemleridir.
4. Test: Elektriksel ve mekaniksel fonksiyon bozulmaların periyodik olarak test edilmesi operasyonlarıdır.
5. Revizyon: Belirlenmiş değerlerin sistem performansını artırılması amacıyla yeni değerlerle değiştirilmesi işlemleridir.
6. Ayar Yapma: Sistem performansı artırma amaçlı olarak belirli periyotlarla yapılan ayar işlemleridir.
7. Kurulum: Ekipman ve ekipman parçalarının belirli periyotlarla (zaman ve/veya sayaçlara bağlı olarak) değiştirilmeleri işlemleridir.

2.1.4.3. Koruyucu bakım frekansını belirleme ve frekans türleri

Koruyucu bakım frekanslarının belirlenmesinde en önemli kaynak ekipmanların kullanım kılavuzlarıdır. Kılavuzdaki yönergelere uyulmaması halinde arızalara yakalanma ihtimali artabilir.

Yapılmaları ve frekansları, kanunlarca kesin olarak belirtilen bazı bakım türleri de vardır.

Frekans belirlemede bir diğer yaklaşım da; ekipmanlara ait geçmiş bakım verileri ve deneyimlerden faydalanmaktır. Çünkü bu bilgiler, ekipmanların gördüğü servisleri, bakım operatörlerinin deneyimlerini ve yapılan bakımların kalite ve düzeylerini göstermektedirler. Sayılan tekniklerden faydalanılarak belirlenen frekanslar için genellikle, iki çeşit ölçüm kriteri kullanılmaktadır.

1. Kullanım miktarı (ton, kilometre, saat)
2. Çalışma günleri

Bu iki kriterin dışında; üretim miktarı, enerji kullanım oranı, sarf malzeme tüketim miktarları, durum ölçümleri/göstergeleri (yağ lambasının yanması) de frekans ölçüm kriteri olarak kullanılabilir (Levit, 1997).

2.1.4.4. Koruyucu bakımın yararları

- Makine, araç-gereç ve diğer fiziksel varlıklarda daha az bozulma ve aksama olacağından ekipman kullanma süreleri artmakta ve böylece;
 - Üretilen mamül birimi sayısı yükselmektedir.
 - Daha garantili ve iyi teslim zamanı saptanabilmektedir.
- Ekipmanlara zamanında gerekli uygulamalar yapılacağından ekipman üretkenliği artacaktır. Böylece, istenen kalitede imalat yapılmış olacaktır.
- Bozulma ve aksamalardan dolayı yapılması gereken düzeltici bakım ve tamir işleri, ekipman ve diğer fiziksel varlıklar üzerinde önceden yapılacak işlemlerle azaltılabilir. Böylece mevcut işgücünden daha iyi bir biçimde yararlanılabilir. Ayrıca, daha iyi bir çalışma düzeni kurulmuş olur.
- Yedek ekipman ve araç-gereç ihtiyacı azalır ve tesisin yatırımdaki tasarrufu artmış olur.
- Daha iyi yedek parça kontrolü yapılabilir ve stok seviyesi azaltılarak tasarruf sağlanabilir (Özgen, 1987).

2.2. Bakım Yönetimi

2.2.1. Giriş

Genel olarak yönetim; amaç ve hedeflere erişmek için, faaliyetleri planlama, koordinasyon, kontrol, denetleme ve geliştirmeyi temsil eder (Kans, 2008). Bakım yönetimi bir tesisin işlevselliğini garanti altına almak amacıyla bakım faaliyetlerine yönelik olarak gerçekleştirilen etkin planlama ve bu planların uygulanması sırasında gerçekleştirilen teknik, idari, yönetim ve denetim faaliyetlerinin bir bütünüdür. Bakım yönetimi çok farklı alt faaliyetlerden ve sorumluluklardan oluşmaktadır. Bunlar arasında bakım iş talimatlarının yazılması, bakım ile ilgili görevlerin ve bu

görevleri tamamlamak için kaynakların belirlenmesi, bunların planlanması ve eğitimlerin verilmesi gibi birçok faaliyet bulunmaktadır.

Bakımı yönetmek ve kontrol altında tutmak, bakım faaliyetlerini gerçekleştirmek kadar önemlidir. Bakım yönetimi; bakım programlarının teknik ve yönetsel kontrolüne ilave olarak bakım aktiviteleri için politikaların geliştirilip uygulanması fonksiyonu olarak da tarif edilebilir. Bakım aktivitelerinin artışı daha iyi bakım yönetimi ve kontrolünü zorunlu hale getirmektedir. Geçmişte bir üretim kuruluşunda, bakım operasyonlarının büyüklüğü, tüm operasyonel grubun %5'i ile % 10'u arasında değişmekteydi. Günümüzde ise bakımın, operasyonel işlemlere göre payı önemli oran da bir artış göstermiştir ve bu artışın daha da süreceği beklenmektedir. Bu artışın ardındaki en önemli etken ise endüstrideki pek çok prosesinde mekanizasyon ve otomasyonun artış eğilimidir. Bakım yönetimi ve kontrolü ile ilgili pek çok konu vardır ve bunlardan en önemlileri aşağıdaki gibidir (Dhillon, 2002).

2.2.2. Bakım yönetiminin amaçları

Bir üretim tesisindeki bakım yönetim politikaları bakım sistemlerinin en etkin ve verimli şekilde ve en az maliyetle kullanılmasına yöneliktir. Bu genel amaç doğrultusunda aşağıdaki alt amaçlar sıralanabilir (Levitt, 1997):

- a) Yeterli ve düzenli bakımlarla makine, ekipman ve binalara yapılan yatırımı koruma.
- b) Duruşları en aza indirerek üretkenliği artırma ve dolayısı ile yatırım karlılığını koruma.
- c) İşgücünün ve kaynakların en verimli bir şekilde kullanılmasını sağlama; araç gereçlerde, yedek parçada ve malzemedeki israfı önleme.
- d) Makine ve ekipmanın çalışma performansını ve kalitesini yüksek tutma.
- e) Tesis içinde güvenlik sistemi kurma ve güvenli bir çalışma ortamı oluşturma.
- f) Gelişmelere yönelik olarak kuruluşun performansını değerlendirme.
- g) Bakım işgücünü yönetme ve denetleme

- h) Bakım maliyetlerini kontrol etme
- i) Bakım için gerekli teknik bilgiyi sağlama
- j) Gerçekleşen bakım maliyetlerini kaydetme ve sağlıklı bir şekilde ürün maliyetlerine yansıtma

Üretim tesislerinde bakım politikalarının yukarıda sözü geçen amaçlara ne ölçüde eriştiklerinin belirlenmesinde, yani bu politikaların değerlendirilmesinde muhtelif performans göstergeleri kullanılır. En çok kullanılan performans göstergelerinden bazıları aşağıda kısaca tanıtılmaktadır (Levitt, 1997).

- a) Toplam makine bozulma ve arızalanmalarının sayısı (planlı bakım/acil bakım dengesinin bir göstergesi)
- b) Bozulma ve arızalanmaların yol açtığı toplam duruşlar (planlı bakım/acil bakım dengesinin bir göstergesi)
- c) Planlı bakımların yol açtığı toplam duruşlar(planlı bakım/acil bakım dengesinin bir göstergesi)
- d) Bir yılda icra edilen toplam planlı (koruyucu, kontrol ve düzetici) bakım faaliyeti sayısı (planlı bakım/acil bakım dengesinin bir göstergesi)
- e) Makine-gün olarak yıllık toplam duruşlar (sistem verimliliğinin bir göstergesi)
- f) Toplam makine verimlilik yüzdesi yani bütün makinelerin ayar ve üretimle geçirdikleri zamanın toplam makine zamanına oranı (sistem verimliliğinin bir göstergesi)
- g) Toplam bakım işgücü verimlilik yüzdesi, yani sene içinde gerçekleşen tüm planlı ve plansız bakım faaliyetlerinin toplam süresinin toplam işgücü zamanına oranı (bakım birimi verimliliğinin ve iş yükünün bir göstergesi)
- h) Arızalanan bir makineye müdahale süresi (plansız bakım etkinliğinin bir göstergesi)
- i) Planlı bakım faaliyetlerinin icra edildikleri zaman ile çizelgelendikleri zaman arasındaki ortalama gecikme süresi (bakım planlama sisteminin sağlıklı ve etkin yapıda çalışmasının bir göstergesi)

- j) Sene içinde gerçekleşen tüm planlı bakım faaliyetlerinin toplam süresinin planlanan süreye oranı (bakım planlama sisteminin bir göstergesi)
- k) Toplam bakım işgücü fazla mesai oranı (bakım birimi iş yükünün bir göstergesi)
- l) Yıllık tüm planlı bakım faaliyetlerinin toplam süresinin bakım birimi toplam işgücü zamanına oranı (bakım birimi planlı bakım iş yükünün bir göstergesi)
- m) Stoktan hemen temin edilen yedek parça oranı (bakım planlama/envanter sisteminin bir göstergesi)
- n) Yıllık yedek parça ve tüketim malzemesi maliyetinin bakımla ilgili tüm envanterin değerine oranı (envanter dönme hızı, bakım planlama/envanter sisteminin bir göstergesi)
- o) Bakımla ilgili yıllık maliyetler (ücretler, yedek parça ve tüketim malzemeleri, fason işler, diğer maliyetler) ayrı ayrı ve toplam olarak
- p) İki plansız bakım arasındaki ortalama süre (sistem güvenilirliğinin bir göstergesi)
- q) İşlerin ortalama akış zamanları (üretim sisteminin üretkenliğinin bir göstergesi)
- r) Makinelerin ortalama kuyruk uzunlukları (sisteminin doluluğunun bir göstergesi)
- s) Toplam ara stok miktarının yıllık üretime oranı
- t) Yedek makine ekipman yatırımının toplam makine ekipman yatırımına oranı

Ayrıca, listelenen bu göstergelerin muhtelif kombinasyonları ve bu göstergelerden elde edilebilecek muhtelif istatistikler (hareketli ortalamalar, aritmetik ortalamalar, standart sapmalar gibi) de gene performans göstergesi olarak kullanılabilir.

2.2.3. Bakım yönetimi ve organizasyonu

Bakım yönetimi ve organizasyonu, bakım çalışmalarının planlanması ve yöneltimiyle uğraşır ve bugünkü anlayışa göre bakım yönetimi ve organizasyonuna birbirine bağımlı işlevlerden oluşan karmaşık bir sistem gözüyle bakılmaktadır. Bu işlevlerden birinin eksikliği ya da aksaması ister istemez bir başkasını da etkiler (MPM-REFA, 1989).

2.2.3.1. Hedef planlaması

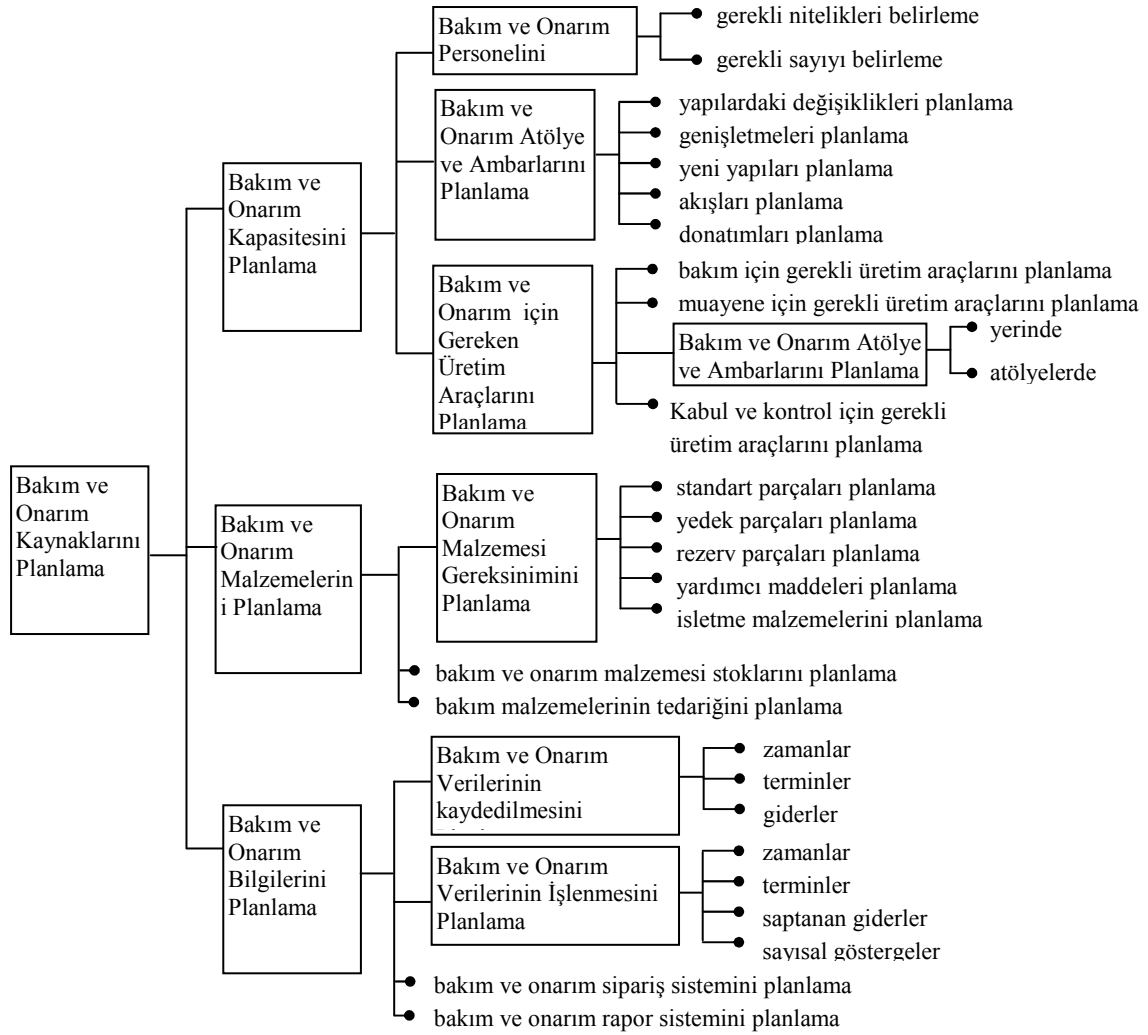
Günümüzde bakım ve onarım işlerinin hazırlanmasına yönelik faaliyetler de tıpkı yatırımlar gibi ele alınmalıdır. Bu faaliyetlerin, işletmenin uzun vadede göstereceği başarı üzerindeki etkisi aynı ölçüde büyüktür. Bu açıdan bakılınca, bakım ve onarım çalışmalarının başında bir hedef planlaması yer almalıdır. Bu hedeflerden bazıları şu şekilde sıralanabilir:

- Bakım ve onarımın kalitesi
- Bakım ve onarımın maliyeti
- Üretim araçlarının kullanılabilirliği/güvenilirliği
- Personelden tam yararlanma
- Bakım ve onarım siparişlerinin belirli bir süre içinde gerçekleştirilmesi
- Bakım ve onarım siparişlerinin insancıl çalışma koşulları altında yürütülmesi
- Merkezileştirme oranı
- Planlanan önlemlerin payı

Bu hedeflere verilecek ağırlıklar her işletmenin kendine özgü bakış açılarına göre saptanır. Bu konudaki en güçlü etkenler, işletmenin en üst düzey hedefleri, imal edilecek ürünlerin ve imalatın türü (atölye, seri ya da akış imalatı) ve piyasanın istekleridir.

2.2.3.2. Kaynak planlamanın görevleri

Bakım ve onarımın kaynak ve akış planlaması, hedef planlamasına dayanılarak yapılır. Bu da pek çok yönden imalat alanındaki kaynak ve akış planlamasına benzer. Bakım ve onarımda kaynak planlamasına ilişkin bazı özel görüşler şekil 2.3' de gösterilmiştir. Bir takım arızaların ortaya çıkmasındaki rastsallık, özellikle personel, malzeme ve bilgi planlamasında zorluklara yol açar (MPM-REFA, 1989).



Şekil 2.3. Bakım ve onarımda kaynak planlamanın görevleri (MPM-REFA, 1989).

Bakım personeli:

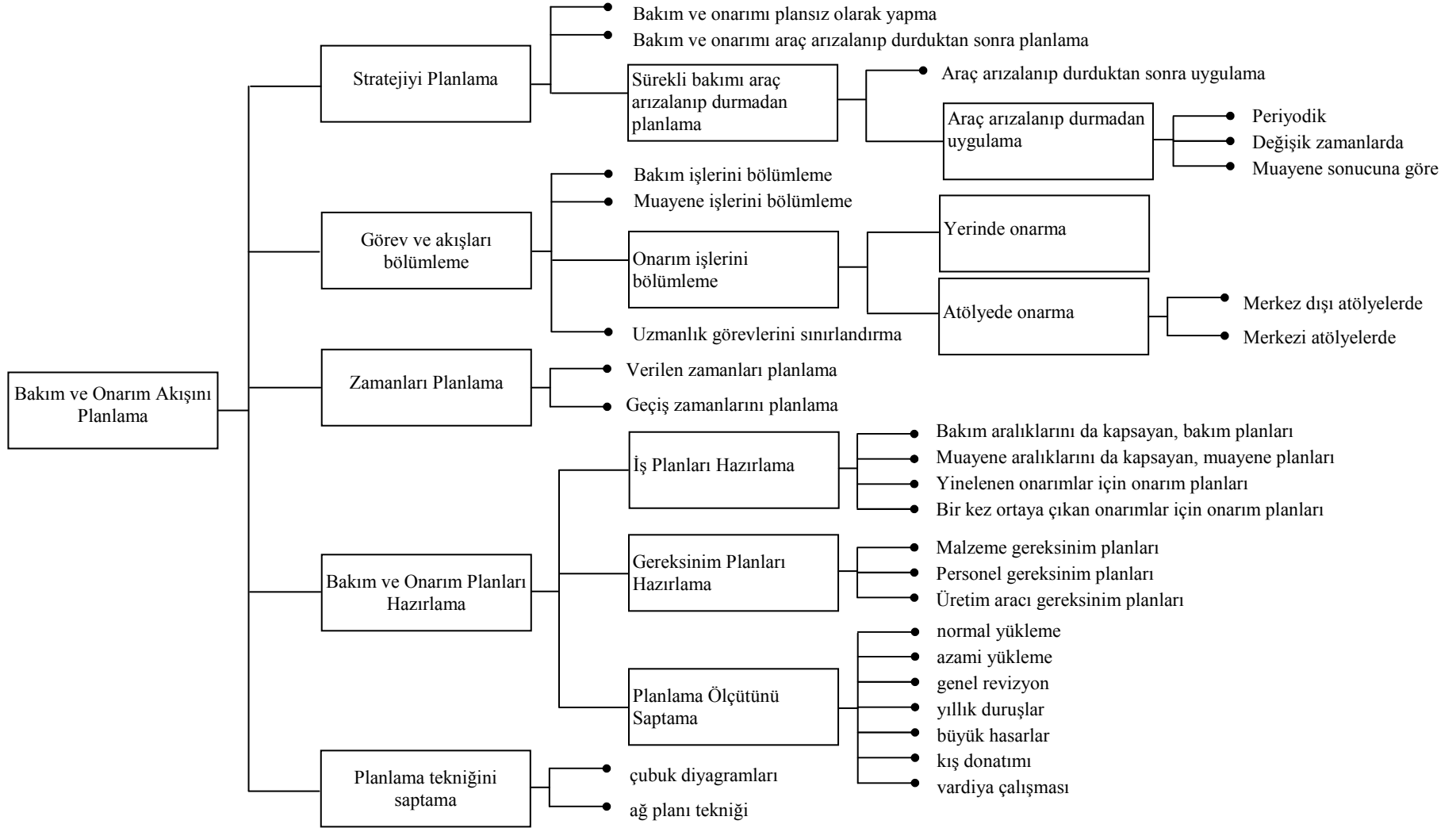
Bakım planlama ile ilgili yukarıda verilen bilgiler ve politikalar doğrultusunda dikkatle incelenmesi gereken bir nokta da bakım personeli. Ekipmanların git gide daha kompleks yapılara dönüşmesi nedeniyle bakım personeli artan bir öneme sahip duruma gelmektedir. Artık, pek çok üretim sistemi, sadece elektriksel veya mekanik bileşenlerden oluşmamakta, bunlarla birlikte elektronik parçalar da içeren mekatronik bir yapıya sahip olmaktadır. Bu tür ekipmanların bakımlarının

yapılması da nitelikli bakım işgücüne sahip olmayı gerektirmektedir (Pintelon, 1999).

Bakım işçiliği, özel derecede maharet ve bilgi isteyen bir işçilik türüdür. Bu nedenle, ideal bir kadro oluşturmak oldukça karmaşık yapıya sahip bir problemdir. Bakım işçilerinin yetenekli ve yüksek becerilere sahip olmaları bakım faaliyetlerinin kısa sürelerde tamamlanmasını sağlar. Bununla birlikte, aslında birbiriyle çelişen; Bakım ekibi çalışan sayısının ve bakım işlerinin tamamlanma zamanlarının, minimum olmasını sağlayacak çözümler üzerinde durulması maliyetlerin düşürülmesi için bir gerektir. Küçük bir bakım ekibi maliyetleri düşürebilir fakat pek çok bakım işine yetişemeyebilirler. Geniş bir bakım ekibinde ise nitelikli (yüksek ücretli) eleman fazlalığı yüksek bakım giderlerine neden olmaktadır. Bu nedenle bakım işlerinin uzun bir tamamlanma süresinin olması da, fazla bakım elemanı olması da maliyet etkinliği açısından günümüz rekabetçi ortamında istenmeyen bir durum arz etmektedir.

2.2.3.3. Akış planlamasının görevleri

Bakım ve onarım görev ve akışlarının planlanması, verilen zaman ve geçiş zamanlarının planlanması da dahil olmak üzere akış planlaması çerçevesinde yapılır (Şekil 2.4) (MPM-REFA, 1989).



Şekil 2.4. Bakım ve onarımda akış planlamasının görevleri (MPM-REFA, 1989).

2.2.4. Bakım yönetimi bileşenleri

Bakım yönetimi, çeşitli bileşenlerden oluşmaktadır. Bu bileşenler, bakım yönetiminin etkin olarak gerçekleştirilmesinde önemli roller oynamaktadırlar (Dhillon, 2002).

1. Bakım politikası: En önemli bileşenlerden birisidir. Operasyonların sürdürülebilmesi ve bakım yönetim programının (akışının) sağlıklı bir işleyişe sahip olması için, açık ve net anlaşılabilir bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir.
2. Ekipman kayıtları: İşletmedeki tüm ekipmanların kayıtlarının doğru bir şekilde tutulması planlama sırasında oluşabilecek hataların önüne geçilmesi açısından önemlidir. Tesislerin hiyerarşik yapısı da göz önüne alınarak tüm ekipmanlara (unique) tekil bir kod verilmesi gerekliliği açıktır.
3. Koruyucu bakımlar: Kayıtlı bulunan tüm ekipmanlar için uygulanması gereken koruyucu bakımların tanımlanmasının gerçekleştirildiği bileşendir.
4. İş yükü kontrolü ve öncelik sistemi: İşyükünün belirlenmesi, bakım işgücünün dengelenmesi açısından ve etkin planlama yapılabilmesi için önemlidir. Bazı bakımların, belirlenen zamanlarda, bakım kaynakları kısıtları nedeniyle yapılamayacak olması durumunda hangi bakımların geciktirilmesi gerektiğine öncelik sistemi ile karar verilebilir.
5. Malzeme yönetimi: Bakım malzemelerinin eksiksiz olarak ve zamanında temini bakım personelinin malzeme bekleyerek boşa vakit geçirmesinin önüne geçer ve bu kaynağın verimli bir şekilde yönetilmesini sağlar.
6. Bakım çizelgeleme: Kaynaklardan daha yüksek faydalar elde edilmesi ve verimli kullanılmaları için önemlidir.

Çeşitli operasyonlardan oluşan iş emirlerinin planlanmasında çizelgeleme daha da karmaşık bir hale gelmektedir. Koruyucu Bakım Emrindeki her bir operasyon, çeşitli uzamanlıklarda ve farklı sayılarda bakım personeline, özel bazı araç-gereçlere ve ekipmanlara ihtiyaç duyar. Bu operasyonları manuel olarak etkin bir şekilde çizelgelemek ise mümkün değildir. Bahsedilen bu özellikler özellikle birbirleriyle ilişkili ve bağlantılı operasyonlarda daha da geçerli hale gelmektedir (www.plantservices.com, 2006).

Bir bakım planlama sisteminin en önemli fonksiyonlarından biri, bir sonraki çalışma döneminde gerçekleştirilmesi gereken KB işlerinin listesini; zaman, işgücü, malzeme ve araç-gereç olanaklarını, önceliklerini gözeterek hazırlamaktır. Bu doğal olarak, basit, açık ve kolay uygulanabilir kural ve öncelikleri içeren, iyi tanımlanmış ve hızlı seçim yapabilen bir metodun varlığına bağlıdır (Ulusoy vd., 1992). Bu bağlamda çizelgeleme bakım işgücünü dengeler ve ilerde gerekli olacak işgücü büyüklüğünün tahminini sağlar. İyi yapılmış bir çizelgeleme ile yüksek düzeydeki performans değerlerine erişilebilir.

İyi bir çizelgelemenin altı prensibi vardır (Palmer, 1999):

- İleri çizelgeleme için, gerekli personel sayısını, en düşük gerekli işgücü uzmanlık seviyesini, uzmanlığa göre personelin çalışma saatlerini ve işin uzunluğu bilgisini veren iş planlarına gerek vardır.
- Günlük ve haftalık çizelgelere mümkün olduğunca sadık kalınmalıdır. Bu çizelgelere aşırı müdahaleyi engellemek için yeni iş emirlerine uygun öncelikler verilmelidir.
- Çizelgeci, personelin çalışma saatlerine, iş önceliklerine ve iş planlarından gelen bilgiye göre, her ekip için bir veya iki haftalık çizelge belirler.
- Haftalık çizelge, her çalışma saatine iş atamaktadır. Çizelge, aciliyeti ve yüksek önceliği olan işlere öncelik vermektedir.
- Bakım yöneticisi, mevcut işlerin ilerleyişine, haftalık çizelgeye ve yüksek öncelikli reaktif işlere göre bir gün ileriden günlük çizelgeleme yapmalıdır. Bakım yöneticisi işler ile personel uzmanlıklarını eşleştirmelidir. Yönetici, acil durumlara göre tüm ekibi yeniden çizelgeleme de dâhil günün işleri ve problemleri ile ilgilenmelidir.

- Ekibin çalışma zamanı iş gücü verimliliğinin, planlama ve çizelgeleme etkinliğinin temel ölçüsüdür.

Atanmadan önce planlanan işler, gereksiz beklemleri azaltırken çizelgeleme de işler arasındaki beklemleri azaltmaktadır.

Çizelgenin tamamlanması haftalık çizelgeye bağlı kalmanın ve etkinliğinin ölçüsüdür.

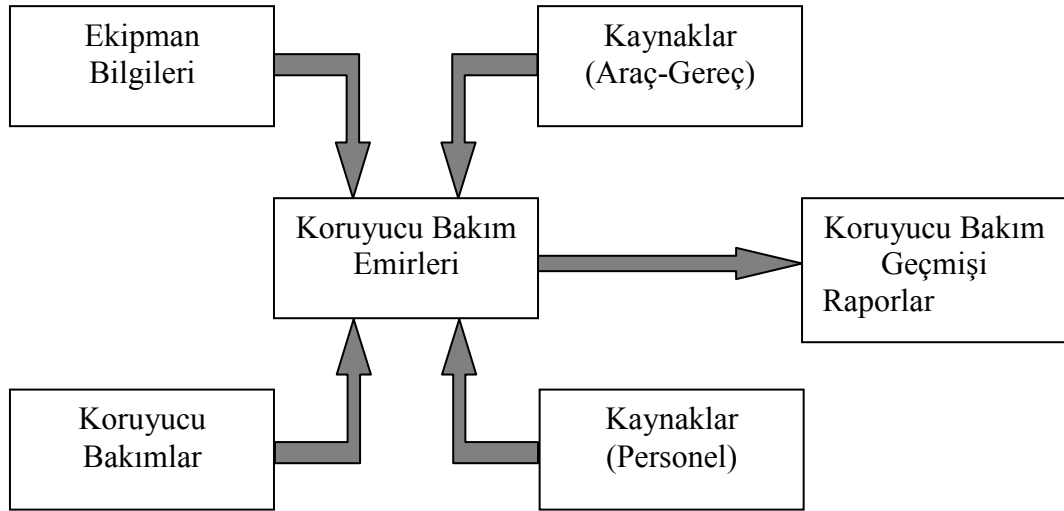
2.3. Bakım Yönetim Sistemleri

2.3.1. Giriş

Bilgisayarlı bakım yönetim sistemleri (BBYS) (Computerized Maintenance Management System - CMMS), etkin bir bakım için gerekli planlama, yönetim ve idari prosedürlerin tanımlanmasına yardımcı olan bilgisayar yazılım programlarıdır. Bu sistem genellikle, her biri belirli bir bakım işleminden sorumlu modüllerden veya işlevsel alanlardan meydana gelmektedir.

Bu modüler ve kapsamlı sistemler şirketler için kayda değer yatırımlar gerektirse de önemli faydalar da sağlamaktadır. BBYS'nin kullanımının firmaların başarısına oldukça etkisi vardır. Bu başarı, bakım envanterinin azaltılması, üretim ekipmanlarının elverişliliğinin iyileştirilmesi, acil ve koruyucu bakım işlerinin etkili işletilmesinin planlanması ve analiz için geçmiş bilgilerin toplanması suretiyle meydana gelmektedir. Ekipman arıza geçmişi ve tedarikçi performansı bakım uygulamalarının iyileştirilmesinde kritik öneme sahiptir. Tam özellikli bir BBYS, bakım süreçlerini düzene sokar ve bütünleştirir, böylece, tesisin farklı yerlerindeki – veya farklı lokasyonlardaki – çalışanların etkin kullanmalarını temin eder (www.plantservices.com, 2006).

BBYS teknolojisinin kullanımı ile sadece bakım işleri çizelgenmemekte, aynı zamanda bakım işçilerinin, aletlerin ve yedek parçaların elverişliliğini sağlayacak şekilde otomatikleştirilmesi de sağlanmış olmaktadır (www.plantservices.com, 2006).



Şekil 2.5. Bilgisayarlı bakım yönetim sistemleri genel yapısı (www.plantservices.com, 2006)

Yukarıdaki diyagram (Şekil 2.5) en basit haliyle BBYS'ni temsil etmektedir. Normal süreç akışı şöyledir (www.idcon.com, 2006):

- Periyodik veya çizelgelenmemiş işler ile birleştirilmiş ekipman bilgileri iş emirlerini tetikler. İş emirleri tarihe göre, sayaca göre, süreç veya ekipman değişkenlerine göre tetiklenebilmektedir.
- İş emirleri iş planları ve kaynak gereksinimlerini üretir. İş emri üretildiğinde, belirli bir görev için yapılması gereken işlere rehberlik etmektedir.
- İş tamamlandığı zaman elektronik iş emri, yapılan gerçek işleri ve kullanılan kaynakları yansıtmaya bakımından elden geçirilmelidir.
- Daha sonra iş emri kapatılır. Böylece bu bilgi ekipmanın kalıcı servis geçmişi bilgisi haline gelmiş olur.
- Analiz ve raporlar, ekipmanın izlenmesi ve bakım süreçlerinin aşamalı iyileştirilmesi için kritik geribesleme sağlamaktadır.

Travis ve Casinger (1997), modern bakım yönetimi ile ilgili diğer zorlukları vurgulamaktadırlar. Makalelerinde, bakım yöneticilerinin karşı karşıya kaldığı en

önemli beş problemi önceliklendirmektedirler ve BBYS'nin bu problemlerin çözümü olacağını önermektedirler. Bu problemler şunlardır:

1. Yönetimin, dünyanın kabul ettiği ölçüde bakım uygulamaları gerçekleştirmek için az destek vermesi veya hiç vermemesidir. BBYS raporları bozulma zamanlarının seviyelerini vurgulayarak maliyeti azaltabilir.
2. Yedek parçaları azaltacak fakat aynı zamanda elde bulunmasını da sağlayacak envanter problemleri vardır. Yedek parça kontrol modülü, en modern BBYS paketlerinin bir parçasıdır.
3. Bazı işlerde mükemmelleşip diğer beceri alanlarında yeteneklerini kaybeden bakım personeli ile ilgili problemler. BBYS, yöneticilerin, bir periyot boyunca hangi işlerin kimler tarafından yapıldığı bilgisini görmelerini ve gelecekte işlerin çeşitli beceri alanlarına uygun bir şekilde atanmalarını sağlamaktadır.
4. İş yükünü karşılayacak yeterli bakım personelinin bulunmaması. BBYS, her iş emri için gerekli işgücü gereksinimini, bilgileri haftaya ve beceri alanına göre toplayarak ve dengesiz durumlar ile ilave personel gereksinimlerini göstererek raporlayabilmektedir.
5. Koruyucu bakımdan hemen önce meydana gelen arızalar olabilmektedir. BBYS, koruyucu bakım aralıklarını azaltacak şekilde problemleri parçaları veya gereksinimleri tam olarak belirterek, ekipmanın her parçası için rapor üretebilmektedir (Travis ve Casinger, 1997).

Bilgisayarlı Bakım Yönetim Sistemleri (BBYS) şirketlere ekipman ve envanter varlıklarını izleme de; bu varlıklara ne zaman ve ne tür bakımlar yapıldığını ve bakım işlemleri için ne kadarlık işçilik, malzeme, araç-gereç maliyetlerine katlanıldığının bilgisini sunar. Birçok tesis, otomatize bir bakım sistemi olmadan bunları hızlı ve güvenilir bir şekilde gerçekleştiremez. Pek çok şirket ve organizasyon; BBYS'leri ve süreçlerini, rekabetçi bir avantaja ulaşmada katalizör gibi düşünmektedir (Petrovic, 2004).

Bakım planlaması kapsamında bilgisayar iki şekilde yardımcı olmaktadır. Birincisi, bilgisayar mevcut süreci otomatize ederek ve kolaylaştırarak etkinliği artırır. İkincisi, eldeki verileri farklı şekillerde analiz imkanları sağlayarak ilave maliyet olmaksızın fayda üretir (Palmer, 1999).

2.3.2. Bakım yönetim sistemleri'nin faydaları

Genel olarak bilgisayarlı bakım yönetim sistemlerinden elde edilebilecek faydalar aşağıda listelenmiştir.

- Üretim veya hizmet süresinde artış
- Servis kalitesinin yükselmesi
- Ürün veya hizmet maliyetlerinde düşüş
- Arıza sayısını azaltan, etkin, planlı bir bakım disiplini
- Bakım operasyonlarında standartlaşma ve tutarlılık
- Bakım maliyetlerinde azalma
- Geleceğe yönelik bakımlar için eleman ve kaynak planlaması yapabilmek
- Raporları kullanarak eleman analizi, ekipman analizi, arıza tipi analizi, stok analizi, maliyet analizleri gibi çeşitli analizleri yapabilmek
- Bakım departmanının yedek parça ve malzeme stok yönetimini, eleman yönetimini gerçekleştirmek
- Bakımla ilgili her türlü doküman takibini bilgisayar ortamında yapabilmek

2.3.3. Bakım yönetim sistemleri'nin modülleri

Bilgisayarlı Bakım Yönetim Sistemlerindeki modüllerin en önemlileri şunlardır:

2.3.3.1. Ekipman modülü

Ekipmanlar, ekipmanla ilişkili maliyetler, finansal bilgiler, ekipman tarihçeleri ve arızaları takip edilir. Ekipmanın bileşenleri ve yedek parçaları listelerine ulaşılabilir. Bakım tanımlamaları yapılabilir.

2.3.3.2. İş emirleri modülü

İş emri izleme ekranı ile, iş planı, planlar, maliyetler, işçilik, malzeme, ekipman, arıza analizi gibi detaylı bilgiler gösterilebilir.

2.3.3.3. Koruyucu bakımlar modülü

Sistemin en önemli ve zaman alıcı ögesidir. “İş Planları” ve “Koruyucu Bakım Planları” alt modüllerinden oluşur.

İş Planları, bakım işlemlerinin gerçekleştirilmesi sırasında icra edilecek bir nevi prosedürlerdir. Farklı koruyucu bakımlarda kullanılabilirler.

Koruyucu bakım çerçevesinde icra edilebilecek her bakım faaliyeti için (bir ekipman için birden fazla olabilir) hangi ekipmana ait olduğu, fonksiyonu, (yağlama, dişli değiştirme v.s.) tipi gibi sınıflandırma bilgileri ve zaman aralığı, önceliği, süresi, işgücü, malzeme, parça ve ekipman gereksinimi gibi teknik özellikleri ile birlikte belirlenir.

Faaliyetlerin zaman aralığı, tesisteki koruyucu bakım/ acil bakım dengesi ile ilgili stratejik kararlara, ilgili makine veya parçanın teknik özelliklerine ve ilgili arıza bakım istatistiklerine bağlı olarak belirlenir; zaman içinde, performans göstergelerine göre değiştirilebilir. Faaliyetin süresi ve işgücü gereksinimi birbirleri ile ilişkili iki özelliktir, dolayısı ile geçmişteki istatistiklere dayanarak birlikte belirlenmeleri gerekir. Faaliyetin malzeme, parça ve ekipman gereksinimleri ise ilgili makinenin teknik özelliklerine bağlı olup, gene geçmişteki istatistiklere dayanarak belirlenir.

Modül özellikleri

- Ekipmanların, Koruyucu Bakım planlamalarının yapılmasına olanak sağlar.
- Ekipmanlara, istenilen sayı ve nitelikte koruyucu bakım tanımlaması yapılabilir.

- Bakım planlarının yapılması için gerekli olan; Bakım Periyodu, Süresi, Önceliği ve Prosedür Numarası, vb. bilgilerin girişi yapılır.
- Bakım faaliyetlerini gerçekleştirecek personel tanımlaması yapılır.
- Bakım faaliyetlerinde kullanılacak Sarf Malzeme ve Teçhizatın seçilmesine imkan tanır.

2.3.3.4. Kaynaklar modülü

Bakım faaliyetlerinin gerçekleştirilmesinde kullanılacak olan araç-gereçlerle ilgili kayıtların takip edildiği modüldür.

2.3.3.5. Personel modülü

Bakım faaliyetlerini gerçekleştirecek personel bilgileri, görev tanımları, departman bilgileri takip edilir. Her bir elemanın devam, izin, hastalık ve üretim dışı çalışma zamanlarının kayıtları tutulur.

2.3.3.6. Takvim modülü

Ekipman, kaynak ve eleman kayıtları için çalışma planları oluşturulur. Takvimler; vardiyaları, tatilleri ve izinleri gösterecek biçimde hazırlanabilir.

2.3.3.7. Raporlar modülü

Diğer modülleri destekler, veritabanından özel sorgular oluşturulmasına olanak sağlamak için kullanılır.

2.3.3.8. Çizelgeleme modülü

Yapılacak bakımlar için; gerekli ekiplerin kullanılabilirliklerini, araç-gereç ve malzemelerin hazır edilebilme durumlarını da göz önüne alarak iş emirlerini çizelgeler.

Bakımın işletmecilikte veya servis sağlamada maliyetin önemli bir kısmını teşkil ettiği yaygın olarak kabul edilmektedir. Otomasyon şekilleri arttıkça bakım işlemleri nedeniyle oluşan maliyetlerin oranı da artacaktır. Bu sebeple bakım denilen kaynağı doğru ve etkili bir şekilde kullanmak önemli kazançlar sağlayacaktır.

Planlama ve çizelgeleme, bu kaynağı kullanmayı optimize etme yöntemlerinden biridir. Ancak planlama ve çizelgeleme ile ilgili problemlerden biri kırtasiye işlerinin çokluğu veya “kağıt karmaşası”dır. Bilgisayar kullanımı etkin bir şekilde gerçekleştirildiğinde, bu problem minimize edilebilir ve planlama, çizelgeleme, maliyet izleme etkinliği büyük oranlarda artabilir (Higgins, 1995).

Çizelgelemenin başarısı, değişen önceliklere göre sürekli düzenlemelerin yapılmasına bağlıdır. Bu düzenlemeler, iş emrini başlatanlar ile iyi iletişim ve tesis operasyonları ile ilgili yoğun bilgi gerektirmektedir. Çizelgeleme yapmak için BBYS kullanılması esnasında öncelik verilerinin güncellenmesindeki hata sistemi geçersiz kılacaktır. Birikmiş işlerdeki değişen öncelikler sürekli güncellenmelidir, aksi takdirde öngörülen çizelge en önemli işlerin verilen zamanlarda gerçekleştirilmesini yansıtmayacaktır (Weiss, 1998).

2.3.4. Bakım yönetim sistemlerinde çizelgeleme

Bakım operasyonlarının çizelgelenmesi, Bilgisayarlı Bakım Yönetim Sistemlerini etkin bir biçimde kullanmanın önemli bir göstergesidir. Planlama ve çizelgelemenin temel kavramlarını düşünmek bir zorunluluktur. İkiside farklı ve birbirleriyle ilişkili fonksiyonlardır. Bu nedenle, bu fonksiyonların açık bir şekilde tanımlanıp anlaşılması gereklidir.

Planlama, bakım işini en kısa sürede veya en düşük maliyetle yerine getirmek için ihtiyaç duyulan kaynakların ve bunların kullanılma sıralarının yapılmasıdır. Planlama kaynakları; işgücü, araç-gereç, malzeme, destek servisi, sözleşmeli servisler ve kullanılabilir zamanı içermektedir. Bakım planlama, bir işi tamamlamak için gerekli bütün kaynakları tanımlar.

Çizelgeleme, kaynakları kısıtlara uygun olarak optimum bir şekilde kullanmak için pek çok planlanmış işin belirlenmiş zaman dilimine atanmasıdır. Bütün kaynaklar belli ölçüde kısıtlı olup, sınırsız değildir. (Sabit işgücü, kısıtlı veya özel yetenek gerektiren beceriler, ekipmanların uygunluğu, kurallar ve düzenlemeler, kısıtlı para ve zaman.)

İşler, makinelerin ve teçhizatın optimum kullanılmasını sağlamak için ve üretim operasyonlarının önceliğini belirlemek için çizelgelenir. Etkin çizelgeleme, en önemli işin belirlenmesini ve verilen bir günde veya haftada çizelgelenmesini temin etmektedir. BBYS içerisine girilmiş işler, tesis gereksinimlerinden bağımsız olarak büyüyecektir. Listedeki her bir işin, işin ne zaman yapılacağını veya önceliğini gösteren bir önemi vardır (Weiss, 1998).

2.4. Bakım Çizelgeleme

2.4.1. Giriş

Üretim sistemlerinde; üretim planlama ve çizelgeleme faaliyetleri en önemli konulardan birisidir. Üretim çizelgeleme ile ilgili yapılan çalışmaların büyük çoğunluğunda tezgah ve ekipmanların istenilen her vakitte kullanılabilirliği kabul edilmiştir. Oysa ki gerçekte; bu tezgah ve ekipmanlar pek çok koruyucu bakım işlemine tabi tutulmakta, beklenmedik arızalarla karşılaşmaktadırlar (Graves ve Lee, 1999).

Koruyucu bakımlar, çizelgelenmiş bakım faaliyetleridir ve tezgah ve ekipmanları gerekli çalışma şartlarında tutmak için yapılırlar. Koruyucu bakım standartları oluşturulurken ekipmanların teknik kullanım kılavuzlarından faydalanılır. Periyodik muayeneler, kritik parça değişimleri, kalibrasyon ve yağlama vs. gibi işlemler koruyucu bakım kapsamındadır (Paz vd., 1994).

Çizelgeleme, iş gücünün, malzeme ve ekipmanların, kullanılabilirliğini; işlerin gerçekleştirilebilmesi için gerekli uzmanlık becerilerinin doğru iş plan sıralamasını ve işin tamamını yapabilmek için çeşitli işlere en ekonomik iş gücünün atanmasını

dikkate alan, faaliyetlerin dikkatli bir şekilde hazırlanmış ileri planlamasıdır. Çizelgeleme, iş yüklerinin iş gücü ile dengelendiği ve işlerin sabit ve düzenli bir şekilde akışını sağlayacak yükleme tekniklerinin uygulanmasıdır. Uygun bir şekilde yapıldığında etkin bir çizelgeleme, işlerin düzgün bir biçimde ve ekonomik olarak tamamlanmasını ve işlerin ilgili kaynaklara düzgün bir şekilde atanmasını sağlayacaktır (Johnson, 2002).

2.4.2. Literatür taraması

Bakım planlama ve çizelgeleme faaliyetleri ile ilgili çeşitli teknikler kullanılarak farklı yönlerde ve alanlarda yapılmış çalışmalar mevcuttur. Üretim destek sistemlerinden; jeneratör ve güç ünitelerinin bakımlarının çizelgelenmesi de oldukça ilgi çekmiş ve pek çok araştırma yapılmış bir konudur.

Burke vd. (1997), çalışmalarında, jeneratörlerin bakımlarının çizelgelenmesinde tabu arama algoritmasını önermişlerdir. Tabu aramanın global optimumu bulamayabileceğini fakat bu değere çok yakın değerlere ulaşabileceğini söylemişlerdir. Elde ettikleri sayısal verilere göre, önerdikleri metodun gerçek sistemlere uyarlanabileceğini belirtmişlerdir.

Güç ünitelerinin çizelgelenmesinde; Huang (1998), üyelik fonksiyonlarının genetik temelli düzenlendiği bir fuzzy (Genetik Evolved Fuzzy) sistem önermiştir. Bulanıklaştırılmış amaç ve kısıtlar optimal bakım çizelgesini bulmak için bulanık dinamik programlamada kullanılmıştır.

Dahal vd. (1999), jeneratör bakımlarının çizelgelenmesi konusunda çalışmışlardır. Geleneksel modellemenin ve çözüm metodlarının çeşitli kısıtlarının üstesinden gelmek için bulanık uygunluk fonksiyonlu bir GA önermişlerdir. Bulanık uygunluk fonksiyonlu GA'nın sonuçları ile sayısal (crisp) uygunluk fonksiyonlu GA'nın sonuçları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Sonuçlar, fuzzy uygunluk fonksiyonlu GA'nın etkin ve kullanışlı bir yaklaşım olduğunu daha iyi çözümler üreterek göstermiştir.

Wang ve Handschin (2000), güç ünitelerinin bakımlarının çizelgelenmesinde klasik GA'ya göre daha etkin bir GA sistemi öne sürmüşlerdir. Bu yeni GA'nın, özel kodlama yapısı ve esnek kısıtlı ondalık kodlama ile, klasik GA'nın hesaplama performansını geliştirdiğini söylemişlerdir. Klasik ikili kodlamalı GA ile bu yeni GA'nın performanslarının karşılaştırmasını da yapmışlardır.

El-Shark vd. (2003), güç ünitelerinin; yük, yakıt ve bakım maliyetleri belirsizlikleri altındaki, güvenlik kısıtlı bakım çizelgelerinin oluşturulmasında kullanılabilecek evrimsel programlama temelli bir çözüm tekniğine sahip bulanık bir model geliştirmişlerdir. Modeli iki farklı durum için çalıştırarak sonuçları karşılaştırmalı olarak sunmuşlardır.

El-Shark ve El-Keib (2003), güç üniteleri ve iletim sistemlerinin bakım çizelgeleme problemini, birleştirilmiş bir model şeklinde evrimsel programlama ile çözen bir teknik sunmuşlardır. Çözüm prosesi boyunca, yeni uygunsuz çözümlerin komşuluğunda uygun bir çözüm bulabilmek için tepe tırmanma tekniği de evrimsel programlama ile birlikte kullanılmıştır. Tepe tırmanma, evrimsel programlama ile araması yapılan yeni bireylerin uygunluğu temin etmek için kullanılmıştır.

Mohanta vd. (2004), güç ünitelerinin bakım çizelgelemesinin güvenilirliğini incelemek için, güvenlik ve güvenilirliğini optimize edecek bulanık bir model önermişlerdir. Bu model, probabilistik bulanık durum modeli ile bulanık yük modelinin birleşimidir. Güç ünitelerinin bakım çizelgesinin alüminyum üretim tesislerine uygulama çalışmaları hem klasik probabilistik modele, hem de bulanık modele göre formüle edilmiştir.

Abdulwhab vd. (2004), jeneratör sistemleri için belirli bir zaman diliminde tüm sistem güvenilirliğini maksimum yapacak genetik temelli bir optimum çizelge üzerinde çalışmışlardır.

Leou (2006), çalışmasında, güç ünitelerinin bakım çizelgelemesinde maliyeti düşüren ve güvenilirliği dikkate alan yeni bir formül sunmuştur. Bakım ekibi, operasyon zamanları, operasyon ve bakım masrafları, vs. gibi fazlaca etken nedeniyle

hayli karmaşık hale gelen formülün çözümü oldukça zordur. Bu kompleks formülasyonun çözümünde genetik algoritmalarla birleştirilmiş tavlama benzetimi kullanılmıştır. Bu metodun çizelge sonuçlarının gerçek bir sisteme uygulanışı da ayrıca sunulmuştur.

Dahal vd. (2006), jeneratörlerin bakımlarının çizelgelenmesinde; GA, GA/Tavlama Benzetimi ve GA/Tavlama Benzetimi/Sezgisel olmak üzere üç farklı metod test edilmiştir. Örnek bir olay, tam sayılı programlama problemi gibi formüle edilerek güvenilirlik temelli bir amaç fonksiyonu ve ilgili kısıtlar kullanılmıştır. GA temelli algoritmaların uygulamalarının performanslarını karşılaştırmalı olarak sunmuşlardır.

Mohanta vd. (2007), enerji tesislerinin güvenilirliğini göz önüne alan bulanık bir modeli sunmuşlardır. Bakımlarının çizelgelenmesinin güvenlik ve güvenilirliğinin optimizasyonu gibi çok boyutlu bir problemin çözümü için bir hibrid GA/SA tekniğini denemişlerdir. Yük belirlemedeki belirsizlik nedeniyle bulanık bir yük belirleme indeksi de kullanılmıştır.

Volkanovski vd. (2008), jeneratörlerin çizelgelenmesinde güç sistemlerinin güvenilirliğinin göstergesi olan yük kayıplarını minimize edecek genetik algoritma temelli bir sistem önermişlerdir.

Güç ünitelerinin ve/veya jeneratörlerin çizelgelenmesinde literatürde çok çeşitli teknikler kullanılarak yapılmış çalışmalardan bazıları özet olarak aşağıdaki gibidir:

Edwin ve Curtius (1990), tam sayılı programlamayı; Moro ve Ramos (1999), hedef programlamayı; Kralj ve Rajakovic (1994) ve Kralj ve Petrovic (1995) çok amaçlı programlamayı; Choueiry ve Sekine (1988), Uzman Sistemleri; Satoh ve Nara (1991), Tavlama Benzetimi Algoritmasını; Marwali ve Shahidehpour (1999) ve Silva vd. (1995), Stokastik yaklaşımları; Huang vd. (1992), Kim vd. (1994), Kim vd. (1997) ve Leou (2001), yapay zeka yaklaşımlarını uygulamışlardır.

Yukarıda verilen kaynaklardan da anlaşılabilceği gibi, yapılan kaynak taramasında; bakım çizelgeleme konusunda, ağırlıklı olarak; güç tesislerinin, jeneratörlerin, vs.

bakımlarının çizelgelenmesi problemi çok rağbet görmüş, fazlaca çalışılmış ve hemen hemen tüm çözüm teknikleri kullanılarak farklı yaklaşımlarda bulunulmuştur. Çalışmalarda genellikle; yük kayıplarının ve maliyetlerin, minimizasyonu; güvenilirliğin maksimizasyonu ve bakım operasyonlarının tamamlanma zamanlarının en küçüklenmesi hedeflenmiştir.

Üretim alanında yapılan bakım çizelgeleme çalışmaları da aşağıda sunulmuştur:

Cornell vd. (1987), arızaların ve çizelgelenmiş bakımların analitik olarak modellenmesinde Markov Zincirlerini kullanmışlardır. KB politikaları için analitik formüller geliştirmişlerdir.

Ram ve Olumolade (1987), arızalar arası süreler için Weibull dağılımını kullanmışlardır. Bir üretim planı için; toplam, çizelgelenmiş ve arıza bakım maliyetlerini optimize edecek analitik bir model sunmuşlardır.

Paz ve Leigh (1994), bakım çizelgeleme ile ilgili alanlarda yapılmış akademik ve pratik çalışmaları araştırmışlar ve incelemişlerdir. Daha fazla araştırılması gereken pratik ve teorik hususlar belirtilmiştir. Klasik çizelgeleme ile bakım çizelgeleme arasında karşılaştırmalar yapılarak benzerlikler ve farklılıklar ortaya konmuş, bakım çizelgeleme ile ilgili yapılmış simülasyon çalışmaları analiz edilmiştir.

Hariga (1994), çok sayıda makineden oluşan grupların periyodik bakımlarının çizelgelenmesi konusunda çalışmıştır. Çalışmada iki farklı tip bakım belirlenmiştir. Birinci tip bakımın makineyi normal çalışma şartlarına getirdiği, ikinci tipin ise makineyi yeni gibi konumuna getirdiği kabulüyle matematiksel bir modeli çözüm olarak sunmuşlardır.

Gopalakrishnan vd. (1997), Tek ve çok uzmanlıklı işgücü varlığı kısıtı altında KB çizelgelemenin etkinliğini artıracak analitik modeller geliştirmişlerdir. Makine geçmiş bilgilerine ve işin önemine bağlı olarak işin önceliğini belirlemek için lojistik regresyon kullanmışlardır. Optimal KB çizelgesi, toplam iş öncelik skorunun maksimizasyonunu sağlamaktadır.

Duffua ve Al-sultan (1997), çalışmalarında bakım çizelgeleme problemini, stokastik yapısını vurgulayarak açıklamışlar ve bu konunun önceliklerini sunmuşlardır. Daha sonra, çizelgeleme probleminin modellenmesi ve yönetilmesi için Matematiksel Programlama yaklaşımından bahsetmişlerdir.

Ahire vd. (2000), tek veya daha fazla nitelikte uzmanlık (elektrik, mekanik vs.) gerektiren bakım işlerine uygun işgücünün atanmasına çalışmışlardır. Çalışmada amaçlanan, işgücü ve uzmanlık kısıtları altındaki bir dizi KB işinin tamamlanma zamanlarını (makespan) minimum yapacak atama seçeneğini bulmaktır. KB süresinin elverişliliği ile ilgili hiçbir kısıt yoktur. Özellikle, gemi ve uçak gibi ağır teçhizatların, yıllık genel bakımlarında kullanışlıdır. NP zor sınıfında yer alan bu probleme, Evrimsel Stratejilerin (ES) uygulanabilirliğini test etmişlerdir. Evrimsel Stratejilerin detaylı performans analizleri ve tavlama benzetimi algoritması ile karşılaştırması yapılmıştır.

Marseguerra ve Zio (2000), Genetik Algoritmalar maksimizasyon prosedürü ile Monte Carlo Simülasyonunun birleşimine dayanan bir optimizasyon yaklaşımını sunmuşlardır. Bu yaklaşım, bakım ve tamir stratejilerinin seçimi ile ilgili olarak tesis lojistik yönetimi kapsamında, güvenilirlik ve ekonomik kısıtlar dikkate alınarak uygulanmıştır.

Cavory vd. (2001), tek ürün üreten bir üretim hattı için yapılan koruyucu bakımların, genetik algoritmalar ile çizelgenmesi çalışmalarında bulunmuşlardır. Çalışmada, hat üzerindeki her bir makineye bir operatörün atandığı varsayılmıştır. Bu makinelerdeki koruyucu bakımların ilgili operatörler tarafından yapıldığı kabulü yapılmıştır.

Tsai vd. (2001), mekanik parçalar için periyodik bakımları genetik algoritmalar ile çizelgeleyerek sistemin işlerliğini sürdürebilmesi için karşılaşılan birim maliyetleri optimize etmek istemişlerdir. Bunun için iki tip koruyucu bakım tanımlamışlardır; Basit koruyucu bakımlar (1P) ve periyodik parça değişimleri (2P). 1P sistem

güvenilirliğini belli oranda arttırırken, 2P faaliyetleri güvenilirliği yeni bir parçanın seviyesine çıkarır.

Bris vd. (2003), çeşitli bakım stratejilerine göre muayenesi yapılan ve bakım operasyonları gerçekleştirilen ekipmanların, kullanılabilirlik ve maliyet modelli sistemleri için geliştirdikleri yöntemi anlatmışlardır. KB maliyetini, minimize edecek GA ve simülasyon tabanlı bir optimizasyon metodunu kullanmışlardır.

Sittithumwat vd. (2004), güvenilirliği sağlamak için, bakım kaynaklarının optimum kullanımını temin edecek genel bir çerçeve sunmuşlardır. Çalışmada ilk olarak ekipmanlar için sabit arıza oranları kabulü yapılmıştır. Sonrasında ekipmanların durumu hakkındaki kısıtlı bilgilerin optimizasyonu ile bu çerçeve genişletilmiştir. Güvenilirliğin maksimum yapılması amaçlanmıştır ve bu amaçla; doğrusal programlama ve bulanık kümelerin kullanımı ile yaklaşık çıkarım temelli iki aşamalı bir analiz metodu kullanılmıştır.

Tsai vd. (2004), KB'ı üç faaliyeti birlikte düşünerek ele almaktadır: mekanik servis, tamir ve değiştirme. Mekanik servis; yağlama, temizleme, kontrol etme ve ayarlama gibi güçlü bozulmaları kısmen hafifleten faaliyetleri ifade etmektedir. Tamir, sadece bozulma hızının azaltılmasını değil, kısmi bozukluğun iyileştirilmesini de içermektedir. Değiştirme ise bir bileşenin orijinal şartlarına geri kazandırılmasıdır. Güvenirlik modelinin önerilmesinin ardından her bir bileşenin ortalama çalışma ve ortalama arızalı zamanları da araştırılmış, bileşenlerin değiştirilme zamanları (aralıkları) kullanılabilirliğin maksimizasyonuna dayalı olarak belirlenmiştir. Burada, periyodik KB politikasının programlanmasında sistemin KB zamanı (aralığı) olarak, aralıklar içerisinde en küçük olanı tercih edilmiştir. Her KB aşamasında bileşenler için faaliyet seçimi, sistemin bakımla ilgili olarak faydasını maksimum yapacak şekilde kararlaştırılmıştır. Tekrarlı bir şekilde, çizelgeleme adım adım ilerletilmiş, sistemin ömrü öngörülen ömre ulaştığında durdurulmuştur. Tamamlanmış çizelge, bileşenler için uygulanacak faaliyet ve her aşamada sistemin kullanılabilirliği ile toplam maliyet bilgilerini sağlamaktadır.

Koruyucu bakım, hataları ve kazaları önleme açısından her kimyasal üretim tesisi için önemlidir, ancak bu durum, tesis içi malzeme ve kaynak akışını etkiler ve üretim kayıplarına neden olur. Üretim kaybını en aza indirmek için her tesis biriminin bakımı, tesis bünyesindeki malzeme ve kaynak dengesi göz önünde bulundurularak dikkatli bir şekilde çizelgelenmelidir. Bu problemin altından başarılı bir şekilde kalkabilmek için iyi bir çizelgeleme stratejisi geliştirilmelidir. Bu strateji, çizelgelemeyi uzun dönemli ve kısa dönemli olmak üzere iki aşamaya ayırmaktadır. Cheung vd. (2004), kısa dönemli bakım çizelgelemeye destek olması için çok periyotlu birleşik tamsayı doğrusal programlama modeli önermişlerdir. Modelde, önceden hazırlanmış kaynak ve malzeme taleplerini dikkate alan özel bir formülasyon da geliştirilmiştir.

Grigoriev vd. (2005), bakım çizelgeleme probleminde, servis ve operasyon maliyetlerini en küçükleyecek şekilde; her bir periyotta hangi makinenin servis göreceğinin belirlenmesi için çalışmışlardır. (Her periyotta sadece bir makinenin servis görebileceği kabulünü yapmışlardır.) Çalışmada LP teknikleri uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Gharbi ve Kenne (2005), çalışmalarında çok makineli bir imalat sisteminin üretim ve koruyucu bakımın kontrolü problemi üzerinde çalışmaktadır. Simülasyonu, istatistiksel metodla birleştirmek maliyet fonksiyonun tahmin edilebilmesini sağlamayı amaçlamaktadır.

Koomsap vd. (2005), dağıtık bir sistemde; duruma dayalı bakımların (Condition Based Maint.) çizelgelenmesinde otonom kontrollerle gerçekleştirilmeleri ve atölye seviyesindeki proses kontrol işlemlerinin birlikte yapılması için geliştirilmiş bir yapı sunmuşlardır. Sensörler vasıtası ile sahadan alınan bilgilerle ekipmanların kalan ömürlerinin tahmini ile bakım zamanları bulunur ve bu zamanlara göre bakım ekipmanlarının çizelgeleri oluşturulur.

Marquez vd. (2006), yarı iletken üreten bir firmada koruyucu bakım planlama ve atölye düzeyi bakım çizelgeleme konusunu incelemişlerdir. Çalışmalarında KB çizelgelemeyi geliştirmek için, imalata dinamik bir yapıda uygulanabilecek alternatif

çizelgeleme politikalarının belirlenmesine imkan sağlayan sürekli zamanlı Monte Carlo Simülasyon modellemesinin kullanımını göstermişlerdir. Simülasyon modeli kullanılarak, üretim ekipmanlarının mevcut durumlarında ve değişik çalışma şartlarında farklı çizelgeleme politikaları uygulanmış, politika sonuçları karşılaştırılmıştır.

Hijes vd. (2006), çalışmalarında ekipmanlara hangi seviyede bakım yapılacağı ve bakım kaynaklarını nasıl dağıtılacağı konusunda karar vermeyi sağlayan; kritik ekipmanların çok kriterli sınıflandırılması sistemini anlatmışlardır.

Huang'ın (2006), çalışmasının konusu; 'Bir makine grubu için bakım çizelgeleme problemi' olarak adlandırdığı, bakım maliyetlerini düşürecek makinelerin bakımlarının çizelgelenmesidir. Problemin önce matematiksel modeli üzerinde analizler yapmış ve bu analizlere göre optimal çözümü etkin bir şekilde verecek arama algoritmasını sunmuştur.

Courtois ve Delsarte (2006), arızalar arası ortalama süreyi (MTBF-Mean Time Between Failure) maksimum yapacak, muayeneler arasındaki optimum aralığı belirleyecek analitik sistem üzerinde çalışmışlardır. Sistemin özellikleri ve pratiğe uygulamaları bu analitik formdan türetilmiştir. Periyodik testlerin çizelgelenmesi nükleer reaktör koruma sistemlerine uygulanmıştır.

Limbourg ve Kochs (2006), değişken boyutlu bakım çizelgelemede evrimsel algoritmaları beş farklı kodlama yapısı ile kullanmışlar ve bu kodlamaları ikili kodlama ile kıyaslamışlardır. Sonuçlar, kompleks sistemlerinin bakım çizelgelerinin optimizasyonunda kodlamanın yüksek bir öneme sahip olduğunu göstermiştir. Çalışmalarında, bütün bakım faaliyetlerinin aynı maliyetlere neden olduğu varsayımıyla güvenilirlik ve maliyet çıktılarını dikkate almışlardır. Çalışmada yapılan diğer bir analizde, modifiye genetik operatörler vasıtası ile performansın daha da artacağı gözlenmiştir.

Bakım faaliyetlerini gerçekleştiren çalışanlar genellikle yüksek ücretlidirler, dolayısıyla bakım faaliyetlerinin çizelgelenmesi bu çalışanların boş zamanlarını

minimum yapmalıdır. Boş zamanlar, işgücünü azaltarak düşürülebilir. Bununla birlikte bakım faaliyetleri mümkün olduğunca çabuk bir şekilde gerçekleştirilerek, ekipmanlar çalışır hale getirilmelidir, yani bakım faaliyetlerinin tamamlanma zamanları da minimum olmalıdır. Bu iki çelişen amacın bir dengede tutulması gerekmektedir. Quan vd. (2006), bu çok amaçlı periyodik çizelgeleme problemini çözmek için, evrimsel algoritmaları kullanmışlardır.

Ulusoy vd. (1992), uygulamalı olarak geliştirdikleri bir koruyucu bakım planlama ve kontrol sistemini sunmuşlardır. Sistemlerinde KB işlerinin çizelgenmesi günlük bazda gerçekleştirilmekte ve her gün ertesi günün çizelgesi hazırlanmaktadır. Uygun KB işleri kümesi dikkate alınarak oluşturulan çizelgede KB işlerinin öncelik değerleri KB kapasitesi dolana kadar uygun zamanlara KB atamaları yapılır. KB işlerinin öncelik değerleri ile belirlenen sırada KB kapasitesi dolana kadar uygun zamanlara KB atamaları yapılır. KB işlerinin öncelik değerlerinin belirlenmesi çizelgeleme süreci içinde çok önemli bir yer tutmaktadır. Uygun küme içindeki işlerden hangilerinin günlük çizelgeye dahil edileceklerinin belirlenmesinde kullanılan kriterler bir öncelik fonksiyonu şeklinde ifade edilmiştir. Oluşturulan öncelik fonksiyonunun üç değişkeni: “Bakım sıklığı (F)”, bir KB işinin tüm üretim sistemi içindeki görece öneminin yansıtan öznel bir ölçüt olan ‘Önem Derecesi’ ve bir KB işinin son yapıldığı tarihten sonra geçen bakım periyodunu kaç gün aştığını gösteren ‘Gecikme Miktarıdır’ (D). Bu üç değişkenden oluşan fonksiyonu klasik bir fayda fonksiyonu şeklinde ifade ederek uygulamışlardır. Uygulamadan elde edilen sonuçları değerlendirmek ve uygulamayı yönlendirmek için oran analizi yöntemini kullanmışlardır.

Üretim çizelgeleme ve koruyucu bakım (KB) planlama imalat endüstrisinin yüz yüze geldiği en genel ve önemli problemler arasındadır. Bazen; Üretim çizelgeleri, uygun koruyucu bakımlarla engellenebilecek, ekipman arızaları ile kesilebilmektedir. Bununla birlikte, önerilen KB aralıkları bazen üretimi kolaylaştırmak için geciktirilebilir. İki faaliyet arasında bu derece birbirine bağlı bir etkileşim söz konusu olmasına rağmen ve imalat üretkenliğinin üretim çizelgeleme ve KB planlama kararlarının eş zamanlı optimize edilmesiyle iyileştirileceği bilinse de bunlar genellikle gerçek imalat ortamında bağımsız olarak planlanıp uygulanmaktadır.

Geçmiş yıllarda bu iki alanda çok sayıda araştırmalar yapılmıştır. Bununla birlikte, bu konularla ilgili yapılmış hemen hemen bütün çalışmalarda üretim çizelgeleme ve KB planlama iki bağımsız problem olarak düşünülmüş ve bu nedenle ayrı ayrı çözümleri tercih edilmiştir (Sortrakul vd., 2005).

Pek az çalışmada bu iki problem birleştirilmeye ve birlikte çözülmeye çalışılmıştır. Graves ve Lee (1999), sabit aralıklarla bakımı yapılan tek bir makine için çizelgeleme çalışmalarında bulunmuşlardır. Çalışmada, eğer ki işler tamamlanmadan durmuşsa, bunun ilave bir hazırlık zamanına sebep olacağı kabulü yapılmıştır. Amaçlanan, bazı performans ölçütlerini minimize edecek şekilde bakım ve işleri birlikte çizelgelemektir. Amaç fonksiyonları; işlemlerin toplam ağırlıklandırılmış tamamlanma zamanlarını ve maksimum gecikmeyi minimize etmektir. Uzun ve kısa vadeli planlama süreçleri ayrı senaryolar olarak incelenmiştir.

Coudert vd. (2002), üretim ve bakım operasyonlarını çoklu ajanlar (multi-agents) ve bulanık mantık teknikleri kullanarak birlikte çizelgeleme çalışması yapmışlardır.

Sudiarso ve Labib (2002), bütünleşik üretim ve bakım çizelgeleme için bulanık bir model geliştirmişlerdir. Bakım dataları, üretim sistemi kontrol politikalarını optimize edecek bulanık bir çizelgeleme algoritmasının girdileri olacaktır. Bu datalar arızalanma frekansı ve bu durumda ihtiyaç duyulan ortalama parça sayısıdır. Çıktı ise; parçaların sisteme ortalama geliş hızlarıdır. Bu veri ise çizelgeleme algoritmasına kaynak oluşturmaktadır.

Bakımlar üretim yapılabilecek zamanları, üretim yapılan zamanlar da makine arıza olasılıklarını etkiler. Cassidy ve Kutanoğlu (2003), işlerinin gecikmelerinin toplam ağırlıklı zamanlarını minimum yapacak üretim çizelgeleme ve Koruyucu Bakım planlama kararlarını birlikte ele alan bütünleşik bir model geliştirmişlerdir. Bütünleşik modelle, üretim çizelgesinin ve Koruyucu Bakım planlama probleminin ayrı ayrı ele alındığı modelin çözümleri karşılaştırılmış, performansları kıyaslanmıştır.

Sortrakul vd. (2005), tek makine probleminde bütünleşik üretim çizelgeleme ve bakım planlama probleminin çözümü için genetik algoritmaları kullanmışlardır. Üç farklı genetik temelli algoritma geliştirmişlerdir ve bu algoritmaların; küçük, orta ve büyük ölçekteki problemlerde örnekler üzerinden performansları değerlendirilmiştir.

Ruiz vd. (2006), makalelerinde, üretim akış problemlerini dikkate alarak makineler üzerinde çeşitli KB politikalarını bir arada gerçekleştirecek yöntemler önermişlerdir. Bu politikalar kullanılabilirliği maksimize etmeyi veya üretim süreci boyunca güvenilirliği en alt seviyede tutmayı amaçlamaktadır. Üretim çizelgesi içerisinde KB operasyonlarını çizelgelemek için basit bir kriter önerilmiştir. Bu kriter, KB'ın üretim çizelgeleme ile birlikte yapılmasının ve birlikte yapılmamasının doğuracağı sonuçların önemlerini göstermektedir. Ele alınan optimizasyon kriteri, çizelgenin tamamlanma zamanının minimizasyonuna bağlıdır. Karınca kolonisi algoritmasının ve GA'nın çok etkili sonuçlar verdiğini öne sürmüşlerdir.

Uygun vd. (2006), çalışmalarında, bir tekstil firmasında üretim ve bakımı bütünleşik olarak çizelgeleyen HLA (High Level Architecture-Yüksek Seviyeli Mimari) temelli dağıtık simülasyon modelini anlatmışlardır.

Yang vd. (2007), makalelerinde imalat sistemlerinde bakım ve üretim seviyelerinin ayarlanması operasyonlarının birleşik çizelgelerinin analizi ve optimizasyonunu ele almaktadır. Bakım ve üretim seviyelerinin ayarlanması operasyonlarının birleşik çizelgesinin amacı, nispeten eski makinenin yavaş çalıştırılması veya yeni bakımı yapılmış makinenin hızlı çalıştırılması suretiyle üretim hedeflerinin karşılanmasına ve bakım operasyonlarının zamanlarının, imalat proseslerini çok fazla aksatmayacak şekilde ayarlanmasına olanak sağlayacaktır. Monte-Carlo Benzetimi temelli metot, bakım ve üretim seviyelerinin ayarlanması operasyonlarının çizelgesinin maliyet etkinliğinin değerlendirilmesi için önerilmiştir. Genetik algoritma temelli metot ise bu operasyonların maliyet etkinliğini maksimize edecek çizelgelerin araştırılmasına imkan vermesi için önerilmiştir. Bakım ve üretim seviyelerinin ayarlanması operasyonlarının birleşik çizelgesinin matris kromozom gösterimi tanıtılmış ve kromozom evrimi ile kromozom seçimi için çeşitli mekanizmalar önerilerek imalat sistemleri için sayısal benzetimlerle analiz edilmiştir.

Bakım çizelgeleme konusu; uçak, gemi ve taşıma araçları için de araştırılmış bir konu olmuştur. Yang vd. (2003), uçak bakımlarını gerçekleştiren bakım ekiplerinin planlanması ve çizelgelenmesi konusunda çalışmışlardır. Bakım personelinin tüm bakım türlerini icra edebildikleri varsayımıyla karma tam sayılı programlamayı çözüm tekniği olarak kullanmışlardır.

Samaranayake vd. (2002), Sriram ve Haghani (2003), Uçak bakımlarının çizelgelenmesinde; Zhou vd. (2004), Haghani ve Shafahi (2002), otobüslerin bakım çizelgelenmesinde; Deris vd. (1999), gemilerin bakımlarının çizelgelenmesi konularında çalışmışlardır.

BÖLÜM 3. GENETİK ALGORİTMALAR VE BULANIK MANTIK

3.1. Genetik Algoritmalar

3.1.1. Giriş

Genetik algoritmalar; doğada geçerli olan, en iyinin yaşaması ve doğal seçim kuralına dayanarak, sürekli iyileşen çözümler üreten bir arama ve optimizasyon yöntemidir. Genetik algoritmaların temel ilkeleri Michigan Üniversitesinde psikolog ve bilgisayar bilimleri uzmanı olan John Holland (1975) tarafından “Adaptation in Natural and Artificial Systems” adlı kitapla ilk olarak ortaya konulmuştur. Goldberg (1989), “Genetic Algorithms in Search Optimisation and Machine Learning“ adlı kitabında GA'nın o zamana kadar kullanıldığı alanları biyoloji, bilgisayar bilimi, mühendislik, yöneylem araştırması, melez teknikler, görüntü işleme, model tanıma, fizik ve sosyal bilimler gibi başlıklar altında sıralamıştır. Goldberg bu kitabını yayınladıktan sonra GA'nın geniş alanlarda uygulamaları artmıştır.

Genetik algoritmaların, fonksiyon optimizasyonu, çizelgeleme, mekanik öğrenme, tasarım, hücresel üretim gibi alanlarda başarılı uygulamaları bulunmaktadır. Geleneksel optimizasyon yöntemlerine göre aşağıdaki farklılıkları bulunmaktadır (Goldberg, 1989):

1. GA problemdeki parametrelerin kendileriyle ilgilenmez; onun yerine parametrelerin kodlanmış halleriyle ilgilenir.
2. GA çözüm kümesinde tek bir noktadan değil, noktalar topluluğundan araştırma yapar. Bu topluluğun GA evrimi ile gelişmesi sonucunda En iyi çözüme ulaşılır. Bu evrim sırasında sistem yerel en iyiye takılmaz.

3. GA klasik tekniklerin aksine yardımcı bilgi veya türev bilgisine ihtiyaç duymaz; sadece uyum fonksiyonu hesaplarıyla en iyiyi bulmayı hedefler.
4. GA sebep sonuç ilişkileri yerine, olasılıklı değişim metotlarını kullanır.

Bu özellikleriyle GA'lar etkin arama yaparak çok daha kısa bir sürede çözüme ulaşırlar.

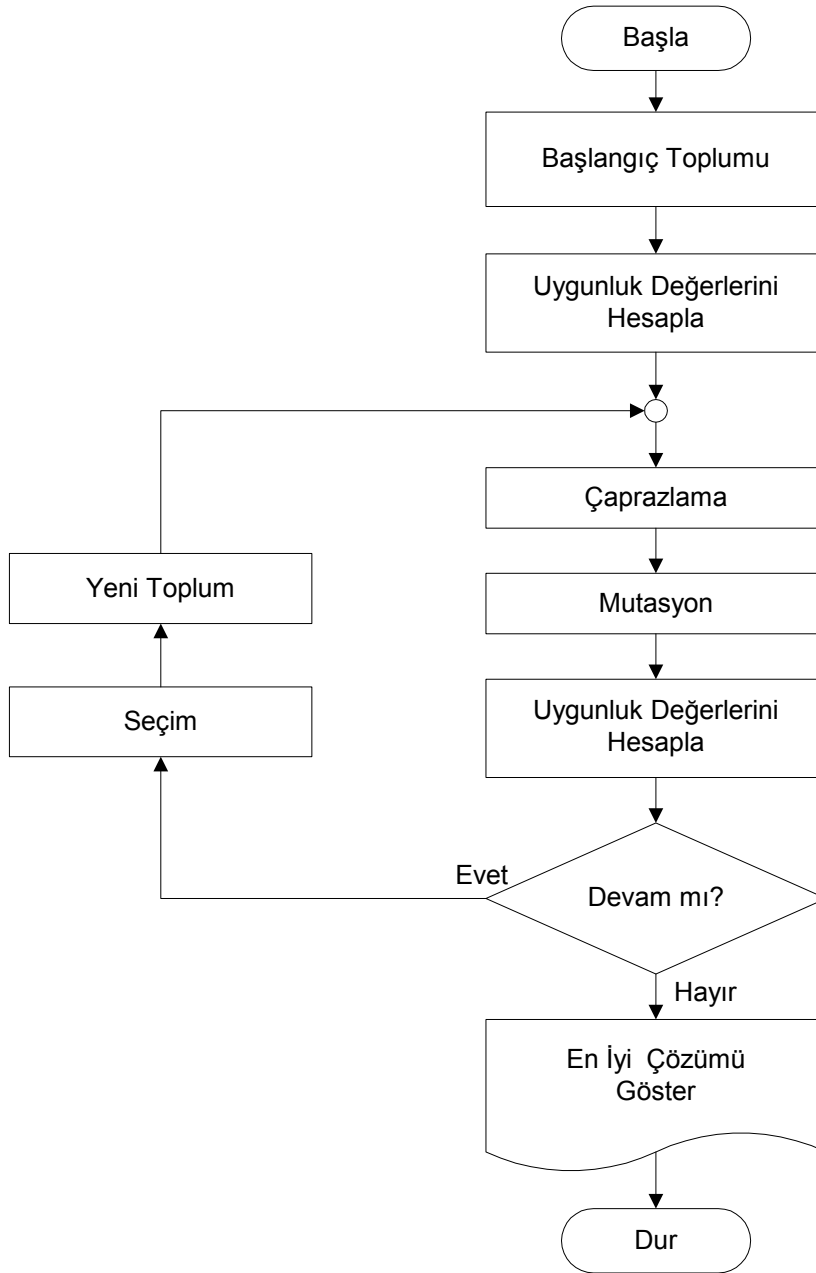
3.1.2. Genetik algoritmaların genel yapısı

Standart bir GA'da, aday sonuçlar eşit boyutlu vektörler olarak ifade edilir. Başlangıçta, bu vektörlerden bir grup, rassal olarak seçilerek sabit büyüklükte bir populasyon (toplum) oluşturulur. Böylece tek bir nokta yerine, genetik algoritmalar bir populasyon olarak noktalar kümesini muhafaza eder. Bir populasyondan alınan sonuçlar bir öncekinden daha iyi olacağı beklenen yeni bir populasyon oluşturmak için kullanılır ve her kuşakta, genetik algoritma, çaprazlama ve mutasyon gibi genetik operatörleri kullanarak yeni bir populasyon oluşturur. Birkaç kuşak sonunda, populasyon daha iyi uygunluk değerine sahip üyeleri içerir. Yeni populasyon oluşturulması için seçilen çözümler uyumluluklarına göre seçilir. Çünkü uyumlu olanların daha iyi sonuçlar üretmesi olasıdır. Bu akış istenen çözüm sağlanıncaya kadar devam ettirilir. Genetik algoritmalar, çözümlerin kodlanmasını, uygunlukların hesaplanmasını, çoğalma, çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin uygulanmasını içerir (Jang, 1997).

Bir problemin GA ile çözümünde takip edilecek işlem adımları aşağıda verilmektedir (Gen, 1997):

1. Arama uzayındaki bütün muhtemel çözümler, dizi olarak kodlanır. Bu diziyi (kromozomu) oluşturan her bir elemana gen denir. Her bir dizi, arama uzayında belirli bir bölgeye tekabül eder.
2. Genellikle rassal bir çözüm seti seçilir ve başlangıç populasyonu olarak kabul edilir.
3. Her bir dizi için bir uygunluk değeri hesaplanır; bulunan uygunluk değerleri dizilerin çözüm kalitesini gösterir.

4. Belirlenen olasılık değerlerine göre çaprazlama operatörü uygulanır.
 5. Belirlenen olasılık değerlerine göre mutasyon operatörü uygulanır.
 6. Yeni oluşan diziler için uygunluk değerleri hesaplanır.
 7. Uygunluk değerlerine göre, iyi olan kromozomlar bir sonraki nesile aktarılır.
 8. Önceden belirlenen nesil sayısı boyunca 4-7 arası işlemler devam ettirilir.
- Durma kriteri sağlanınca amaç fonksiyonuna göre en uygun olan dizi, çözüm olarak seçilir.



Şekil 3.1. Genetik algoritmaların çalışma prensibi (Gen, 1997).

3.1.2.1. Çözümlerin kodlanması

Bir problemin çözümü için genetik algoritma geliştirmenin ilk adımı, tüm çözümlerin aynı boyutlara sahip bitler dizisi biçiminde gösterilmesidir. Dizilerden her biri, problemin olası çözümler uzayındaki rassal bir noktayı simgeler (Yeniay, 2001). Kodlama, probleme özgü bilgilerin genetik algoritmanın kullanacağı şekle çevrilmesine olanak tanır (Jang, 1997). Genetik algoritmalarda, çözümü aranan probleme bağlı olarak farklı kodlama yöntemleri kullanılmaktadır (Goldberg, 1989). Olası çözümlerin kodlandığı bir çözüm grubu oluşturulur. Çözüm grubu popülasyon, çözümlerin kodları da kromozom olarak adlandırılır.

3.1.2.2. Başlangıç toplumunun (popülasyonun) oluşturulması

Bu adıma toplumda bulunacak birey sayısını belirleyerek başlanmaktadır. Kullanılacak sayı için bir standart yoktur. Büyüklük seçiminde yapılan işlemlerin karmaşıklığı ve aramanın derinliği önemlidir. Toplum bu işlemten sonra rasgele oluşturulur.

3.1.2.3. Uygunluk değerinin hesaplanması

Başlangıç popülasyonu oluşturulduktan sonraki ilk adım, popülasyondaki her üyenin uygunluk değerini hesaplama adımıdır. Örneğin, bir maksimizasyon problemi için i . üyenin uygunluk değeri $f(i)$, genellikle o noktadaki amaç fonksiyonunun değeridir (Jang, 1997). Çözümü aranan her problem için bir uygunluk fonksiyonu mevcuttur. Verilen belirli bir kromozom için uygunluk fonksiyonu, o kromozomun temsil ettiği çözümün kullanımıyla veya yeteneğiyle orantılı olan sayısal bir uygunluk değeri verir. Bu fonksiyon yardımı ile kromozomların uygunluklarının bulunmasına ise evrimleşme (evaluation) adı verilir. Bu bilgi, her kuşakta daha uygun çözümlerin seçiminde yol göstermektedir. Bir çözümün uygunluk değeri ne kadar yüksekse, yaşama ve çoğalma şansı o kadar fazladır ve bir sonraki kuşakta temsil edilme oranı da o kadar yüksektir (Yeniay, 2001).

Uyum fonksiyonu genetik algoritma ile çözülecek problem arasındaki bağlantıdır ve genetik algoritmanın beynini oluşturmaktadır. Genetik algoritmada probleme özel çalışan tek kısım bu fonksiyondur. Uygunluk fonksiyonu, kromozomları problemin parametreleri haline getirerek onların bir bakıma şifresini çözmektedir (decoding), sonra bu parametrelere göre hesaplamayı yaparak kromozomların uygunluğunu bulmaktadır. Çoğu zaman genetik algoritmanın başarısı bu fonksiyonun verimli ve hassas olmasına bağlı olmaktadır (Davis, 1991).

3.1.2.4. Çaprazlama işleminin uygulanması

Mevcut gen havuzunun potansiyelini araştırmak üzere, bir önceki kuşaktan daha iyi nitelikler içeren yeni kromozomlar yaratmak amacıyla çaprazlama operatörü kullanılmaktadır. Çaprazlama genellikle, verilen bir çaprazlama oranına eşit bir olasılıkla seçilen aile çeşitlerine uygulanmaktadır (Jang, 1997).

Genetik algoritmanın performansını etkileyen önemli parametrelerden biri olan çaprazlama operatörü doğal popülasyonlardaki çaprazlamaya karşılık gelmektedir. Çoğalma işlemi sonucunda elde edilen yeni popülasyondan rastsal olarak iki kromozom seçilmekte ve karşılıklı çaprazlama işlemine tabi tutulmaktadır. Çaprazlama işleminde dizi uzunluğu L olmak üzere, $1 \leq k \leq L-1$ aralığında k tamsayısı seçilmektedir. Bu tamsayı değerine göre dizi çaprazlamaya uğratılır. En basit çaprazlama yöntemi tek noktalı çaprazlama yöntemidir. Tek noktalı çaprazlama yapılabilmesi için her iki kromozomun da aynı gen uzunluğunda olması gerekir. İki noktalı çaprazlamada ise kromozom iki noktadan kesilir ve karşılıklı olarak pozisyonlar yer değiştirilir (Fırlı, 2002).

Çaprazlama yöntemlerinden; Sıralı Çaprazlama (OX) ve Doğrusal Sıralı Çaprazlamanın (LOX) çalışma prensipleri aşağıdaki gibidir.

OX çaprazlama operatörü:

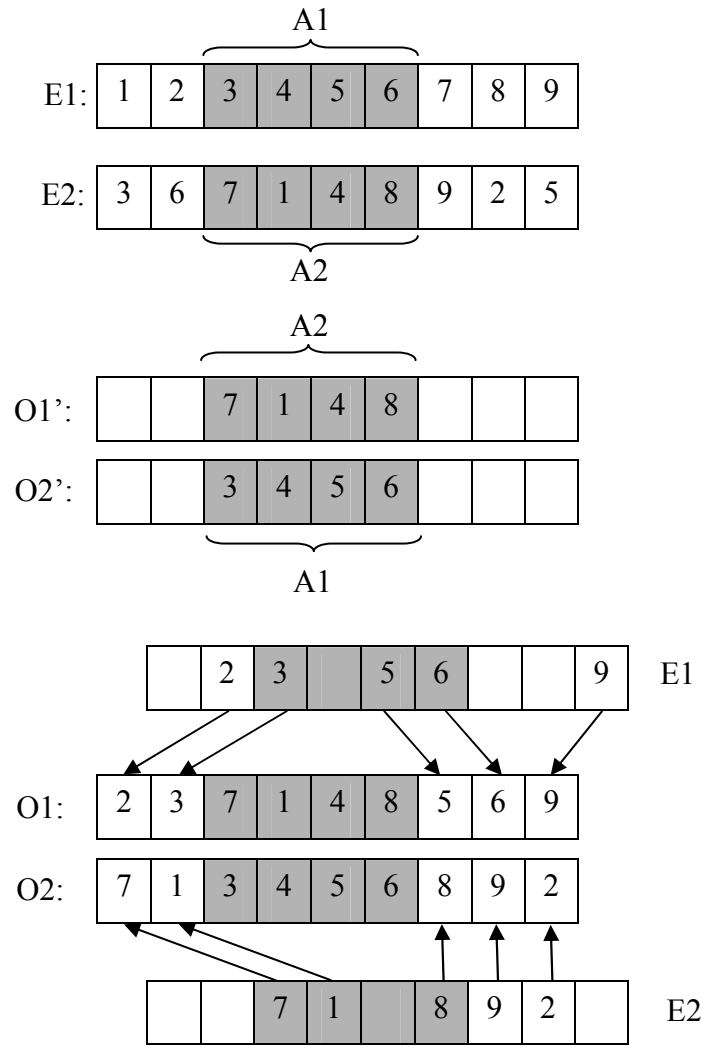
Sıralı Çaprazlama Davis (1985), tarafından önerilmiştir. Aşağıdaki işleyişe sahiptir (Şekil 3.2).

1. Rassal olarak iki kromozom seçilir.
2. Her bir kromozom üzerinde rassal olarak iki kesim noktası belirlenir. Bu noktalar arasındaki gen sayısının her iki kromozomda da aynı olması gerekmektedir. İki kesim noktası arasında kalan genlerin oluşturduğu bu dizi alt dizi olarak tanımlanabilir.
3. Birinci ebeveyndeki(E1) alt diziyi(A1); oluşacak oğulda(O2), ikinci ebeveyndeki(E2) alt dizinin(A2) yerine (aynı pozisyonlara) kopyala.
4. İkinci ebeveyndeki(E2) alt diziyi(A2); oluşacak oğulda(O1), birinci ebeveyndeki(E1) alt dizinin(A1) yerine (aynı pozisyonlara) kopyala.
5. E2'den, A1'deki genleri silerek, kalan genleri soldan sağa sıra ile O2'deki boşluklara yerleştir.
6. E1'den, A2'deki genleri silerek, kalan genleri soldan sağa sıra ile O1'deki boşluklara yerleştir.

LOX çaprazlama operatörü:

Falkenauer ve Bouffouix (1991), tarafından önerilen ve sıralı çaprazlamanın bir modifiyesi olan bu tekniğin işleyişi aşağıdaki gibidir.

1. Rassal olarak iki kromozom seçilir.
2. Her bir kromozom üzerinde rassal olarak iki kesim noktası belirlenir. Bu noktalar arasındaki gen sayısının her iki kromozomda da aynı olması gerekmektedir. İki kesim noktası arasında kalan genlerin oluşturduğu bu dizi alt dizi olarak tanımlanabilir.
3. Birinci ebeveyn(E1); ikinci ebeveyndeki(E2) alt diziyi(A2) çıkart ve oluşan bu boşlukları(h), çaprazlama aralığına kaydır.
4. Benzer şekilde, ikinci ebeveyn(E2); birinci ebeveyndeki(E1) alt diziyi(A1) çıkart ve oluşan bu boşlukları(h), çaprazlama aralığına kaydır.
5. Birinci alt diziyi (A1), ikinci ebeveyndeki(E2) boşluklara, ikinci alt diziyi(A2) ise birinci ebeveyndeki boşluklara kopyala.

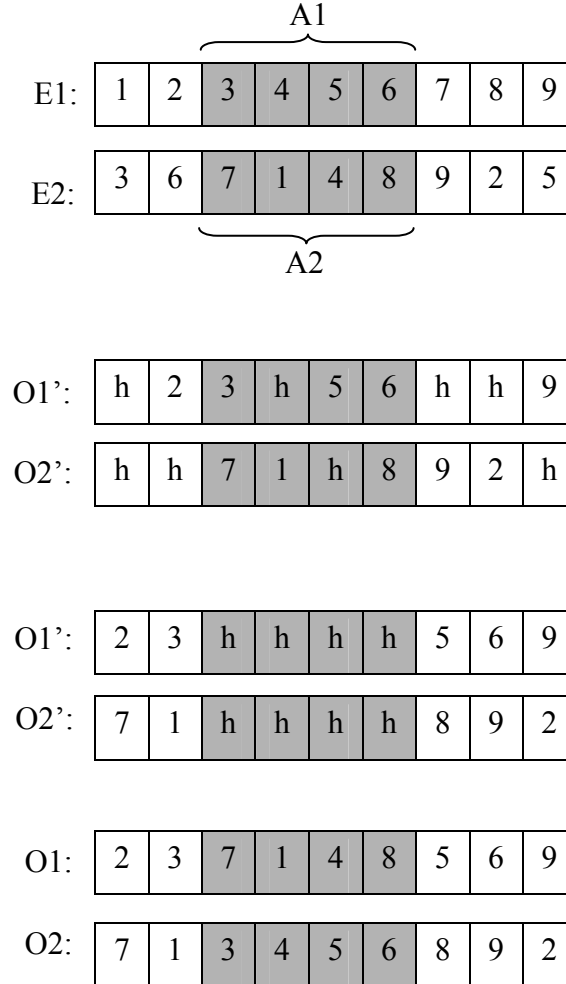


Şekil 3.2. OX çaprazlama operatörünün işleyişi (Davis, 1985).

3.1.2.5. Mutasyon işleminin uygulanması

Çaprazlama mevcut gen potansiyellerini araştırmak üzere kullanılır. Fakat populasyon gerekli tüm kodlanmış bilgiyi içermez ise, çaprazlama tatmin edici bir çözüm üretmez. Bundan dolayı, mevcut kromozomlardan yeni kromozomlar üretme yeteneğine sahip bir operatör gerekmektedir. Bu görevi mutasyon gerçekleştirir. Yapay genetik sistemlerde mutasyon operatörü, bir daha elde edilemeyebilir iyi bir çözümün kaybına karşı koruma sağlamaktadır (Goldberg, 1989). İkili kodlama sisteminin kullanıldığı problemlerde mutasyon, düşük bir olasılık değeri altında bir bit değerini (0 veya 1 olabilir) diğer bit değerine dönüştürür. İkili kodlama sisteminin

kullanılmadığı problemlerde ise daha farklı mutasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın, mutasyonun genel amacı, genetik çeşitliliği sağlamak veya korumaktır.



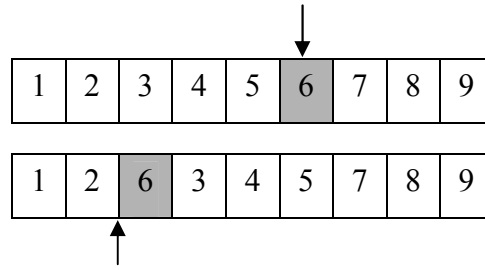
Şekil 3.3. LOX çaprazlama operatörünün işleyişi (Falkenauer ve Bouffouix, 1991).

Araya ekleme (insert) mutasyonu:

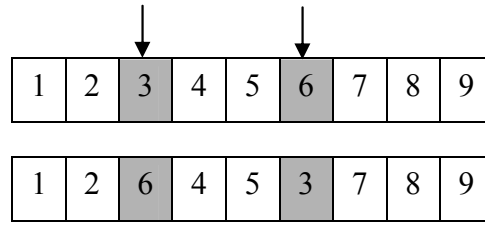
Mutasyon geçirecek gen rassal olarak seçilir ve rassal olarak belirlenen pozisyona taşınır (Şekil 3.4) (Gen, 1999).

Karşılıklı yer değiştirme(reciprocal exchange) mutasyonu:

Mutasyon geçirecek gen rassal olarak seçilir ve rassal olarak belirlenen ikinci bir genle karşılıklı olarak yer değiştirirler (Şekil 3.5) (Gen, 1999).



Şekil 3.4. Araya ekleme (insert) mutasyonu (Gen, 1999).



Şekil 3.5. Karşılıklı yer değiştirme (reciprocal exchange) mutasyonu (Gen, 1999).

3.1.2.6. Yeni oluşan bireylerin uygunluk değerlerinin hesaplanması

Çaprazlama ve mutasyon neticesinde oluşan bireylerin uygunluk değerleri hesaplanır.

3.1.2.7. Yeni neslin oluşması

Yeni nesil, çaprazlama ve mutasyon işlemlerinden sonra tanımlanmakta ve bir sonraki neslin ebeveynleri olmaktadır. Uygunluk değerinin hesaplanması adımından sonra mevcut nesilden yeni bir popülasyon oluşturulur. Seçim işlemi, bir sonraki kuşak için yavru üretmek amacıyla hangi ailelerin yer alması gerektiğine karar vermektedir. Bu doğal seçimdeki en uygunun yaşaması durumuna benzerdir. Bu yöntemin amacı, ortalama uygunluğun üzerindeki değerlere çoğalma fırsatı tanımaktır. Bir dizinin kopyalanma şansı, uygunluk fonksiyonuyla hesaplanan dizinin uygunluk değerine bağlıdır (Jang, 1997). Seçim yöntemlerine rulet tekerleği seçimi, turnuva seçimi ve sıralama seçimi gibi seçim yöntemleri örnek verilebilir.

Sıralama seçimi:

Sıralama seçim metodunda kromozomlar uyum fonksiyonu değerlerine göre en iyiden en kötüye doğru sıralanırlar. Bu sıralamadan sonra kromozomların seçilme olasılıkları belirlenir. Bu olasılıkların hesaplanmasında kromozomların amaç fonksiyonu değerleri değil sıralamadaki yerleri dikkate alınır. Sıralamalı seçim metodu da doğrusal ölçeklemeli ve üstel ölçeklemeli olarak iki şekilde uygulanabilir.

Probleme göre en uygun ölçekleme yönteminin seçilmesi genetik algoritmanın etkin işlemesi açısından önem taşımaktadır

Rulet çarkı seçimi:

Bu yöntemde seçilme işlemi bireylerin uygunluk değerlerine göre yapılmaktadır. Fakat uygunluk değeri en büyük olanın seçileceği garanti edilemez, yalnız seçilme şansı daha fazla olacaktır. Bu yöntemde tüm kromozomların uygunlukları bir tabloya yazılır ve toplanır. Sonra uygunluk değerleri, toplam uygunluk değerine bölünerek bireylerin $[0,1]$ aralığında seçilme olasılıkları belirlenir. Her kromozomun birikimli (kümülatif) seçim olasılıkları hesaplanır.

Kromozom sayısı kadar rassal sayı üretilir, her rassal değer kromozomların birikimli olasılık değerleriyle karşılaştırılır ve uygun aralığa düşen kromozom seçilir bu işlem kromozom sayısı tamamlanıncaya kadar sürdürülür.

3.1.2.8. Döngünün durdurulması

Bu süreç, önceden belirlenen kuşak sayısı kadar veya bir hedefe ulaşıncaya kadar ya da başka bir durdurma kriteri sağlanana kadar devam eder (Yeo, 1996). İstenen hassasiyet derecesine göre de maksimum iterasyon sayısı belirlenebilmekte ve iterasyon bu sayıya ulaştığında döngü durdurulabilmektedir. Durdurma kriteri iterasyon sayısı olabileceği gibi hedeflenen uygunluk değeri de olabilmektedir (Fung, 2001).

3.1.3. Genetik Algoritmaların performansını etkileyen faktörler

Genetik algoritmanın performansını; Toplum büyüklüğü, üreme, çaprazlama ve mutasyon operatörleri ile çaprazlama ve mutasyon oranları önemli ölçüde etkilemektedir (Goldberg, 1989).

Toplum büyüklüğü: Toplumdaki kromozom sayısının düşük olması durumunda çözümün lokal optimuma yönelmesi riski oluşur. Kromozom sayısının fazla olması durumunda ise işlem hızının yavaşlaması ve sonuçların çok uzun zamanda alınması söz konusu olur. Genel olarak toplum büyüklüğü problemin büyüklüğüne bağlıdır.

Çaprazlama oranı ve türü: Çaprazlama oranı da sonuçları etkileyen önemli parametrelerdendir. Düşük çaprazlama oranı çözümlerin lokal optimumda kalması ihtimalini doğurur. Aynı zamanda tüm çözüm sahasının taranması sağlanamayabilir. Yüksek çaprazlama oranı kullanıldığında ise çözüm sahasının arzu edilmeyen bölgelerinin de taramasını yapacağından zaman kaybına sebep olabilir.

Pozisyona dayalı, Sıraya dayalı, Kısmi planlı, Dairesel, Doğrusal ve Sıralı çaprazlama yöntemleri çözüme ulaşmada farklı sonuçlar üretmektedir.

Mutasyon oranı ve türü: Kromozomlar birbirine benzemeye başladığında hala çözüm noktalarının uzağında bulunuyorsa mutasyon işlemi GA'nın sıkıştığı yerden kurtulmak için tek yoldur. Ancak yüksek bir değer vermek GA'yı kararlı bir noktaya ulaştırmaktan alıkoyacaktır.

GA işlemlerinin basit ve güçlü olduğu bilinmektedir, ancak aynı zamanda, GA'ların çok yavaş ilerlediği de bilinmektedir. GA'ın çalışma sürelerinin uzun olmasının iki sebebi vardır. Birincisi, işlemin decoding (kromozomları problemin parametreleri haline getirerek onların bir bakıma şifresini çözme işlemi) yapısının karmaşıklığı, ikincisi ise her nesilde, uygunluk değerinin hesaplanmasının zorluğudur (Wang ve Handschin, 2000).

Genetik Algoritmalarla ilgili olarak unutulmaması gereken diğerk bir hususta, problemlerimizde Genetik Algoritmaları nasıl kullanmamız gerektiği konusudur. Problemlerin çözümlünde Genetik Algoritmaların uygulanması için üç temel yaklaşımdan birisi tercih edilebilir (Cheng, 1999):

1. Problemleri Genetik algoritmaya uyarlamak (Adaptation)
2. Genetik Algoritmayı problemlere uyarlamak
3. Hem Genetik Algoritmada hem de problemlerde uyarlamalar yapmak.

3.2. Bulanık Mantık

3.2.1. Giriş

Bulanık mantık (Fuzzy Logic) kavramı ilk kez 1965 yılında California Berkeley Üniversitesinden Prof. Lotfi A.Zadeh'in bu konu üzerinde ilk makalelerini yayınlamasıyla duyuldu. Zadeh tarafından ortaya atılan bulanık küme, mantık ve sistem kavramları bu araştırmacının uzun yıllar boyunca kontrol alanında çalışması; istediği kontrolü elde edebilmesi için fazlaca doğrusal olmayan denklemlerin işin içine girmesi; yöntemin karmaşıklaşması ve çözümün zorlaşması neticesinde ortaya çıkmıştır. Bulanık Mantık insanların her gün kullandığı ve davranışlarının yorumlandığı yapıya ulaşılmasını sağlayan matematiksel bir disiplindir. İnsanlar günlük hayatta; tam olarak tanımlanmamış ve nümerik olmayan dilsel niteleyiciler (soğuk, hafif soğuk, ılık, sıcak, çok sıcak vb. gibi) kullanarak kararlar verir ve problemlerini çözerler (Şen, 2004).

Zadeh, 'uzun, kırmızı, durağan' gibi yüklemelerin ikili üyelik fonksiyonuyla ifade edilen klasik kümeler yerine, dereceli üyelik fonksiyonuyla ifade edilen bulanık kümeler tanımlamasını önerdi. Bulanık küme kuramı, 'belirsizlik'in bir tür biçimlenişi, formüllendirilmesidir. Bir çeşit çok değerli küme kuramıdır. Fakat işlemleri, diğerk küme kuramlarınıninkilerden farklılıklar gösterir.

Zadeh' e göre gerçek dünyada bir kümenin (uzayın) elemanları arasındaki ilişkiler kesin olarak tanımlanamamaktadır. Bundan dolayı, sözü edilen kümede ortaya atılan

problemler kolaylıkla çözülememektedir. Klasik küme teorisinden kaynaklanan bu problem, klasik mantığın kabulü olan var - yok çiftinin ara değerlerini tanımlamakla yok edilebilir. Bulanık bir küme çalışma yapılan alana ait her bir bireye veya elamana matematiksel olarak kümedeki üyelik derecesini temsil eden bir değer atayarak tanımlanır. Bu değer o üyenin bulanık küme tarafından ifade edilen kavrama uygunluk derecesini ifade eder. Bundan dolayı bireylerin kümeye ait olması farklı farklıdır. Bu üyelik dereceleri 0 ile 1 arasındaki gerçel sayılarla temsil edilirler. Üyelik fonksiyonları birçok farklı şekillerde olabilir. Özel bir şeklin uygun olup olmayacağını tespit etmek çalışılan uygulama alanı tarafından elde edilen verilerle belirlenir. Bununla birlikte, pek çok uygulama bu tür şekil değişikliklerine karşı çok fazla duyarlılık göstermezler. Hesaplama açısından getirdiği kolaylıklar göz önüne alınarak istenilen şekilde üyelik fonksiyonunun seçilmesi, bulanık küme teorisinin esnekliğini yansıtmada öne çıkan bir durumdur. Pek çok uygulamada, üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları yeterli olmaktadır (Şen, 2004).

3.2.2. Bulanık üyelik fonksiyonları

Genel olarak, küme üyelerinin değerleri ile değişiklik gösteren böyle bir eğriye üyelik fonksiyonu adı verilir. Bunun en önemli özellikleri, alt küme sınırlarındaki değerlerin orta öğelerinkine göre daha düşük olmasıdır. En büyük önem derecesine sahip olan ortaya yakın öğelere 1 değeri atanırsa, diğerlerinin 0 ile 1 arasında ondalıklı ve sürekli değiştiği sonucuna varılır. İşte bu şekilde, 0 ile 1 arasındaki değişimin, her bir öğe için değerine, üyelik derecesi, bunun bir alt küme içindeki değişimine ise üyelik fonksiyonu adı verilir. Böylece, üyelik fonksiyonu şemsiyesi altında toplanan öğeler önem derecelerine göre birer üyelik derecelerine sahiptir (Şen, 2004).

Bulanık küme elemanları, “üyelik dereceleri” evrensel kümesine teorik fonksiyonlar ile yerleşirler. Örneğin A, bir bulanık kümeyi ifade etsin. Bahsedilen fonksiyonlar, A kümesinin elemanlarının $[0,1]$ aralığında değerler almalarını sağlar. Varsayalım ki x , A kümesinin bir elemanı ve $\mu_A(x)$, x elemanının A kümesine olan üyelik derecesi olsun. A bulanık kümesi aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\mu_A(x) \in [0,1]$$

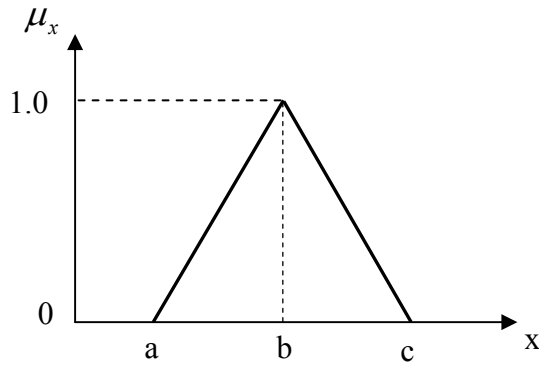
$$A = \{x, \mu_A(x) / x \in X\}$$

$$A = \sum \mu_A(x_i) / x_i = \mu_A(x_1) / x_1 + \mu_A(x_2) / x_2 + \dots + \mu_A(x_n) / x_n$$

3.2.2.1. Üçgen üyelik fonksiyonu

Bir bulanık küme üzerinde üçgensel tipte bir üyelik fonksiyonu (Şekil 3.6) tanımlamak demek üyelik fonksiyonunu oluşturan elemanlara aşağıdaki işlemlerin uygulanması anlamına gelir (Cox, 1999).

$$\tilde{\mu}(x; a, b, c) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x-a) / (b-a) & a \leq x \leq b \\ (c-x) / (c-b) & b \leq x \leq c \\ 0 & x > c \end{cases}$$

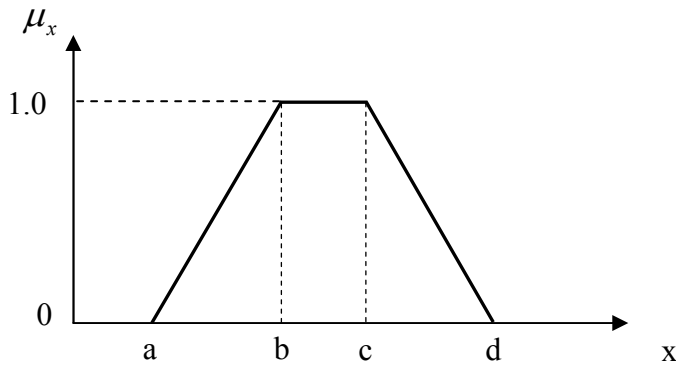


Şekil 3.6. Üçgen üyelik fonksiyonu (Cox, 1999).

3.2.2.2. Yamuk üyelik fonksiyonu

Bir bulanık küme üzerinde yamuk bir üyelik fonksiyonu (Şekil 3.7) tanımlamak demek üyelik fonksiyonunu oluşturan elemanlara aşağıdaki işlemlerin uygulanması anlamına gelir (Cox, 1999).

$$Y(x;a,b,c,d) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x-a) / (b-a) & a \leq x < b \\ 1 & b \leq x \leq c \\ (d-x) / (d-c) & c < x \leq d \\ 0 & x > d \end{cases}$$



Şekil 3.7. Yamuk üyelik fonksiyonu (Cox, 1999).

3.2.2.3. Bulanık üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi

Bulanık kümelerin gerek üyelik derecelerinin, gerekse bunların tümünü temsil edebilecek üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde, sezgi, mantık ve tecrübelerin kullanılmasına sıkça rastlanır. Pratikte de birçok sorunun üstesinden gelebilmek için bu yaklaşımlar çoğu zaman yeterlidir (Şen, 2004). Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde kullanılan başlıca yöntemlerden bazıları aşağıdadır ve bu konuyla ilgili literatür oldukça zengindir (Ross, 2004, Cox, 1995, McNeill, 1994).

- Sezgi (Intuition)
- Çıkarım (Inference)
- Derecelendirme (Rank Ordering)
- Yapay Sinir Ağları (Neural Networks)
- Genetik Algoritmalar (Genetic Algorithms)
- Çıkarımcı Muhakeme (Inductive Reasoning)

Sezgi fazlaca yöntem bilgisi gerektirmemektedir. Her kişinin kendi anlayışı, görüşü ve olaylara bakış tarzı bu yöntemde önemli rol oynar. Üyelik fonksiyonlarının kullanımlarında, fonksiyonların şekillerinin hassas olmasının çok da önemli olmadığı pek çok örnekte görülmüştür. Şeklin çok hassas olmasından ziyade önemli olan; dilsel tanım aralıklarının iyi tespit edilmesi, bulanık küme sayısı ve kümeler arası geçişlerin olmasıdır (Ross, 2004).

3.2.3. Bulanık kümelerde işlemler

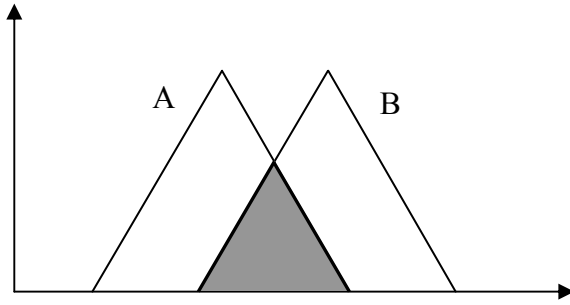
Klasik (kesin/tam) küme farklı nesnelerin toplamıdır. Bir küme üyeler ve üye olmayan şeklinde verilen iki gruba ait olay evreninin elemanlarını çatallaştırma-ikiye ayırma olarak tanımlanır. Sonuçta kesin bir küme karakteristik fonksiyon şeklinde tanımlanır. Bulanık bir küme ise grubundaki üye olmayanlardan üye olanları ayırarak kesin sınırı elimine etmekle geçiş/giriş yapar. Bulanık kümelerle işlemler klasik kümelerin genişletilmiş şekli olup normal kümeden bulanık kümeye geçiş işlemleridir. Kesin/tam kavramlarla aynı sembolleri kullanırlar (Kaynak, 1998). Bulanık altküme $\{0,1\}$ elde edilen üyelik derecesine sahipse bütün işlemler kesin/tam kavramların anlamına indirgenir.

3.2.3.1. Kesişim (Ve - And) işlemi

A ve B, X kesin kümenin bulanık altkümeleri ve A(t) ve B(t) de sırasıyla A ve B bulanık kümelerinin üyelik fonksiyonununun değeri olsun. A ve B'nin kesişimi

$$(A \cap B)(t) = \min\{A(t), B(t)\} = A(t) \wedge B(t), \text{ bütün } t \in X \text{ için}$$

Şekil 3.8'de A ve B gibi iki üçgensel normdaki bulanık sayının kesişimi $(A \cap B)(t)$ gösterilmektedir.



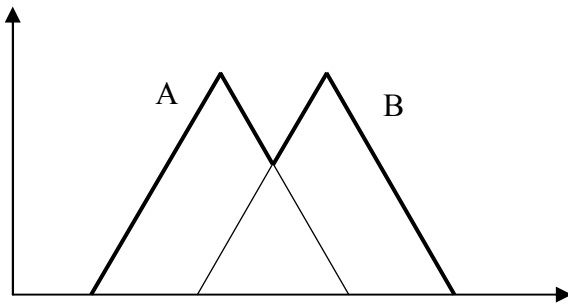
Şekil 3.8. İki üçgen bulanık sayının kesişimi

3.2.3.2. Birleşim (Veya - Or) işlemi

A ve B'nin birleşimi

$$(A \cup B)(t) = \max\{A(t), B(t)\} = A(t) \vee B(t), \text{ bütün } t \in X \text{ için}$$

A(t) ve B(t) de sırasıyla A ve B bulanık kümelerinin üyelik fonksiyonunun değeridir. Şekil 3.9 da A ve B gibi iki üçgensel normdaki bulanık sayının birleşimi $(A \cup B)(t)$ gösterilmektedir.



Şekil 3.9. İki üçgen bulanık sayının birleşimi

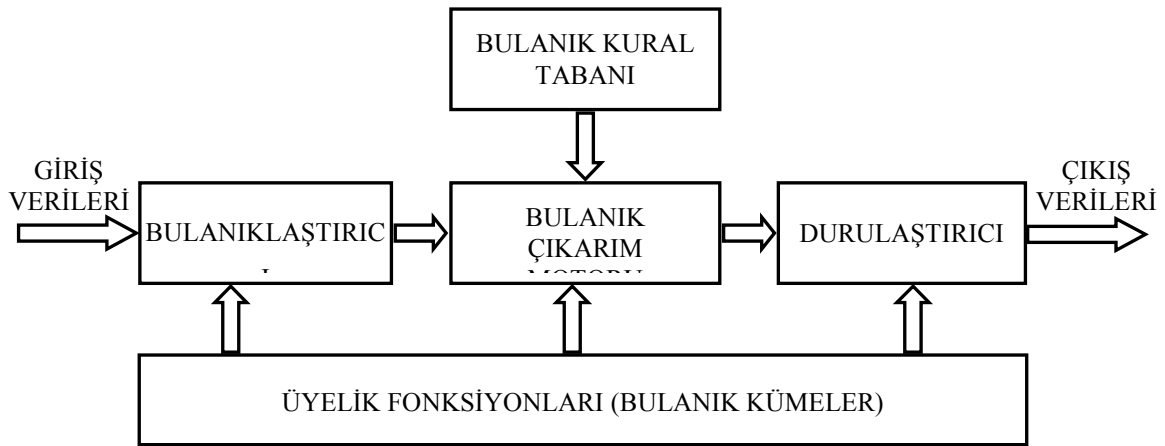
3.2.4. Bulanık sistem

İngilizce'de "fuzzy" kelimesine karşılık gelen Türkçe'deki "bulanık" kelimesinin genel olarak puslu, dumanlı, kesinlikle ayırt edilemeyen, kesin olmayan, belirsiz, kafa karıştıran, müphem gibi bir dizi anlamı vardır. Bulanıklığın anlamı, bir araştırmacının incelediği konunun kendisi tarafından tam kesinlikle bilinmemesi durumunda sahip olduğu eksik ve belirsiz bilgilerin tümüdür. Araştırmacının incelediği

olay veya mekanizma sadece kesin kurallı, çıkarımlarında kabul ve varsayımlar olan denklemler yerine, onların tamamlayıcısı olarak mevcut ilgili sözel ve oldukça belirsiz bilgiler de göz önünde tutularak modellenebilir. Bulanık ilkelerin yardımı ile olayların incelenmesinde veri ve bilgi bakımından bir bulanıklık söz konusu ise de, bulanık yöntemlerin işleyişi belirgindir. Araştırmacıların bulanık sistemleri kullanması için genel olarak iki sebep vardır. Bunlar (Şen, 2004):

1. Gerçek dünya olaylarının çok karmaşık olması dolayısı ile bu olayların belirgin denklemlerle tanımlanarak kesinlikle kontrol altına alınması mümkün olmaz. Bunun doğal sonucu olarak araştırmacı kesin olmasa bile yaklaşık fakat çözünebilirliği olan yöntemlere başvurmayı her zaman tercih eder. O halde, yapılan bütün çalışmalarda çözümler bir dereceye kadar yaklaşıktır. Aksi takdirde, çok sayıda doğrusal olmayan denklemin aynı zamanlı olarak çözülmesi gerekir ki, bunun günümüz bilgilerine göre belirgin olmayan kaotik (buhanlı) çözümlere yol açacağı bilinmektedir.
2. Mühendislikte bütün teori ve denklemler gerçek dünyayı yaklaşık bir şekilde ifade eder. Birçok gerçek sistem doğrusal olmamasına (nonlinear) rağmen bunların klasik yöntemlerle incelenmesinde doğrusallık kabulünü işin içine koymak için her türlü gayret sarf edilir.

Bulanık sistemlerin başlıca özellikleri arasında en önemli konu olarak çoklu girdileri, kural tabanı ve çıkarım motoru ile işleyerek tek çıktı haline dönüştürmesi gelir. (Şekil 3.10) Bazı özel durumlarda, çıktılar birden fazla olabilir. Ancak, hemen her mühendislik çalışmasında en az bir tane çıktı bulunur. Bulanık sistem doğrusal olmayan bir şekilde girdileri oluşturan değişkenleri, çıktı değişkenine dönüştürerek, sistemin davranışını tespit eder. Böylece bilgi tabanının doğrusal olmayan dönüşümlere maruz bırakılması ile istenen sonuçlara ulaşmak için incelenen sistemin kontrol altına alınması mümkün olmaktadır (Şen, 2004).



Şekil 3.10. Bulanık sistemin işleyişi ve bileşenleri (Şen, 2004).

3.2.4.1. Bulanık kural tabanı

Veri tabanındaki girişleri çıkış değişkenlerine bağlayan mantıksal EĞER-İSE türünde yazılabilen bütün kuralların tümünü içerir. Bu kuralların yazılmasında sadece girdi verileri ile çıktılar arasında olabilecek tüm aralık (bulanık küme) bağlantıları düşünülür. Böylece, herbir kural girdi uzayının bir parçasını çıktı uzayına mantıksal olarak bağlar. İşte bu bağlantıların tümü kural tabanını oluşturur.

$$\text{Eğer } GD_1 = G_{11} \text{ VE } GD_2 = G_{21} \text{ İSE } CD = C_1$$

$$\text{Eğer } GD_1 = G_{12} \text{ VEYA } GD_2 = G_{22} \text{ İSE } CD = C_2$$

3.2.4.2. Bulanıklaştırma birimi

Bulanıklaştırmanın iki anlamı vardır: (1) sayısal değerlerin bulanık hallerinin/kümelerinin bulunması, (2) sayısal veya bulanık bir girdinin, dilsel bir değişkenin dilsel değerinin üyelik derecesinin bulunması. Bulanıklaştırma ifadesi ile genellikle ikinci anlam kastedilmektedir (Siler, 2005).

3.2.4.3. Bulanık çıkarım motoru

Bulanık kural tabanında giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasında kurulmuş olan ilişkilerin hepsini bir araya toplayarak sistemin bir çıkışlı davranmasını temin eden işlemler topluluğunu içeren bir mekanizmadır. Bu motor, herbir kuralın çıkarımlarını bir araya toplayarak tüm sistemin girdiler altında nasıl bir çıktı vereceğinin belirlenmesine yarar.

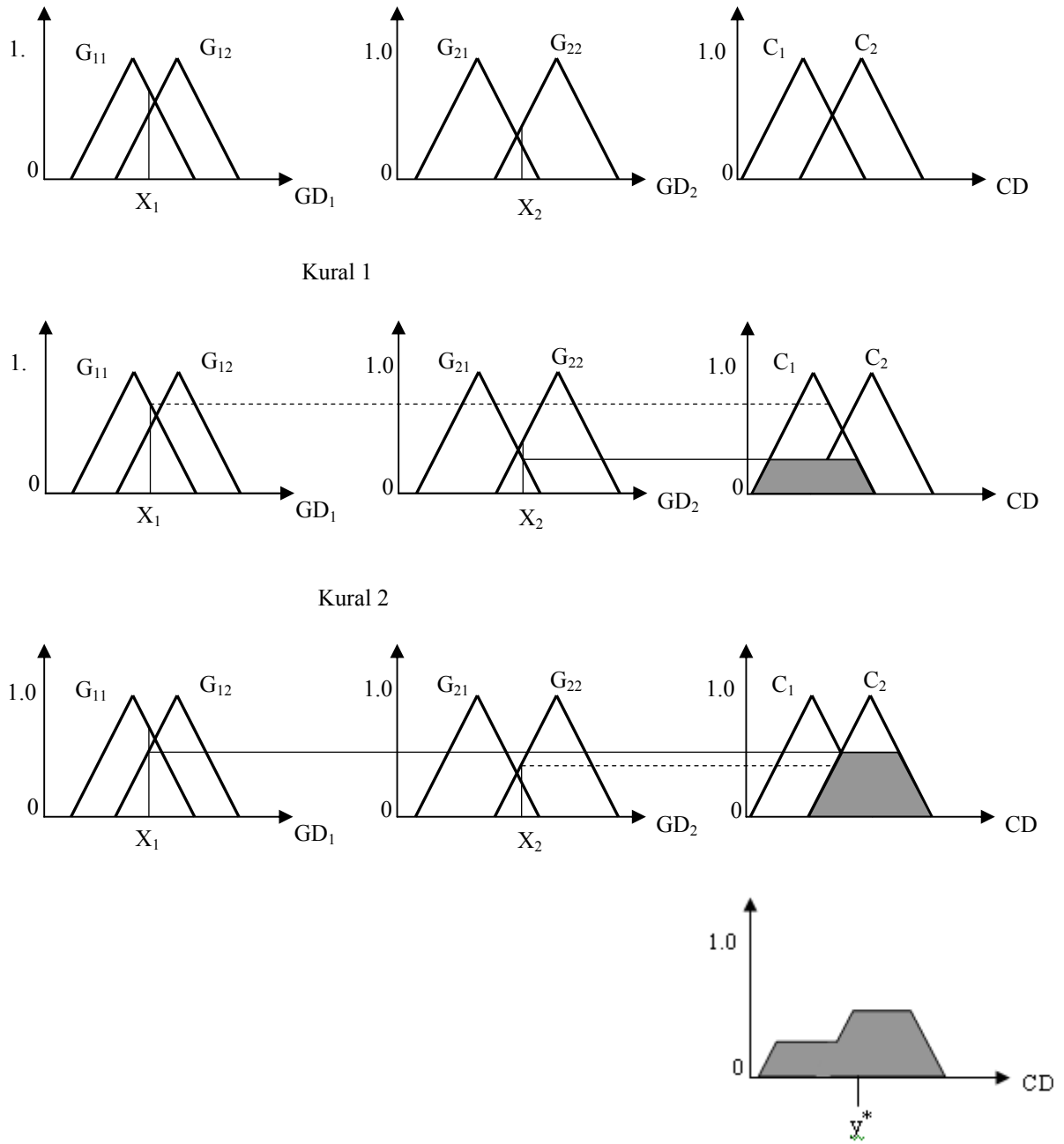
$$\text{Eğer } GD_1 = G_{11} \text{ VE } GD_2 = G_{21} \text{ İSE } CD = C_1$$

$$\text{Eğer } GD_1 = G_{12} \text{ VEYA } GD_2 = G_{22} \text{ İSE } CD = C_2$$

Yukarıdaki kurallar göre ve örnek olarak kullanılan üyelik fonksiyonları için bulanık çıkarım'ın işleyişi Şekil 3.11 'de gösterilmiştir (Ross, 2004).

3.2.4.4. Durulaştırma birimi

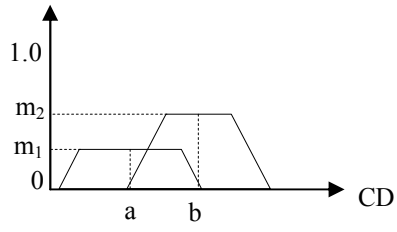
Durulaştırma prosesinin girdisi; kural setine göre bütünleştirilen bulanık çıktı kümeleri, çıktısı da tek bir sayısal değerdir. Ağırlık Merkezi, Maksimum Üyelik Derecesi, Maksimumun Ortası, Ağırlıklı Ortalama, vd. gibi farklı yöntemleri mevcuttur.



Şekil 3.11. Bulanık çıkarım (Ross, 2004).

Ağırlıklı ortalama yöntemi (weighted average):

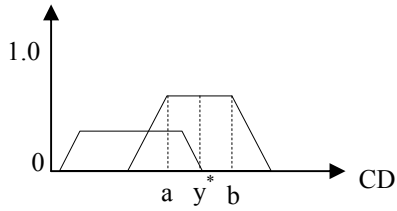
Hesaplama etkinliği ve kolaylığı nedeniyle en fazla tercih edilen durulaştırma yöntemlerinden biridir. Genellikle, çıktı üyelik fonksiyonunun simetrik olduğu durumlarda kullanılır (Ross, 2004).



Şekil 3.12. Ağırlıklı ortalama yöntemi (Ross, 2004).

$$y^* = \frac{m_1 a + m_2 b}{m_1 + m_2}$$

Maksimumun ortası (mean of maximum) yöntemi:



Şekil 3.13. Maksimumun ortası yöntemi (Ross, 2004).

$$y^* = \frac{a + b}{2}$$

BÖLÜM 4. GELİŞTİRİLEN KORUYUCU BAKIM ÇİZELGELEME SİSTEMİ

4.1. Giriş

Üretimin programlara uygun biçimde sürdürülmesi, üç temel üretim unsurundan birini oluşturan ekipman ve tesislerin aksamadan çalışmasına bağlıdır. Ekipmanların belirli zamanlardaki koruyucu bakımlarının gerçekleştirilmesi üretim akışını mümkün olduğu kadar aksatmadan yapılmalıdır. Aksama olmaması için de belirlenmiş bakım planı çerçevesinde, ortaya çıkan bakım çizelgesine uygun bir çalışma takvimine göre hareket etmek büyük önem arz etmektedir.

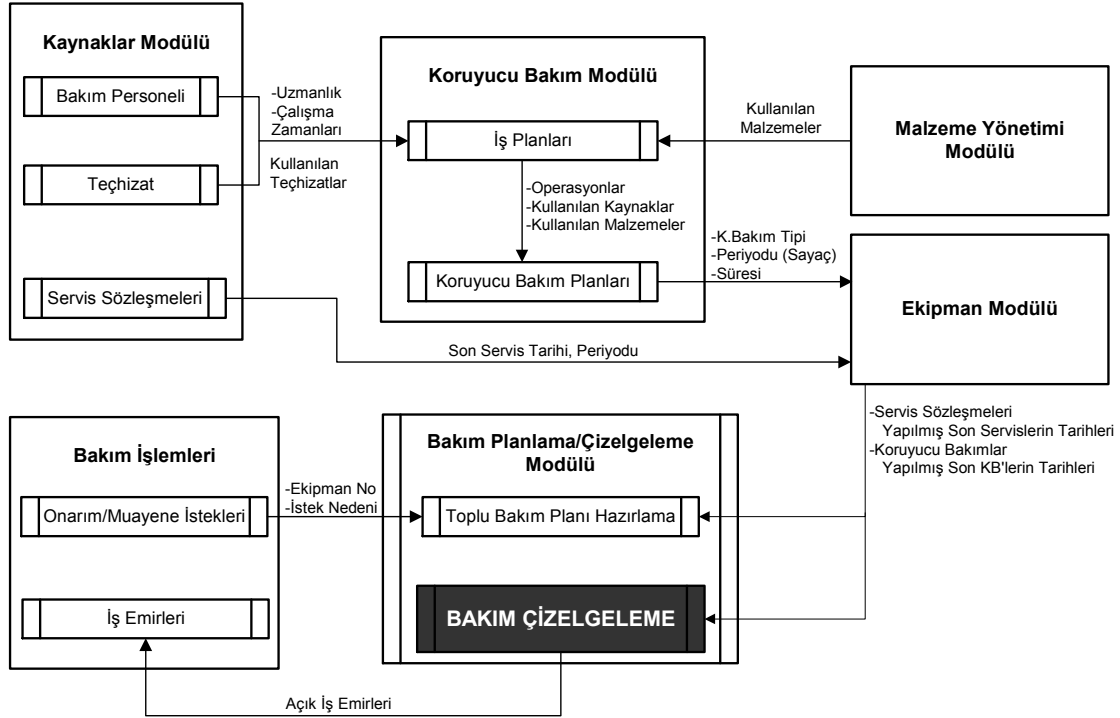
4.2. Problemin Tanımlanması

Bakımın işletmecilikte veya servis sağlamada maliyetin önemli bir kısmını teşkil ettiği yaygın olarak kabul edilmektedir. Otomasyon şekilleri arttıkça bakım işlemleri nedeniyle oluşan maliyetlerin oranı da artacaktır. Bu sebeple bakım denilen kaynağı doğru ve etkili bir şekilde kullanmak önemli kazançlar sağlayacaktır.

Planlama ve çizelgeleme, bu kaynağı kullanmayı optimize etme yöntemlerinden biridir. Planlama ve çizelgelemeyi hızlı ve etkin bir şekilde gerçekleştirmek içinse, Bilgisayarlı Bakım Yönetim Sistemlerinden faydalanılır. “Bakım Çizelgeleme” nin, Bilgisayarlı bakım yönetim sistemleri içerisindeki yeri ve diğer modüllerle etkileşimi Şekil 4.1’ de gösterilmiştir.

Koruyucu bakımlar; planlanmış bakım faaliyetleridir ve tezgah ve ekipmanları gerekli çalışma şartlarında tutmak için yapılırlar. Koruyucu bakım standartları oluşturulurken ekipmanların teknik kullanım kılavuzlarından ve geçmiş verilerinden

faaydalanılır. Periyodik muayeneler, kritik parça değişimleri, kalibrasyon ve yağlama vs. gibi işlemler koruyucu bakım kapsamındadır.



Şekil 4.1. Bilgisayarlı bakım yönetim sistemleri modülleri ve bakım çizelgeleme

Ayrıntılı bir koruyucu bakım planı; tanımlı bakımların hangi ekipmanlara yapılacağını, bu işlemleri gerçekleştirmek için hangi kaynakların kullanılacağını, ne sıklıkta yapılacağını ve önem bilgilerini içerir. Bu bilgilerden elde edilen, örnek bir bakım çizelgesi Şekil 4.2'deki gibi olabilir.

Bu çizelgenin aksamadan yürütülmesi için, kısıtlı bakım kaynaklarını en ideal şekilde kullanma zorunluluğu vardır. Bakım personeli genellikle, yüksek becerili ve nitelikli çalışanlardan oluşmaktadır. Bu nedenle, fazla sayıda bakım personeli çalıştırmak yüksek bir maliyet ortaya çıkarmaktadır. Diğer yandan, bakımları zamanından erken yapmak gereksiz maliyetlere katlanmaya, geç yapmak ise arızaların meydana gelmesine, dolayısıyla yine önemli maliyet etkenleri oluşmasına sebebiyet vermektedir. Bakımları, çizelgede belirlenmiş zamanlarından en az sapma ile gerçekleştirmek ve bunu yaparken kaynaklarımızı optimum miktarda kullanmamız gerekmektedir.

Ekipmanlar	Periyot													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Ekipman1			KB1					KB1		KB5			KB1	
Ekipman2	KB4			KB4			KB4		KB7	KB4			KB4	KB2
Ekipman3		KB6			KB7							KB3		
Ekipman4				KB2		KB1		KB2				KB2		
Ekipman5	KB5				KB5			KB6	KB5					KB5
Ekipman6		KB1		KB3								KB1		
Ekipman7			KB8		KB5		KB8			KB5	KB8			
Ekipman8		KB2		KB2		KB2		KB2		KB2		KB2		KB2
:														

Şekil 4.2. Örnek bir bakım çizelgesi

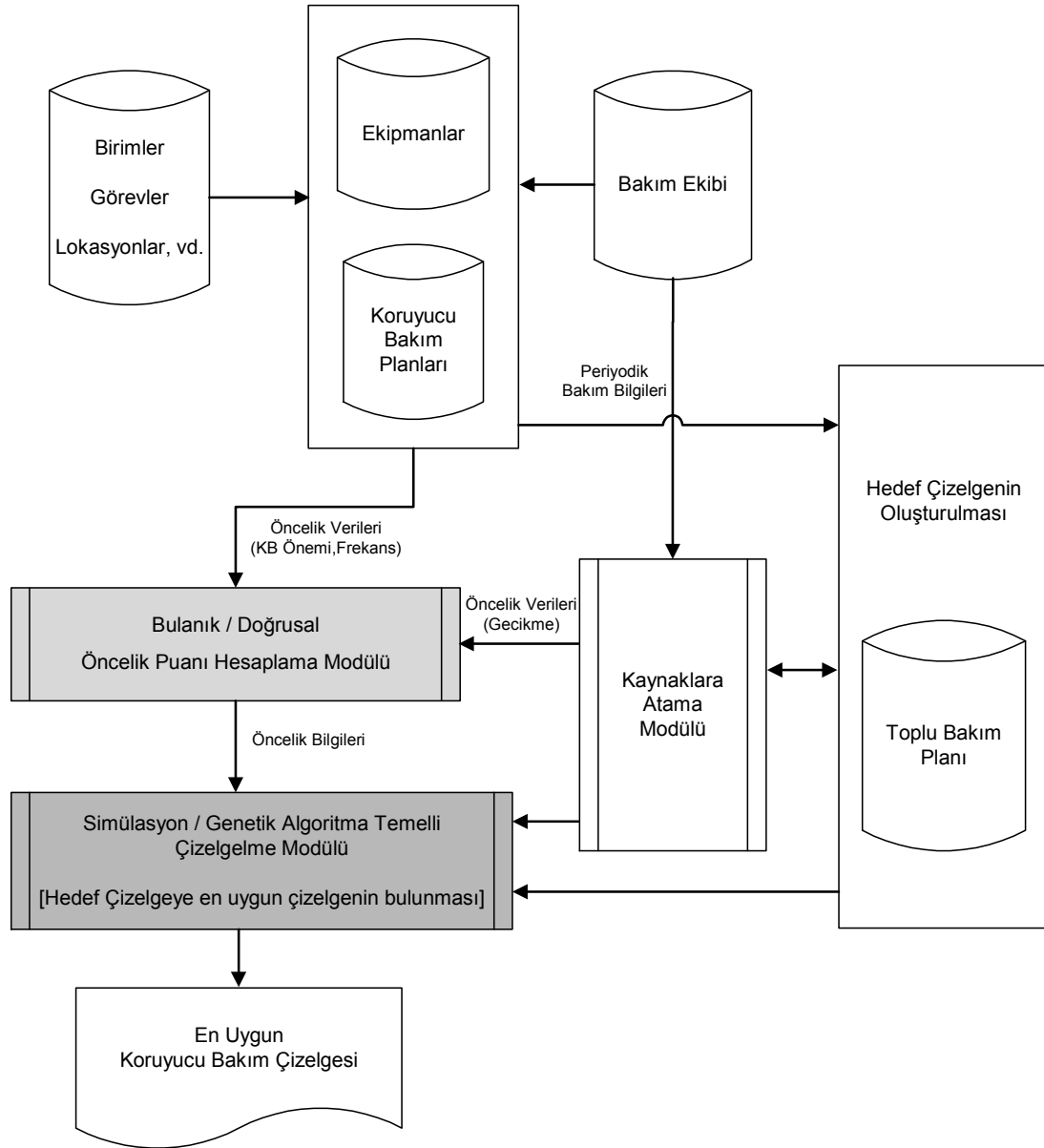
Tezde, kısıtlı bakım kaynaklarının çizelgelenmesini, tanımlı bakım zamanlarından olabilecek en az sapmalar ile gerçekleştirecek algoritmalar (simülasyon temelli ve genetik algoritma temelli) geliştirilmiş ve küçük, orta, büyük ölçekteki problemler için farklı senaryolar çalışılmıştır.

4.3. Kullanılan Çözüm Teknikleri

Koruyucu Bakım Planlarının, etkin bir şekilde takibinin ve planlanmasının mevcut kaynaklardan en verimli şekilde faydalanılarak gerçekleştirilebilmesi için güçlü araçlara ihtiyaç vardır. Kullanılacak bu araçları güçlü yapan ise; veri kaydetme, mevcut kayıtları kullanıcıya sunma, raporlama vs. gibi standart işlevlerinin yanı sıra, kullanıcının sezgisel olarak ve/veya tamamen rassal olarak yaptığı işleri sistematik bir şekilde yapabilme özelliklerine sahip olabilmesidir. Geliştirilen modelimizin; standart bir Bilgisayarlı Bakım Yönetim Sistemine entegre, “zeki çizelgeleme” yapabilecek ve pratiğe uygulanabilecek bir yapısının olması amaçlanmaktadır. Belirtilen amaçları sağlayacak modelimizin, genel yapısı ve modüller arası ilişkiler aşağıda anlatılmıştır (Şekil 4.3).

Geliştirilen modelde çok fazla veri yükü olması nedeniyle güçlü bir veritabanı yönetim sistemi gerekliliği görülmüş olup MS Sql Server 2005 tercih edilmiştir. Modelin programlanması içinse; düz veri kayıtlarının gerçekleştirildiği modüllerde

MS Visual Basic 6.0, çizelgeleme algoritmalarında ise Microsoft Visual C# 2005 kullanılmıştır.



Şekil 4.3. Koruyucu bakımların çizelgenmesi modeli genel yapısı

Model; Ekipman, Personel ve bakım planları vs. gibi bölümlerdeki bilgilerin girilmesi ve birbirleri arasındaki ilişkilerin tanımlanması esası üzerine kurulmuştur. Uygulamanın temelini oluşturan, işletmedeki ekipmanların (tezgah, makine) tanımlandığı bir modülün olması gerekmektedir. Departmanlar, Görevler, Birimler,

Uzmanlık alanları, gibi tanımlama modüllerinin yanında, Bakım Personeli modülünün de bulunması gerekliliği açıktır. Bu modüllerden faydalanılarak, koruyucu bakım planları oluşturulur. Dolayısıyla bir diğer modülümüz de Koruyucu Bakım Planları modülüdür.

Geliştirilen algoritmalarının çalıştırılabilmesi için, öncelikle çizelgelemek istediğimiz zaman aralığında yapılacak koruyucu bakımlar ve bu bakımların gerçekleştirilmeleri gereken zaman bilgilerinin elde edilmesi gerekliliği söz konusudur. Bu amaçla ilk olarak hedef bir çizelge oluşturulması uygun bir yaklaşım olacaktır.

4.3.1. Hedef koruyucu bakım çizelgesinin oluşturulması

Koruyucu Bakım Modülünden tanımlaması yapılmış olan tüm Koruyucu Bakımlar, istenilen zaman periyodu için yapılması gerekli olan günlere kapasite kısıtı yokmuşçasına yerleştirilirler. Algoritmamızdaki amaç, bu çizelgeye en yakın çizelgeyi bulmak olacaktır.

Hedef koruyucu bakım çizelgesi oluşturma ekranından (Şekil 4.4); çizelgelenecek tarih aralığı girilerek; seçilen ekipmanlar için, ilgili aralıktaki yapılma zamanları görülmek istenen koruyucu bakımlar işaretlenir ve Şekil 4.5'deki gibi bir hedef koruyucu bakım çizelgesi oluşturulabilir.

Oluşturulan hedef koruyucu bakım çizelgesi “Senaryo Kodu” ve “Senaryo Adı” bilgileri ile kayıt edilerek (Şekil 4.6), kayıtlı bu senaryolar üzerinde farklı çizelgeleme algoritmaları ve bu algoritmaların değişik parametreleri denenebilir.

Hedef Korumucu Bakım Çizelgesi Oluşturma Ekranı

Çizelgeleme Aralığı

Başlangıç Tarihi: 02.03.2008 Çizelgeleme Süresi(Gün): 30 Bitiş Tarihi: 31.03.2008

Ekipman(lar)

Tümünü Seç Tümünü Temizle

...	Ekipman Kodu	Ekipman Tanımı
<input checked="" type="checkbox"/>	E01	EKIPMAN_01
<input checked="" type="checkbox"/>	E02	EKIPMAN_02
<input checked="" type="checkbox"/>	E03	EKIPMAN_03
<input checked="" type="checkbox"/>	E04	EKIPMAN_04
<input checked="" type="checkbox"/>	E05	EKIPMAN_05
<input checked="" type="checkbox"/>	E06	EKIPMAN_06
<input checked="" type="checkbox"/>	E07	EKIPMAN_07
<input checked="" type="checkbox"/>	E08	EKIPMAN_08
<input checked="" type="checkbox"/>	E09	EKIPMAN_09
<input checked="" type="checkbox"/>	E10	EKIPMAN_10
<input checked="" type="checkbox"/>	E11	EKIPMAN_11
<input checked="" type="checkbox"/>	E12	EKIPMAN_12

Korumucu Bakım(lar)

Tümünü Seç Tümünü Temizle

...	Bakım Kodu	Bakım Adı	Acıklama
<input checked="" type="checkbox"/>	01	Aylık	Aylık Periyodik Bakımlar
<input checked="" type="checkbox"/>	02	iki Aylık	iki Aylık Periyodik Bakımlar
<input checked="" type="checkbox"/>	03	Üç Aylık	Üç Aylık Periyodik Bakımlar
<input checked="" type="checkbox"/>	04	Yağlama	Genel Yağlama Bakımları
<input checked="" type="checkbox"/>	05	Haftalık	Haftalık Periyodik Bakımlar
<input checked="" type="checkbox"/>	06	Conta	Conta Bakımları
<input checked="" type="checkbox"/>	07	Mekanik	Mekanik Kontrol Bakımları
<input checked="" type="checkbox"/>	08	Kalibrasyon	Kalibrasyon Bakımları
<input checked="" type="checkbox"/>	09	Elektrik	Elektrik Devre Kontrol Bakımları
<input checked="" type="checkbox"/>	10	Hidrolik	Hidrolik Cihaz Kontrolü Bakımları

Hedef Çizelgeyi Oluştur Kapat

Şekil 4.4. Hedef koruyucu bakım çizelgesi oluşturma ekranı

Hedef Çizelge

Ekipman Kodu	Ekipman Adı	Frekans	Son Bakım Tarihi	03.03.	04.03.	05.03.	06.03.	07.03.	08.03.	09.03.	10.03.	11.03.	12.03.	13.03.	14.03.	15.03.	16.03.	17.03.
E01	EKIPMAN_01																	
	05-HAFTALIK	7	23.02.2008						05(1)							05(2)		
	06-CONTA BA.	4	26.02.2008			06(1)				06(2)				06(3)				06(4)
	07-MEKANİK	3	24.02.2008		07(1)			07(2)			07(3)			07(4)				07(5)
	08-KALBRAS...	3	22.02.2008			08(1)			08(2)			08(3)			08(4)			08(5)
	09-ELEKTRİK	5	26.02.2008					09(1)				09(2)						09(3)
E02	EKIPMAN_02																	
	05-HAFTALIK	7	24.02.2008							05(1)								05(2)
	06-CONTA BA.	4	25.02.2008			06(1)			06(2)				06(3)					06(4)
	07-MEKANİK	3	26.02.2008		07(1)			07(2)			07(3)			07(4)				07(5)
	08-KALBRAS...	3	24.02.2008		08(1)			08(2)			08(3)			08(4)				08(5)
	09-ELEKTRİK	5	25.02.2008					09(1)				09(2)						09(3)
E03	EKIPMAN_03																	
	05-HAFTALIK	7	25.02.2008	05(1)							05(2)							05(3)
	06-CONTA BA.	4	24.02.2008	06(1)				06(2)			06(3)				06(4)			06(5)
	07-MEKANİK	3	24.02.2008		07(1)			07(2)			07(3)			07(4)				07(5)
	08-KALBRAS...	3	23.02.2008	08(1)			08(2)			08(3)			08(4)					08(5)
	09-ELEKTRİK	5	24.02.2008			09(1)					09(2)							09(3)
E04	EKIPMAN_04																	
	05-HAFTALIK	7	26.02.2008			05(1)						05(2)						05(3)
	06-CONTA BA.	4	25.02.2008			06(1)			06(2)				06(3)					06(4)
	07-MEKANİK	3	26.02.2008		07(1)			07(2)			07(3)			07(4)				07(5)
E05	EKIPMAN_05																	
	05-HAFTALIK	7	23.02.2008						05(1)									05(2)
	06-CONTA BA.	4	26.02.2008			06(1)				06(2)			06(3)					06(4)
	07-MEKANİK	3	26.02.2008		07(1)			07(2)			07(3)			07(4)				07(5)

Faahet Kapat

Şekil 4.5. Örnek bir hedef koruyucu bakım çizelgesi



Şekil 4.6. Senaryo kayıt ekranı

Koruyucu Bakımların; doğru, verimli ve bakım amaçlarını en iyileyecek çizelgelerinin oluşturulması için Koruyucu Bakımların öncelik kavramının doğru tanımlanması ve kullanılması çok büyük öneme sahiptir. Burada istenen, herhangi bir periyotta; koruyucu bakım işleri kümesinin, kısıtlı olan bakım kaynakları kapasitesini aşması halinde, bu küme içindeki işlerden hangilerinin geciktirilebileceğinin veya öne alınabileceğinin gerçekçi seçim kriterleri ile açık olarak belirlenmesidir. Modelimizde, öncelik belirlenmesinde üç değişkenin etkisi vardır (Ulusoy vd., 1992):

1. Koruyucu Bakım Önemi
 2. Bakım Sıklığı (frekans)
 3. Gecikme Miktarı
1. Önem derecesi öznel bir ölçüttür ve bir koruyucu bakım işinin tüm üretim sisteminin performansı içindeki görelî önemini yansıtmaktadır. Üretim hattı üzerinde farklı noktalarda bulunan iki özdeş ekipmana uygulanan aynı koruyucu bakım işinin önem dereceleri, bu ekipmanların duruşunun tüm üretim sisteminin verimliliğine olan etkisi farklı olabileceğinden, değişik değerler alabilirler.
 2. Bir koruyucu bakım işinin sıklığının artması (belirli bir periyotta daha fazla bakım) ile bu bakım işinin geciktirilmeden yapılmasının önemi artmış olmaktadır. Bakım sıklığı yüksek işlerde; arıza olasılığının belirli bir değere ulaşması, bakım sıklığı düşük işlere göre daha küçük gecikmelerde vuku bulacaktır. Dolayısıyla kaynak tahsisinde daha sık yapılan bakımlara öncelik verilmelidir.

3. Koruyucu bakımların sabit aralıklarla yapılması gerektiği bilinir fakat bazen sapmalar olabilir. Örneğin bir ekipmana her 15 günde bir belirli bir koruyucu bakım yapılması gerekebilir. Bununla birlikte, bu işlem tam olarak 15 gün ara ile yapılamayabilir. Bunun 12 ile 18 gün arasındaki bir çalışmadan sonra yapılabileceği kabul edilebilir. Bu kabule göre 12. günden hemen sonra bu bakımın gerçekleştirilmesi, gereğinden önce bakım yapıldığı için; 18. gün civarında veya sonrasında bu bakımın gerçekleştirilmesi durumunda ise arızalanma ihtimali yükseldiği için, her iki sapma da istenmeyen bir durumdur.

Bakım Yönetim Sistemlerinin verimli bir şekilde yürütülebilmesi, “Bakım Çizelgeleme” modülünün iyi bir performans göstermesiyle yakından ilgilidir. Çizelgeleme modülünün etkinliğinin ve verimliliğinin artırılması, dolayısıyla sistem performansının üst seviyelere çıkarılması amacıyla tezde; simülasyon tabanlı ve genetik temelli olmak üzere iki farklı yaklaşım bakım çizelgeleme problemine uygulanmıştır.

4.3.2. Öncelik puanlarının hesaplanması

Yukarıda bahsedilen her iki yaklaşımda da bakım önceliklerinin belirlenmesinde; “Doğrusal öncelik puanı” ve “Bulanık öncelik puanı”, tercih edilmeleri durumları da ayrı ayrı incelenmiş ve sonuçları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Doğrusal öncelik puanı ve bulanık öncelik puanları aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

4.3.2.1. Doğrusal öncelik puanı hesaplama yöntemi

Doğrusal öncelik puanı hesaplama formülü ve notasyonlar aşağıdaki gibidir:

$$KB\ddot{O}ncelikPuan = [KB\ddot{O}nem + (KB\ddot{O}nem \times (|Gecikme| / Frekans))]$$

KB \ddot{O} ncelikPuan : Koruyucu Bakımın (/Gen'in) Öncelik Puanı

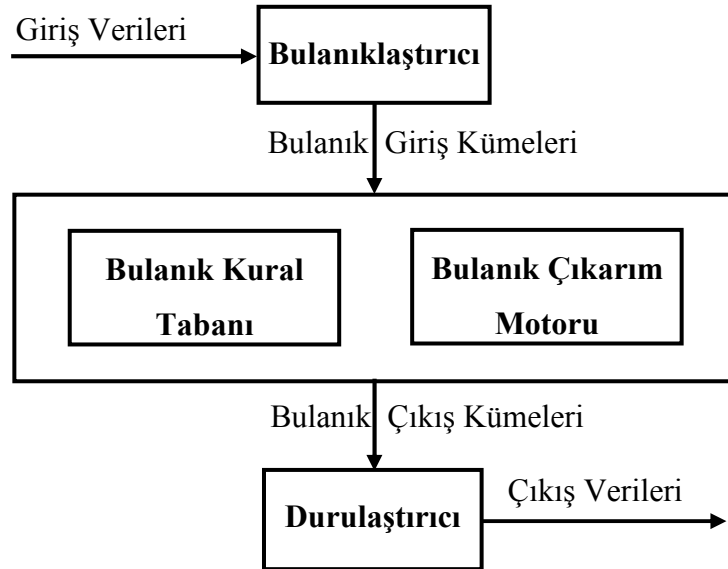
KB \ddot{O} nem : Koruyucu Bakımın Önemi

Frekans : Koruyucu Bakımın Frekansı

Gecikme : Koruyucu Bakımın Gecikme Miktarlarının Mutlak Değeri

4.3.2.2. Bulanık öncelik puanı hesaplama yöntemi

Bu kısımda, bulanık önceliklendirme işleminin modelimizde nasıl kullanılacağı açıklanacaktır. Bulanık bir sistemin çalışma prensibi şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Genel bulanık sistem

Koruyucu bakımların bulanık öncelik puanlarının belirlenmesinde kullanılacak, yukarıda bahsi geçen üç girdi değişkeninin (Koruyucu Bakımın Önemi, Frekans, Gecikme Miktarı) tanımlanması gerekmektedir. Bulanık terim setleri (Dilsel Tanım Aralıkları) karar vericiler tarafından analiz edilerek tanımlanmalıdır.

Bulanık değişkenlerin, tanımlarının yapılması ve dilsel tanım aralıklarının sisteme girilmesi aşağıdaki arayüzler ile sağlanmaktadır.

1. Koruyucu bakım önemi

Dilsel Tanım Aralıkları

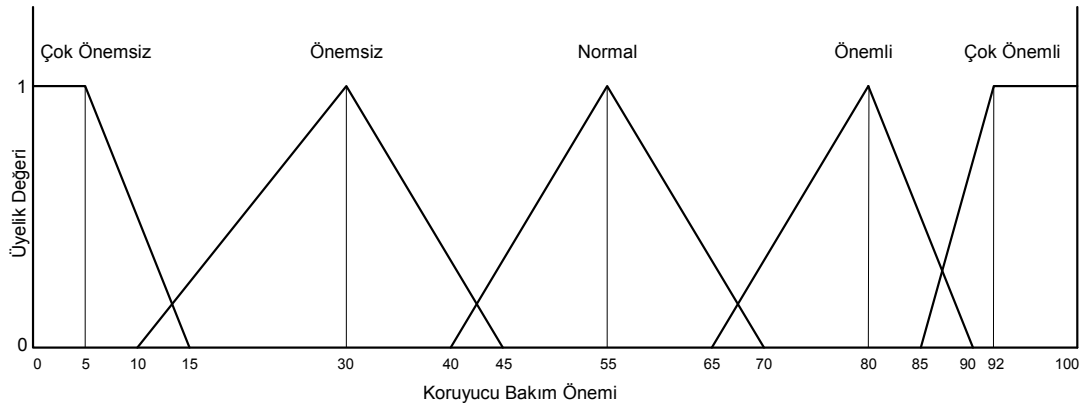
Kayıdet Sil Kapat

Bulanık Değişken: Tanımlayan:

Türü:

Dilsel Tanım Aralığı	Alt Sınır	Üst Sınır	Maksimum Üyelik Dereceli Değer	
			Başlangıç	Bitiş
Çok Önemsiz	0	15	0	5
Önemsiz	10	45	30	30
Normal	40	70	55	55
Önemli	65	90	80	80
Çok Önemli	85	100	92	100

Şekil 4.8. Koruyucu bakım önemi dilsel tanım aralıkları girişi arayüzü



Şekil 4.9. Koruyucu bakım önemi değişkeninin üyelik fonksiyonu grafiği

2. Koruyucu bakım frekansı

Dilsel Tanım Aralıkları

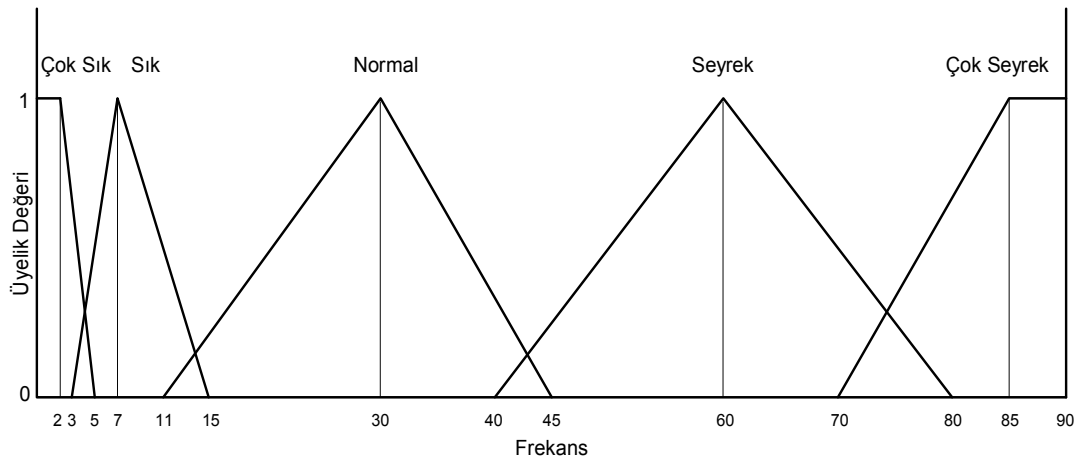
Kaydet Sil Kapat

Bulanık Değişken: Tanımlayan:

Türü:

Dilsel Tanım Aralığı	Alt Sınır	Üst Sınır	Maksimum Üyelik Dereceli Değer	
			Başlangıç	Bitiş
Çok Sık	0	5	0	2
Sık	3	15	7	7
Normal	11	45	30	30
Seyrek	40	80	60	60
Çok Seyrek	70	90	85	90

Şekil 4.10. Koruyucu bakım frekansı dilsel tanım aralıkları girişi arayüzü



Şekil 4.11. Koruyucu bakım frekansı değişkeninin üyelik fonksiyonu grafiği

3. Gecikme (Gün)

Dilsel Tanım Aralıkları

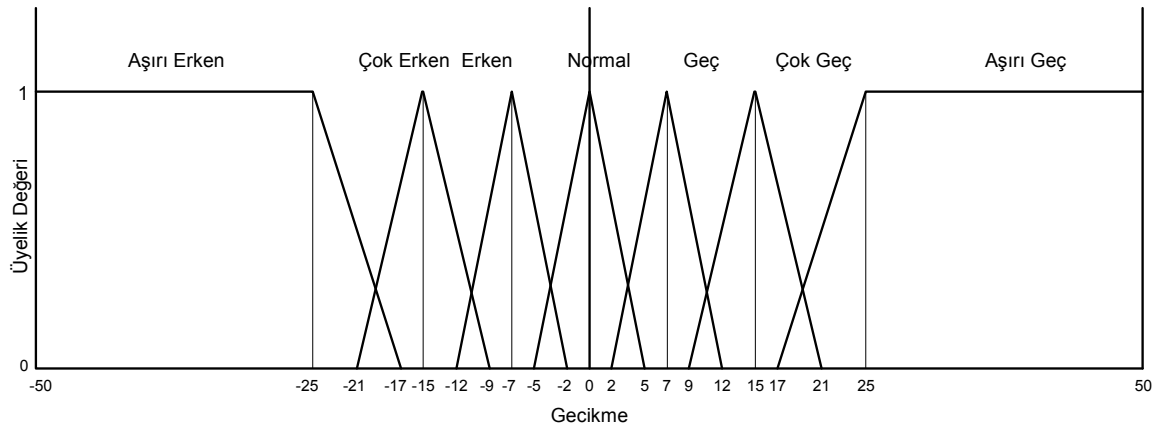
Kaydet Sil Kapat

Bulanık Değişken: Tanımlayan:

Türü:

Dilsel Tanım Aralığı	Alt Sınır	Üst Sınır	Maksimum Üyelik Dereceli Değer	
			Başlangıç	Bitiş
Aşırı Erken	-50	-17	-50	-25
Çok Erken	-21	-9	-15	-15
Erken	-12	-2	-7	-7
Normal	-5	5	0	0
Geç	2	12	7	7
Çok Geç	9	21	15	15
Aşırı Geç	17	50	25	50

Şekil 4.12. Koruyucu bakım gecikmesi dilsel tanım aralıkları girişi arayüzü



Şekil 4.13. Koruyucu bakım gecikmesi değişkeninin üyelik fonksiyonu grafiği

Bu üç adet girdi değişkeni neticesinde bir adet çıktı değişkeni belirlenecektir. Bu çıktı değişkeni “Koruyucu Bakım Öncelik Puanı” dır.

Dilsel Tanım Aralıkları

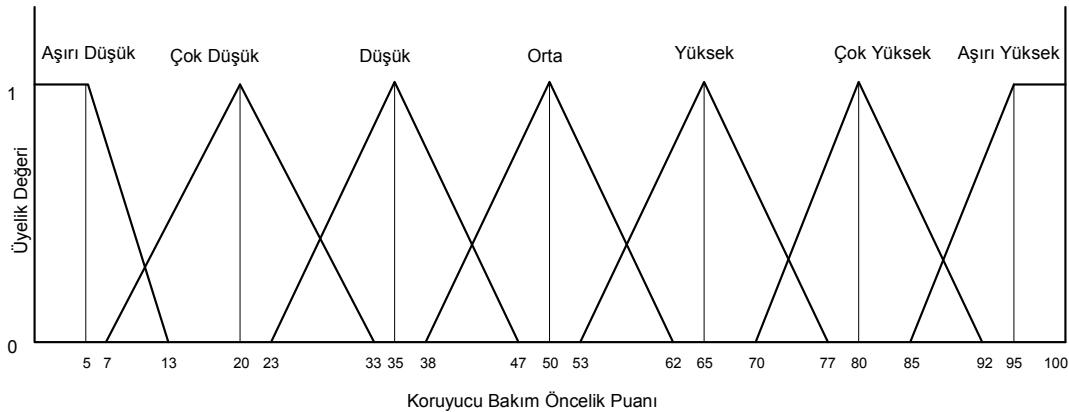
Kayıdet Sil Kapat

Bulanık Değişken: Tanımlayan:

Türü:

Dilsel Tanım Aralığı	Alt Sınır	Üst Sınır	Maksimum Üyelik Dereceli Değer	
			Başlangıç	Bitiş
Aşırı Düşük	0	13	0	5
Çok Düşük	7	33	20	20
Düşük	23	47	35	35
Orta	38	62	50	50
Yüksek	53	77	65	65
Çok Yüksek	70	92	80	80
Aşırı Yüksek	85	100	95	100

Şekil 4.14. Koruyucu bakım öncelik puanı dilsel tanım aralıkları girişi arayüzü



Şekil 4.15. Koruyucu bakım öncelik puanı çıktı değişkeninin üyelik fonksiyonu grafiği

Bulanık kural setlerinin oluşturulması:

Kuralların tanımlanması aşağıda gösterilen formattadır:

Kural: {Kriter} {İşlem} {Terim} {Bağlayıcı} {Kriter} {İşlem} {terim}...

Bulanık öncelik puanı hesabında kullanılacak kurallardan bazıları şunlardır:

Eğer KB_Önem “Çok Önemli” ve Frekans “Sık” ve Gecikme “Çok Geç” ise Öncelik_Puanı “Çok Yüksek”

Eğer KB_Önem “Önemsiz” ve Frekans “Seyrek” ve Gecikme “Geç” ise Öncelik_Puanı “Orta”

Eğer KB_Önem “Çok Önemsiz” ve Frekans “Çok Seyrek” ve Gecikme “Normal” ise Öncelik_Puanı “Çok Düşük”

SNO	Kor.Bakim Önemi	Baglac1	Kor.Bakim Frekansı	Baglac2	Gecikme	ise	Sonuc
1	Çok Önemsiz	Ve	Çok Sık	Ve	Aşırı Erken	İSE	Yüksek
2	Çok Önemsiz	Ve	Çok Sık	Ve	Çok Erken	İSE	Orta
3	Çok Önemsiz	Ve	Çok Sık	Ve	Erken	İSE	Orta
4	Çok Önemsiz	Ve	Çok Sık	Ve	Normal	İSE	Düşük
5	Çok Önemsiz	Ve	Çok Sık	Ve	Geç	İSE	Orta
6	Çok Önemsiz	Ve	Çok Sık	Ve	Çok Geç	İSE	Orta
7	Çok Önemsiz	Ve	Çok Sık	Ve	Aşırı Geç	İSE	Yüksek
8	Çok Önemsiz	Ve	Sık	Ve	Aşırı Erken	İSE	Orta
9	Çok Önemsiz	Ve	Sık	Ve	Çok Erken	İSE	Orta
10	Çok Önemsiz	Ve	Sık	Ve	Erken	İSE	Düşük

EĞER

Kor. Bakım Önemi: Çok Önemsiz, Önemsiz, Normal, Önemli, Çok Önemli

Kor. Bakım Frekansı: Çok Sık, Sık, Normal, Seyrek, Çok Seyrek

Gecikme: Aşırı Erken, Çok Erken, Erken, Normal, Geç, Çok Geç, Aşırı Geç

SONUÇ

Kor. Bakım Önceliği: Aşırı Düşük, Çok Düşük, Düşük, Orta, Yüksek, Çok Yüksek, Aşırı Yüksek

BAĞLAÇ

VE VEYA

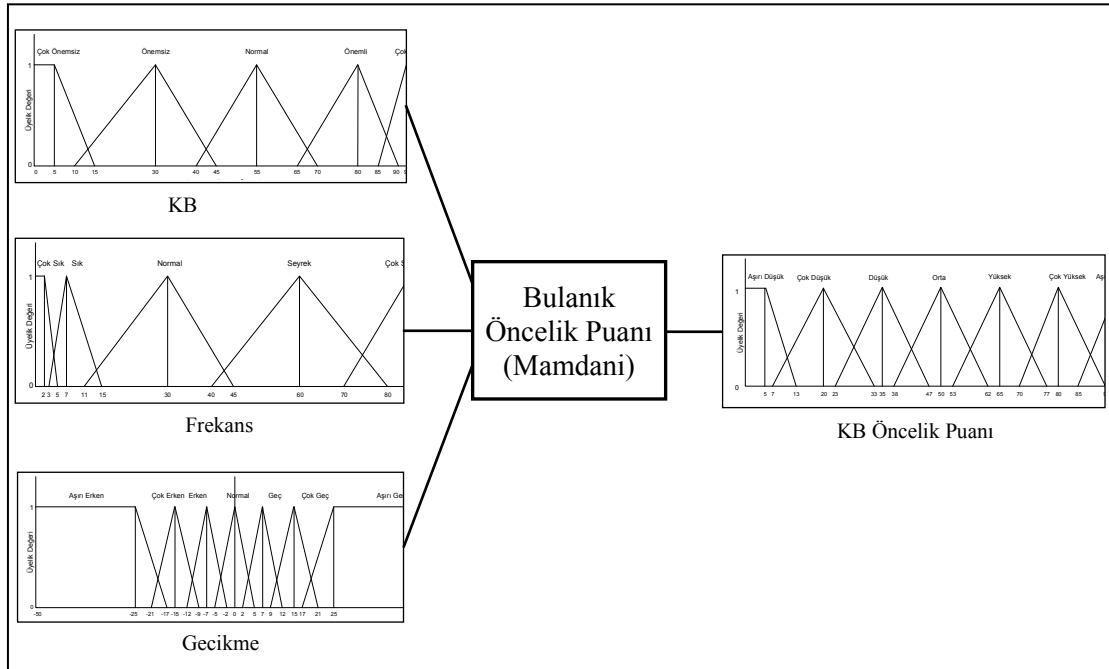
Kural Sil Kural Oluştur

Şekil 4.16. Bulanık kural oluşturma ekranı

“Bulanık öncelik puanı belirleme” nin şematik gösterimi Şekil 4.17’deki gibidir.

Durulaştırma:

Koruyucu Bakımların bulanık öncelik puanlarının hesaplanmasında durulaştırıcı (defuzzifier) olarak “Ağırlıklı Ortalama Metodu” tercih edilmiştir.

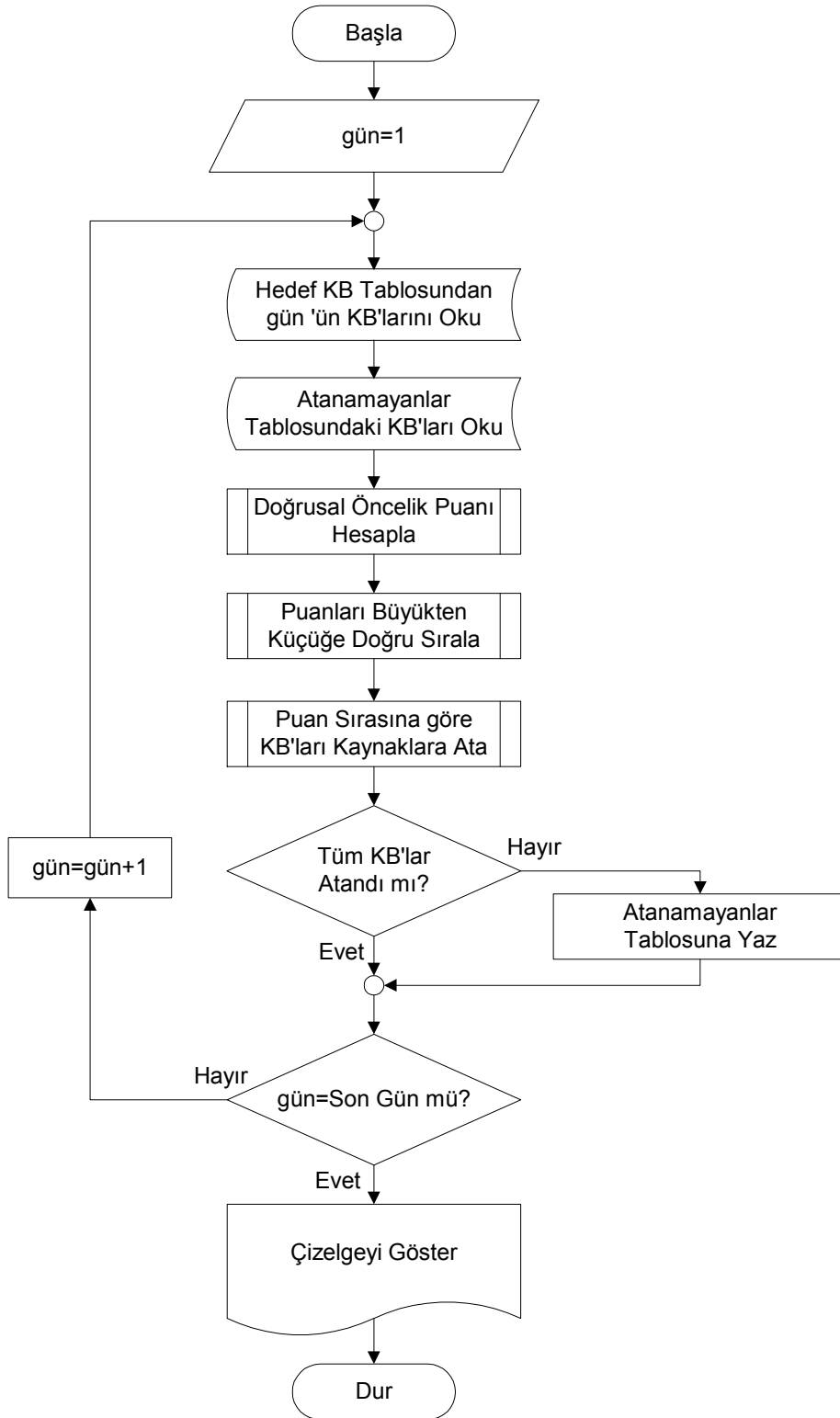


Şekil 4.17. Bulanık öncelik puanı belirleme

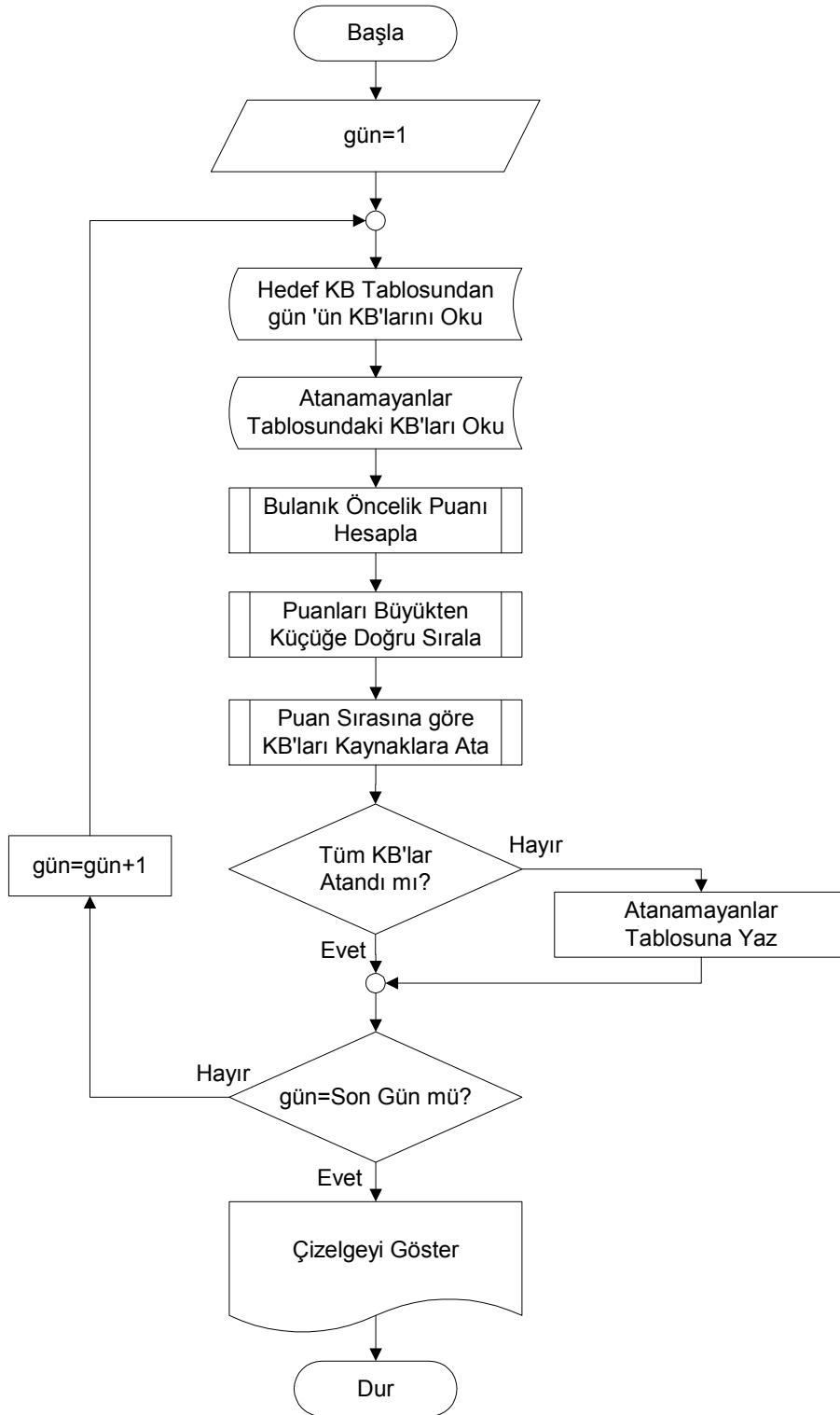
4.3.3. Doğrusal/bulanık öncelik puanı, simülasyon tabanlı çizelgeleme

Benzetim, belirsizlik unsurunun bulunduğu her tür problemin çözümünde uygulanabilen etkin bir tekniktir. Matematik modellerle formüle edilemeyen problemlerde benzetim başvurulacak önemli bir yöntemdir.

Bakım çizelgeleme gibi karmaşık problemlerde bilgisayar kullanılması benzetim tekrarlarının çok kısa zamanda yapılmasını sağladığından duyarlı sonuçlar elde etmek mümkündür.



Şekil 4.18. Doğrusal öncelik puanlı simülasyon tabanlı çizelgeleme akış diyagramı



Şekil 4.19. Bulanık öncelik puanlı simülasyon tabanlı çizelgeleme akış diyagramı

Seç	Ekip Tanımı	Kapasite
<input checked="" type="checkbox"/>	Ekip 1	8
<input checked="" type="checkbox"/>	Ekip 2	8
<input type="checkbox"/>	Ekip 3	8
<input type="checkbox"/>	Ekip 4	8
<input type="checkbox"/>	Ekip 5	8
<input type="checkbox"/>	Ekip 6	8
<input type="checkbox"/>	Ekip 7	8

Şekil 4.20. Simülasyon tabanlı çizelgeleme başlatma ekranı

4.3.4. Doğrusal/bulanık öncelik puanlı, genetik algoritma temelli çizelgeleme

Genetik algoritma ile çizelgelemede de iki farklı hedef fonksiyonu hesaplama yöntemi kullanılmıştır:

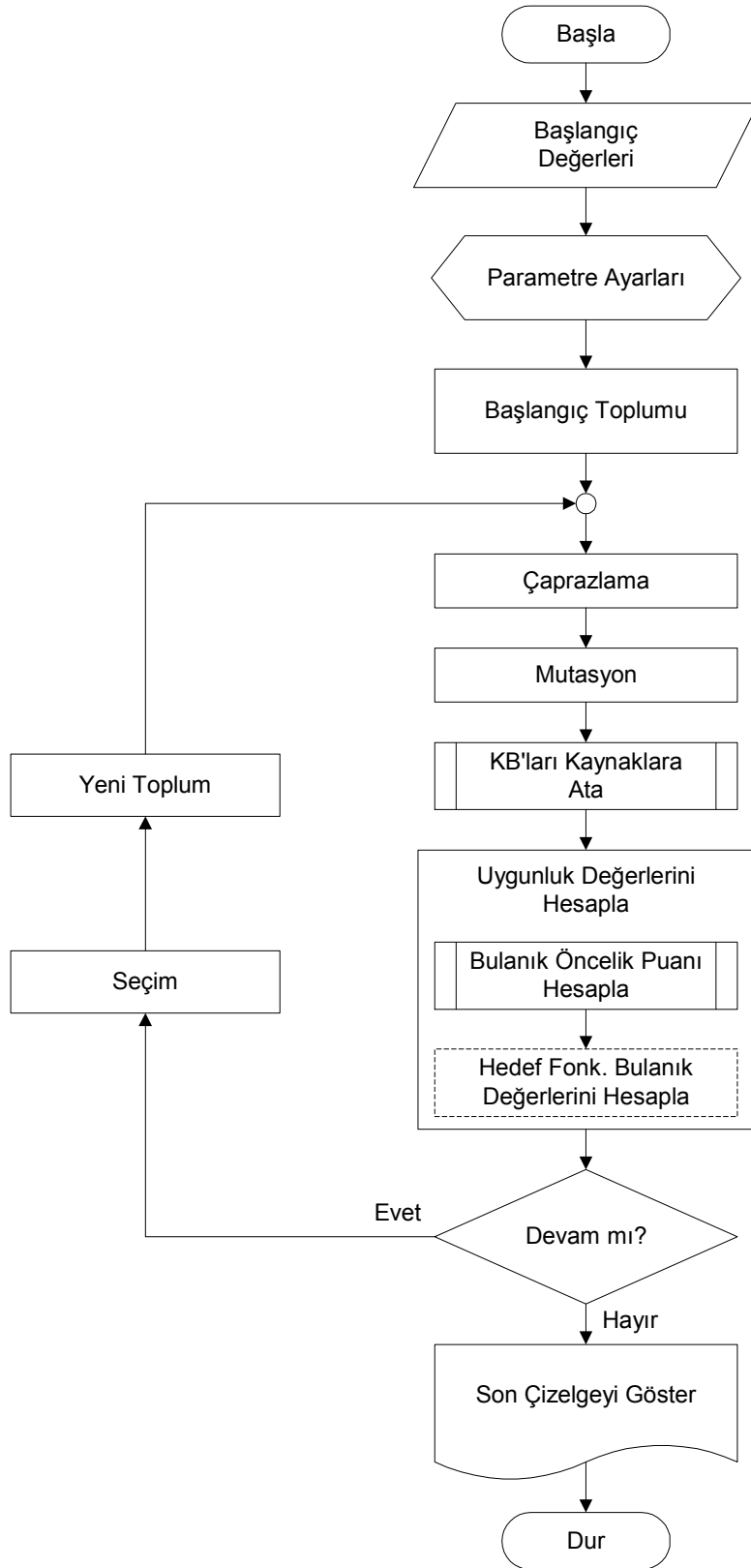
4.3.4.1. Bulanık öncelik puanlı genetik çizelgeleme

Bulanık öncelik puanlı Genetik çizelgeleme, sistemde tanımlaması yapılmış olan Koruyucu Bakımları; öncelik puanları yüksek olanlar başta olmak üzere, en az sayıda gecikme ile icra edilmeleri gerektiği zamanlarda yapılmalarını amaçlamaktadır.

Bulanık öncelik puanlı genetik çizelgeleme akışı:

Koruyucu bakım talepleri, önceki bakımlar ve bakım aralıkları göz önünde bulundurularak uygulama tarafından otomatik olarak oluşturulmaktadır. Koruyucu Bakım Planlarından elde edilen bilgiler ışığında hedef çizelge olarak kullanacağımız bir Toplu Bakım Planı oluşturulur. Fakat kaynak kısıtı (Bakım personeli) söz konusu olduğundan bu çizelge genetik algoritma kısmına aktarılarak “hedef periyodik bakım çizelgesi” ne en yakın ve şartlarımızı en iyi şekilde sağlayan bir çizelgenin ortaya

ıkarılması gerçekleştirilebilir. izelgeleme esnasında önceliklerin belirlenmesinde Bulanık Mantık modülü her bir koruyucu bakımın öncelik puanını belirler. Bulanık ncelik puanlı Genetik izelgelemenin Akış diyagramı (şekil 4.21) ve algoritmanın detaylı açıklaması aşağıdadır:



Şekil 4.21. Bulanık öncelik puanlı genetik çizelgelemenin akış diyagramı

1. Başlangıç değerleri ve parametre ayarları

Koruyucu Bakım Çizelgeleme

Senaryo Bilgileri
 Senaryo Kodu: S_01
 Açıklama: SENARYO 01

Çizelge Bilgileri
 Çizelge Kodu: F_01
 Açıklama: FUZZY 01

Parametreler
 Toplum Büyüklüğü: 10
 Çaprazlama Oranı: 0.6
 Mutasyon Oranı: 0.0005
 Çaprazlama Yöntemi: OX(Sıralı) LOX(Doğrusal Sıralı) CX(Dairesel Sıralı)
 Mutasyon Yöntemi: İnsert Karşılıklı Yer Değiştirmeli

Durma Kriteri
 Nesiller arası iyileştirme farkı:
 Nesil sayısı: 10

Seçim Operatörü
 Rulet En iyiler

Ekip Bilgisi

Seç	Ekip Tanımı	Kapasite
<input checked="" type="checkbox"/>	Ekip 1	8
<input checked="" type="checkbox"/>	Ekip 2	8
<input type="checkbox"/>	Ekip 3	8
<input type="checkbox"/>	Ekip 4	8

Yeni Kaydet Sil Liste Başlat

Başlangıç: 18.03.2008 21:45:55 Bitiş: Geçen Süre:

Herketler
 Başlangıç Populasyonu
 Nesil Durumu
 Çaprazlama Durumu
 Mutasyon Durumu
 Kaynaklara Atama
 Puan Hesaplama

Hesaplanan Nesil: 7
 Kromozom No: 114

Şekil 4.22. Bulanık (doğrusal) öncelik puanlı genetik çizelgeleme başlatma ekranı

Çalıştırma Parametreleri

Başlangıç Populasyonunu Oluştur

Hedef Puan Hesaplama Yöntemi
 Bulanık Puan Hesapla
 Doğrusal Puan Hesapla

Sadece Puan Hesapla(Diğer işlemler yapılmaz...)

Devam

Şekil 4.23. Puan türü seçimi ekranı

2. Başlangıç popülasyonunu (toplumunu) oluşturma

Olası çözümlerin kodlandığı bir çözüm grubu oluşturulur. Popülasyon Büyüklüğü seçiminde, yapılan işlemlerin karmaşıklığı ve aramanın derinliği önemlidir. Popülasyon bu işlemde sonra rasgele oluşturulur.

Modelimizde; hedef plandaki her bir Koruyucu Bakım (KB) sıra ile numaralandırılmakta, bu numaralar (GenNo) genleri temsil etmektedir. Genlerin numaralandırılması sırasında her bir gen numarasına ait “Ekipman No” ve “Koruyucu Bakım Günü” bilgileri de ilgili “Gen Numarası” ile ilişkilendirilmiştir. Sabit uzunluklu bir kromozom yapısının oluşturulabilmesi için de her bir ekipmanın boş günlerine (Koruyucu Bakım olmayan günler) gen numarası olarak “000” lar (GenNo 3 hane ise) atanmıştır. Her bir gen numarası, gen sayısına göre ihtiyaç kadar haneden oluşturulmuştur. Örneğin; hedef çizelgemizde en fazla 999 tane koruyucu bakım var ise gen numaralarının hane sayısı üç, eğer 1000’den fazla 9999’dan az ise de hane sayısı 4 olacaktır (Şekil 4.24).

GenNo	.....	.....	015	000	000	016	000	000	000	000	017	000	000	000	018	019	000	020	.....
Ekipman	.....	.....	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	1	2	3	4	5	6	.....
Gün	.....	.....	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	.....
KBNo	.....	.....	3	-	-	4	-	-	-	-	2	-	-	-	1	5	-	7	.....

Şekil 4.24. Gen ve kromozom yapısı

Genlerin rassal olarak yan yana dizilmesi ile kromozomlar oluşturulmakta ve toplum büyüklüğü kadar kromozom üretildikten sonra da Başlangıç Popülasyonu oluşturma adımı tamamlanmış olmaktadır (Şekil 4.25).

.....	.....	102	703	345	000	000	000	000	666	023	000	445	000	000	000	232	.....	.....
.....	.....	000	000	005	122	000	117	000	000	000	000	000	000	111	000	000	000	.....	.....
.....	.....	000	000	000	000	000	000	000	167	000	000	000	333	876	000	000	.....	.....
.....	.....	500	000	000	000	000	000	000	246	098	000	000	558	000	000	000	023	.....	.....
.....
.....	.....	672	000	000	812	000	000	000	232	000	000	000	000	091	000	000	000	.....	.....
.....	.....	000	000	000	145	000	000	000	000	774	000	000	000	259	000	000	888	.....	.....

Şekil 4.25. Başlangıç toplumu

3. Çaprazlama

Genetik Algoritmada kullanılan en önemli operatörlerden birisi çaprazlama operatörüdür. Bu operatör gerçek dünyada çiftleşme işleminin algoritmadaki karşılığıdır. Bir sonraki neslin üremesi için seçilen kromozomlar ikişerli olarak eşleştirilerek çaprazlamaya tabi tutulurlar.

Çaprazlama işleminde; her bir kromozom için rassal bir sayı çekilir, eğer bu rassal sayı çaprazlama oranından küçük ise ilgili kromozoma çaprazlama operatörü uygulanacak demektir. Sonrasında, çaprazlanacak kromozomlar ikili olarak rassal eşleştirilerek tercih edilen çaprazlama operatörüne göre çaprazlama işlemi gerçekleştirilir. Modelimizde; Sıralı Çaprazlama (OX) ve Doğrusal Sıralı Çaprazlama (LOX) operatörleri kullanılarak farklı deneyler yapılabilmektedir.

4. Mutasyon

Mutasyon işlemi yeni oluşan kromozomların bazı genlerinde meydana gelen rasgele değişim işlemidir. Bu işlem için genlerin hangi oranda seçileceği mutasyon oranı ile belirtilir. Modelimizde; Araya Ekleme (Insert) ve Karşılıklı Yer Değiştirme (Reciprocal Exchange) mutasyon operatörleri kullanılabilmektedir.

5. Koruyucu bakımların kaynaklara atanması

Yeni oluşan toplumda, her bir kromozomdaki genlerin; diziliş sırasına göre kaynaklara atanması yapılacaktır. Bu atama işleminde; “hedef periyodik bakım çizelgesi” ne en yakın ve şartlarımızı en iyi şekilde sağlayan bir çizelgenin ortaya çıkarılması için Ekip Sayısı, günlük çalışma saatleri (örneğin 8 saat) gibi kısıtlar ve Koruyucu Bakımların işlem süreleri gibi değerler göz önüne alınarak, KB’lerin atandığı günler belirlenmiş olacaktır (Şekil 4.26).

KB’ların kaynaklara atanmasında, ekiplerden hangisinin iş yükü daha az ise, sıradaki KB’nin bu ekibe ataması yapılarak, ekipler dengeli bir şekilde kullanılmıştır.

6. Bulanık öncelik puanı hesapla

Bir önceki adımda (Koruyucu Bakımların Kaynaklara Atanması) her bir kromozoma (dizilişe) göre KB’ların yapılacağı günler belirlenmiş olmaktadır. Bu adımda da; KB’ların, bu belirlenen günleri ile Hedef Çizelge’de yapılmaları istenen günleri arasındaki fark bulunur ve böylece bulanık girdi değişkenlerimizden üçüncüsü olan “Gecikme Miktarı” değeri tespit edilmiş olur.

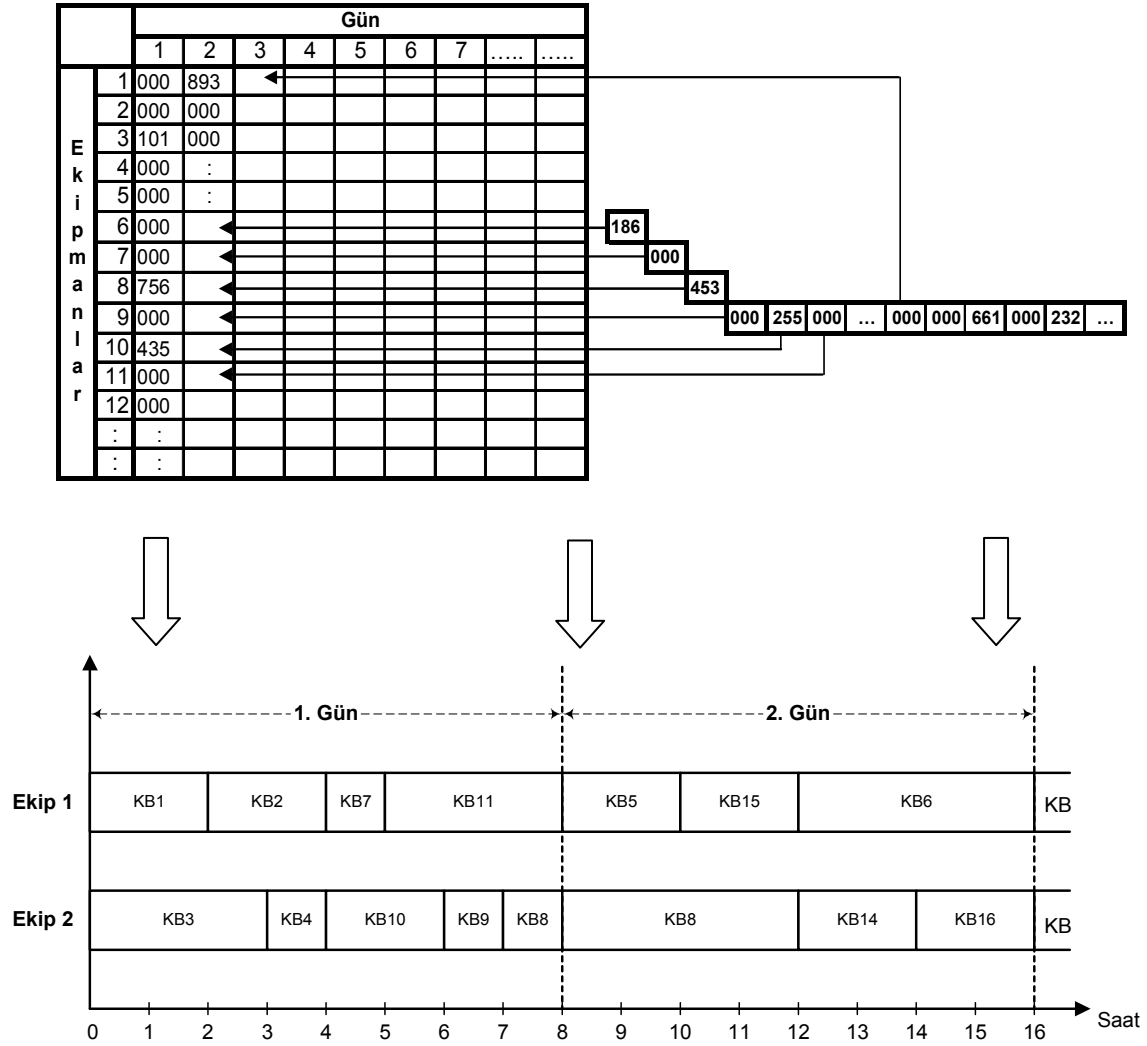
Gecikme Miktarı; diğer bulanık değişkenlerle birlikte KB’ların önceliklerini ve Hedef Fonksiyonunun hesaplanmasında kullanılacak olan “Bulanık Öncelik Puanlarını” belirlemekte kullanılmıştır.

Bulanık öncelik puanı hesaplama işlemi tüm kromozomların bütün genleri için gerçekleştirilerek, kromozomların hedef fonksiyonlarının hesaplanmasında kullanılacak değerleri üretir.

7. Hedef fonksiyonunu hesapla

Hedef fonksiyonu, kromozomların problemde amaçlanan çözüme ne kadar yaklaştığını hesaplayan fonksiyondur. Hedef fonksiyonu genetik algoritma ile

çözülecek problem arasındaki bağlantıdır. Bu fonksiyonla kromozomlar çözülecek problemdeki performanslarının ölçüsü olan değerlere dönüştürülürler.



Şekil 4.26. KB'ların kaynaklara atanması

Bir kromozomun; genlerinin (Koruyucu Bakımlarının) bulanık öncelik puanlarının toplamı o kromozomun Bulanık Öncelik Puanını vermektedir.

Modelimizde amaç; en düşük Bulanık Öncelik Puanlı çözüme (kromozoma) ulaşmaktır. Bu nedenle düşük öncelik puanlı kromozomların seçilme (yaşama)

ihtimali, (sonraki nesillere aktarım) yüksek öncelik puanlı kromozomların seçilme ihtimaline göre ters orantılı olarak daha fazla olmalıdır.

Durma kriteri sağlanana kadar; tercih edilen seçim operatörüne göre belirlenen bireyler (kromozomlar) bir sonraki nesile aktarılır ve 3. adımdan itibaren algoritma çalışmaya devam eder.

8. Durma kriteri

Durma kriteri için iki seçenek söz konusudur. Algoritma ya nesil sayısı kadar çalıştırılır ya da nesiller arası iyileşme farkı, giriş ekranında girilen değerden düşük bir değer alınca daha fazla nesil üretilmez ve algoritmanın çalışması durdurularak ulaşılan en iyi çözüm raporlanır.

9. Seçim

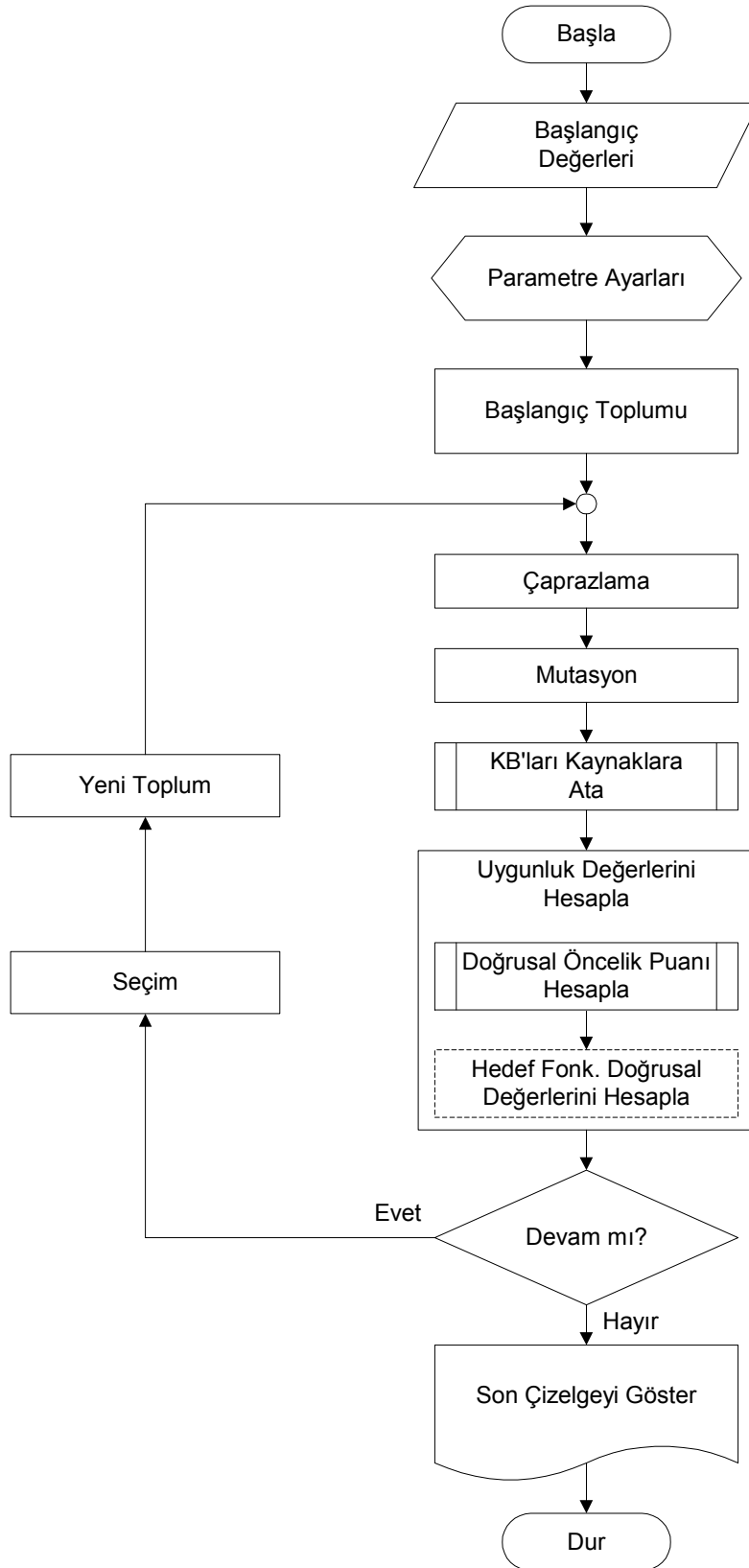
Modelimizde seçim operatörü için de iki seçenek sunulmuştur:

1. Rulet Çarkı seçimi
2. Sıralama Seçimi

Modelde amaçlanan en düşük puanlı çözümü bulmak olduğuna göre, yeni neslin seçilmesi işlemi; Rulet Çarkı Seçiminde, kromozomun öncelik puanına ters orantılı olarak çark üzerinde pay aldığı ve Sıralama Seçimi'nde ise, en iyi çözümün en düşük Bulanık Öncelik puanlı çözüm olduğu unutulmamalıdır.

4.3.4.2. Doğrusal öncelik puanlı genetik çizelgeleme

Doğrusal öncelik puanlı genetik çizelgeleme algoritması da yukarıdaki gibi çalışmaktadır. Bulanık Öncelik puanı yerine doğrusal öncelik puanı daha önce verilmiş (doğrusal öncelik puanı hesaplama yöntemi) formüle göre hesaplanır ve algoritmanın akış diyagramı şekil 4.27'deki gibidir.



Şekil 4.27. Doğrusal öncelik puanlı genetik çizelgelemenin akış diyagramı

Tezin bundan sonraki bölümünde;

- Doğrusal Öncelik Puanlı Simülasyon temelli çizelgeleme
- Bulanık Öncelik Puanlı Simülasyonla temelli çizelgeleme
- Bulanık Öncelik Puanlı Genetik Çizelgeleme
- Doğrusal Öncelik Puanlı Genetik Çizelgeleme

algoritmaları ile yapılmış olan, “Küçük”, “Orta” ve “Büyük” ölçekteki deneyler anlatılmıştır ve bu deneylerle ilgili olarak çeşitli performans değerleri karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur.

BÖLÜM 5. SİSTEMİN UYGULANMASI VE ÇIKTILARI

5.1. Giriş

Tezde, değişken ölçeklerde olabilecek üretim sistemleri düşünülerek, farklı ekipman sayıları için koruyucu bakım çizelgeleme deneyleri yapılmıştır. Büyük, orta ve küçük ölçeklerdeki deneylerin tümünde belirli bir zaman dilimindeki koruyucu bakımların mümkün olan en az sapma ile çizelgelenmeleri çalışılmıştır.

Geliştirilen algoritmalarının çalıştırılabilmesi için, öncelikle çizelgelemek istediğimiz zaman aralığında yapılacak koruyucu bakımlar ve bu bakımların gerçekleştirilmeleri gereken zaman bilgilerinin elde edilmesi gerekliliği söz konusudur. Bu amaçla ilk olarak hedef çizelgeler oluşturulmuştur. Hedef çizelgede, koruyucu bakım modülünden tanımlaması yapılmış olan tüm Koruyucu Bakımlar, istenilen zaman periyodu için yapılması gerekli olan günlere kapasite kısıtı yokmuşçasına yerleştirilirler. Deneylerimizdeki amaç, kaynak kısıtlarımıza göre bu çizelgeye en yakın çizelgeyi bulmak olacaktır. En iyi çizelgeye ulaşabilmek için de farklı algoritmalar denenmiştir.

Her bir ölçek için aşağıdaki dört farklı algoritma çalıştırılmıştır.

- Doğrusal Öncelik Puanlı Simülasyon temelli çizelgeleme
- Bulanık Öncelik Puanlı Simülasyonla temelli çizelgeleme
- Doğrusal Öncelik Puanlı Genetik Çizelgeleme
- Bulanık Öncelik Puanlı Genetik Çizelgeleme

Deneyleerde, periyotları ve operasyon zamanları birbirlerinden farklı sekiz koruyucu bakım tipi bulunmaktadır. Fakat tüm koruyucu bakımların bütün ekipmanlara tanımlı olmadığı, her ekipmana farklı koruyucu bakım türlerinin uygulandığı kabul edilmiştir. Örneğin, bir ekipmana tanımlı dört farklı koruyucu bakım türü olabildiği gibi, başka bir ekipmana da yedi farklı koruyucu bakım türü tanımlanmış olabilir. Ayrıca, her bir ekipman için koruyucu bakımlarının yapılması gereken zamanlar; son bakım tarihi ve bakım periyodu bilgilerinden ortaya çıkmaktadır. Bakımları gerçekleştirecek olan (kısıtlı) kaynakların yani koruyucu bakım ekiplerinin günlük çalışma süreleri de sekiz saat olarak alınmıştır. Herhangi bir bakıma başlayan ekip, başladığı gün içinde bakımı bitiremiyorsa sonraki günde o koruyucu bakımı yapmaya devam etmektedir.

Büyük ölçekte; 25 Ekipman için tanımlı olan koruyucu bakımların 21 günlük çizelgeleme deneyleri, dört bakım ekibi kullanılarak çalıştırılmıştır.

Orta ölçekte; 15 Ekipman için tanımlı olan koruyucu bakımların 21 günlük çizelgeleme deneyleri, üç bakım ekibi kullanılarak çalıştırılmıştır.

Küçük ölçekte; 10 Ekipman için tanımlı olan koruyucu bakımların 21 günlük çizelgeleme deneyleri, iki bakım ekibi kullanılarak çalıştırılmıştır.

Tablo 5.1. Deneyleerde kullanılan değerler

	Küçük ölçek	Orta ölçek	Büyük ölçek
Ekipman Sayısı	10	15	25
Çizelge Süresi	21 gün	21 gün	21 gün
Bakım Ekibi Sayısı	2	3	4
Ekiplerin Çalışma Süreleri	8 saat	8 saat	8 saat
Çizelgenmesi gereken KB Sayısı	276	377	573
Algoritma Çalıştırma Süresi (Genetik Temelli Çizelgeler için)	15 saat	15 saat	15 saat

Tüm ölçekler için; öncelikle, genetik algoritmalarda kullanılan parametrelerin en uygunlarının belirlenmesi amacıyla çeşitli deneyler yapılmıştır. Bu deneyler neticesinde aşağıda açıklanan nedenlerle belirlenen parametrelerin kullanılmasının daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

1. Başlangıç toplumu büyüklüğü değerinin 20 olarak verilmesi uygun görülmüştür.
2. Çaprazlama operatörlerinden; OX ve LOX'in yakın sonuçlar vermesi nedeniyle iki parametreyi de kullanarak farklı deneyler yapılmıştır.
3. Çaprazlama oranı olarak 0,8 değeri denenmiş fakat değerin yüksekliği algoritmanın çalışma zamanını fazlaca artırmıştır. Çalışma zamanındaki yükselmeye karşın, performans değerlerinin iyileşme hızında ise önemli bir katkısı bulunmadığı gözlenmiştir. 0,6 değerinin ise performans değerlerinin gelişimi ve çalışma hızı açısından uygun bir değer olduğu tespit edilmiştir.
4. Mutasyon operatörlerinden; araya ekleme (insert) yönteminin, karşılıklı yer değiştirmeye (Reciprocal Exchange) göre oldukça üstün bir performans sergilemesi nedeniyle üç ölçekte de bu teknik tercih edilmiştir.
5. Mutasyon Oranı olarak her bir ölçekte farklı oranlar kullanılmıştır. Bunun nedeni küçük ölçekte, büyük bir mutasyon oranı verildiğinde sağlanan genetik çeşitliliğin, büyük ölçekte daha düşük bir oran vererek sağlanabilmesidir. Deneylerde büyük ölçekte 0.0004, Orta ölçekte 0.0005 ve küçük ölçekte ise 0.0006 değeri kullanılmıştır.
6. Seçim operatörü olarak ise Rulet çarkı yönteminden çok daha iyi değerler vermesi nedeniyle, "Sıralama Seçimi" kullanılmıştır.

Genetik algoritma parametrelerinin tespit edilmesinin ardından; büyük, orta ve küçük ölçekteki deneyler dört farklı teknikle çalıştırılmıştır.

5.2. Kullanılan Performans Kriterleri

Çalıştırılan çizelgeleme tekniklerinin kıyaslanmasında kullanılan performans kriterleri, ve bunların hesaplanma metodları aşağıdaki gibidir:

5.2.1. Hedef atanamayan koruyucu bakım sayısı (KS)

Çalıştırılan algoritma neticesinde, kaç tane koruyucu bakımın atanması gereken güne atanmadığını gösterir.

KS= Hedef çizelgedeki gününe atanamayan KB Sayısı

5.2.2. Hedef atanamayan koruyucu bakım oranı (KO)

Hedef gününe atanamayan koruyucu bakımların, toplam koruyucu bakım sayısına bölünmesi ile edilen bu değerle; hedefine atanamayanların oranı gösterilmektedir.

$$KO = \frac{KS}{T}$$

KS : Hedef çizelgedeki gününe atanamayan KB Sayısı

T : Toplam Koruyucu Bakım Sayısı

5.2.3. Hedeften sapmaların gün toplamı (GT)

Koruyucu bakımların atanmaları gereken günden ne kadar uzağa atandığını toplam olarak gösteren bu değer; her bir koruyucu bakımın atanması gereken gününden mutlak sapmalarının toplanması ile bulunmaktadır.

$$GT = \sum_{k=1}^m |(\text{KB}_k \text{'nın hedef çizelgeden gün olarak sapması})|$$

k: KB Numarası

m: En Büyük KB Numarası

5.2.4. Hedeften sapmaların ortalaması (SO)

Hedeften sapmaların gün olarak toplamının, toplam koruyucu bakım sayısına bölünmesi ile elde edilen Hedeften Sapmaların Oranı ise; her bir koruyucu bakımın, ortalama olarak kaç gün sapma yaptığını göstermektedir.

$$SO = \frac{GT}{T}$$

GT : Hedefte sapmaların gün toplamı

T : Toplam Koruyucu Bakım Sayısı

5.2.5. Bakım ekiplerinin kullanım oranları

$$\text{Ekip}_i \text{ nin kullanım oranı} = \frac{\sum_{j=1}^n \text{Ekip}_i \text{'nin günlük çizelgelenmiş çalışma saati}}{\text{Ekip}_i \text{'nin tanımlı günlük çalışma saati} \times n}$$

i = 1..z z: Ekip Sayısı

j = 1..n n: Gün Sayısı

Bakım ekiplerinin kullanım oranlarının değerleri analiz edilirken dikkat edilmesi gereken; yüksek kullanım oranı çıkmışsa iyi bir sonuca ulaşılmış demek değildir. Çünkü ilgili güne atanmaması gereken işlerin atanması neticesinde de bu oran yüksek çıkabilir. Dolayısıyla bu göstergelyi diğer kriterle birlikte değerlendirmek gerekmektedir.

Performans değerlerinin incelenmesi sırasında dikkat edilmesi gereken en önemli husus bu değerlerin tek başlarına değerlendirilmemeleri gerektiği konusudur. Örneğin herhangi bir deney için; hedefe atanamayan koruyucu bakım sayısı veya oranı düşük olup, hedefte sapmaların gün toplamı veya ortalaması yüksek bir değer olabilir. Bunun anlamı; sayı olarak az miktarda KB, gün olarak çok fazla geciktirilmiş veya öne alınmış demektir.

5.3. Sonuçlar

Parametrelerin belirlenmesi için yapılan deneylerin ardından, ileriki kısımlarda sonuçları verilen büyük, orta ve küçük ölçekteki deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarından elde edilen performans kriterleri karşılaştırmalı bir şekilde; sayısal ve grafiksel olarak verilmiştir. Ayrıca, genetik algoritmanın her bir adımdaki sonuçları

ise, nesiller arası gelişimin gözlenebilmesi için sayısal ve grafiksel olarak detaylı bir şekilde sunulmuştur. Genetik algoritma temelli çizelgeleme deneylerinde 15 saatlik bir çalıştırma zamanı uygulanmıştır. Böyle bir yol izlenmesinde amaçlanan ise; algoritmaların sabit bir süre çalıştırıldıklarında hangisinin veya hangilerinin daha hızlı ve etkin sonuçlar verdiğini görmektir.

5.3.1. Küçük ölçek

Küçük ölçekte yapılan deneylerin, performans değerleri Tablo5.2’de özet halde verilmiştir. Bu tablodaki verilerden elde edilen grafikler ışığında performans kriterleri ile ilgili yorum ve karşılaştırmalar yapılmıştır.

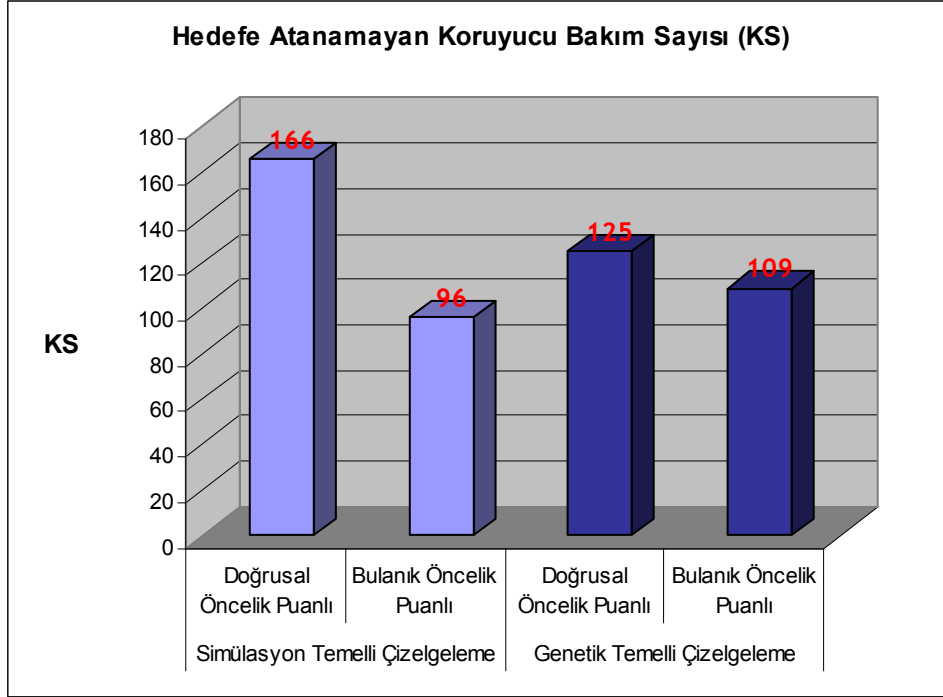
Tablo 5.2. Küçük ölçekteki deneylerin performans değerleri

PERFORMANS KRİTERLERİ		KULLANILAN ALGORİTMA			
		Simülasyon Temelli Çizelgeleme		Genetik Temelli Çizelgeleme	
		Doğrusal Öncelik Puanlı	Bulanık Öncelik Puanlı	Doğrusal Öncelik Puanlı	Bulanık Öncelik Puanlı
Hedefe Atanamayan Koruyucu Bakım Sayısı (KS)		166	96	125	109
Hedefe Atanamayan Koruyucu Bakım Oranı (KO)		0,61	0,35	0,45	0,39
Hedeften Sapmaların Gün Toplamı (GT)		652	825	414	248
Hedeften Sapmaların Ortalaması (SO)		2,39	2,99	1,50	0,90
Bakım Ekibi Kullanım Oranı	Ekip 1	1,00	1,00	0,99	0,99
	Ekip 2	1,00	1,00	0,93	0,96

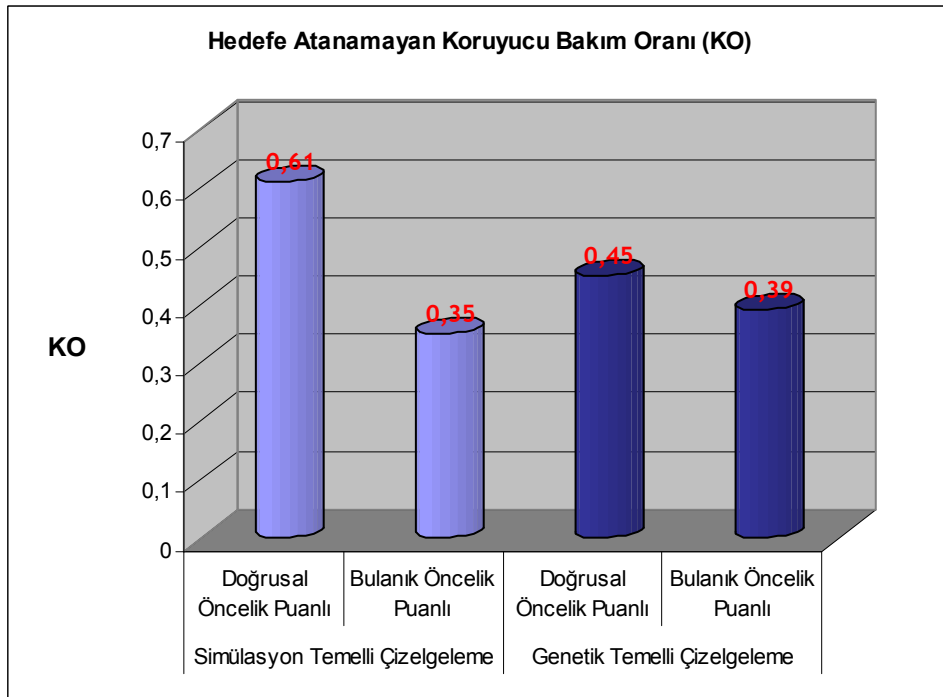
Hedef gününe atanamayan koruyucu bakım sayısı (Şekil 5.1) ve Hedef gününe atanamayan koruyucu bakım oranı (Şekil 5.2) değerlerine bakıldığında, bu performans kriterleri için en iyi sonucu “Bulanık Öncelik Puanlı Simülasyon Temelli Çizelgeleme” nin, en kötü sonucu ise “Doğrusal Öncelik Puanlı Simülasyon Temelli Çizelgeleme” nin verdiği görülmektedir.

Hedeften sapmaların gün toplamı (Şekil 5.3) ve Hedeften sapmaların ortalaması (Şekil 5.4) değerlerine bakıldığında ise, bu performans kriterleri için en iyi sonucu “Bulanık Öncelik Puanlı Genetik Temelli Çizelgeleme” nin, en kötü sonucu ise

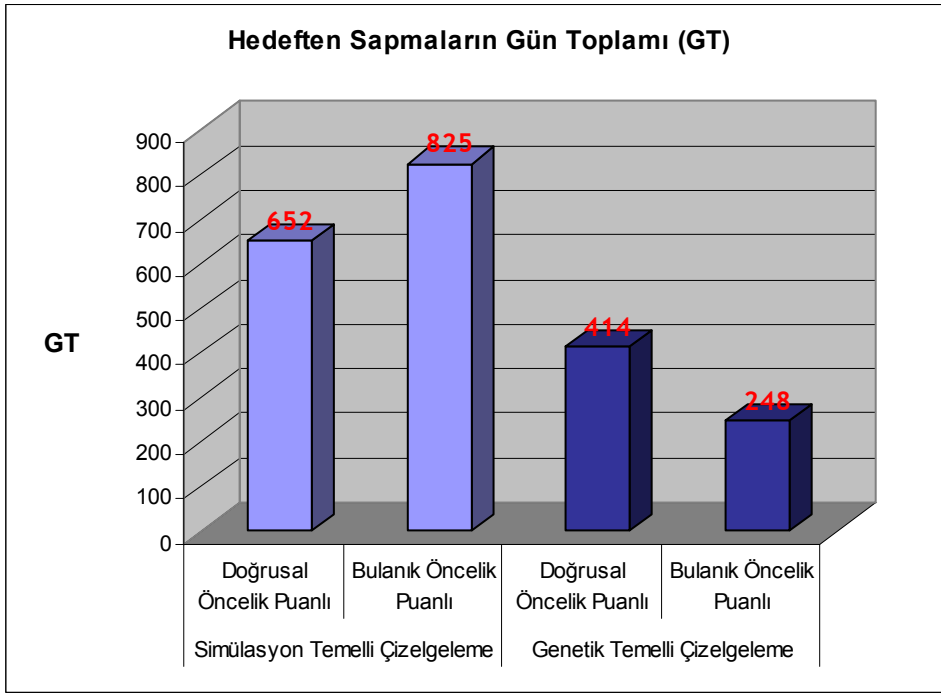
“Bulanık Öncelik Puanlı Simülasyon Temelli Çizelgeleme” nin verdiği görülmektedir.



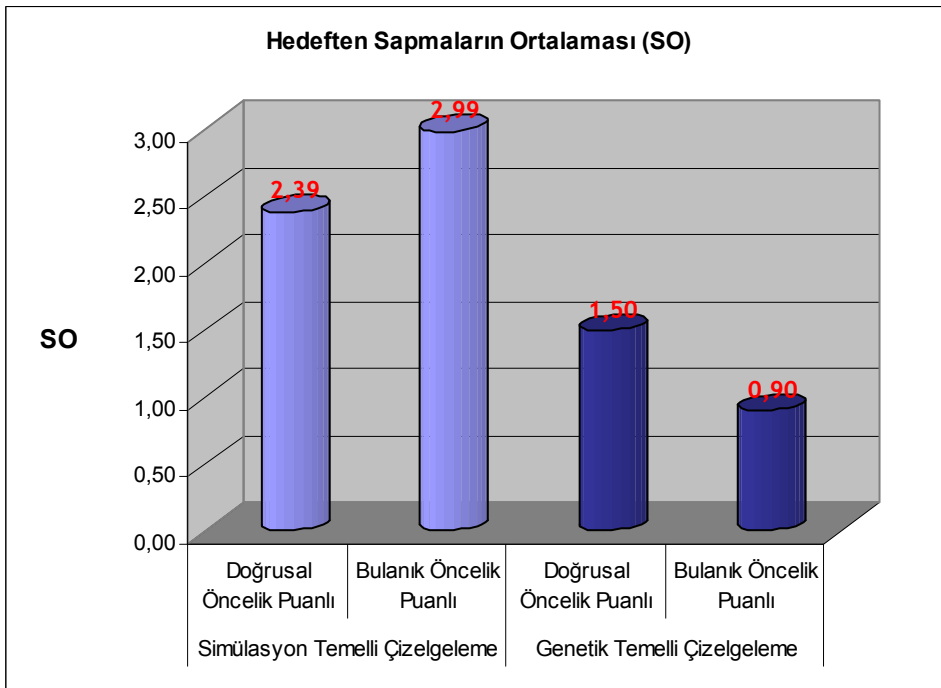
Şekil 5.1. Küçük ölçekteki deneyler için hedefe atanamayan koruyucu bakım sayıları



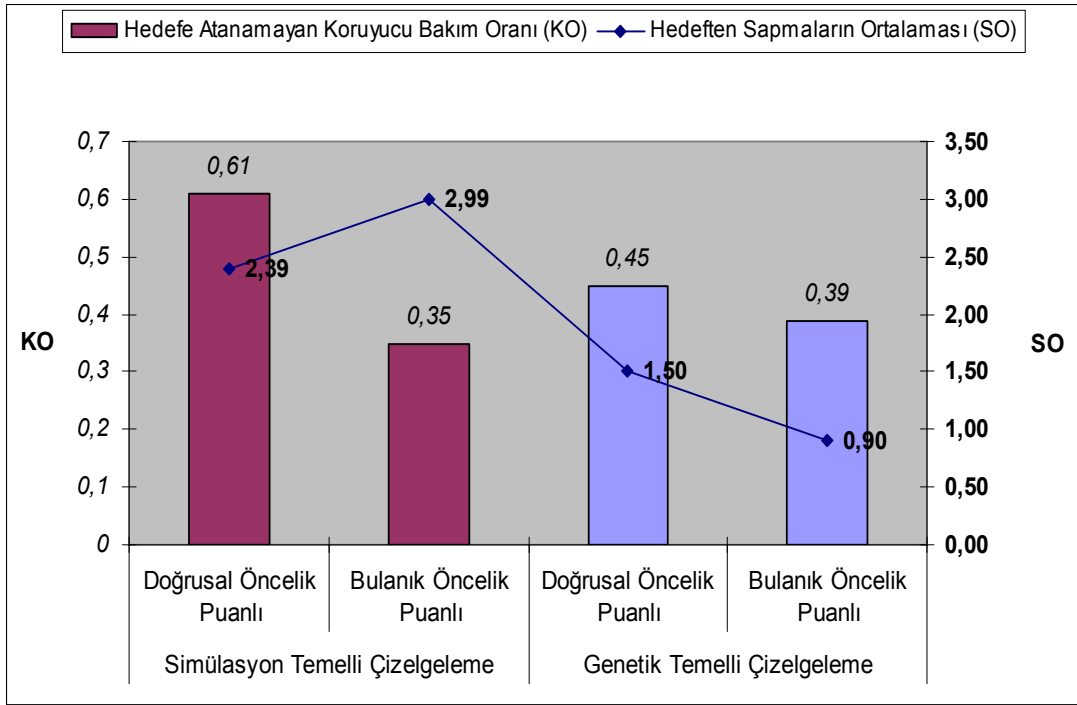
Şekil 5.2. Küçük ölçekteki deneyler için hedefe atanamayan koruyucu bakım oranları



Şekil 5.3. Küçük ölçekteki deneyler için hedeften sapmaların gün toplamı



Şekil 5.4. Küçük ölçekteki deneyler için hedeften sapmaların ortalaması



Şekil 5.5. Küçük ölçek için hedefe atanamayan koruyucu bakım oranları ve hedeften sapmaların ortalaması değerlerinin birlikte gösterimi

Karşılaştırma Raporu					23.04.	24.04.	25.04.	26.04.	27.04.	28.04.	29.04.	30.04.	01.05.	02.05.	03.05.	04.05.	05.05.	06.05.	07.05.	08.05.	09.05.	
E01	EKI...	01	AY...	Hedef	01(1)																	
				Atanan	01(1)																	
E01	EKI...	04	YA...	Hedef	04(1)		04(2)		04(3)		04(4)		04(5)		04(6)		04(7)		04(8)		04(9)	
				Atanan	04(1)		04(2)		04(3)		04(4)		04(5)		04(6)		04(7)		04(8)		04(9)	
E01	EKI...	05	HA...	Hedef				05(1)							05(2)							
				Atanan				05(1)							05(2)							
E01	EKI...	06	CO...	Hedef			06(1)				06(2)				06(3)					06(4)		
				Atanan			06(1)				06(2)				06(3)					06(4)		
E01	EKI...	07	ME...	Hedef	07(1)			07(2)			07(3)			07(4)					07(5)		07(6)	
				Atanan	07(1)			07(2)			07(3)			07(4)					07(5)		07(6)	
E01	EKI...	08	KA...	Hedef			08(1)			08(2)			08(3)		08(4)				08(5)		08(6)	
				Atanan			08(1)			08(2)			08(3)		08(4)				08(5)		08(6)	
E01	EKI...	09	EL...	Hedef				09(1)					09(2)						09(3)			
				Atanan				09(1)					09(2)						09(3)			
E02	EKI...	06	CO...	Hedef			06(1)				06(2)			06(3)					06(4)			
				Atanan			06(1)				06(2)			06(3)					06(4)			
E02	EKI...	07	ME...	Hedef	07(1)			07(2)			07(3)			07(4)					07(5)		07(6)	
				Atanan	07(1)			07(2)			07(3)			07(4)					07(5)		07(6)	
E02	EKI...	08	KA...	Hedef		08(1)			08(2)			08(3)			08(4)				08(5)		08(6)	
				Atanan		08(1)			08(2)			08(3)			08(4)				08(5)		08(6)	
E02	EKI...	09	EL...	Hedef				09(1)					09(2)						09(3)			
				Atanan				09(1)					09(2)						09(3)			
E02	EKI...	10	HI...	Hedef				10(1)				10(2)							10(3)			
				Atanan				10(1)				10(2)							10(3)			
E03	EKI...	01	AY...	Hedef																		
				Atanan																		
E03	EKI...	04	YA...	Hedef	04(1)			04(2)		04(3)		04(4)		04(5)		04(6)		04(7)		04(8)		04(9)
				Atanan	04(1)			04(2)		04(3)		04(4)		04(5)		04(6)		04(7)		04(8)		04(9)

Şekil 5.6. Bulanık öncelik puanlı simülasyon temelli çizelgeleme algoritmasının küçük ölçek için karşılaştırma raporu

Küçük ölçekte yapılan deneyler neticesinde elde edilen verilere göre; bulanık öncelik puanlı simülasyon temelli çizelgeleme, daha fazla sayıda koruyucu bakımın hedef gününe atanmasını sağlamış olmakla beraber gününe atayamadığı koruyucu bakımlarda ise gün olarak çok fazla saptırma yaptırmıştır (Şekil 5.5). Bu ölçekte yapılan deneylerde; Hedef gününe atanamayan KB oranı için 0,39 ve hedeften sapmaların ortalaması için de 0,90 gün/KB değerini veren bulanık öncelik puanlı genetik temelli çizelgeleme en iyi sonuçları vermiştir.

Ekipman Kodu	Ekipman Adı	Bakım No	Bakım Açıklaması	Günler...	23.04	24.04	25.04	26.04	27.04	28.04	29.04	30.04	01.05	02.05	03.05	04.05	05.05	06.05	07.05	08.05	09.05
E01	EKI...	01	AY...	Hedef	01(1)																
				Atanan																	
E01	EKI...	04	YA...	Hedef	04(1)	04(2)		04(3)		04(4)		04(5)		04(6)		04(7)		04(8)		04(9)	
				Atanan	04(1)	04(2)		04(3)		04(4)		04(5)		04(6)		04(7)		04(8)		04(9)	
E01	EKI...	05	HA...	Hedef				05(1)					05(2)		05(2)						
				Atanan																	
E01	EKI...	06	CO...	Hedef				06(1)			06(2)			06(3)					06(4)		
				Atanan						06(1)				06(2)							
E01	EKI...	07	ME...	Hedef		07(1)		07(2)		07(3)		07(4)		07(5)					07(6)		
				Atanan		07(1)		07(2)		07(3)		07(4)		07(5)					07(6)		
E01	EKI...	08	KA...	Hedef			08(1)		08(2)		08(3)		08(4)		08(5)				08(6)		
				Atanan			08(1)		08(2)		08(3)		08(4)		08(5)				08(6)		
E01	EKI...	09	EL...	Hedef				09(1)			09(2)				09(3)						
				Atanan							09(1)										09(2)
E02	EKI...	06	CO...	Hedef			06(1)			06(2)			06(3)						06(4)		
				Atanan		06(1)			06(2)				06(3)						06(4)		
E02	EKI...	07	ME...	Hedef	07(1)		07(2)		07(3)		07(4)		07(5)		07(6)						
				Atanan	07(1)		07(2)		07(3)		07(4)		07(5)		07(6)						
E02	EKI...	08	KA...	Hedef		08(1)		08(2)		08(3)		08(4)		08(5)		08(6)					
				Atanan		08(1)		08(2)		08(3)		08(4)		08(5)		08(6)					
E02	EKI...	09	EL...	Hedef			09(1)			09(2)				09(3)							
				Atanan			09(1)			09(2)				09(3)							09(3)
E02	EKI...	10	HI...	Hedef		10(1)				10(2)				10(3)							
				Atanan		10(1)				10(1)											10(2)
E03	EKI...	01	AY...	Hedef				01(1)													
				Atanan				01(1)													
E03	EKI...	04	YA...	Hedef	04(1)	04(2)		04(3)		04(4)		04(5)		04(6)		04(7)		04(8)		04(9)	
				Atanan	04(1)	04(2)		04(3)		04(4)		04(4)		04(5)	04(6)	04(7)		04(8)		04(9)	

Şekil 5.7. Bulanık öncelik puanlı genetik temelli çizelgeleme algoritmasının küçük ölçek için karşılaştırma raporu

5.3.2. Orta ölçek

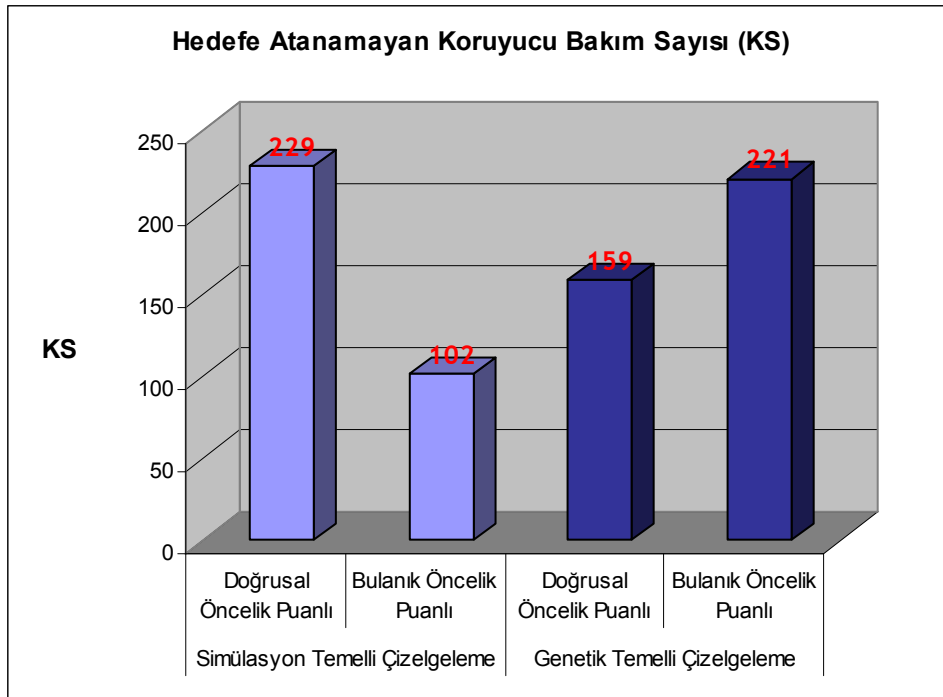
Orta ölçekte yapılan deneylerin, performans değerleri Tablo 5.3'de özet halde verilmiştir. Bu tablodaki verilerden elde edilen grafikler ışığında performans kriterleri ile ilgili yorum ve karşılaştırmalar yapılmıştır.

Hedef gününe atanamayan koruyucu bakım sayısı (Şekil 5.8) ve Hedef gününe atanamayan koruyucu bakım oranı (Şekil 5.9) değerlerine bakıldığında, bu

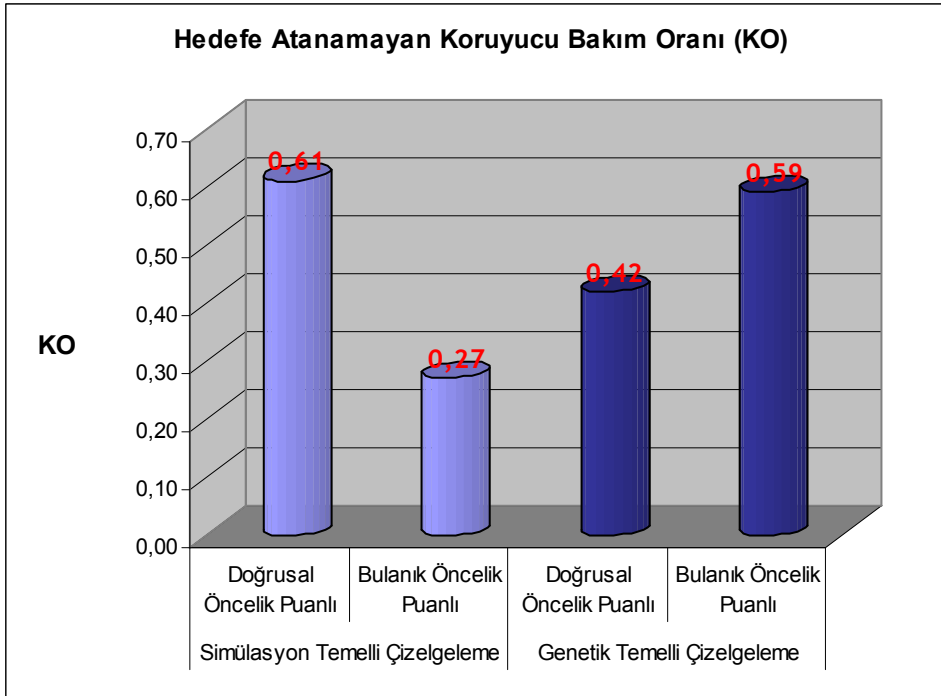
performans kriterleri için en iyi sonucu ‘‘Bulanık Öncelik Puanlı Simülasyon Temelli Çizelgeleme’’ nin, en kötü sonucu ise ‘‘Doğrusal Öncelik Puanlı Simülasyon Temelli Çizelgeleme’’ nin verdiği görülmektedir.

Tablo 5.3. Orta ölçekteki deneylerin performans değerleri

PERFORMANS KRİTERLERİ		KULLANILAN ALGORİTMA			
		Simülasyon Temelli Çizelgeleme		Genetik Temelli Çizelgeleme	
		Doğrusal Öncelik Puanlı	Bulanık Öncelik Puanlı	Doğrusal Öncelik Puanlı	Bulanık Öncelik Puanlı
Hedefe Atanamayan Koruyucu Bakım Sayısı (KS)		229	102	159	221
Hedefe Atanamayan Koruyucu Bakım Oranı (KO)		0,61	0,27	0,42	0,59
Hedeften Sapmaların Gün Toplamı (GT)		911	913	294	737
Hedeften Sapmaların Ortalaması (SO)		2,42	2,42	0,78	1,95
Bakım Ekibi Kullanım Oranı	Ekip 1	1,00	1,00	1,00	1,00
	Ekip 2	1,00	1,00	0,99	0,95
	Ekip 3	1,00	1,00	0,92	0,91

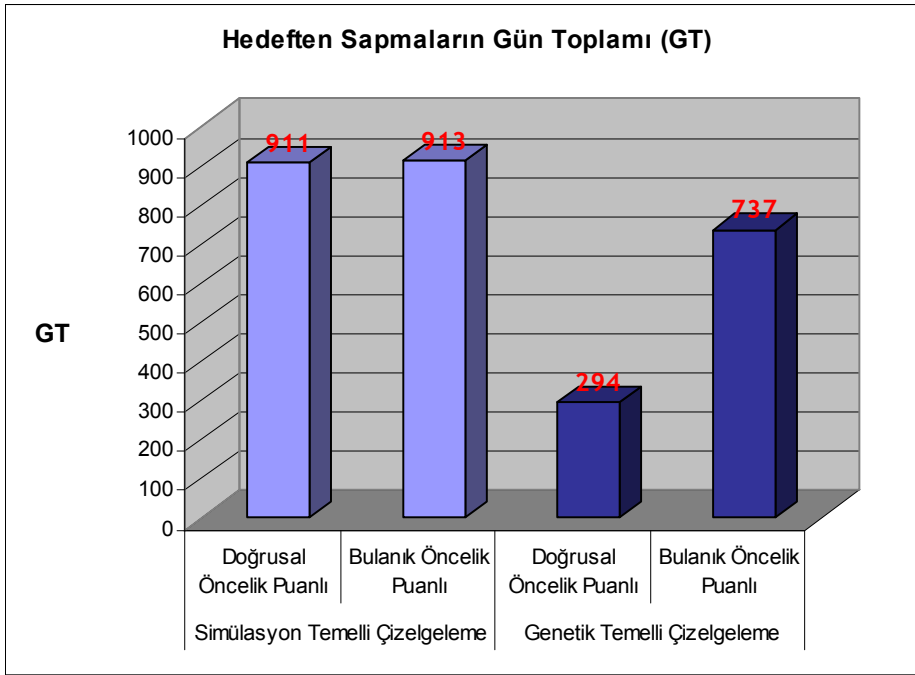


Şekil 5.8. Orta ölçekteki deneyler için hedefe atanamayan koruyucu bakım sayıları

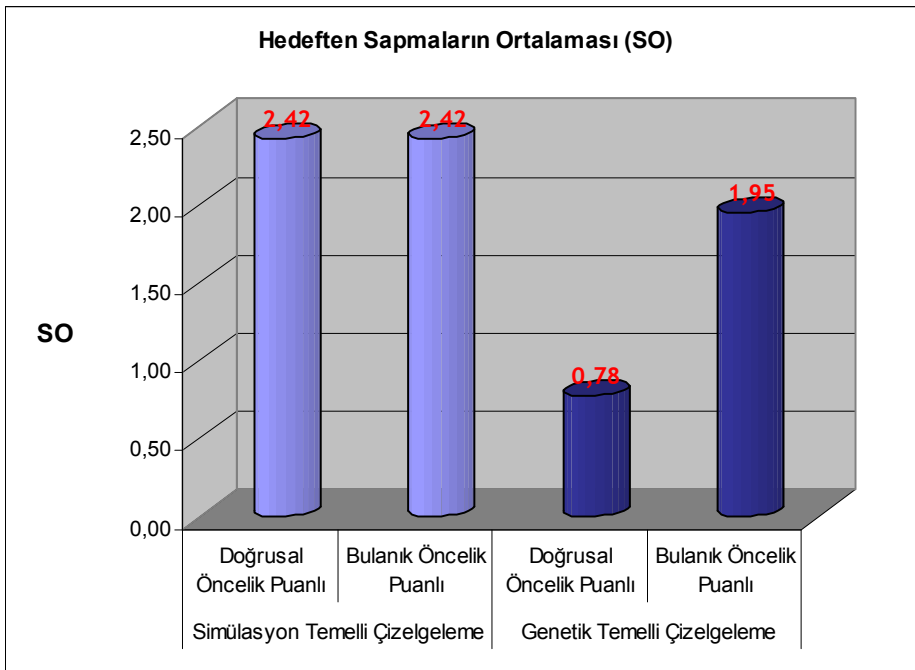


Şekil 5.9. Orta ölçekteki deneyler için hedefe atanamayan koruyucu bakım oranları

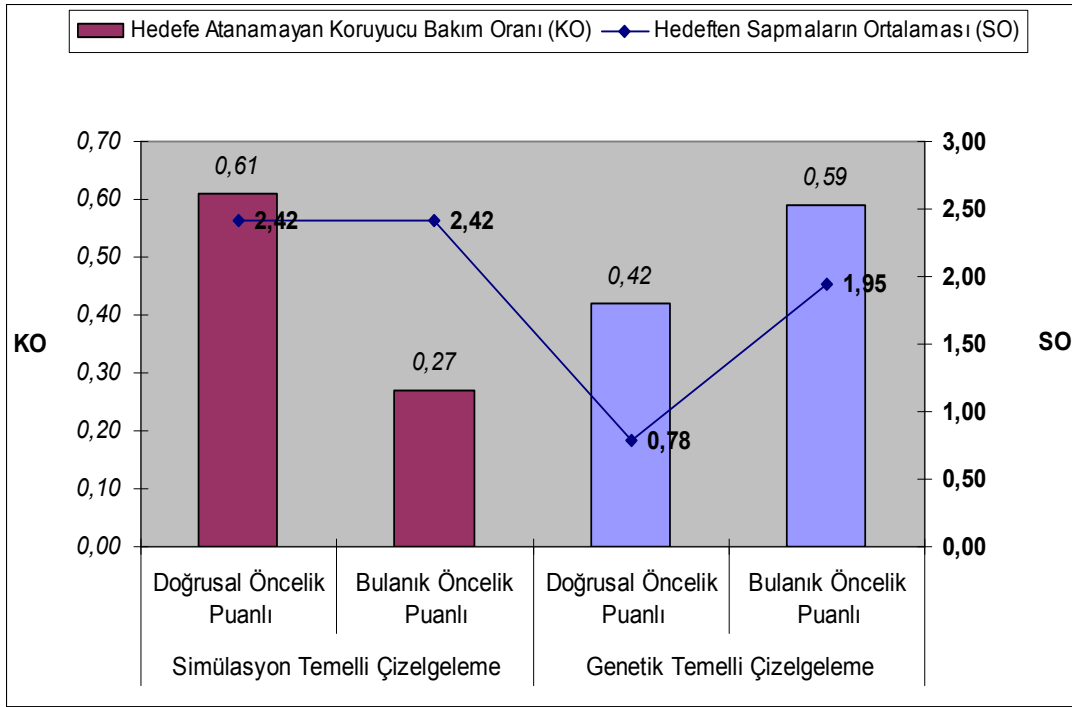
Hedeften sapmaların gün toplamı (Şekil 5.10) ve Hedeften sapmaların ortalaması (Şekil 5.11) değerlerine bakıldığında ise, bu performans kriterleri için en iyi sonucu “Doğrusal Öncelik Puanlı Genetik Temelli Çizelgeleme” nin, en kötü sonucu ise “Bulanık Öncelik Puanlı Simülasyon Temelli Çizelgeleme” nin verdiği görülmektedir.



Şekil 5.10. Orta ölçekteki deneyler için hedeften sapmaların gün toplamı



Şekil 5.11. Orta ölçekteki deneyler için hedeften sapmaların ortalaması



Şekil 5.12. Orta ölçek için hedefe atanamayan koruyucu bakım oranları ve hedeften sapmaların ortalaması değerlerinin birlikte gösterimi

Karşılaştırma Raporu				23.04.	24.04.	25.04.	26.04.	27.04.	28.04.	29.04.	30.04.	01.05.	02.05.	03.05.	04.05.	05.05.	06.05.	07.05.	08.05.	09.05.	
E12	EKI...	07	ME...	Atanan		06(1)		06(2)		06(3)		06(4)		06(5)		06(6)		06(7)		06(8)	
E12	EKI...	08	KA...	Hedef		07(1)		07(2)		07(3)		07(4)		07(5)		07(6)		07(7)		07(8)	
E13	EKI...	05	HA...	Atanan		08(1)		08(2)		08(3)		08(4)		08(5)		08(6)		08(7)		08(8)	
E13	EKI...	06	CD...	Hedef		09(1)		09(2)		09(3)		09(4)		09(5)		09(6)		09(7)		09(8)	
E14	EKI...	01	AY...	Atanan		05(1)		05(2)		05(3)		05(4)		05(5)		05(6)		05(7)		05(8)	
E14	EKI...	08	KA...	Hedef		06(1)		06(2)		06(3)		06(4)		06(5)		06(6)		06(7)		06(8)	
E14	EKI...	09	EL...	Atanan		10(1)		10(2)		10(3)		10(4)		10(5)		10(6)		10(7)		10(8)	
E15	EKI...	04	YA...	Hedef		01(1)		01(2)		01(3)		01(4)		01(5)		01(6)		01(7)		01(8)	
E15	EKI...	05	HA...	Atanan		08(1)		08(2)		08(3)		08(4)		08(5)		08(6)		08(7)		08(8)	
E15	EKI...	06	CD...	Hedef		09(1)		09(2)		09(3)		09(4)		09(5)		09(6)		09(7)		09(8)	
E15	EKI...	07	ME...	Atanan		04(1)		04(2)		04(3)		04(4)		04(5)		04(6)		04(7)		04(8)	
E15	EKI...	09	EL...	Hedef		05(1)		05(2)		05(3)		05(4)		05(5)		05(6)		05(7)		05(8)	
E15	EKI...	09	EL...	Atanan		06(1)		06(2)		06(3)		06(4)		06(5)		06(6)		06(7)		06(8)	
E15	EKI...	07	ME...	Hedef		07(1)		07(2)		07(3)		07(4)		07(5)		07(6)		07(7)		07(8)	
E15	EKI...	09	EL...	Atanan		07(1)		07(2)		07(3)		07(4)		07(5)		07(6)		07(7)		07(8)	
E15	EKI...	09	EL...	Hedef		09(1)		09(2)		09(3)		09(4)		09(5)		09(6)		09(7)		09(8)	

Şekil 5.13. Doğrusal öncelik puanlı simülasyon temelli çizelgeleme algoritmasının orta ölçek için karşılaştırma raporu

Orta ölçekte yapılan deneyler neticesinde elde edilen verilere göre; bulanık öncelik puanlı simülasyon temelli çizelgeleme, daha fazla sayıda koruyucu bakımın hedef gününe atanmasını sağlamış olmakla beraber gününe atayamadığı koruyucu bakımlarda ise gün olarak çok fazla saptırma yaptırmıştır (Şekil 5.12). Bu ölçekte yapılan deneylerde; Hedef gününe atanamayan KB oranı için 0,42 ve hedeften sapmaların ortalaması için de 0,78 gün/KB değerini veren bulanık öncelik puanlı genetik temelli çizelgeleme en iyi sonuçları vermiştir.

Ekipman Kodu	Ekipman Adı	Bakım No	Bakım Açıklığı	Günler
E11	EKI...	10	Hi...	Hedef: 23.04, 24.04, 25.04, 26.04, 27.04, 28.04, 29.04, 30.04, 01.05, 02.05, 03.05, 04.05, 05.05, 06.05, 07.05, 08.05, 09.05 Atanan: 23.04, 24.04, 25.04, 26.04, 27.04, 28.04, 29.04, 30.04, 01.05, 02.05, 03.05, 04.05, 05.05, 06.05, 07.05, 08.05, 09.05
E12	EKI...	04	YA...	Hedef: 23.04, 24.04, 25.04, 26.04, 27.04, 28.04, 29.04, 30.04, 01.05, 02.05, 03.05, 04.05, 05.05, 06.05, 07.05, 08.05, 09.05 Atanan: 23.04, 24.04, 25.04, 26.04, 27.04, 28.04, 29.04, 30.04, 01.05, 02.05, 03.05, 04.05, 05.05, 06.05, 07.05, 08.05, 09.05
E12	EKI...	06	CO...	Hedef: 23.04, 24.04, 25.04, 26.04, 27.04, 28.04, 29.04, 30.04, 01.05, 02.05, 03.05, 04.05, 05.05, 06.05, 07.05, 08.05, 09.05 Atanan: 23.04, 24.04, 25.04, 26.04, 27.04, 28.04, 29.04, 30.04, 01.05, 02.05, 03.05, 04.05, 05.05, 06.05, 07.05, 08.05, 09.05
E12	EKI...	07	M...	Hedef: 23.04, 24.04, 25.04, 26.04, 27.04, 28.04, 29.04, 30.04, 01.05, 02.05, 03.05, 04.05, 05.05, 06.05, 07.05, 08.05, 09.05 Atanan: 23.04, 24.04, 25.04, 26.04, 27.04, 28.04, 29.04, 30.04, 01.05, 02.05, 03.05, 04.05, 05.05, 06.05, 07.05, 08.05, 09.05
E12	EKI...	08	KA...	Hedef: 23.04, 24.04, 25.04, 26.04, 27.04, 28.04, 29.04, 30.04, 01.05, 02.05, 03.05, 04.05, 05.05, 06.05, 07.05, 08.05, 09.05 Atanan: 23.04, 24.04, 25.04, 26.04, 27.04, 28.04, 29.04, 30.04, 01.05, 02.05, 03.05, 04.05, 05.05, 06.05, 07.05, 08.05, 09.05
E13	EKI...	05	HA...	Hedef: 23.04, 24.04, 25.04, 26.04, 27.04, 28.04, 29.04, 30.04, 01.05, 02.05, 03.05, 04.05, 05.05, 06.05, 07.05, 08.05, 09.05 Atanan: 23.04, 24.04, 25.04, 26.04, 27.04, 28.04, 29.04, 30.04, 01.05, 02.05, 03.05, 04.05, 05.05, 06.05, 07.05, 08.05, 09.05
E13	EKI...	06	CO...	Hedef: 23.04, 24.04, 25.04, 26.04, 27.04, 28.04, 29.04, 30.04, 01.05, 02.05, 03.05, 04.05, 05.05, 06.05, 07.05, 08.05, 09.05 Atanan: 23.04, 24.04, 25.04, 26.04, 27.04, 28.04, 29.04, 30.04, 01.05, 02.05, 03.05, 04.05, 05.05, 06.05, 07.05, 08.05, 09.05
E13	EKI...	10	Hi...	Hedef: 23.04, 24.04, 25.04, 26.04, 27.04, 28.04, 29.04, 30.04, 01.05, 02.05, 03.05, 04.05, 05.05, 06.05, 07.05, 08.05, 09.05 Atanan: 23.04, 24.04, 25.04, 26.04, 27.04, 28.04, 29.04, 30.04, 01.05, 02.05, 03.05, 04.05, 05.05, 06.05, 07.05, 08.05, 09.05
E14	EKI...	01	AY...	Hedef: 23.04, 24.04, 25.04, 26.04, 27.04, 28.04, 29.04, 30.04, 01.05, 02.05, 03.05, 04.05, 05.05, 06.05, 07.05, 08.05, 09.05 Atanan: 23.04, 24.04, 25.04, 26.04, 27.04, 28.04, 29.04, 30.04, 01.05, 02.05, 03.05, 04.05, 05.05, 06.05, 07.05, 08.05, 09.05
E14	EKI...	08	KA...	Hedef: 23.04, 24.04, 25.04, 26.04, 27.04, 28.04, 29.04, 30.04, 01.05, 02.05, 03.05, 04.05, 05.05, 06.05, 07.05, 08.05, 09.05 Atanan: 23.04, 24.04, 25.04, 26.04, 27.04, 28.04, 29.04, 30.04, 01.05, 02.05, 03.05, 04.05, 05.05, 06.05, 07.05, 08.05, 09.05
E14	EKI...	09	EL...	Hedef: 23.04, 24.04, 25.04, 26.04, 27.04, 28.04, 29.04, 30.04, 01.05, 02.05, 03.05, 04.05, 05.05, 06.05, 07.05, 08.05, 09.05 Atanan: 23.04, 24.04, 25.04, 26.04, 27.04, 28.04, 29.04, 30.04, 01.05, 02.05, 03.05, 04.05, 05.05, 06.05, 07.05, 08.05, 09.05
E15	EKI...	04	YA...	Hedef: 23.04, 24.04, 25.04, 26.04, 27.04, 28.04, 29.04, 30.04, 01.05, 02.05, 03.05, 04.05, 05.05, 06.05, 07.05, 08.05, 09.05 Atanan: 23.04, 24.04, 25.04, 26.04, 27.04, 28.04, 29.04, 30.04, 01.05, 02.05, 03.05, 04.05, 05.05, 06.05, 07.05, 08.05, 09.05
E15	EKI...	05	HA...	Hedef: 23.04, 24.04, 25.04, 26.04, 27.04, 28.04, 29.04, 30.04, 01.05, 02.05, 03.05, 04.05, 05.05, 06.05, 07.05, 08.05, 09.05 Atanan: 23.04, 24.04, 25.04, 26.04, 27.04, 28.04, 29.04, 30.04, 01.05, 02.05, 03.05, 04.05, 05.05, 06.05, 07.05, 08.05, 09.05
E15	EKI...	06	CO...	Hedef: 23.04, 24.04, 25.04, 26.04, 27.04, 28.04, 29.04, 30.04, 01.05, 02.05, 03.05, 04.05, 05.05, 06.05, 07.05, 08.05, 09.05 Atanan: 23.04, 24.04, 25.04, 26.04, 27.04, 28.04, 29.04, 30.04, 01.05, 02.05, 03.05, 04.05, 05.05, 06.05, 07.05, 08.05, 09.05

Şekil 5.14. Doğrusal öncelik puanlı genetik temelli çizelgeleme algoritmasının orta ölçek için karşılaştırma raporu

5.3.3. Büyük ölçek

Büyük ölçekte yapılan deneylerin, performans değerleri Tablo 5.4'de özet halde verilmiştir. Bu tablodaki verilerden elde edilen grafikler ışığında performans kriterleri ile ilgili yorum ve karşılaştırmalar yapılmıştır.

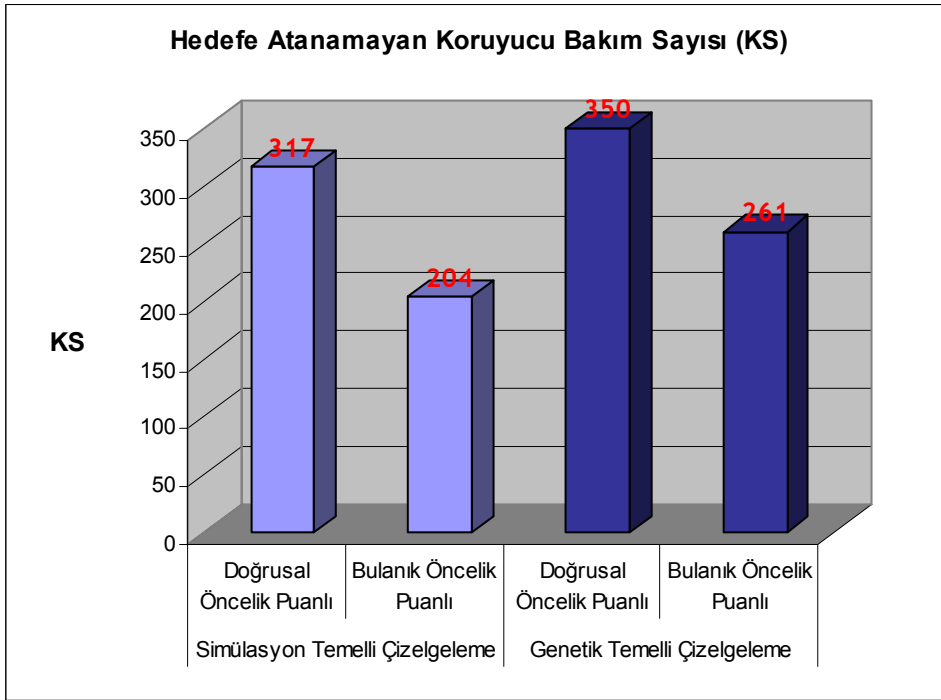
Hedef gününe atanamayan koruyucu bakım sayısı (Şekil 5.15) ve Hedef gününe atanamayan koruyucu bakım oranı (Şekil 5.16) değerlerine bakıldığında, bu

performans kriterleri için en iyi sonucu “Bulanık Öncelik Puanlı Simülasyon Temelli Çizelgeleme” nin, en kötü sonucu ise “Doğrusal Öncelik Puanlı Genetik Temelli Çizelgeleme” nin verdiği görülmektedir.

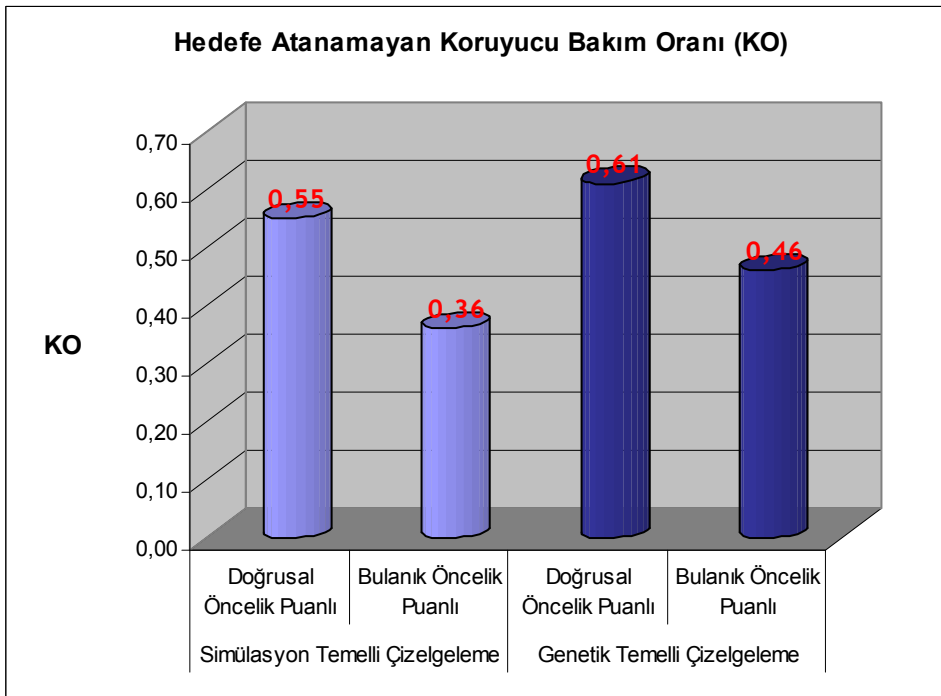
Tablo 5.4. Büyük ölçekteki deneylerin performans değerleri

PERFORMANS KRİTERLERİ		KULLANILAN ALGORİTMA			
		Simülasyon Temelli Çizelgeleme		Genetik Temelli Çizelgeleme	
		Doğrusal Öncelik Puanlı	Bulanık Öncelik Puanlı	Doğrusal Öncelik Puanlı	Bulanık Öncelik Puanlı
Hedefe Atanamayan Koruyucu Bakım Sayısı (KS)		317	204	350	261
Hedefe Atanamayan Koruyucu Bakım Oranı (KO)		0,55	0,36	0,61	0,46
Hedefte Sapmaların Gün Toplamı (GT)		1505	1671	1184	905
Hedefte Sapmaların Ortalaması (SO)		2,63	2,92	2,07	1,58
Bakım Ekibi Kullanım Oranı	Ekip 1	1,00	1,00	1,00	1,00
	Ekip 2	1,00	1,00	1,00	1,00
	Ekip 3	1,00	1,00	0,99	1,00
	Ekip 4	1,00	1,00	0,92	0,99

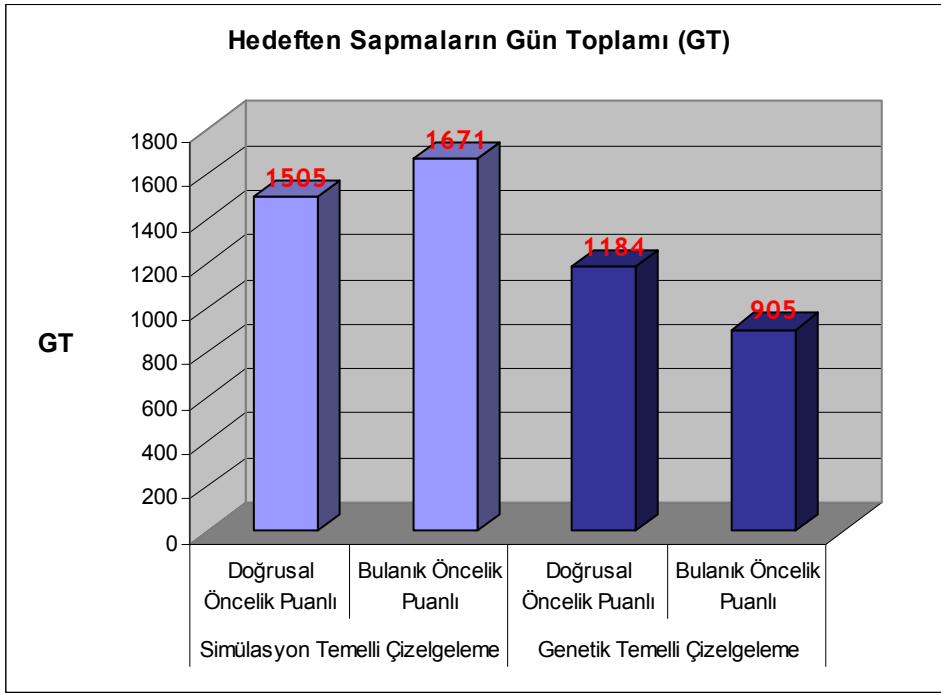
Hedefte sapmaların gün toplamı (Şekil 5.17) ve Hedefte sapmaların ortalaması (Şekil 5.18) değerlerine bakıldığında ise, bu performans kriterleri için en iyi sonucu “Bulanık Öncelik Puanlı Genetik Temelli Çizelgeleme” nin, en kötü sonucu ise “Bulanık Öncelik Puanlı Simülasyon Temelli Çizelgeleme” nin verdiği görülmektedir.



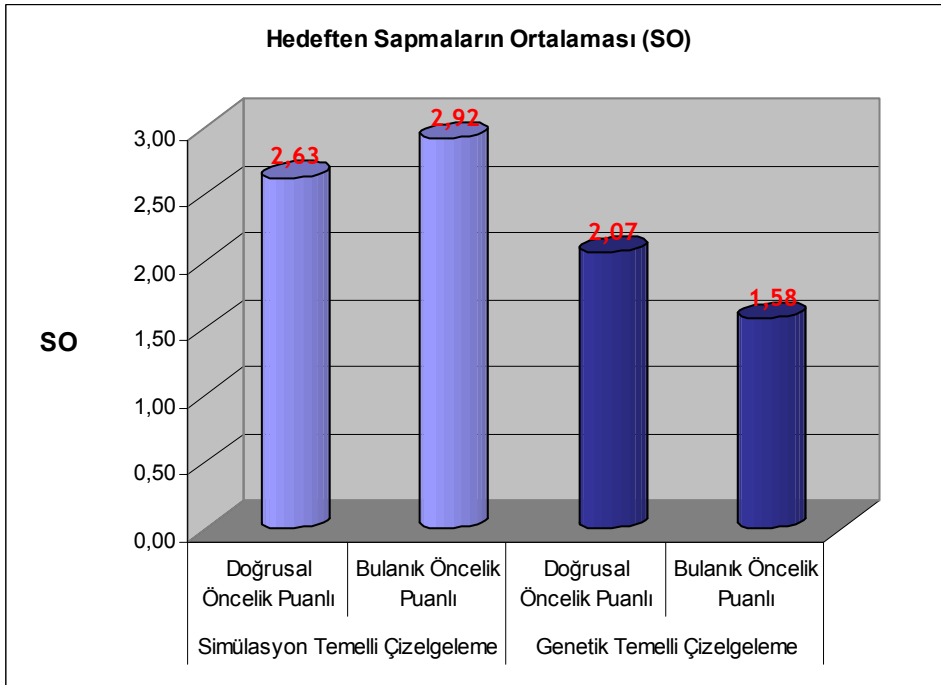
Şekil 5.15. Büyük ölçekteki deneyler için hedefe atanamayan koruyucu bakım sayıları



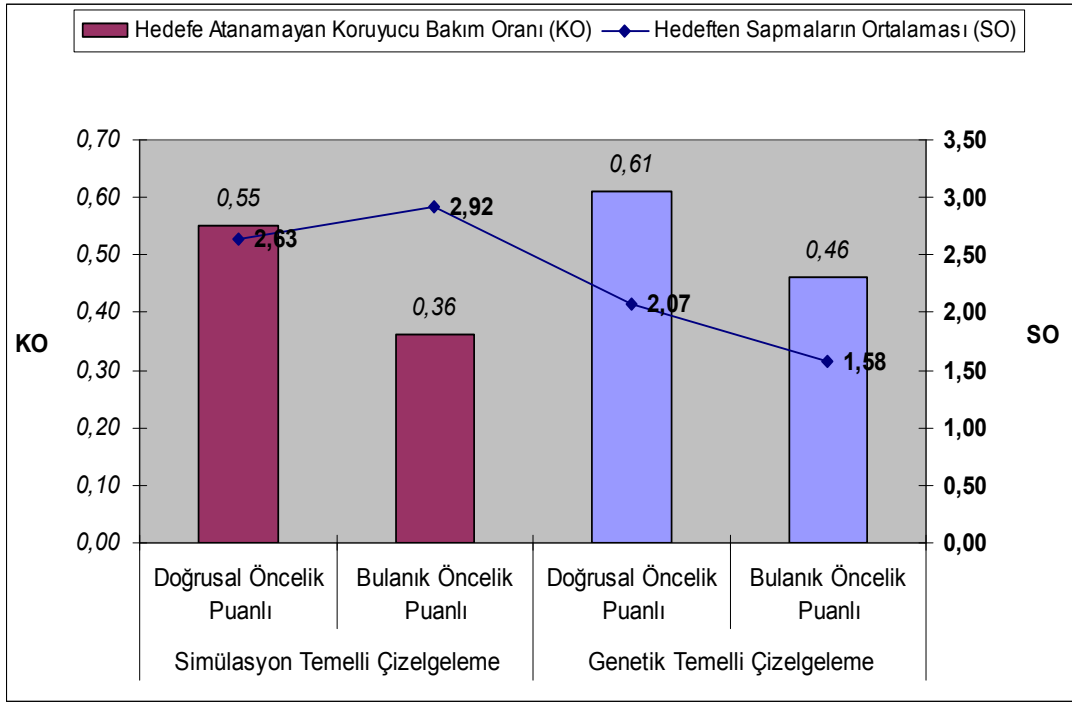
Şekil 5.16. Büyük ölçekteki deneyler için hedefe atanamayan koruyucu bakım oranları



Şekil 5.17. Büyük ölçekteki deneyler için hedeften sapmaların gün toplamı



Şekil 5.18. Büyük ölçekteki deneyler için hedeften sapmaların ortalaması



Şekil 5.19. Büyük ölçek için hedefe atanamayan koruyucu bakım oranları ve hedeften sapmaların ortalaması değerlerinin birlikte gösterimi

Karşılaştırma Raporu					23.04.	24.04.	25.04.	26.04.	27.04.	28.04.	29.04.	30.04.	01.05.	02.05.	03.05.	04.05.	05.05.	06.05.	07.05.	08.05.	09.05.	
E20	EKI...	01	AY...	Hedef																		
				Atanan																		
E20	EKI...	07	M...	Hedef																		
				Atanan																		
E20	EKI...	09	EL...	Hedef																		
				Atanan																		
E21	EKI...	04	YA...	Hedef																		
				Atanan																		
E21	EKI...	06	CD...	Hedef																		
				Atanan																		
E21	EKI...	08	KA...	Hedef																		
				Atanan																		
E21	EKI...	10	HI...	Hedef																		
				Atanan																		
E22	EKI...	05	HA...	Hedef																		
				Atanan																		
E22	EKI...	07	M...	Hedef																		
				Atanan																		
E22	EKI...	08	KA...	Hedef																		
				Atanan																		
E22	EKI...	10	HI...	Hedef																		
				Atanan																		
E23	EKI...	01	AY...	Hedef																		
				Atanan																		
E23	EKI...	06	CD...	Hedef																		
				Atanan																		
E23	EKI...	08	KA...	Hedef																		
				Atanan																		

Şekil 5.20. Bulanık öncelik puanlı simülasyon temelli çizelgeleme algoritmasının büyük ölçek için karşılaştırma raporu

Büyük ölçekte yapılan deneyler neticesinde elde edilen verilere göre; bulanık öncelik puanlı simülasyon temelli çizelgeleme, daha fazla sayıda koruyucu bakımın hedef gününe atanmasını sağlamış olmakla beraber gününe atayamadığı koruyucu bakımlarda ise gün olarak çok fazla saptırma yaptırmıştır (Şekil 5.19). Bu ölçekte yapılan deneylerde; Hedef gününe atanamayan KB oranı için 0,46 ve hedeften sapmaların ortalaması için de 1,58 gün/KB değerini veren bulanık öncelik puanlı genetik temelli çizelgeleme en iyi sonuçları vermiştir.



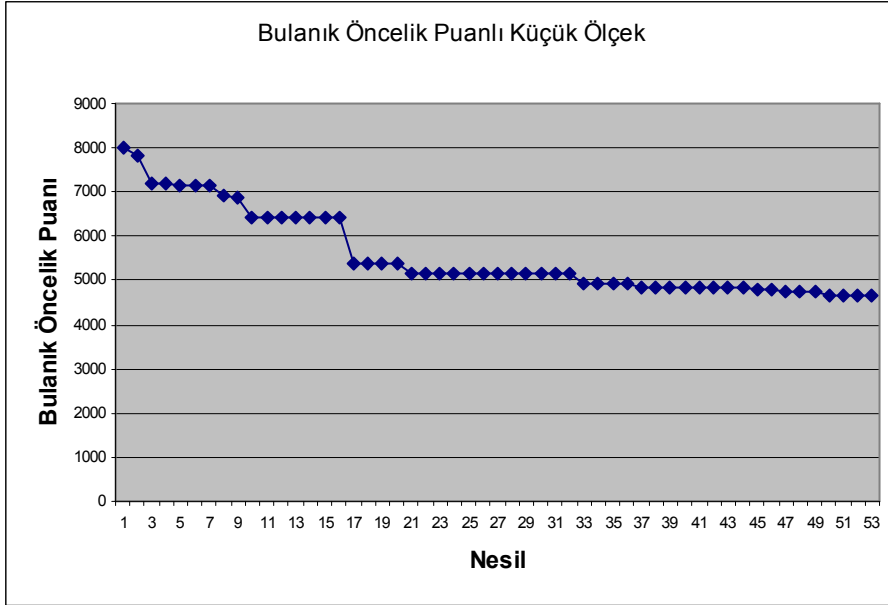
Şekil 5.21. Bulanık öncelik puanlı genetik temelli çizelgeleme algoritmasının büyük ölçek için karşılaştırma raporu

5.4. Genetik Algoritmanın Gelişimi

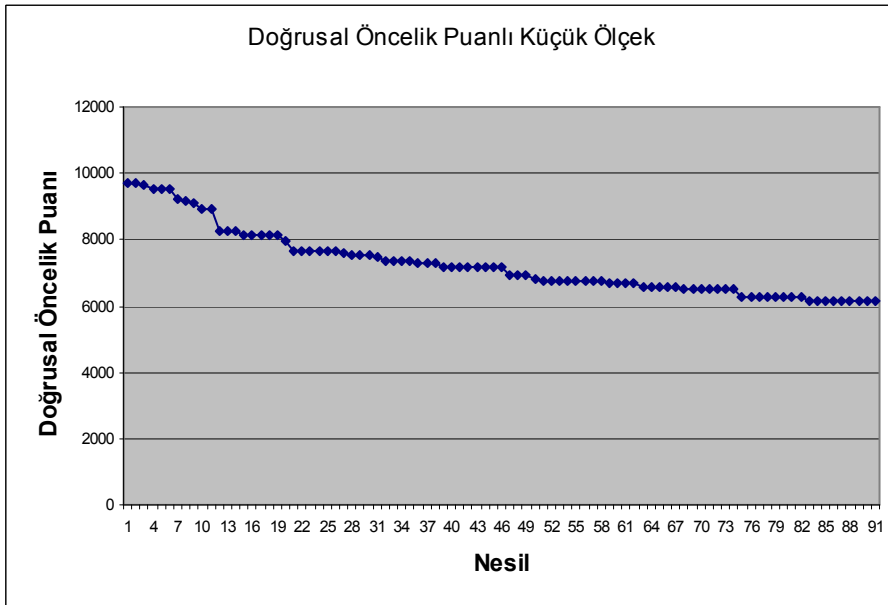
Bu kısımda genetik temelli çizelgelemenin performans gelişimi önce; küçük, orta ve büyük ölçeklerde ayrı ayrı incelenmiştir. Bulanık öncelik puanlı ve doğrusal öncelik puanlı çizelgelemeler aynı grafik (her ölçek için) üzerinde gösterilmiştir. Puan hesaplama yöntemlerindeki farklılık nedeniyle, kıyaslamaların puan olarak değil de, iyiye doğru gidişe yani grafiğin eğimine göre yapılması daha anlamlı olacaktır. Her bir ölçek için verilen gelişim grafiklerinin ardından nesil sayısına bağlı olarak gelişim oranları da ayrıca değerlendirilmiştir.

5.4.1. Küçük ölçek

Küçük ölçekteki genetik çizelgelemede bulanık öncelik puanı, algoritmanın daha hızlı bir şekilde iyi çözümlere gitmesini sağlamıştır (Şekil 5.22 - 23).



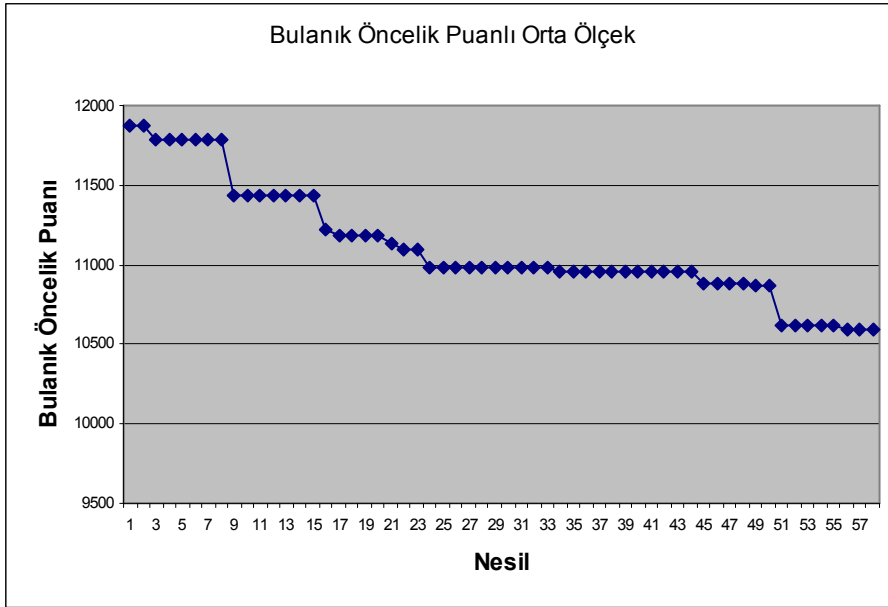
Şekil 5.22. Küçük ölçek için bulanık öncelik puanlı genetik temelli çizelgelemenin gelişimi



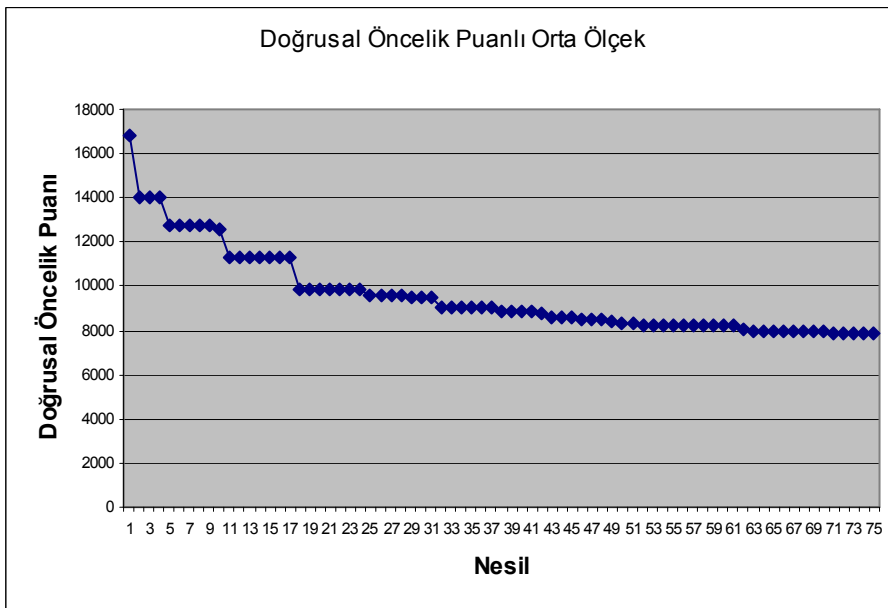
Şekil 5.23. Küçük ölçek için doğrusal öncelik puanlı genetik temelli çizelgelemenin gelişimi

5.4.2. Orta ölçek

Orta ölçekteki genetik çizelgelemede doğrusal öncelik puanının, bulanık öncelik puanına nispetle önemli sıçramalar yaptığı görülmüştür (Şekil 5.24 - 25).



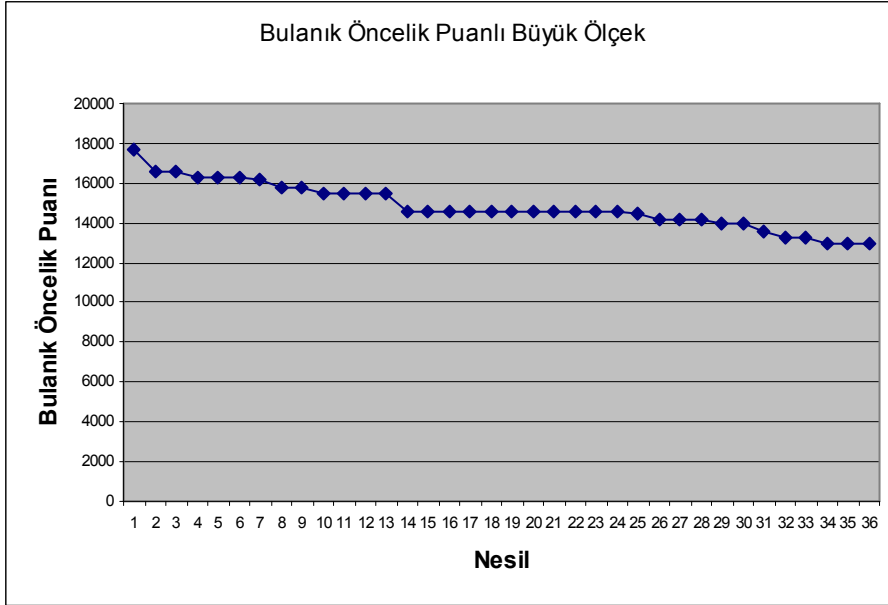
Şekil 5.24. Orta ölçek için bulanık öncelik puanlı genetik temelli çizelgelemenin gelişimi



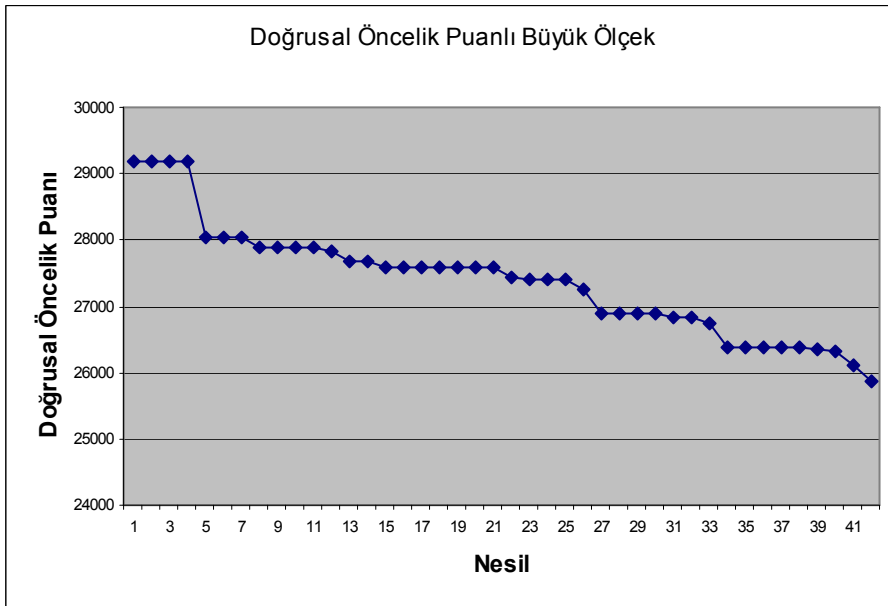
Şekil 5.25. Orta ölçek için doğrusal öncelik puanlı genetik temelli çizelgelemenin gelişimi

5.4.3. Büyük ölçek

Büyük ölçekte ise, yine bulanık öncelik puanının çözüme ulaşılmasında daha iyi bir performans gösterdiği gözlenmiştir (Şekil 5.26 - 27).



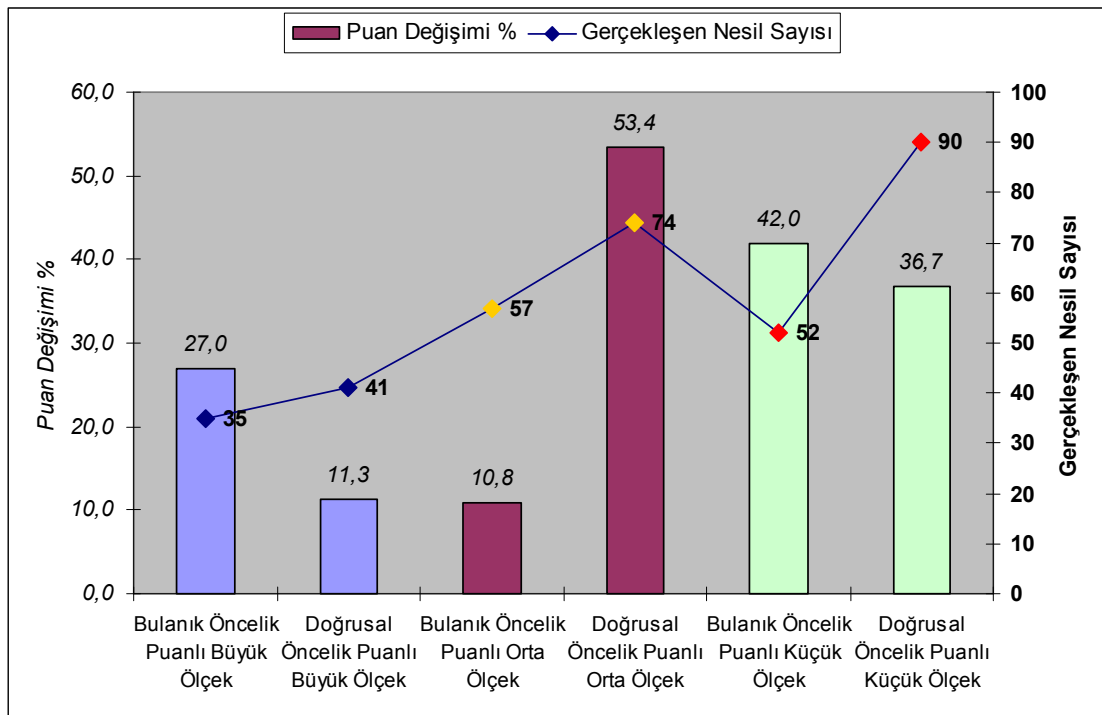
Şekil 5.26. Büyük ölçek için bulanık öncelik puanlı genetik temelli çizelgelemenin gelişimi



Şekil 5.27. Büyük ölçek için doğrusal öncelik puanlı genetik temelli çizelgelemenin gelişimi

Gelişim oranı:

Tüm ölçeklerde yapılan genetik temelli çizelgelerin, iki öncelik puanı türünde gösterdiği performanslar, oransal olarak şekil 5.28 de gösterilmiştir. Yukarıdaki genetik temelli algoritmalarla ilgili yapılan analizlerin bir özeti olan bu değerlendirmede; küçük ve büyük ölçeklerde bulanık öncelik puanının, orta ölçekte ise doğrusal öncelik puanının iyi çözümlere hızlı bir şekilde ulaşmada daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.



Şekil 5.28. Tüm ölçekler için hedefe atanmayan koruyucu bakım oranları ve hedeften sapmaların ortalaması değerlerinin birlikte gösterimi

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, bakım yönetim sistemleri içinde önemli uygulama alanları bulmuş koruyucu bakımları gerçekleştirecek olan kısıtlı kaynaklarımızın çizelgelenmesi konusu çalışılmıştır. Bu amaçla simülasyon temelli ve genetik temelli olmak üzere iki algoritma geliştirilmiştir. Bu iki algoritma içinde, koruyucu bakımların önceliklerinin belirlenmesinde; bulanık veya doğrusal önceliklendirme teknikleri kullanılmıştır.

Tezde, değişken ölçeklerde olabilecek üretim sistemleri düşünülerek, küçük, orta ve büyük ölçekteki veri setlerinde, geliştirilen algoritmalar çalıştırılmış ve sonuçları incelenmiştir. Burada, ölçekler arası bir ilişki söz konusu değildir ve üç ölçekte yapılan deneylerin herbiri bağımsız bir şekilde düşünülmelidir.

Genetik temelli algoritmalar sabit bir süre çalıştırılmış, bu süre sonunda bulanık ve doğrusal öncelik puanlı algoritmaların kaç nesil ilerledikleri ve bu nesiller neticesinde sağladıkları iyileşmeler kıyaslanmıştır. Bulanık önceliklendirme yönteminde daha hızlı bir iyileşme sağlanmasına karşın, öncelik puanları hesaplama işlem sürelerinde (yapılan bulanık hesaplar nedeniyle) dolayısıyla genetik temelli bulanık önceliklendirme algoritmalarının çalışma sürelerinde önemli bir artış gözlenmiştir. Bunun nedeni; genetik algoritmaların kendi işlem yüküne ilave olarak sistem gereği algoritma içine ilave edilen “bulanık öncelik puanı hesaplama” adımı da çok yoğun hesaplamalar olmasıdır. Bunun yanında; her iki önceliklendirme türünde de standart genetik akışa “kaynaklara atama” adımının da ilave olduğu gözden kaçırılmamalıdır. Sonuçlarda en fazla dikkat çeken durum ise; genetik algoritmaların, simülasyon temelli algoritmalara göre, hedef günlerden daha az sapmaları olan çizelgeler sunmasıdır.

Geliştirilen sistem ve bu sistem içindeki algoritmalar esnek tasarımları ile herhangi bir bakım yönetim sistemine entegre zeki bir çizelgeleme aracı olabilecek bir yapıdadır. Koruyucu bakımların bir plan dahilinde uygulanması için gerekli olan; Ekipman verileri, Ekipmanlara tanımlı koruyucu bakımlar(KB), KB frekansı, KB Süresi, KB’de kullanılacak kaynaklar ve çalışma saatleri verilerini okuyarak, algoritma gerekli genetik kod yapısını oluşturabilmekte ve koruyucu bakımlarının çizelgenmesini gerçekleştirebilmektedir.

Ayrıca bakım ekibi sayısı ve çalışma saatlerinin değiştirilebilmesi olanakları sayesinde geliştirilen sistem gerekli bakım işgücünün belirlenmesi problemlerinin analizinde de kullanılabilir.

Koruyucu bakım kaynaklarının çizelgenmesi problemi için geliştirilen sistemin ışığında çeşitli çalışmalar yapılabilir.

1. Modelde uzman görüşü olarak kullanılan KB önem bilgisi;
 - Ekipmanın fiziki durumu
 - Üretim içindeki kritikliği
 - KB’nin (tek başına) önemi

Bilgilerinden bulanık bir çıkarım ile elde edilebilir.

2. Ekipler için sertifikasyon veya uzmanlık durumlarına göre çeşitli kısıtlar (hangi ekip hangi KB’yi yapabilir) ilave edilerek algoritma daha da geliştirilebilir.
3. Koruyucu bakımların çizelgelerine göre icra edilmeleri sırasında arızaların meydana gelmesi durumunda çizelgeler üzerinde değişiklik yapılması kaçınılmazdır. Bu nedenle, arıza bildirimleri olduğu anlarda; oluşan arızaların öncelikleri ve KB öncelikleri arasında karar verecek ve icra edilmekte olan koruyucu bakım çizelgesinde yapılabilecek optimum değişiklikleri yapacak bir algoritmanın geliştirilmesi de söz konusu olabilir.

4. Koruyucu bakımların çizelgelenmesi ve/veya arıza bildirimlerinin olduğu bir yapı üretim çizelgelerinden bağımsız düşünülemez. Dağıtık simülasyon uygulamaları kullanılarak; çalışmanın bir tarafı olabilecek geliştirilen koruyucu bakım çizelgeleme algoritması ile üretim çizelgeleme algoritmaları entegre bir sistem haline getirilebilir. Sürekli etkileşim halinde olan bu iki sistem böyle bir yapıya kavuşturulduklarında çizelgelerdeki değışimlerin bütünleşik bir yapıda izlenebilirliği ve uygulanabilirliği sağlanabilir.

KAYNAKLAR

ABDULWHAB, A., BILLINTON, R., ELDAMATY, A. A., FARIED, S. O., Maintenance Scheduling Optimization Using a Genetic Algorithm (GA) with a Probabilistic Fitness Function”, *Electric Power Components and Systems*, 32:1239–1254, 2004

AHIRE, S., GREENWOOD. G., GUPTA, A., TERWILLIGER, M., Workforce-constrained preventive maintenance scheduling using evolution strategies, *Decision Science Journal* 31(4) 833-859, 2000

BRIS, R., CHATELET, E., YALAOUI, F., New method to minimize the preventive maintenance cost of series-parallel systems, *Reliability Engineering and System Safety*, 82 247–255, 2003

BURKE, E.K., CLARK, J.A., SMITH, A.J, Four Methods for Maintenance Scheduling In *Proceedings of the International Conference on Artificial Neural Networks and Genetic Algorithms*, pp264–269, Springer, ISBN: 3-211-83087-1, 1997

CASSADY, C.R., KUTANOĞLU, E., Minimizing job tardiness using integrated preventive maintenance planning and production scheduling, *IEE Transactions*, 35, 503-513, 2003

CAVORY, G., DUPAS, R., GONCALVES, G., A genetic approach to the scheduling of preventive maintenance tasks on a single product manufacturing production line, *Int. J. Production Economics* 74, 135-146, 2001

CHEN, J.S., PAN, J.C.H., LIN, C.M., “A hybrid genetic algorithm for the re-entrant flow-shop scheduling problem”, *Expert Systems with Applications* 34 570–577, 2008

CHENG, R., GEN, M., TSUJIMURA, Y., A tutorial survey of job-shop scheduling problems using genetic algorithms, part II: hybrid genetic search strategies, *Computers & Industrial Engineering* 36 343–364, 1999

CHEUNG, K.Y., HUI, C.W., SAKAMOTO, H., HIRATA, K., O'YOUNG L., Short-term site-wide maintenance scheduling, *Computers and Chemical Engineering* 28 91-102, 2004

CHOUÉIRY, B.Y., SEKINE, Y., Knowledge based method for power generators maintenance scheduling, *Expert Syst Application Power Syst*, 1988, 9, 7-14, 1988

CORNELL, P., LEE, H., VE TAGARAS, G., Warnings of Malfunctions: The decision to inspect and maintain processes on schedule or on demand, *Management Science*, 33 (10), 1277-1290, 1987

COUDERT, T., GRABOT, B., ARCHIMEDE, B., Production/maintenance cooperative scheduling using multi-agents and fuzzy logic, *int. j. prod. res.*, , vol. 40, no. 18, 4611-4632, 2002

COURTOIS, P.J., DELSARTE, P., On the optimal scheduling of periodic tests and maintenance for reliable redundant components, *Reliability Engineering and System Safety* 91 66–72, 2006

COX, E., *Fuzzy Logic For Business and Industry*, Charles River Media, Inc., Massachusetts, 1995

COX, E., *The Fuzzy Systems Handbook*, Second Edition, AP Professional, USA, 1999

DAHAL, K. P., CHAKPITAK, N., Generator maintenance scheduling in power systems using metaheuristic-based hybrid approaches, *Electric Power Systems Research* 77 771–779, 2007

DAHAL, K.P., ALDRIDGE, C.J., MCDONALD, J.R., Generator maintenance scheduling using a genetic algorithm with a fuzzy evaluation function, *Fuzzy Sets and Systems*, 102, 21-29, 1999

DAVIS, L., Applying adaptive algorithms to epistatic domains. In: *Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 162±4, 1985

DAVIS, L., *Handbook of Genetic Algorithms*, Van Nostrand Reinhold, NewYork, 1991

DERIS, S., OMATU, S., OHTA, H., KUTAR, S., SAMAT P.A., Theory and Methodology Ship maintenance scheduling by genetic algorithm and constraint-based reasoning, *European Journal of Operational Research* 112, 489±502, 1999

DHILLON, B.S., *Engineering Maintenance A Modern Approach*, , CRC PRESS, ISBN 1-58716-142-7, 2002

DUFFUAA, S.O., AL-SULTAN, K.S., Mathematical programming approaches for the management of maintenance planning and scheduling *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Bradford, Vol.3, Iss. 3; pg. 163, 1997

EDWIN, K.W., CURTIUS, F., New maintenance scheduling method with production cost minimization via integer linear programming, *Int J Electrical Power Energy Syst*,12,165–170, 1990

EL-SHARKH, M.Y., EL-KEIB, A.A., An evolutionary programming-based solution methodology for power generation and transmission maintenance scheduling *Electric Power Systems Research*, 65, 35-40, 2003

EL-SHARKH, M.Y., EL-KEIB, A.A., CHEN, H., A fuzzy evolutionary programming-based solution methodology for security-constrained generation maintenance scheduling, *Electric Power Systems Research* 67, 67-72, 2003

FALKENAUER, E, BOUFFOIX, S., A genetic algorithm for job shop. In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, p. 824±9, 1991

FIĞLALI, A., ENGİN, O., Genetik Algoritmalarla Akiş Tipi Çizelgelemede Üreme Yöntemi Optimizasyonu, *İTÜ Dergisi*, s. 1-6, 2002

FOSTER, G. D.; VAN TRAN, H., Maintenance and Money, *Information Strategy: The Executive's Journal*, Spring, Vol. 6 Issue 3, p40, 1990

FUNG, R.Y.K. , TANG J. ve WANG D., Extension Of A Hybrid Genetic Algorithm For Nonlinear Programming Problems With Equality And Inequality Constraints, *Computers & Operations Research*, Volume: 29, Issue: 3, s. 261-274, 2001

GEN, M., CHENG, R., *Genetic Algorithms and Engineering Design*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1997

GHARBI, A., KENNE, J.P., Maintenance scheduling and production control of multiple-machine manufacturing systems, *Computers & Industrial Engineering* 48 693–707, 2005

GOLDBERG, D.E., *Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning*, Addison Wesley Publishing Company, USA, 1989

GOPALAKRISHNAN, M., AHIRE, S., VE MILLER, D., Maximizing the effectiveness of a preventive maintenance system: An adaptive modelling approach, *Management Science*, 43 (6), 827-840, 1997

GRAVES, G.H., LEE C.Y., Scheduling maintenance and semiresumable jobs on a single machine, *Naval Research Logistics*, 46, 845–863, 1999

GRIGORIEV, A., KLUNDERT, J.V.D., SPIEKSMAN, F.C.R., Modeling and solving the periodic maintenance problem, *European Journal of Operational Research* Volume 172, Issue 3, Pages 783-797, 2006

HAGHANI, A., SHAFABI, Y., Bus maintenance systems and maintenance scheduling: model formulations and solutions, *Transportation Research Part A* 36, 453–482, 2002

HARIGA, M., A Deterministic Maintenance Scheduling Problem for a Group of Non-identical Machines, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 14 No. 7, pp. 27-36., MCB University Press, 0144-3577, 1994

HIGGINS, LINDLEY R., *Maintenance Engineering Handbook*, McGraw-Hill, 1995

HIJES, F.C.G.L., CARTAGENA, J.J.R., Maintenance strategy based on a multicriterion classification of equipments *Reliability Engineering and System Safety*, 91, 444–451, 2006

HOLLAND, J.H., “Adaptation in natural and artificial systems”, University of Michigan Press, New York, 1975

HUANG, C. J., LIN, C. E., HUANG, C. L., Fuzzy approach for generator maintenance scheduling. *Journal of Electric Power System Research*, 1992, 24, 31-38, 1992

HUANG, J.Y., New search algorithm for solving the maintenance scheduling problem for a family of machines, Optimization Methods and Software Vol. 21, No. 3, 461–477, 2006

HUANG, S.J., A genetic-evolved fuzzy system for maintenance scheduling of generating units, International Journal of Electrical Power and Energy Systems; 20(3):191–5, 1998

www.idcon.com, Temmuz 2006 tarihinde erişilmiştir.

JANG, J. S. R., Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach To Learning and Machine Intelligence, Chapter 7: Derivative-Free Optimization, Prentice-Hall, USA, s. 173-196, 1997

JOHNSON, P. DALE., “Principles of controlled maintenance management” ISBN 0-88173-396-2 (The Fairmont Press, Inc.) ISBN 0-8247-0926-8 (Marcel Dekker, Inc.), 2002

KANS, M., An approach for determining the requirements of computerised maintenance management systems, Computers in Industry , 59, 32–40, 2008

KAYNAK, O., ZADEH, L., TÜRKŞEN, İ. B., Computational intelligence : Soft computing and fuzzy - neuro integration with applications, Springer, Berlin, 1998

KIM, H., HAYASHI, Y., NARA, K., An algorithm for thermal unit maintenance scheduling through combined use of GA, SA and TS., IEEE Trans Power Syst, 12,329–335, 1997

KIM, H., NARA, K., GEN, M., A method for maintenance scheduling using GA combined with SA, IEEE Trans Power Syst, 27, 477–480, 1994

KOBU, B., Üretim Yönetimi, İ.Ü. İşletme Fakültesi İşletme İktisadı Enstitüsü Araştırma ve Yardım Vakfı, İstanbul, 1999

KOOMSAP, P., SHAIKH, N. I., PRABHU, V.V., Integrated process control and condition-based maintenance scheduler for distributed manufacturing control systems, International Journal of Production Research, Vol. 43, No. 8, 15 April, 1625–1641, 2005,

KRALJ, B., PETROVIC, R., A multiobjective optimisation approach to thermal generating units maintenance scheduling, Eur J Oper Res, 84, 481–493, 1995

KRALJ, B., RAJAKOVIC, N., Multiobjective programming in power system optimization: new approach to generator maintenance scheduling, *Int J Electr Power Energy Syst.*, 16(4), 24–32, 1994

LEOU, R.C., A flexible unit maintenance scheduling considering uncertainties. *IEEE Trans Power Syst* ,16(3), 552–561, 2001

LEOU, R.C., A new method for unit maintenance scheduling considering reliability and operation expense, *Electrical Power and Energy Systems*, 28 471–481, 2006

LEVITT, J., *The Handbook of Maintenance Management*, Industrial Pres Inc, New York, 1997

LIMBOURG, P., KOCHS, H.D., Preventive maintenance scheduling by variable dimension evolutionary algorithms, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 83, 262–269, 2006

MARSEGUERRA, M., ZIO, E., Optimizing maintenance and repair policies via a combination of genetic algorithms and Monte Carlo simulation, *Reliability Engineering and System Safety* 68, 69–83, 2000

MARWALI, M.K.C., SHAHIDEHPOUR, S.M., A probabilistic approach to generation maintenance scheduler with network constraints. *Electrical Power Energy Syst*, 21, 533–545, 1999

MCNEILL, F. M., THRO, E., *Fuzzy Logic A Practical Approach*, AP Professional, USA, 1994

MOHANTA, D.K., SADHU, P.K., CHAKRABARTI, R., Fuzzy reliability evaluation of captive power plant maintenance scheduling incorporating uncertain forced outage rate and load representation, *Electric Power Systems Research*, 72, 73–84, 2004

MOHANTA, D.K., SADHU, P.K., CHAKRABARTI, R., Deterministic and stochastic approach for safety and reliability optimization of captive power plant maintenance scheduling using GA/SA-based hybrid techniques: A comparison of results, *Reliability Engineering and System Safety* 92 (2007) 187–199, 2007

MORO, L., RAMOS, A., Goal programming approach to maintenance scheduling of generating units in large scale power system. *IEEE Trans Power Syst*;14:1021–8 1999

MPM-REFA, Planlama ve Yönetme Yöntem Bilgisi, Darmstadt, MPM-REFA, 1989

NABIYEV, V.V., Yapay Zeka Problemler - Yöntemler – Algoritmalar, Seçkin Yayıncılık, 2005

O'DONOGHUE, C.D., PRENDERGAST, J.G., 2004, Implementation and benefits of introducing a computerised maintenance management system into a textile manufacturing company, Journal of Materials Processing Technology 153–154 226–232, 2004

ÖZGEN, H., Üretim Yönetimi, Bizim Büro Basımevi, Ankara, 1987

PALMER, D., Maintenance Planning and Scheduling Handbook, McGraw-Hill, New York, 1999

PAZ, N. M., LEIGH, W., Maintenance scheduling: Issues, results and research needs, International Journal of Operations & Production Management, Bradford: Vol.14, Iss.8, pg.47,23, 1994

PETROVIC, L., Computerized Maintenance Management Systems (CMMS) and Preventive Maintenance, Proceedings of 4th International Symposium on Intelligent Manufacturing Systems, September 6-8, 2004: 192-198, Sakarya University, Department of Industrial Engineering, 2004

PINTELON, L., PREEZ, N.D., PUYVELDE, F.V., Information technology: opportunities for maintenance management, Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 5 No. 1, pp. 9-24, MCB University Press, 1355-2511, 1999

www.plantservices.com, Temmuz 2006 tarihinde erişilmiştir.

QUAN, G., GREENWOOD, G.W., LIU, D., HU, S., Searching for multiobjective preventive maintenance schedules: Combining preferences with evolutionary algorithms, European Journal of Operational Research, 177, 3, 1969-1984, 2007

RAM, B., OLUMOLADE, M., Preventive maintenance scheduling in the presence of a production plan, Production and Inventory Management, 1, 81-87, 1987

ROSS, T.J., Fuzzy Logic With Engineering Applications, John Wiley & Sons, Ltd., England, 2004

RUIZ, R., GARCIA-DIAZ, J.C., MAROTO, C., Considering scheduling and preventive maintenance in the flowshop sequencing problem, *Computers & Operations Research*, Volume 34 , Issue 11, Pages 3314-3330, 2007

SAMARANAYAKE, P., LEWIS, G. S., WOXYVOLD, E. R. A., TONCICH D., Development Of Engineering Structures For Scheduling And Control Of Aircraft Maintenance, *International Journal of Operations & Production Management*, 22, 7/8; ABI/INFORM Global pg. 843, 2002

SATOH, T., NARA, K., Maintenance scheduling by using simulated annealing method, *IEEE Trans Power Syst*, 6(2), 850–7, 1991

SILER, W., BUCKLEY, J.J., *Fuzzy expert systems and fuzzy reasoning*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2005

SILVA, E.L., MOROZOWSKI, M., FONSECA, L.G.S., OLIVERIRA, G.C., MELO, A.C.G., MELLO, J.C.O., Transmission constrained maintenance scheduling of generating units: a stochastic programming approach, *IEEE Trans Power Syst*, 10(2), 695–701, 1995

SITTITHUMWAT, A., SOUDI, F., TOMSOVIC, K., Optimal allocation of distribution maintenance resources with limited information, *Electric Power Systems Research* 68 208–220, 2004

SORTRAKUL, N., NACHTMANN, H.L. , CASSADY, C.R., Genetic algorithms for integrated preventive maintenance planning and production scheduling for a single machine, *Computers in Industry* ,56, 161–168, 2005

SRIRAM, C., HAGHANI, A., An optimization model for aircraft maintenance scheduling and re-assignment, *Transportation Research Part A* 37, 29–48, 2003

SUDIARSO, A., LABIB, A. W., A fuzzy logic approach to an integrated maintenance/production scheduling algorithm, *Int. j. Prod. Res*, vol. 40, no. 13, 3121-3138, 2002

ŞEN, Z., *Mühendislikte Bulanık (Fuzzy) Mantık ile Modelleme Prensipleri*, Su Vakfi Yayınları, İstanbul, 2004

TRAVIS, D.E., CASINGER, L., Five causes of-and remedies for-maintenance manager headaches, *Plant Engineering*, vol. 51, No. 13, Cahners Publishing Company, p. 144(2), 1997

TSAL, Y.T., WANG, K.S., TSAI, L.C., A study of availability-centered preventive maintenance for multi-component systems, *Reliability Engineering and System Safety* 84 261–270, 2004

TSAL, Y.T., WANG, K.S., TENG, H.Y., Optimizing preventive maintenance for mechanical components using genetic algorithms, *Reliability Engineering and System Safety*, 74, 89-97, 2001

ULUSOY, G., OR, İ., SOYDAN, N., Design and implementation of a maintenance planning and control system, *International Journal of Production Economics*, 24, 263-272, 1992

UYGUN, Ö., ŞİMŞİR, F., GÜNDOĞAR, E., KUBAT, C., HLA Based Distributed Simulation Model for Integrated Maintenance and Production Scheduling System in Textile Industry, *Proceedings of 5th International Symposium on Intelligent Manufacturing Systems*, May 29-31, 2006: 921-932, 2006

VOLKANOVSKI, A., MAVKO, B., BOSEVSKI, T., CAUSEVSKI, CEPIN, M., Genetic algorithm optimisation of the maintenance scheduling of generating units in a power system, *Reliability Engineering and System Safety*, Baskıda, Available online 24 March 2007, 2007

WANG, Y., HANDSCHIN, E., A new genetic algorithm for preventive unit maintenance scheduling of power systems, *Electrical Power and Energy Systems*, 2000, 22, 343–348, 2000

WEISS, W.H., Make computerized maintenance management systems pay off, *Hydrocarbon Processing*, Jul98, Vol. 77 Issue 7, p129, 7p, 1bw, 1998

YANG, T.H., YAN, S., CHEN, H.H., An airline maintenance manpower planning model with flexible strategies, *Journal of Air Transport Management* 9, 233–239, 2003

YANG, Z., DJURDJANOVIC, D., NI, J., Maintenance scheduling for a manufacturing system of machines with adjustable throughput, *IIE Transactions*, 39, 1111–1125, 2007

YENİAY, Ö., An Overview of Genetic Algorithms, *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Cilt: 2, Sayı: 1, s. 37-49, 2001

YEO, M. F., AGYEL, E.O., Optimising Engineering Problems Using Genetic Algorithms, *Engineering Computations*, Volume: 15, Number: 2, s. 268- 280, 1996

ZHOU, R., FOX, B., LEE, H.P., NEE, A.Y.C., Bus maintenance scheduling using multi-agent systems, *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 17 623–630, 2004

ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında Gölcük'te doğdu. İlk ve orta öğrenimini Gölcük'te tamamladı.1994 yılında STFA Anadolu Teknik Lisesi Bilgisayar bölümünden mezun oldu. Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünü 1999 yılında bitirdi. Yüksek Lisans'ını, yine Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalında 2002 yılında tamamladı ve aynı yıl içinde Doktora çalışmasına başladı. Halen doktorasına devam etmektedir.

1999-2000 yılları arasında Sezginler Gıda A.Ş.'de Stok Planlama sorumlusu olarak çalıştı. Temmuz 2000'de; kadrosu Fen Bilimleri Enstitüsü'nde olmak üzere, ek görevlendirme ile Sakarya Üniversitesi Bilgi İşlem Daire Başkanlığında Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. 2003 yılından itibaren ise Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya devam etmektedir.