

T.C.
CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANA BİLİM DALI
ÜRETİM YÖNETİMİ VE PAZARLAMA BİLİM DALI

ÜRETİM VE HİZMET PLANLAMASINDA ÇİZELGELEME
PROBLEMLERİNİN YÖNEYLEM TEKNİKLERİYLE ÇÖZÜMÜ : DERS VE
SINAV PROGRAMLARININ OPTİMİZASYONU ÜZERİNE BİR UYGULAMA

Hazırlayan

Bedrettin Türker PALAMUTÇUOĞLU

Danışman

Prof.Dr. A. İlker TUNAİL

MANİSA

2008

**YÜKSEKÖĞRETİM KURULU DÖKÜMANTASYON MERKEZİ
TEZ VERİ FORMU**

Tez No :

Konu :

Üniv.Kodu :

Tez Yazarının

Soyadı : PALAMUTÇUOĞLU

Adı : Bedrettin Türker

Tezin Türkçe Adı : Üretim ve Hizmet Planlamasında Çizelgeleme Problemlerinin Yöneylem Teknikleriyle Çözümü : Ders ve Sınav Programlarının Optimizasyonu Üzerine Bir Uygulama.

Tezin Yabancı Adı : The Solution Scheduling Problems Via Operation Research Techniques In Production And Service Planning : An Application Over the Optimisation of Course And Examination Timetables.

Tezin Yapıldığı

Üniversite : Celal Bayar Üniversitesi **Enstitü :** Sosyal Bilimler Enstitüsü **Yılı :** 2008
Diğer Kuruluşlar :

Tezin Türü : 1- Yüksek Lisans (X)
2- Doktora ()
3- Tıpta Uzmanlık ()
4- Sanatta Yeterlilik ()

Dili : Türkçe
Sayfa Sayısı : 204
Referans Sayısı : 125

Tez Danışmanlarının

Ünvanı : Prof.Dr.
Ünvanı :

Adı : A.İlker
Adı :

Soyadı : TUNAİL
Soyadı :

Türkçe Anahtar Kelimeler :

1- Çizelgeleme
2- Zaman Çizelgeleme
3- Yapay Zeka
4- Genetik Algoritma
5- Sezgisel Arama Algoritmaları

İngilizce Anahtar Kelimeler :

1- Scheduling
2- Timetabling
3- Artificial Intelligence
4- Genetic Algorithm
5- Heuristic Search Algorithms

Tarih :
İmza :

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Üretim ve Hizmet Planlamasında Çizelgeleme Problemlerinin Yöneylem Teknikleriyle Çözümü: Ders ve Sınav Programlarının Optimizasyonu Üzerine Bir Uygulama” adlı çalışmanın, tarafımdan bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin kaynaklarda gösterilen eserlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanmış olduğumu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

Tarih : .../.../2008
Bedrettin Türker PALAMUTÇUOĞLU

TEZ SAVUNMA SINAV TUTANAĞI

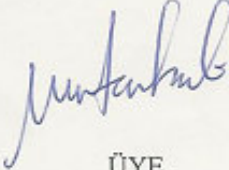
Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü 18/09/2008 tarih ve 23/16 sayılı toplantısında oluşturulan jürimiz tarafından Lisans Üstü öğretim Yönetmeliği'nin 24. Maddesi gereğince Enstitümüz İşletme Anabilim Dalı Üretim Yönetimi ve Pazarlama Yüksek Lisans Programı öğrencisi Bedrettin Türker PALAMUTÇUOĞLU'nun "Üretim/Hizmet Planlamada Çizelgeleme Probleminin Yöneylem Teknikleriyle Çözümü: Ders ve Sınav Programlarının Optimizasyonu Üzerine Bir Uygulama" Konulu tezi incelenmiş ve aday 24/09/2008 tarihinde saat 14.00 de jüri önünde tez savunmasına alınmıştır.

Adayın kişisel çalışmaya dayanan tezini savunmasından sonra 9.15.. dakikalık süre içinde gerek tez konusu, gerekse tezin dayanağı olan anabilim dallarından jüri üyelerine sorulan sorulara verdiği cevaplar değerlendirilerek tezin,

BAŞARILI olduğuna	<input checked="" type="checkbox"/>	<u>OY BİRLİĞİ</u>	<input checked="" type="checkbox"/>
DÜZELTME yapılmasına	<input type="checkbox"/> *	<u>OY ÇOKLUĞU</u>	<input type="checkbox"/>
RED edilmesine	<input type="checkbox"/> **	ile karar verilmiştir.	

* Bu halde adaya 3 ay süre verilir.

** Bu halde adayın kaydı silinir.


ÜYE
Yrd.Doç.Dr. Mustafa GERŞİL

BAŞKAN
Prof.Dr. İlker TUNAİL
(Danışman)


ÜYE
Doç.Dr. Hilmi YÜKSEL

<u>Evet</u>	<u>Hayır</u>
*** Tez, burs, ödül veya Teşvik prog. (Tüba, Fullbright vb.) aday olabilir	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Tez, mutlaka basılmalıdır	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Tez, mevcut haliyle basılmalıdır	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Tez, gözden geçirildikten sonra basılmalıdır.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Tez, basımı gereksizdir.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

ÖNSÖZ

Çizelgeleme ve zaman çizelgeleme problemlerinin çözümünde kullanılan yöntemleri ve bu yöntemlerin ders ve sınav çizelgesi oluşturmada kullanılabilirliğini incelediğim tezimin her aşamasında bana yol gösteren ve desteğini esirgemeyen değerli hocam Prof.Dr.A.İlker TUNAİL'e, tez konusunu belirleme ve fikir oluşturma aşamasında bana yardımcı olan hocalarım Prof.Dr.Cengiz YILMAZ ve Yrd.Doç.Dr. Tuncer ÖZDİL'e , tez çalışmam süresince büyük sabır göstererek her konuda bana destek olan sevgili eşim Aynur (TERZİ) PALAMUTÇUOĞLU'na ve aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım

Ağustos, 2008
Bedrettin Türker PALAMUTÇUOĞLU

ÖZET

Bu araştırmanın amacı, öncelikle üretim çizelgeleme ve zaman çizelgeleme problemlerinin üretim ve hizmet planlamasındaki önemini ortaya çıkarmak ve bu problemlerin çözüm yöntemlerini inceleyerek birer zaman çizelgeleme problemi olan ders ve sınav programlarının otomatik oluşturulmasını sağlayan bir bilgisayar uygulaması geliştirmektir.

Bu amaçla, araştırmanın birinci bölümünde, üretim planlamada üretim çizelgelemenin yeri ve önemi, çizelgeleme problemlerinin çeşitleri ve bu problemlerin çözümü için kullanılan çeşitli yöntemler incelenmiştir. Aynı şekilde hizmet planlamasında zaman çizelgeleme problemlerinin yeri ve önemi, eğitim planlamasında birer zaman çizelgeleme problemi olan ders ve sınav programlarının yeri ve önemi incelenmiştir.

Araştırmanın ikinci bölümünde, öncelikle zaman çizelgeleme problemlerinin tanımı, çeşitleri, yapısı ve önerilen çözüm yöntemleri üzerine bir literatür araştırması sunulmuştur. Literatür araştırmasının ardından uygulamada kullanılacak çözüm algoritmaları (genetik algoritmalar, açgöz rasgele adaptif arama prosedürü, tepetırmanma algoritması, tabu araştırma, tavlama benzetimi - yapay ısı işlem algoritmaları) ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Araştırmanın üçüncü ve son bölümünde ise, Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi için ders ve sınav programlarını çözen bir uygulama geliştirilmiş ve algoritmanın yapısı hakkında bilgiler sunulmuştur. Bu amaçla öncelikle, problemin kısıtları belirlenerek matematiksel modellemesi yapılmıştır. Bu modeli kullanan melez bir genetik algoritma geliştirilmiş ve detayları sunulmuştur. Son olarak 2007-2008 Bahar yarıyılı için gerekli kısıtlamalar girilerek, ideal konfigürasyon ile program test edilmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

ABSTRACT

The aim of this research, first of all, is to reveal the importance of production scheduling and timetabling problems in production and service planning by examining the solution methods of these problems, to build up a computer program which provides the automatic constitution of lecture and examination schedules, each being a problem of timetabling.

Parallel to this aim; in the first chapter of this research; types of scheduling problems and methods used in solving these problems are examined. Similarly, the place and importance of timetabling in service planning and the place and importance of lesson and examination schedules, each being a timetabling problem in the course of education are examined.

In the second chapter, a survey of literature on the definition, types, structure and advised solutions of timetabling problems is presented. Following the survey of literature; solution algorithms which will be used in the application (genetic algorithms, greedy random adaptive search procedure, hill climbing algorithm, tabu search, simulated annealing algorithms) are examined in detail.

In the third and last chapter of the research, a programme for solving the problem of course and examination schedules is developed for CBU, The Faculty of Administrative Sciences and Economics; and general information about the structure of the algorithm is presented. Following this aim, the constraints of the problem are defined and mathematical modelling it is constructed. A hybrid genetic algorithm using this model is developed and details are given. Lastly, by making the necessary restrictions for the 2007-2008 Spring term the programme is tested by an ideal configuration and results are evaluated.

İÇİNDEKİLER

TEZ VERİ FORMU	ii
YEMİN METNİ.....	iii
TEZ SAVUNMA SINAV TUTANAĞI.....	iv
ÖNSÖZ.....	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xviii
TABLolar LİSTESİ.....	xxii
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxv
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

ÜRETİM VE HİZMET PLANLAMASINDA ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ, TÜRLERİ VE ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

1.1. Üretim Planlaması.....	4
1.1.1. Üretim Planının Hazırlanması.....	5
1.1.1.1. Uzun Vadeli Planlama	7
1.1.1.2. Orta Vadeli Planlama.....	8
1.1.1.3. Kısa Vadeli Planlama.....	11
1.1.2. Çizelgeleme Problemleri, Türleri ve Çözüm Yöntemleri.....	17
1.1.2.1. Çizelgeleme Problemleri.....	17
1.1.2.2. Çizelgeleme Problemlerinin Sınıflandırılması	21

1.1.2.3. Çizelgeleme Problemlerinin Çözümünde Kullanılan Matematiksel ve Sezgisel Yöntemler	26
1.2. Hizmet Planlaması	31
1.2.1. Hizmet Planlama Süreci	33
1.2.2. Zaman Çizelgeleme Problemleri.....	36
1.2.3. Eğitim Planlaması ve Zaman Çizelgeleme	37

İKİNCİ BÖLÜM

ZAMAN ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜNDE KULLANILAN MATEMATİKSEL VE SEZGİSEL YÖNTEMLER

2.1. Literatür Araştırması	39
2.1.1. Literatürde Karşılaşılan Zaman Çizelgeleme Tanımları	39
2.1.2. Zaman Çizelgelemenin Yapısı ve Zorluk Derecesi	40
2.1.3. Zaman Çizelgelemenin Türleri	41
2.1.4. Eğitimsel Zaman Çizelgeleme ve Türleri.....	41
2.1.5. Zaman Çizelgeleme Problemlerinin Çözümünde Kullanılan Yöntemler	43
2.2. Genetik Algoritmalar (Genetic Algorithms)	51
2.2.1. Genetik Algoritmaların Özellikleri	53
2.2.2. Temel Kavramlar.....	53
2.2.2.1. Gen (Gene).....	53
2.2.2.2. Kromozom/Dizi/Birey (Chromosome/String/Individual).....	54
2.2.2.3. Popülasyon (Population).....	54
2.2.2.4. Uygunluk Değeri (Fitness Value).....	54
2.2.2.5. Üreme (Reproduction).....	54

2.2.2.6. Çaprazlama (Crossover).....	54
2.2.2.7. Mutasyon (Mutation).....	55
2.2.3. Genetik Algoritmaların Sağladığı Kolaylıklar.....	55
2.2.4. Basit Bir Genetik Algoritmanın Yapısı.....	56
2.2.5. Temsil Mekanizması (Kodlama).....	58
2.2.5.1. İkili Kodlama (Binary Encoding).....	58
2.2.5.2. Gray Kodlama (Gray Encoding).....	58
2.2.5.3. Permütasyon (Sıralı) Kodlama (Permutation Encoding).....	59
2.2.5.4. Değer Kodlama (Value Encoding).....	60
2.2.5.5. Ağaç Kodlama (Tree Encoding).....	60
2.2.6. Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması.....	60
2.2.7. Uygunluk veya Kalite (Nitelik) Değerlendirmesi.....	61
2.2.8. Genetik Operatörler.....	63
2.2.8.1. Üreme Operatörü (Reproduction).....	63
2.2.8.1.1. Rulet Tekerleği Seçimi (Roulette Wheel Selection).....	64
2.2.8.1.2. Erken Yakınsama (Premature Convergence), Tıkanıklık (Stagnation) ve Uygunluk Ölçekleme (Fitness Scaling).....	65
2.2.8.1.2.1. Doğrusal Ölçekleme (Linear Scaling).....	66
2.2.8.1.2.2. Dinamik Doğrusal Ölçekleme (Dynamic Linear Scaling).....	68
2.2.8.1.2.3. Sigma Budama (Sigma Truncate).....	69
2.2.8.1.2.4. Üs Kuralı Ölçekleme (Power Law Scaling).....	70
2.2.8.1.2.5. Ölçekleme Penceresi (Scaling Window).....	71
2.2.8.1.2.6. Boltzman Seçimi (Boltzman Selection).....	72
2.2.8.1.2.7. Logaritmik Ölçekleme (Logarithmic Scaling).....	73
2.2.8.1.2.8. Normalizasyon (Normalization).....	74

2.2.8.1.3. Sıralama Seçimi(Rank Selection).....	75
2.2.8.1.4. Uniform Seçim (Uniform Selection).....	77
2.2.8.1.5. Turnuva Seçimi (Tournament Selection).....	78
2.2.8.1.6. Kararlı Hal/Sabit Durum Seçimi (Steady State Selection).....	78
2.2.8.1.7. Seçkinlik (Elitism)	78
2.2.8.2. Çaprazlama Operatörü (Crossover).....	79
2.2.8.2.1. İkili (Binary) Kodlanmış Bireylerde Çaprazlama	
Operatörleri.....	79
2.2.8.2.1.1. Tek Noktalı Çaprazlama (One Point Crossover - 1X)	79
2.2.8.2.1.2. İki Noktalı Çaprazlama (Two Point Crossover – 2X).....	80
2.2.8.2.1.3. Düzenli Çaprazlama (Uniform Crossover – UX)	80
2.2.8.2.1.4. Aritmetik Çaprazlama (Arithmetical Crossover – AX) ...	80
2.2.8.2.1.5. Mantıksal Çaprazlama (Logical Crossover - LX).....	81
2.2.8.2.2. Permütasyon Kodlanmış Bireylerde Çaprazlama.....	81
2.2.8.2.2.1. Tek Noktalı Çaprazlama (One Point Crossover – 1X).....	82
2.2.8.2.2.2. İki Noktalı Çaprazlama (Two Point Crossover – 2X).....	82
2.2.8.2.2.3. Düzenli Çaprazlama (Uniform Crossover – UX)	82
2.2.8.2.2.4. Pozisyona Dayalı Çaprazlama	
(Position Based Crossover – PBX)	83
2.2.8.2.2.5. Sıraya Dayalı Çaprazlama	
(Order Based Crossover – OBX)	83
2.2.8.2.2.6. Kısmi Planlı Çaprazlama	
(Partially Mapped Crossover – PMX).....	84
2.2.8.2.2.7. Çevrim Çaprazlama (Cycle Crossover – CX).....	84
2.2.8.2.2.8. Sıralı Çaprazlama (Order Crossover – OX1, OX2, OX3)	85

2.2.8.2.2.9. Doğrusal Sıralı Çaprazlama	
(Linear Order Crossover – LOX).....	86
2.2.8.2.2.10. Kenar Rekombinasyon Çaprazlama	
(Edge Recombination Crossover – ERX).....	87
2.2.8.2.2.11. Geliştirilmiş Kenar Rekombinasyon Çaprazlama	
(Enhanced Edge Recombination Crossover - EERX)....	88
2.2.8.2.2.12. Alt Tur Yığınları Çaprazlama	
(Subtour-Chunks Crossover – SCX)	89
2.2.8.2.2.13. En Yüksek Korumalı Çaprazlama	
(Maximal Preservation Crossover – MPX)	90
2.2.8.2.2.14. Ortada İki Nokta Çaprazlama	
(Two-points Centre Crossover – 2PCX)	90
2.2.8.2.2.15. Sonda İki Nokta Çaprazlama	
(Two-points End Crossover – 2PEX).....	90
2.2.8.2.2.16. Ortada veya Sonda İki Nokta Çaprazlama	
(Two-points End/Centre Crossover – 2PECX).....	91
2.2.8.2.3. Değer Kodlanmış Bireylerde Çaprazlama.....	91
2.2.8.2.4. Ağaç Kodlanmış Bireylerde Çaprazlama.....	92
2.2.8.3. Mutasyon Operatörü (Mutation)	92
2.2.8.3.1. İkili Kodlamada Mutasyon.....	93
2.2.8.3.1.1. Tek Noktada Mutasyon(Single Point Mutation -SPM)....	93
2.2.8.3.1.2. Çok Noktada Mutasyon (Multi Point Mutation).....	93
2.2.8.3.2. Permütasyon Kodlamada Mutasyon	94
2.2.8.3.2.1. İki Bitişik İş Takası	
(Two Operations Adjacent Swap -2OAS).....	94

2.2.8.3.2.2. Üç Bitişik İş Takası (Three Operations Adjacent Swap – 2OAS)	95
2.2.8.3.2.3. İki Rasgele İş Takası (Two Operations Random Swap – 2ORS)	95
2.2.8.3.2.4. Üç Rasgele İş Takası (Three Operations Random Swap – 3ORS)	95
2.2.8.3.2.5. Ters Çevirme Mutasyonu (Inverse Mutation – IM).....	96
2.2.8.3.2.6. İş Kaydırma Mutasyonu (Shift Operation Mutation –SOM)	96
2.2.8.3.2.7. Orta Ters Çevirme Mutasyonu (Centre Inverse Mutation – CIM)	96
2.2.8.3.2.8. Geliştirilmiş Rastgele İki İş Takası (Enhanced Two Operations Random Swap – E2ORS)....	97
2.2.8.3.3. Değer Kodlamada Mutasyon Operatörleri	97
2.2.8.3.4. Ağaç Kodlamada Mutasyon	97
2.2.9. Genetik Algoritmanın Kontrol Parametreleri	98
2.2.9.1. Popülasyon Büyüklüğü (Population Size)	98
2.2.9.2. Çaprazlama Oranı (Crossover Rate).....	98
2.2.9.3. Mutasyon Oranı (Mutation Rate)	98
2.2.9.4. Kontrol Parametreleriyle İlgili Çalışmalar.....	99
2.2.10. Genetik Algoritmalar ve Şema Teorisi (Schema Theory)	100
2.2.11. Standart Genetik Algoritma ve Diğer Modeller.....	102
2.3. Açgözlü Rasgele Adaptif Arama Prosedürü - ARAAP (Greedy Random Adaptive Search Procedure- GRASP).....	104
2.4. Tepe Tırmanma Algoritması (Hill Climbing Algorithm)	106

2.4.1. Komşuluk yapısı (Neighbourhood Structure).....	106
2.4.2. Tepe Tırmanma Algoritmasının Sözde Kodu.....	107
2.4.3. Tepe Tırmanma Algoritmasının Kısır Döngüye Girmesi.....	108
2.5. Tabu Arama Algoritması (Tabu Search Algorithm).....	109
2.5.1.Tabu Arama Stratejileri	110
2.5.1.1. Yasaklama Stratejisi	111
2.5.1.2. Aspirasyon Kriteri ve Tabu Sınırlama.....	111
2.5.1.3. Orta ve Uzun Dönem Öğrenme Stratejileri.....	112
2.5.1.4. Serbest Bırakma Stratejisi.....	112
2.5.1.5. Kısa Dönem Hafıza Stratejisi.....	113
2.5.1.5.1. En iyi Hareketi Seçme Stratejisi	113
2.5.1.5.2. İlk ve En İyi Gelişimi Seçme Stratejisi	113
2.6. Tavlama Benzetimi / Yapay Isıl İşlem – TB (Simulated Annealing - SA). 113	
2.6.1. Probleme Özel Seçenekler	116
2.6.2. Algoritmanın Kendisine Ait Seçenekler.....	116
2.6.2.1. Teorik Soğutma Tarifeleri.....	117
2.6.2.2. Basit Soğutma Stratejileri	117
2.6.2.2.1. Basamak Tipli Sıcaklık Düşürme Stratejisi.....	117
2.6.2.2.1.1. Basit Basamak Tipli Soğutma Tarifeleri	118
2.6.2.2.1.2. Teorik Yaklaşımla Elde Edilen Basamak Tipli Soğutma Tarifeleri	119
2.6.2.2.2. Sürekli Sıcaklık Düşürme Stratejileri	119
2.6.2.2.3. Monoton Olmayan Sıcaklık Düşürme Stratejileri	120
2.6.3. Tavlama Benzetimi Algoritmasının Temel Adımları.....	121
2.6.4. Tasarım Parametreleri.....	122

2.7. Üst Sezgiseller	122
----------------------------	-----

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

UYGUN YÖNTEMLERİN BELİRLENMESİ, BU YÖNTEMLERİ KULLANARAK DERS VE SINAV PROGRAMLARINI OTOMATİK ÇİZELGELEYEN BİR BİLGİSAYAR PROGRAMININ GELİŞTİRİLMESİ

3.1 Araştırmanın Amacı	125
3.2. Verilerin Toplanması	126
3.3. Problemin Tanımı	126
3.3.1. Ders Çizelgeleme Probleminin Tanımı ve Kısıtları	126
3.3.2. Sınav Çizelgeleme Probleminin Tanımı ve Kısıtları.....	128
3.4. Ders Çizelgeleme Probleminin Tamsayı Programlama Modeli	129
3.5. Sınav Çizelgeleme Probleminin Tamsayı Programlama Modeli.....	133
3.6. Problemin Çözümü İçin Uygun Yöntemin Belirlenmesi	135
3.7. Geliştirilen Bilgisayar Yazılımının (GenoDSP) Yapısı ve İşleyişi	135
3.7.1. Kullanıcı Ara Birimi.....	136
3.7.2. GenoDSP Yazılımı İçin Kullanılan Veri Tabanı Ara Birimi.....	143
3.7.2. Ders Çizelgeleme Problemi İçin Geliştirilen Melez Genetik Algoritma	143
3.7.2.1. Kodlama Yapısı	143
3.7.2.2. Uygunluk Değerlendirme.....	145
3.7.2.3. Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması	146
3.7.2.4. Uygun Çaprazlama Operatörünün Belirlenmesi	149
3.7.2.5. Uygun Mutasyon Operatörünün Belirlenmesi	150
3.7.2.6. Uygun Üreme Operatörünün Belirlenmesi	152
3.7.2.7. Seçkinlik (Elitizm).....	153
3.7.2.8. Genetik Algoritma Parametrelerinin Seçimi	153

3.7.3. Sınav Çizelgeleme Problemi İçin Geliştirilen Melez Genetik	
Algoritma	153
3.7.3.1. Kodlama Yapısı	154
3.7.3.2. Uygunluk Değerlendirme.....	155
3.7.3.3. Genetik Operatörler ve Parametreler	156
3.8. Deneysel Çalışma ve Bulgular.....	157
3.8.1. Çaprazlama Operatörünün Belirlenmesi	158
3.8.2. Mutasyon Operatörünün Belirlenmesi	158
3.8.3. Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulmasında Kullanılacak	
Yöntemin Belirlenmesi.....	159
3.8.4. Genetik Algoritma Parametrelerinin Belirlenmesi.....	160
3.8.4.1. Popülasyon Büyüklüğünün Belirlenmesi.....	160
3.8.4.2. Çaprazlama Oranının Belirlenmesi	161
3.8.4.3. Mutasyon Oranının Belirlenmesi	161
3.8.4.3.1. Adaptif Mutasyon Stratejisi.....	162
3.8.5. Seçkinlik Yönteminin Belirlenmesi	164
3.8.6. Üreme/Seçim Operatörünün Belirlenmesi.....	165
3.8.7. Mikro Genetik Algoritma Yaklaşımı	166
3.8.8. Üst Sezgisel Yaklaşım	168
3.8.9. Algoritmanın Çoklu Koşum Çalıştırılması	170
3.8.10. Yapılan Testler Sonucunda Elde Edilen Optimal Konfigürasyon	170
3.8.11. Geliştirilen Genetik Algoritmanın Sözde Kodu	171
3.8.12. Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi	
2007-2008 Eğitim-Öğretim Yılı Bahar Yarıyılı Verileri ile	
Yazılımın Test Edilmesi ve Elde Edilen Sonuçlar	172

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	176
KAYNAKÇA	181
EKLER.....	195

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1: Uzun Vadeli Planlamanın Girdileri, Kısıtları, Karar Unsurları, Çıktı Olarak Üretilen Planlar ve Çizelgeler	8
Şekil 1.2: Orta Vadeli Planlamanın Girdileri, Kısıtları, Karar Unsurları, Çıktı Olarak Üretilen Planlar ve Çizelgeler	11
Şekil 1.3: Kısa Vadeli Planlamanın Girdileri, Kısıtları, Karar Unsurları, Çıktı Olarak Üretilen Planlar ve Çizelgeler	13
Şekil 1.4: Gantt Diyagramı Sembolleri.....	15
Şekil 1.5: Atama Problemlerinin Yapısı	16
Şekil 1.6: Üretim Sistemlerinde Bilgi Akış Diyagramı	19
Şekil 2.1: Genetik Algoritmalarda Evrimleşme Süreci	56
Şekil 2.2: Standart Genetik Algoritmanın Akış Şeması.....	57
Şekil 2.3: İkili Bir Sayının Gray Kodlanması ve Gray Kodlanmış Bir Sayının Kod Çözümü.	59
Şekil 2.4: Ağaç Kodlama İçin Kromozom (Birey) Örneği	60
Şekil 2.5: Örnekteki Popülasyona Ait Rulet Tekerleği ve Bireylerin Seçilme Olasılıkları.	65
Şekil 2.6: Örnek Popülasyonun Sıralama Seçimine Göre Rulet Tekerleği ve Bireylerin Seçilme Olasılıkları.....	76
Şekil 2.7: İkili Kodlamada Tek Noktalı Çaprazlama İşlemi.	79
Şekil 2.8: İkili Kodlamada İki Noktalı Çaprazlama İşlemi.....	80
Şekil 2.9: İkili Kodlamada Düzenli (Uniform) Çaprazlama İşlemi.....	80
Şekil 2.10: İkili Kodlamada Aritmetik Çaprazlama İşlemi.....	81
Şekil 2.11: İkili Kodlamada Mantıksal Çaprazlama İşlemi.	81

Şekil 2.12: Permütasyon Kodlamada Tek Noktalı Çaprazlama İşlemi.	82
Şekil 2.13: Permütasyon Kodlamada İki Noktalı Çaprazlama İşlemi.	82
Şekil 2.14: Permütasyon Kodlamada Düzenli (Uniform) Çaprazlama İşlemi.	83
Şekil 2.15: Permütasyon Kodlamada Pozisyona Dayalı Çaprazlama İşlemi.	83
Şekil 2.16: Permütasyon Kodlamada Sıraya Dayalı Çaprazlama İşlemi.	84
Şekil 2.17: Permütasyon Kodlamada Kısmi Planlı Çaprazlama İşlemi.	84
Şekil 2.18: Permütasyon Kodlamada Çevrim Çaprazlama İşlemi.	85
Şekil 2.19: Permütasyon Kodlamada Davis Tarafından Önerilen (1985) Sıralı Çaprazlama (OX1) İşlemi.	85
Şekil 2.20: Permütasyon Kodlamada Syswerda Tarafından Önerilen (1991) Sıralı Çaprazlama (OX2) İşlemi.	86
Şekil 2.21: Permütasyon Kodlamada Davis Tarafından Önerilen (1991) Sıralı Çaprazlama (OX3) İşlemi.	86
Şekil 2.22: Permütasyon Kodlamada Doğrusal Sıralı Çaprazlama İşlemi.	87
Şekil 2.23: Permütasyon Kodlamada Kenar Rekombinasyon Çaprazlama İşlemi.	87
Şekil 2.24: Permütasyon Kodlamada Geliştirilmiş Rekombinasyon Çaprazlama İşlemi.	88
Şekil 2.25: Permütasyon Kodlamada Alt Tur Yığınları Çaprazlama İşlemi.	89
Şekil 2.26: Permütasyon Kodlamada En Yüksek Korumalı Çaprazlama İşlemi.	90
Şekil 2.27: Permütasyon Kodlamada Ortada İki Nokta Çaprazlama İşlemi.	90
Şekil 2.28: Permütasyon Kodlamada Sonda İki Nokta Çaprazlama İşlemi.	91
Şekil 2.29: Permütasyon Kodlamada Ortada veya Sonda İki Nokta Çaprazlama İşlemi.	91
Şekil 2.30: Ağaç Kodlanmış Kromozomlarda Çaprazlama İşlemi.	92
Şekil 2.31: İkili Kodlamada Tek Noktada Mutasyon İşlemi.	93

Şekil 2.32: İkili Kodlamada İki ve n Noktalı Mutasyon İşlemleri.	94
Şekil 2.33: Permütasyon Kodlamada İki Bitişik İş Takası İşlemi.....	94
Şekil 2.34: Permütasyon Kodlamada Üç Bitişik İş Takası ile Mutasyon İşlemi.	95
Şekil 2.35: Permütasyon Kodlamada Rastgele İki İş Takası ile Mutasyon İşlemi.	95
Şekil 2.36: Permütasyon Kodlamada Rastgele Üç İş Takası ile Mutasyon İşlemi.	95
Şekil 2.37: Permütasyon Kodlamada Ters Çevirme Mutasyon İşlemi.....	96
Şekil 2.38: Permütasyon İş Kaydırma ile Mutasyon İşlemi.....	96
Şekil 2.39: Permütasyon Kodlamada Orta Ters Çevirme Mutasyonu.....	96
Şekil 2.40: Permütasyon Kodlamada Geliştirilmiş Rastgele İki İş Takası İşlemi.	97
Şekil 2.41: Ağaç Kodlamada Mutasyon İşlemi.....	97
Şekil 2.42: Karşılıklı İki Dizi Elemanının Değişimi ile Yeni Komşu Üretme Mekanizması.	107
Şekil 2.43: Karşılıklı İki Alt Dizi Değişimi ile Yeni Komşu Üretme Mekanizması.	107
Şekil 2.44: Bir Alt Diziyi Ters Çevirerek Yeni Komşu Üretme Mekanizması... ..	107
Şekil 2.45: Basamak Tipi Soğutma Stratejisi.....	118
Şekil 2.46: Sürekli Sıcaklık Düşürme Stratejisi.	119
Şekil 2.47: Monoton Olmayan Sıcaklık Düşürme Stratejisi.	120
Şekil 2.48: Bir Üst Sezgiselin Yapısı.....	123
Şekil 3.1: Geliştirilen Ders ve Sınav Çizelgeleme Yazılımının (GenoDSP) Yapısı.....	136
Şekil 3.2: Temel Veriler Giriş Ara Birimi	137

Şekil 3.3: Öğretim Elemanları Kısıt Giriş Ara Birimi	138
Şekil 3.4: Sorgulama ve Raporlama Ara Birimi.....	139
Şekil 3.5: Rapor Çıktısının Gönderileceği Hedefin Seçilmesi	139
Şekil 3.6: Raporun Ön İzleme Çıktısı.....	140
Şekil 3.7: Excel Ortamına Aktarılan Ders Programı	140
Şekil 3.8: Ders Programı Değişirme Ara Birimi (Boş Oturum ve Derslikler)...	141
Şekil 3.9: Ders Programı Değişirme Ara Birimi (Bütün Oturum ve Derslikler)	142
Şekil 3.10: Geliştirilen Genetik Algoritmada Kullanılan Kodlama Yapısı	144
Şekil 3.11: Yerel Arama Algoritmalarında Kullanılan Komşu Üretme Mekanizması	147
Şekil 3.12: KTX Operatöründe Çakışmaları Azaltma Amaçlı Çaprazlamanın Uygulanışı	150
Şekil 3.13: KKT_TT, KKT_TA ve KKT_TB Operatörlerinin Komşu Üretme Mekanizması	151
Şekil 3.14: Sınav Çizelgeleme Problemi İçin Kullanılan Kodlama Yapısı	154

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1: Çeşitli Dönemlere İlişkin Üretim Planlarının Özellikleri	6
Tablo 1.2 : Çizelgeleme Problemlerinin Çözümünde Kullanılan Probleme Özel Sezgisel Yöntemler.....	27
Tablo 1.3: Çizelgeleme Problemlerinin Çözümünde Kullanılan Genel Amaçlı Modern Sezgisel Yöntemler.....	28
Tablo 2.1: Literatürde Zaman Çizelgeleme Problemlerinin Çözümü İçin Kullanılan Algoritmalar	44
Tablo 2.2: İkili Kodlanmış Örnek Bir Popülasyon ve Rulet Tekerleği Seçiminde Bireylerin Seçilme Olasılıkları.	65
Tablo 2.3: Doğrusal Ölçekleme İçin Örnek.	67
Tablo 2.4: Dinamik Doğrusal Ölçekleme İçin Örnek.....	69
Tablo 2.5: Sigma Budama İçin Örnek.	70
Tablo 2.6: Üs Kuralı Ölçekleme İçin Örnek.	71
Tablo 2.7: Ölçekleme Penceresi Örneği.	72
Tablo 2.8: Boltzman Seçimi İçin Örnek.	73
Tablo 2.9: Logaritmik Ölçekleme İçin Örnek.....	74
Tablo 2.10: Normalizasyon (Normalizing) İçin Örnek.....	75
Tablo 2.11: Örnek Popülasyon ve Bireylerin Sıralama Seçiminde Seçilme Olasılıkları.....	76
Tablo 2.11: Örnek Popülasyon ve Bireylerin $\mu=3$ İçin Uniform Sıralama Seçiminde Seçilme Olasılıkları.	77
Tablo 2.12: Örnek Popülasyon ve Bireylerin $\mu=3$ İçin Doğrusal Sıralama Seçiminde Seçilme Olasılıkları.	77

Tablo 2.14: De Jong, Schaffer, Grefenstette, Negnevitsky ve Michalewicz Tarafından Belirlenen Optimal Parametre Değerleri	100
Tablo 3.1: Ödül Puantaj Tablosunun Hesaplanmasında Kullanılan Ağırlıklar...	145
Tablo 3.2 : Öğretim Elemanlarının Tercih Kısıt Türleri ve Ödül Puanları.....	146
Tablo 3.3: Çaprazlama Operatörünün Seçilmesi İçin Yapılan Testlerin Sonuçları	158
Tablo 3.4: Mutasyon Operatörünün Seçilmesi İçin Yapılan Testlerin Sonuçları	159
Tablo 3.5: Başlangıç Popülasyonunu Oluşturma Yönteminin Belirlenmesi İçin Yapılan Testlerin Sonuçları	160
Tablo 3.6: Popülasyon Büyüklüğünün Belirlenmesi İçin Yapılan Testlerin Sonuçları	160
Tablo 3.7: Çaprazlama Oranının Belirlenmesi İçin Yapılan Testlerin Sonuçları	161
Tablo 3.8: Mutasyon Oranının Belirlenmesi İçin Yapılan Testlerin Sonuçları ..	162
Tablo 3.9: Adaptif Mutasyon Stratejisinde Mutasyon Oranının Değiştirileceği Standart Sapma Düzeyinin (n) Belirlenmesi İçin Yapılan Testlerin Sonuçları	163
Tablo 3.10: Adaptif Mutasyon Stratejisinde Mutasyon Oranı Artış Miktarının (d) Belirlenmesi İçin Yapılan Testlerin Sonuçları	163
Tablo 3.11: Adaptif Mutasyon Stratejisinde Mutasyon Oranının Üst Limitinin (Lmt) Belirlenmesi İçin Yapılan Testlerin Sonuçları	164
Tablo 3.12: Seçkinlik Yöntemi İçin Yapılan Testlerin Sonuçları	165
Tablo 3.13: Üreme / Seçim Operatörünün Belirlenmesi İçin Yapılan Testlerin Sonuçları	166

Tablo 3.14: Uygun Popülasyon Yenileme Periyodunun Belirlenmesi İçin	
Yapılan Testlerin Sonuçları	167
Tablo 3.15: Popülasyon Yenileme Yöntemini Belirlemek İçin Yapılan Testlerinin	
Sonuçları	168
Tablo 3.16: Üst Sezgisel Yaklaşımın ve Normal Yaklaşımın Performans	
Testlerinin Sonuçları.....	168
Tablo 3.17: Uygun Alt Sezgisel Seçim Yönteminin Belirlenmesi İçin Yapılan	
Testlerin Sonuçları.....	170
Tablo 3.18: Gerçek Veriler Kullanılarak Yapılan Performans Testlerinin	
Sonuçları	173

KISALTMALAR DİZİNİ

TP	: Toplam Planlama
AÜP	: Ana Üretim Programlama
CDS	: Campbell, Dudek ve Smith tarafından geliştirilen çizelgeleme algoritması
NEH	: Nawaz, Ensore ve Ham tarafından geliştirilen çizelgeleme algoritması
TSP/GSP	: Travelling Salesman Problem/Gezgin Satıcı Problemi
GA	: Genetik Algoritma
GRASP/ ARAAP	: Greedy Random Adaptive Search Procedure/Açgöz Rasgele Adaptif Arama Prosedürü
HC/TT	: Hill Climbing Algorithm/Tepe Tırmanma Algoritması
TS/TA	: Tabu Search Algorithm/Tabu Arama Algoritması
SA/TB	: Simulated Annealing Algorithm/Tavlama Benzetimi Algoritması
PATAT	: Practice and Theory on Automated Timetabling (Otomatik zaman çizelgeleme üzerine pratik ve teori konferansları)
OPL	: Optimisation Programming Language Optimizasyon problemlerinin modellenmesi ve çözümü için geliştirilen bir programlama dili
PROLOG	: Programming in Logic kelimesinin kısaltmasıdır. Mantıksal bir programlama dilinin adı
SEGA	: Segregative Genetic Algorithm (Ayrırcı Genetik Algoritma)
LISP	: List Processing Language (Liste İşleme Dili). Mantıksal bir programlama dilinin adı

1X	: One Point Crossover (Tek Noktalı Çaprazlama)
2X	: Two Point Crossover (İki Noktalı Çaprazlama)
NX	: N Point Crossover (N Noktalı Çaprazlama)
UX	: Uniform Crossover (Düzenli Çaprazlama)
AX	: Arithmetical Crossover (Aritmetik Çaprazlama)
LX	: Logical Crossover (Mantıksal Çaprazlama)
PBX	: Position Based Crossover (Pozisyona Dayalı Çaprazlama)
OBX	: Order Based Crossover (Sıraya Dayalı Çaprazlama)
PMX	: Partially Mapped Crossover (Kısmî Planlı Çaprazlama)
CX	: Cycle Crossover (Çevrim Çaprazlama)
OX	: Ordered Crossover (Sıralı Çaprazlama)
LOX	: Linear Order Crossover (Doğrusal Sıralı Çaprazlama)
ERX	: Edge Recombination Crossover (Kenar Rekombinasyon Çaprazlama)
EERX	: Enhanced Edge Recombination Crossover (Geliştirilmiş Kenar Rekombinasyon Çaprazlama)
SCX	: Sub-Tour Chunk Crossover (Alt Tur Yığınları Çaprazlama)
MPX	: Maximal Preservation Crossover (En Yüksek Korumalı Çaprazlama)
2PCX	: Two-Points Centre Crossover (Ortada İki Nokta Çaprazlama)
2PEX	: Two-Points End Crossover (Sonda İki Nokta Çaprazlama)
2PECX	: Two-Points End/Centre Crossover (Ortada Yada Sonda Çaprazlama)
SPM	: Single Point Mutation (Tek Noktada Mutasyon)
TPM	: Two Point Mutation (İki Noktada Mutasyon)

NPM	: N Point Mutation (N Noktada Mutasyon)
2OAS	: Two Operations Adjacent Swap (İki Bitişik İş Takası)
3OAS	: Three Operations Adjacent Swap (Üç Bitişik İş Takası)
2ORS	: Two Operations Random Swap (İki Rasgele İş Takası)
3ORS	: Three Operations Random Swap (Üç Rasgele İş Takası)
IM	: Inverse Mutation (Ters Çevirme Mutasyonu)
SOM	: Shift Operation Mutation (İş Kaydırma Mutasyonu)
CIM	: Centre Inverse Mutation (Orta Ters Çevirme Mutasyonu)
E2ORS	: Enhanced Two Operations Random Swap (Geliştirilmiş İki Rasgele İş Takası)
BPRO	: Başlangıç Popülasyonunu Rasgele Oluşturma Yöntemi
BPRO-TT	: Başlangıç Popülasyonunu Rasgele Oluşturma ve Tepe Tırmanma Algoritması İle Geliştirme Yöntemi
BPRO-TA	: Başlangıç Popülasyonunu Rasgele Oluşturma ve Tabu Arama Algoritması İle Geliştirme Yöntemi
BPRO-TB	: Başlangıç Popülasyonunu Rasgele Oluşturma ve Tavlama Benzetimi Algoritması İle Geliştirme Yöntemi
ARAAP-TT	: Başlangıç Popülasyonunu Açgöz Rasgele Adaptif Arama Prosedürü İle Oluşturma ve Tepe Tırmanma Algoritması İle Geliştirilmesi
ARAAP-TA	: Başlangıç Popülasyonunu Açgöz Rasgele Adaptif Arama Prosedürü İle Oluşturma ve Tabu Arama Algoritması İle Geliştirilmesi
ARAAP-TB	: Başlangıç Popülasyonunu Açgöz Rasgele Adaptif Arama Prosedürü İle Oluşturma ve Tavlama

Benzetimi Algoritması İle Geliştirilmesi

- KTX : Kısıt Tabanlı Çaprazlama
- KKT-TT : Katı Kısıt Tabanlı Tepe Tırmanma Operatörü
- KKT-TA : Katı Kısıt Tabanlı Tabu Arama Operatörü
- KKT-TB : Katı Kısıt Tabanlı Tavlama Benzetimi Operatörü

GİRİŞ

Çizelgeleme problemleri hem üretim planlamasında hem de hizmet planlamasında işletmelerin karşısına çıkan önemli bir planlama sorunudur. Çizelgeleme problemleri, üretim planlamasında üretim çizelgeleme, hizmet planlamasında ise zaman çizelgeleme adı ile anılır.

Üretim çizelgeleme, kısa vadeli ana üretim programlarının konuları olan işlerin sıralanması, rotalanması, tezgahlara ve personele işlerin yüklenmesi şeklindeki bir planlama faaliyetidir. İşlerin nasıl sıralanacağı, hangi işin hangi makinalarda işlem göreceği, makina ve personellere hangi zaman periyodunda hangi işlerin yapılacağı önceden belirlenen bir amaca göre belirlenir. Bu amaç işlerin en kısa zamanda tamamlanması, siparişlerin teslim tarihlerinin en az ölçüde aşılması, makinaların ve personelin atıl zamanlarının minimize edilmesi şeklinde olabilir.

Üretim çizelgeleme hakkında literatürde çok sayıda çalışma mevcuttur. Başlangıçta yapılan çalışmalar problemin yapısını anlamak, küçük ve karmaşık olmayan modellere çözüm üretmeyi amaçlamaktadır. İlk çalışmalarda problemin yapısı ile ilgili çeşitli matematiksel ve sezgisel yöntemler önerilmiştir. Ancak bu yöntemler gerçek hayat problemlerinde çok başarılı olamadığından ve polinomial sürelerde çözüm üretilmediğinden üretim çizelgeleme problemleri non-polinomial zor (NP-zor) problemler olarak sınıflandırılmaktadır. Bu nedenle son yıllarda daha çok modern sezgisel üstü ve üst sezgisel yöntemlerin yaygın olarak üretim çizelgeleme problemlerinde kullanılmaya başlandığı literatür araştırmasında görülmüştür.

Zaman çizelgeleme, her zaman periyodunda kaynakların (personel, hizmet materyalleri vb), hizmet görülecek yerlerin ve müşterilerin bir araya getirilmesini amaçlar. Bu planlama yapılırken, aynı zaman periyodu için hizmet görülen yerlere iki farklı müşteri yada müşteri grubunun atanmaması, aynı personelin iki farklı hizmet faaliyetine atanmaması, aynı müşteri grubu için planlanan iki farklı hizmetin atanmaması gerekir. Zaman çizelgeleme problemlerinde katı ve yumuşak kısıtlar olmak üzere iki farklı kısıt türü mevcuttur. Katı kısıtlar mutlaka uyulması gereken, yumuşak kısıtlar ise mümkün olduğu kadar çok yerine getirilmeye çalışılan kısıtlardır. Katı kısıtlar oluşturulan çizelgelerin olurlu olması için yerine getirilmesi gereken kısıtlardır. Yumuşak kısıtlar ise, hizmeti üretenlerin, hizmeti alan müşterilerin zaman, hizmet

materyalleri ve hizmet verilen yerler hakkındaki taleplerine ilişkin kısıtlardır. Bu kısıtlar ne kadar çok tatmin edilirse o kadar kaliteli çizelgeler elde edilmiş olur.

Zaman çizelgeleme problemleri üzerinde çok fazla çalışma yapılan bir araştırma alanıdır. Zaman çizelgeleme problemleri NP zor sınıfında yer alan problemlerdir. Zaman çizelgeleme problemlerinin çözümü için çok farklı yöntemler önerilmiştir. Önerilen yöntemler: Graf tabanlı yaklaşımlar, kısıt programlama yaklaşımları, yerel arama teknikleri, popülasyon tabanlı yaklaşımlar, çok ölçütlü teknikler, melez yaklaşımlar ve üst sezgisel yaklaşımlar olarak özetlenebilir.

Bu araştırmanın amacı, öncelikle üretim çizelgeleme ve zaman çizelgeleme problemlerinin üretim ve hizmet planlamasındaki önemini ortaya çıkarmak, bu problemlerin çözüm yöntemlerini inceleyerek birer zaman çizelgeleme problemi olan ders ve sınav programlarının otomatik oluşturulmasını sağlayan bir bilgisayar uygulaması geliştirmektir.

Bu amaçla, araştırmanın birinci bölümünde, öncelikle üretim planlamanın önemi ve aşamaları tanıtılmış ve üretim planlamada üretim çizelgelemenin yeri ve önemi açıklanmıştır. Ayrıca çizelgeleme problemlerinin çeşitleri ve bu problemlerin çözümü için kullanılan çeşitli yöntemler incelenmiştir. Aynı şekilde hizmet planlamasında zaman çizelgeleme problemlerinin yeri ve önemi, eğitim planlamasında birer zaman çizelgeleme problemi olan ders ve sınav programlarının yeri ve önemi incelenmiştir.

Araştırmanın ikinci bölümünde, öncelikle zaman çizelgeleme problemlerinin tanımı, çeşitleri, yapısı ve önerilen çözüm yöntemleri üzerine bir literatür araştırması sunulmuştur. Literatür araştırmasının ardından uygulamada kullanılacak yöntemler açıklanmıştır. Öncelikle genetik algoritmalar incelenmiş, genetik algoritmaların temel kavramları, yapısı ve çalışma prensibi, kodlama türleri, kullanılan seçim, çaprazlama ve mutasyon operatörleri ile uygunluk değerlendirme ve ölçekleme işlemleri tanıtılmıştır. Genetik algoritmanın parametreleri ve adaptif mutasyon yaklaşımları tanıtılmıştır. Açgöz rasgele adaptif arama prosedürü, tepe tırmanma, tabu arama ve tavlama benzetimi algoritmaları tanıtılmış, çalışma prensipleri, kontrol parametreleri ve stratejileri ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Araştırmanın üçüncü ve son bölümünde ise, Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi için ders ve sınav programlarını çözen bir uygulama geliştirilmiş ve algoritmanın yapısı hakkında bilgiler sunulmuştur. Bu amaçla öncelikle, problemin kısıtları belirlenerek matematiksel modellemesi yapılmıştır. Daha sonra uygulama programının kullanıcı arabirimi, veri tabanı ve çözümlene arabirimi tanıtılmıştır. Çözümlene ara biriminin geliştirilmesi, uygun operatör, yöntemlerin, parametrelerin seçimi ve ideal konfigürasyonun belirlenmesi açıklanmıştır. Çözüm arabiriminin ana algoritması olan genetik algoritmaya ilişkin operatör seçimi, parametre tayini, adaptif stratejiler ve melez yaklaşımlar ile ilgili deneysel çalışmalar ve sonuçları sunulmuştur. Son olarak bu deneysel çalışmaların sonucunda elde edilen ideal konfigürasyon ile 2007-2008 eğitim-öğretim yılı bahar yarıyılı için veriler girilerek geliştirilen yazılım denenmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve tartışılmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM

ÜRETİM VE HİZMET PLANLAMASINDA ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ, TÜRLERİ ve ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

1.1. Üretim Planlaması

“Üretim planlaması gelecekteki imalat veya hizmet faaliyetlerinin düzeylerini ve limitlerini belirleyen fonksiyon olarak tanımlanabilir (Kobu, 2006, s.427)”. “Üretim/İşlemler planlaması istenilen zamanda, nicelikte ve kalitede maddelerin yada hizmetlerin üretiminin yapılmasının sağlanması ve işlemlerin uygulamaya konulması için konunun kuramsal yanının yazılı, biçimsel ve matematiksel biçimde hazırlaması olarak tanımlanabilir. Üretim/İşlemler planlaması, tamamen üretim öncesi çalışmalarına, yani hangi ürün/hizmet türlerinin üretimlerinin yapılacağına, hangi araçların kullanılacağına, istenilen nicelik ve var olan zaman sığasında ürünlerin üretim/işlemler programının saptanmasına v.b. ilişkin çalışmaları kapsar (Demir, 1994, s.381)”.

“Üretim planları; çok geniş kapsamdan, çok detaylı üretim/hizmet programlarına ve uzun dönemden (1-2 yıldan fazla), orta döneme (3-12 ay) ve kısa döneme (0-3 ay) kadar değişik sürelerde olmaları itibariyle farklılık gösterirler (Doğruer, 2005, s.199)”.

“Uzun vadeli planlar, firmaların işletme stratejilerini belirlerler. Bu planlar; pazar talep tahminleri, fon temini, işletme analizleri ve kapasite analizlerine dayanır. Makine-teçhizat ve işgücü temini, satıcıların ve müşterilerin bulunması ve artırılması ve üretim proseslerinin geliştirilmesiyle uğraşır. Bu planlar, orta ve kısa dönem planlarını sınırlayıcı (belirleyici) niteliktedirler (Doğruer, 2005, s.199)”.

“Orta vadeli planlar; istihdam planları, toplam stok planları, makine-teçhizat düzenleme planları ve malzeme temini mukavelelerini kapsar. Bu toplam planda kısa dönem planları sınırlayıcı (belirleyici) niteliktedir (Doğruer, 2005, s.199)”.

“Kısa vadeli planlar (programlar), genellikle 0-3 aylık bir süreyi kapsarlar; ana üretim programları, bileşenlerin üretim programları, malzeme satın alma programları,

atölye programları ve işgücü programlarını içerir. Ana üretim programları/çizelgeleri, mamûllerin ve nihaî parçaların üretimi için yapılan kısa vadeli planlardır (Doğruer, 2005, s.199)”.

“Uzun vadeli üretim planlamasında ayrıntılara inilmediği ve bu açıdan kesinlik bulunmadığı söylenebilir. Uzun dönem üretim planları üzerinde gerektiği zaman değişiklikler yapılabilir. Hangi mamulün, ne zaman ve hangi iş istasyonlarında işlem görerek imal edileceği uzun dönem üretim planlarında değil, üretim programlarında (çizelge/Schedule) belirlenir. Uzun vadeli planların bağlayıcı olmamasına karşılık programlar bağlayıcıdır. Üretim programları mecbur kalmadıkça değiştirilmez (Kobu, 2006, s.427)”.

“Üretim/Hizmet planlamanın önemi, üretim/hizmet sistemlerinin gelişmesine paralel olarak hızla artmıştır. Modern bir imalat/hizmet işletmesinde üretim/hizmet planlamanın kaçınılmaz bir şekilde yer almasını gerektiren nedenler şöyle sıralanabilir (Kobu, 2006, s.427)”:

- Üretim/hizmet sistemlerinin faaliyet yoğunluğu ve karmaşıklığı,
- İşletme için faaliyetlerin koordinasyonu,
- İşletmeler arası bağımlılık ve ilişkilerin gelişmesi,
- Tüketici kütesinin genişlemesi ve isteklerin değişik olması,
- Tedarik ve dağıtım faaliyetlerinin geniş bir alana yayılması,
- Ürün/Hizmet, kalite ve fiyat rekabetinin yoğunlaşması,
- İşletmenin ekonomik düzeyde çalışmasını sağlamak amacı ile malzeme, makina zamanı ve insan gücü kayıplarının minimum düzeye indirilme zorunluluğu.

1.1.1. Üretim Planının Hazırlanması

Üretim planlamasında, öncelikle uzun dönemde planlama için gerekli veriler toplanır ve bu verilere göre işletme amaçlarına uygun olarak uzun vadeli üretim planı oluşturulur. Uzun vadeli planlamanın ortaya koyduğu bilgi ve kısıtlamalar altında orta vadeli planlar ve aynı şekilde orta vadeli planların ortaya koyduğu bilgi ve kısıtlamalar altında kısa vadeli planlar oluşturulmaktadır. Kısa vadeli planlardan elde edilen verilerle de üretim programları yada üretim çizelgeleri oluşturulur.

“Tahmini tüketici talebini karşılamak, faaliyetlerini kararlı bir şekilde sürdürerek çalışanlara ve topluma karşı sorumluluklarını yerine getirmek, atıl kapasite oluşmasını önlemek ve toplam maliyeti minimize etmek gibi işletme amaçlarını gerçekleştirmeye yönelik birer araç olan üretim planları, çeşitli düzeylerde ve çeşitli zaman dilimlerini kapsayacak şekilde hazırlanırlar. Tablo 1.1’de uzun, orta ve kısa dönemli planlama faaliyetlerinde kullanılan veriler ve bu faaliyetlerin çıktıları, başka bir deyişle, her bir planın içerdiği konular özetlenmiştir (Üreten, 1997, s.3)”.

Planlama Zaman Dilimi	Kullanılan Veriler	Çıktılar
Uzun dönemli üretim Planlaması (5-10 yıl)	<ul style="list-style-type: none"> • Uzun dönemli talep tahminleri • Teknolojik, ekonomik, politik koşullara ve rekabet koşullarına ilişkin beklentiler • Sermaye kısıtlamaları 	<ul style="list-style-type: none"> • Tesis tasarımına ilişkin planlar (kapasite planlaması, kuruluş yeri seçimi, tesis yerleştirme) • Süreç planlaması ve teknoloji seçimi • Ürün karmasının belirlenmesi • Kaynakların üretim araçlarına, mühendislik ve pazarlama faaliyetlerine dağıtılması
Orta dönemli üretim planlaması (6-18 ay)	<ul style="list-style-type: none"> • Satışların miktar ve zamanlamasına ilişkin tahminler • Fazla mesai, işe alma, işten çıkarmaya; stoklara ilişkin politika ve kısıtlar • Uzun dönemli planlarca getirilen kısıtlamalar • Kapasite kullanım seçeneklerine ilişkin maliyetler 	<ul style="list-style-type: none"> • İstihdam planları (işe alma – işten çıkarma planları) • Fazla mesai planları • Fason üretim planları • Stok planları

Tablo 1.1: Çeşitli Dönemlere İlişkin Üretim Planlarının Özellikleri (Üreten, 1997, s.3).

Planlama Dilimi	Zaman	Kullanılan Veriler	Çıktılar
Kısa dönemli üretim planlaması (1 hafta – birkaç ay)		<ul style="list-style-type: none"> • Kısa dönemli talep tahminleri • Gerçekleşen siparişler • Toplam üretim planları 	<ul style="list-style-type: none"> • Herbir iş merkezinde üretilecek parçalar, unsurlar, alt montaj ve montaj grupları için kısa dönemli programlar • İş merkezi üretim programlarının gerçekleştirilmesini sağlayacak malzeme temin programları • İş merkezi üretim programlarının gerçekleştirilmesi için gerekli kısa vadeli atölye planları (iş merkezleri arasında partilerin hareketine, makinalar üzerinde üretim değişikliklerine ilişkin planlar)

Tablo 1.1 Devamı: Çeşitli Dönemlere İlişkin Üretim Planlarının Özellikleri (Üreten, 1997, s.3).

1.1.1.1. Uzun Vadeli Planlama

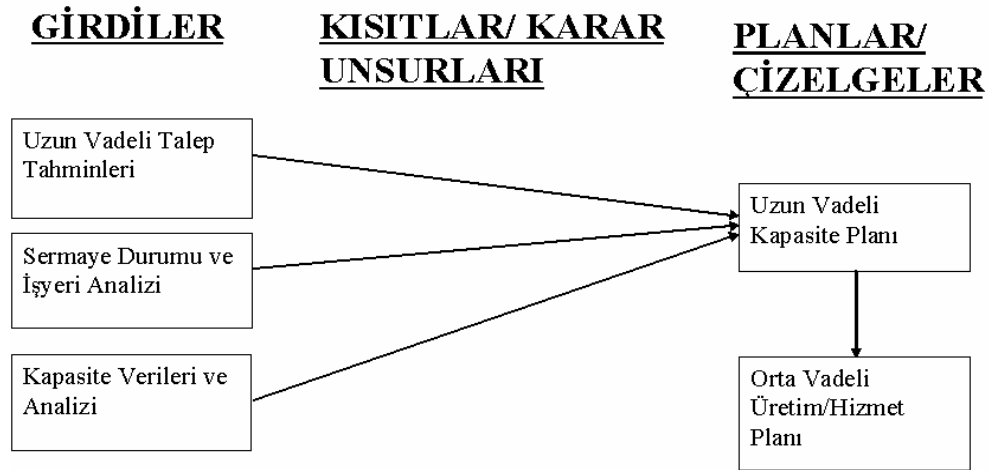
“Uzun dönemli planlar işletmenin üretim/işlemler stratejisini yansıtır, bu özellikleri nedeniyle işletmenin geleceğini etkileyecek nitelik taşırlar; yüksek düzeyde sermaye yatırımı gerektirirler ve üst düzey yöneticiler tarafından hazırlanırlar. Uzun dönemde belirsizliğin yüksek olması nedeniyle bunlar riski yüksek kararlardır (Üreten, 1997, s.4)”.

Bu planlama süreci, üretim metodunun tarifi, müşteri hizmet politikasının belirlenmesi, dağıtım kanallarının seçimi, üretim ve depo kapasitelerinin belirlenmesi gibi kararları içerir. Bu tip kararlar bir ila beş yıllık bir planlama dönemi göz önünde tutularak verilir ve bu kararların verilebilmesi için, pazar araştırması, uzun dönemli tahminler ve kaynak planlaması gibi ön çalışmaların yapılması şarttır (Hasgül, 2005, s.11).

“Uzun vadeli planlama için en önemli veri talep tahminleridir. Çünkü talep işletme dışı bir faktör olup, kontrol edilmesi güç ve hatta çoğu zaman imkansızdır. Bu

bakımdan planlama aşamasında talebin tahminlenebilmesi hayati öneme sahiptir. Doğru bir tahminleme yapılamazsa, kapasite fazlası yada yetersizliği, stok fazlası yada eksikliği gibi olumsuz durumlarla karşılaşılabilir. Bunun neticesinde; atıl işgücü ve makine saati, aşırı yüklenme nedeniyle artan arıza ve bakım maliyetleri, fazla stok bulundurma maliyetleri, üretim/hizmet kalitesinde düşme, talebin karşılanamaması ve müşteri kaybı vb. sorunlar karşımıza çıkar (Kobu, 2006, s.427)”.

Uzun vadeli planlamanın girdileri, çıktıları, karar konuları ve üretilen plan ve çizelgeleri şekil 1.1’de gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde: Uzun vadeli talep tahminleri, sermaye durumu ve iş yeri analizleri, kapasite verileri ve analizlerinin girdi olarak kullanıldığı; üretim faaliyetler planı, ana tedarikçi planı, ana işleme, süreç geliştirme planlarını içeren uzun vadeli kapasite planının çıktı olarak üretildiği görülebilir.



Şekil 1.1: Uzun Vadeli Planlamanın Girdileri, Kısıtları, Karar Unsurları, Çıktı Olarak Üretilen Planlar ve Çizelgeler.

1.1.1.2. Orta Vadeli Planlama

Uzun vadede planlama tamamlandıktan sonra orta vadeli planlamaya geçilmelidir. “Bu üretim planı, malların veya mal gruplarının toplanmasını ifade ettiğinden, toplam plan olarak da isimlendirilir (Doğruer, 2005, s.201)”.

“Toplam üretim planlaması, işgücü büyüklüğünün, üretim hızlarının, işletmede bulunması gerekli son ürün stok düzeylerinin, programlanması gereken fazla mesai ve fason üretim miktarlarının belirlenmesine yönelik bir planlama faaliyetidir.

Toplam üretim planlamasında amaç, orta dönemde oluşması beklenen toplam talebi karşılamak için gerekli üretim kapasitesini minimum maliyetle sağlamaktır (Üreten, 1997, s.4)”.

“Orta vadeli planlama, orta vadeli talep tahminlerini karşılayabilecek üretim kapasitesini temin etmek için bir plan oluşturma sürecidir. Orta vadenin süresinden dolayı bina, makina ve teçhizat ilavesi genellikle zordur. Orta vade üretim kapasitesinin aydan aya değişmesine sebep olan faktörler arasında en önemlileri; i) işçi sayısı, ii) fazla mesai yaptırma, iii) stok kullanımı olarak ifade edilebilir (Doğruer, 2005, s.201)”.

Orta vadeli planlamada talep dalgalanmalarına karşı üç farklı strateji uygulanabilir:

- **Sabit Üretim Stratejisi:** Bu stratejide, sabit bir üretim planı yapılır. Bu plana göre, talebin fazla olduğu dönemdeki talebi karşılayabilmek için, talebin az olduğu dönemde yeteri kadar mal üretilir ve stoklanır. Firma, sipariş aldığı mal ile ilgili gelecekte bir teslim tarihi verir. Talebin yüksek olduğu dönemlerde bu teslim tarihi uzar, talebin az olduğu dönemlerde de kısalmır. “Sabit üretim stratejisinde makina-teçhizat ve işgücü daha iyi kullanılarak, ortaya çıkması muhtemel aksaklıklar azaltılabilir (Doğruer, 2005, s.200)”. Ancak bu yöntemin sakıncası elde fazla stok bulundurma nedeniyle maliyetlerin fazla olabilmesidir.
- **Esnek üretim stratejisi (talebi izleme stratejisi):** “Kapasite değişikliklerinin, talebi mümkün olduğu kadar yakından takip etmesi için yapıldığından, Takip stratejisi olarak da isimlendirilir. Eğer firma, malların miktarını ve çeşidini çabucak değiştirebilirse, sabit stratejiden dolayı ortaya çıkan stok maliyetlerini düşürebilir. Ancak esnek strateji; yüksek talebi karşılayabilmek için ilave teçhizat, yer ve işgücü gerektirebilir; talebin az olduğu dönemlerde atıl kalan veya eksik kullanılan makina ve teçhizat ile işgücünün maliyetini yüklenmek zorunda kalabilir. Alternatif olarak firma, işgücü sayısını; gerektiğinde fazla mesai, geçici veya kısmi zamanlı işçiler, yeni işçi istihdam etme veya işten çıkarma gibi uygulamalarla ayarlayabilir. Benzer şekilde, kısa dönemde üretim kapasitesi taşeronlara iş verme, fason iş yaptırma, ilâve makina ve yer kiralama gibi yollarla arttırılabilir (Doğruer, 2005, s.200)”. “Bu stratejide stok

düzeyi sıfır olduğundan stok elde bulundurma maliyeti söz konusu değildir. Ancak üretim hızı değiştirmek için yapılan hazırlık, işe alma ve işten çıkarma gibi maliyetler söz konusudur (Kobu, 2006, s.432)”.

- Karma strateji: Bu stratejide önceki iki stratejinin bir arada kullanılması söz konusudur. “İki stratejinin sakıncalı yönlerinin dengelenmesi amaçlanır. Belirli bir mamul için üretim planının hazırlanmasında en uygun stratejinin seçimi her strateji için toplam maliyetlerin hesaplanması ve karşılaştırılması sonucunda yapılır (Kobu, 2006, s.432)”.

Toplam Planlama (TP), aşağıda belirtilen sebeplerden dolayı üretim ve işletme yönetimi için gereklidir (Doğruer, 2005, s.215):

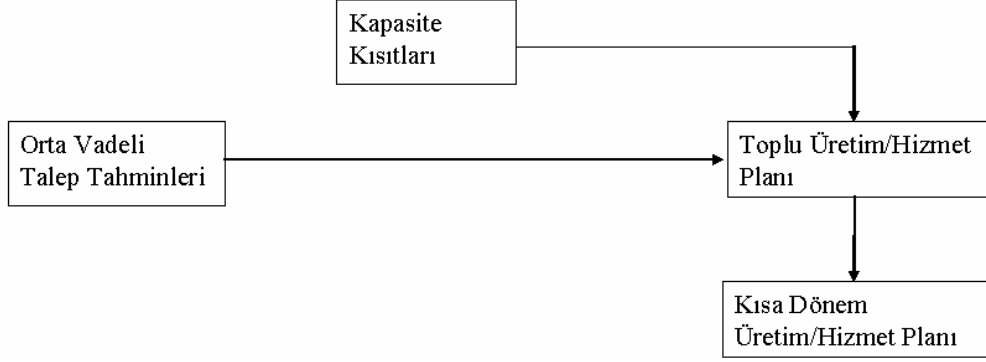
- TP ile makina ve teçhizatın tam olarak yüklenmesi sağlanır, aşırı ve eksik yükleme asgariye indirilir. Böylece üretim maliyeti düşük tutulur.
- TP, beklenen toplam talebi karşılamak için uygun üretim kapasitesini oluşturur.
- TP, müşteri taleplerinde muhtemel yükselme ve alçalmaları karşılamak için üretim kapasitesinin düzgün olarak çalışmasını sağlar.
- Üretim kaynaklarının az olduğu durumlarda TP; mevcut kaynaklarla en fazla çıktı alma imkânını sağlar.

Orta vadeli planlamanın girdileri, çıktıları, karar konuları ve üretilen plan ve çizelgeleri şekil 1.2’de gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde: Orta vadeli talep tahminlerinin girdi olarak kullanıldığı; uzun vadeli planın getirdiği kapasite kısıtları altında, iş gücü planları, malzeme tedarikle ilgili kontrat planları, faaliyet değişiklik planları, stok planlarını içeren toplu üretim planının çıktı olarak üretildiği görülmektedir.

GİRDİLER

KISITLAR / KARAR UNSURLARI

PLANLAR/ ÇİZELGELER



Şekil 1.2: Orta Vadeli Planlamanın Girdileri, Kısıtları, Karar Unsurları ve Çıktı Olarak Üretilen Planlar ve Çizelgeler.

1.1.1.3. Kısa Vadeli Planlama

Orta vadeli planların getirdiği kısıtlamalar doğrultusunda kısa vadeli planlama (ana üretim programlama/çizelgeleme) yapılmalıdır. “Ana üretim programlama (AÜP), kısa vadeli planlama sürecinde her hafta üretimi tamamlanacak her bir nihai malın miktarını belirler. Nihai mallar müşterilere gönderilebilir veya depolarda stoklanabilir. İşletme yöneticileri düzenli olarak, genellikle her hafta, pazar tahminlerini, müşteri siparişlerini, stok seviyelerini, tezgâhların yüklenmesini ve kapasite bilgilerini incelerler; böylece AÜP geliştirilebilir (Doğruer, 2005, s.225)”.

“Kısa dönemli planlama süreci üretim miktarlarının, belirlenen hedeflere ulaşmak üzere sürekli kontrolü ve gerekirse yeniden ayarlanması, malzeme eksikliği, malzeme bozulmaları gibi aksaklıkların giderilmesi, işçilerin üretim merkezlerine atanması önceliklerinin belirlenmesi, fazla mesai kararları ve üretim ara stok seviyelerinin belirlenmesi gibi kararları içerir (Hasgül, 2005, s.11)”.

Ana üretim programlarının belli başlı iki hedefi vardır (Doğruer, 2005, s.225):

- Hemen tamamlanması gereken nihai malların üretim programını yapmak ve bunları söz verilen zamanda müşterilere teslim etmek.

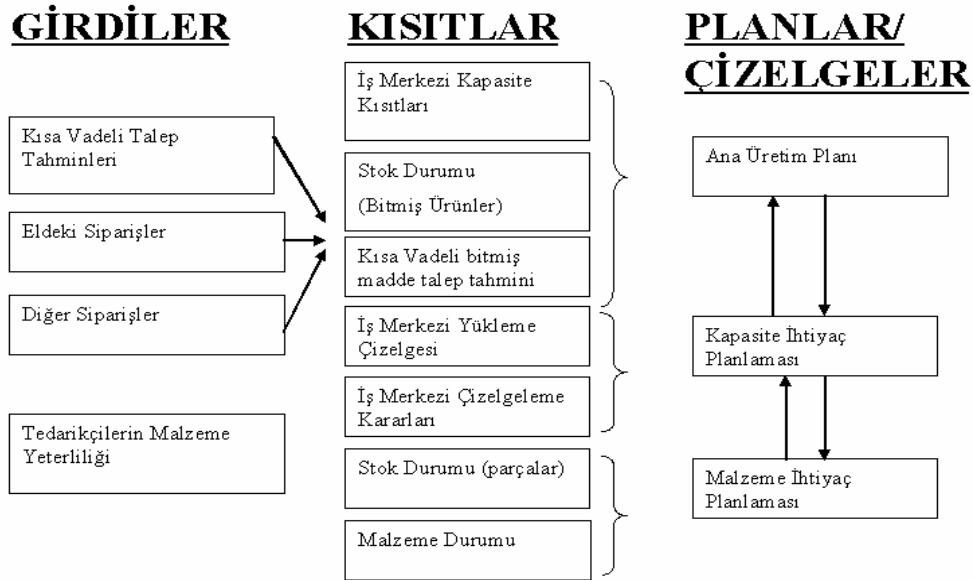
- Üretimde kullanılan tezgâhların aşırı yüklenmesini veya atıl kalmasını önlemek. Böylece, üretim kapasitesi etkin bir şekilde kullanılmış olacak ve üretim maliyetleri düşecektir.

Kısa dönem planlama işletmelerin üretim sistemlerine göre farklılıklar gösterir. “Sürekli sistemlerde kısa dönemli üretim planlaması probleminin oldukça basitleşmiş olduğu görülmektedir. Bu üretim sistemleri az çeşitte ürün üretecek şekilde tasarlanmışlardır ve siparişe göre üretim yapmazlar. Tasarım aşamasında, işlemlerin sırası ve üretim hızı belirlenmiş ve montaj/üretim hattı bu hızda üretimi gerçekleştirecek şekilde denetlenmiş durumdadır. Dolayısıyla, bu sistemlerde, siparişlerin iş merkezlerine atanması, işlem görme sıralarının ve başlama bitiş zamanlarının belirlenmesi gibi sorunlar söz konusu değildir. Sistemde makinalar sürekli çalışır durumda olduğu, kesintisiz hammadde ve malzeme girişi sağlandığı, yeterli sayıda işgücü çalışır durumda olduğu sürece, dengelenmiş bir üretim hattından arzulanan hızda ürün elde edilir (Üreten, 1997, s.174)”.

“Kesikli üretim sistemlerinde farklı ürün tasarımlarının üretimi gerçekleştirilmekte; değişik ürünlerin üretimi, değişik işlemlerin yerine getirilmesini gerektirmekte ve değişken büyüklükteki partiler halinde üretim yapılmaktadır (Üreten, 1997, s.175)”. “Bilindiği gibi kesikli üretim sistemleri, parti üretim sistemi ve siparişe göre üretim yapan atölye sistemi olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Atölye sistemine kıyasla, parti üretim sisteminde üretilen ürün çeşidinin daha sınırlı olması ve üretimin belli büyüklükteki partiler halinde gerçekleşmesi nedeniyle, parti üretim sistemlerinde kısa dönemli planlama faaliyeti daha basittir. Burada, ekonomik parti büyüklüklerinin ve üretim partilerinin makinalar üzerinde işlem görme sıralarının belirlenmesi gerekir (Üreten, 1997, s.176)”. “Siparişe göre üretim yapan atölye sistemlerinde, kısa dönemde çok sayıda farklı siparişin atölyedeki akışının yönetilmesi gerekir. Bu nedenle, anılan sistemlerde kısa dönemli üretim planlaması oldukça karmaşık bir faaliyettir. her şeyden önce, sistemde üretilen ürün çeşidi fazladır; sipariş üzerine üretim yapılması nedeniyle her bir üründen üretilen miktar farklı ve genellikle oldukça düşüktür. Ayrıca, ürün tasarımlarının farklı olması nedeniyle, bu siparişlerden her birinin farklı makinalar üzerinde, farklı sürelerde, farklı malzemelerle ve farklı bir işlem sırasını izleyerek işlem görmesi gerekir. Yarı mamul stoklarının yüksek

olmasından dolayı sistemde bekleme hatları ve çeşitli gecikmeler oluşabilir (Üreten, 1997, s.177).

Kısa vadeli planlamanın girdileri, çıktıları, karar konuları ve üretilen plan ve çizelgeleri şekil 1.3’de gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde: Kısa vadeli talep tahminlerinin, eldeki sipariş durumlarının ve tedarikçilerin malzeme yeterliliğinin girdi olarak kullanıldığı; orta vadeli planın getirdiği kısıtlar altında (iş merkezi kapasite kısıtları, bitmiş ürünlerin, parçaların ve malzemelerin stok durumları, işgücü kısıtları vb.), bu kısıtlar göz önünde bulundurularak hazırlanan iş merkezi yükleme ve çizelgeleme kararları ışığında , kısa vadeli bitmiş ürün çizelgelerini, her iş merkezinde üretilecek kısa vadeli parça, alt montaj parçaları çizelgelerini, iş merkezlerindeki üretim çizelgelerini destekleyecek malzeme planlarını ve iş merkezleri için gerekli olan kısa vadeli atölye planlarını içeren ana üretim planının, kapasite ihtiyaç planlarının ve malzeme ihtiyaç planlarının çıktı olarak üretildiği görülmektedir.



Şekil 1.3: Kısa Vadeli Planlamanın Girdileri, Kısıtları, Karar Unsurları ve Çıktı Olarak Üretilen Planlar ve Çizelgeler.

Üretim sistemine göre farklılık gösterse de kısa vadeli planlamada, rotalama, iş sıralama, yükleme ve üretim çizelgeleme faaliyetleri gerçekleştirilmektedir. Bu faaliyetlerin amacı iş gücü, makina kapasitesi ve malzemelerin en düşük maliyetle kullanılması, istenilen kalite ve zamanda üretimin yapılabilmesini sağlamaktır.

“Bir üretim programının/çizelgesinin hazırlanabilmesi için önce her mamulün hangi tezgâhlarda, hangi sıra ile işlem görerek imal edileceğini bilmek gerekir. Diğer bir deyişle, imalata verilen bir siparişin mamul haline dönüşüncüye kadar fabrika içinde izlediği yolun ve bu esnada uygulanan işlemlerin ayrıntılı biçimde belirlenmesi gerekir. Rota tespiti veya kısaca rotalama (routing) adı verilen bu fonksiyonu ilgilendiren elemanlar şunlardır: Mamulün üretilmesinde kullanılan imalat yöntemi ve işlemler, tezgâhların cins ve kapasiteleri, işlemlerin sırası, işlem süreleri ve bu bilgilerin kaydedildiği rota ve işlem formları (Kobu, 2006, s.443)”.

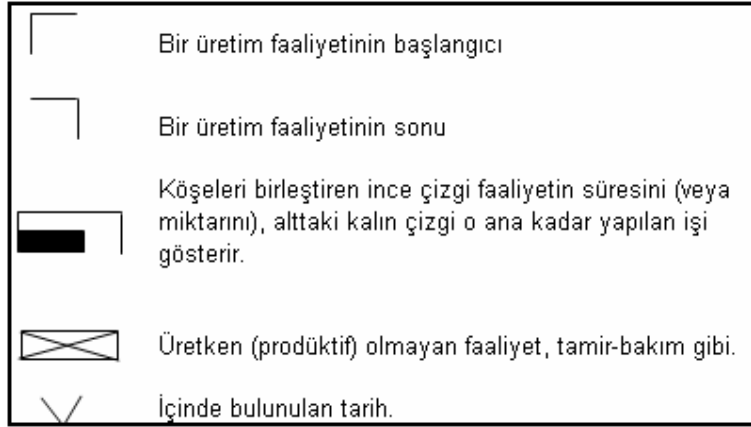
“Sıralama, bir iş merkezinde bekleyen siparişlerin üretim sırasının belirlenmesi için uygulanan sistematik bir prosedürdür. Bir iş istasyonunda bekleyen çok sayıda iş olduğunda, mevcut işten sonra hangi işin yapılması gerektiğine karar verilmelidir (Doğruer, 2005, s.208)”. “Sıralama yöntemi bir üretim ünitesinde belirli işlemlerden geçerek tamamlanan işlerin kayıp zamanlar toplamı minimum olacak şekilde sıralanmasını sağlar (Kobu, 2006, s.445)”.

Sıralama işleminin yapılabilmesi için öncelik yada sıralama kurallarının belirlenmesi gerekir. “Öncelik kuralları (sıralama kuralları), sırada (kuyrukta) bekleyen her işe uygulanır; iş merkezinde yeni bir iş yapılacağı zaman, bu kurallara göre birinci sırada önceliği olan işe başlanır(Doğruer, 2005, s.208)”. “Belirli bir iş grubu için en uygun sıralama yöntemi her kural için hesaplanan karakteristik ölçüleri kıyaslama yolu ile seçilir (Kobu, 2006, s.448)”. Yaygın olan sıralama kurallarından bazıları: En erken teslim zamanı (earliest due date), ilk gelen ilk işlenir (first come-first served), en kısa işlem süresi (shortest processing time) ve en küçük kritik orandır (critical rate).

“Üretim programlarında ne zaman, hangi makinada ve hangi işçiler tarafından yapılacağı açık ve kesin olarak belirlenen işlerin mevcut kapasitelere dağıtımına yükleme (loading) denir. İş yükünün zaman ekseninde makina, insan gücü veya her ikisine birden dağıtımı söz konusu olabilir. Yükleme üretim programlarındaki çakışma ve beklemelerin engellenmesi, verimlilik ve üretkenliğin artırılması bakımından önem taşır. Bir iş istasyonunun kapasitesi ile yükü farklıdır. Kapasite belirli bir zaman aralığı içinde üretilen maksimum miktardır. Yük gelecekte yapılmak üzere belli bir ünitenin yapması istenen işin adet, zaman veya başka bir ölçü cinsinden miktarıdır (Kobu, 2006, s.450)”.

“İdeal olarak yüklemenin mümkün olduğunca ileri bir tarihe uzaması istenir. Böylece ve işçinin uzunca bir süre ne yapacağı önceden bilinir. Yükleme süresinin uzunluğu en az bir haftadan başlar, imalatın ve makinaların tipine göre 2, 4, 6 veya daha fazla haftaya kadar uzatılabilir (Kobu, 2006, s.450-451)”.

“Gantt şemaları, bir departmanda bulunan iş merkezlerindeki iş yüklerinin gösterilmesinde çok kullanılan bir grafik araçtır. Bu şemalar yardımıyla işgücü, iş merkezleri ve üretim/proje maliyetleriyle ilgili programlar bir arada görülebilmektedir (Doğruer, 2005, s.203)”. “Henry L. Gantt tarafından geliştirilen bu diyagram basitliğine karşın modern üretim yönetiminin önemli öncü buluşlarından biri sayılır. Günümüzde mekanik ve elektronik gereçlerin yardımı ile çok daha verimli programlama araçları geliştirilmiştir. Fakat Gantt diyagramı, basit ve kullanışlı olması nedeni ile küçük orta büyüklükteki işletmelerin programcıları için önemli bir araç olma niteliğini halâ sürdürmektedir (Kobu, 2006, s.456)”. Şekil 1.4’de gantt diyagramında kullanılan semboller görülmektedir.



Şekil 1.4: Gantt Diyagramı Sembolleri

Kaynak: Kobu, 2006, s.458.

“Yükleme ile programlama(çizelgeleme) arasındaki ilişki iki yönlüdür. Biri önce diğeri sonra gelir diye bir genelleme yapılamaz. Programcı üretim planını uygulayabilmek için makinaların yük durumunu göz önüne almak durumundadır. Yük durumu ise hazırlanan programlarda işlemlerin makinalara dağıtımı sonucunda oluşur (Kobu, 2006, s.451)”.

Yüklemede işlerin yapılacağı makinaların seçilebilmesi için aynı işi görebilen birden fazla makinanın mevcut olması gerekir. Seçimde kullanılan kriterler “en düşük toplam maliyet”, “en kısa süre” veya “en yüksek verim” olabilir (Chase, 1995’e atfen Kobu, 2006, s.451).

Yükleme ve sıralama problemlerinin çözümünde çeşitli matematiksel ve sezgisel yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin büyük bir kısmı ikinci bölümde ele alınmıştır. Bu bölümde sadece “atama modeli-assignment model” ele alınacaktır.

“İş için en iyi personel” ifadesi, atama modeli araştırmasına uygun bir tanımdır. Durum, herhangi bir işçi farklı seviyelerde deneyimlere sahip olsa da herhangi bir işi yüklenebildiği durumlarda çalışanların işlere atanması olarak ifade edilebilir. Bir iş uzman olmaması durumunda deneyim maliyetleri en az olan bir işçi ile eşleştirilir. Modelin amacı, işçilerin işlere optimum (en küçük maliyetle) atanmasına karar vermektir (Taha, 1997, s.194).

	İşler					
	C_{11}	C_{12}	C_{13}	.	.	C_{1n}
	C_{21}			.	.	.

Çalışanlar
	C_{n1}	C_{n2}	C_{n3}	.	.	C_{nn}

Şekil 1.5: Atama Problemlerinin Yapısı.

Atama modeli, aslında işçilerin kaynakları ve işlerin hedefleri temsil ettiği ulaştırma modelinin özel bir durumudur. Her kaynağın arz miktarı ve her hedefin talep miktarı 1’e eşittir. i işçisinin j işine taşınma maliyeti C_{ij} ’dir. Gerçekte, atama modeli doğrudan bir ulaştırma modeli olarak çözülebilir. Bununla beraber, tüm arz ve talep miktarlarının 1’e eşit olmasından dolayı, Macar metodu olarak bilinen basit bir çözüm algoritması geliştirilmiştir (Taha, 1997, s.195).

Atama problemi n işçinin n işe atanması durumunda doğrusal programlama modeli olarak aşağıdaki gibi tanımlanır (Taha, 1997, s.201):

C_{ij} : i işinin j işine atanmasının maliyetidir ve

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } i \text{ işçisi } j \text{ işine atanırsa} \\ 0 & \text{Aksi Durumda} \end{cases}$$

O zaman doğrusal programlama modeli:

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} \cdot X_{ij}$$

Kısıtlar,

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1 \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = 1 \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

$$X_{ij} = 0 \text{ veya } 1$$

“Çizelgeleme; işgücünün, makinaların, makina donanımlarının, işlerin, konumların yada bütün bu kaynakların tek bir planda düzenlenmesidir. Herhangi bir planda gerek duyulan faaliyetlere, gerek duyulan kaynakların ve zamanların kaynak değişkenleri doğasında atanmasıdır (Büyüksünnetçi, 2006, s.12)”.

1.1.2. Çizelgeleme Problemleri, Türleri ve Çözüm Yöntemleri

1.1.2.1. Çizelgeleme Problemleri

“Çizelgeleme, bir çok üretim ve servis endüstrisinde önemli rol oynayan bir karar verme prosesi olup tedarik ve üretimde, taşıma ve dağıtımda, ve bilgi işleme ve iletişimde kullanılır. Çizelgeleme işlevi, matematiksel teknikler veya sezgisel yöntemler kullanarak, bir firmadaki kıt kaynakları yapılması gereken görevlere atar. Kaynakların iyi atanması, firmanın performans ölçütleri ve amaçlarını en iyilemesini sağlar. Buradaki kıt kaynaklar bir atölyedeki tezgahlar, bir hava alanındaki pistler, bir inşaattaki çalışanlar veya bilgisayardaki işlem üniteleri olabilir. Görevler ise üretimdeki işlemler, hava alanındaki iniş ve kalkışlar, inşaat projesindeki safhalar veya çalıştırılması gereken bilgisayar programları olabilir. Her bir görev bir öncelik seviyesine, mümkün en erken başlama zamanına veya en geç tamamlanma zamanına sahip olabilir. Bunun yanı sıra performans kriterleri de çeşitli formlarda karşımıza çıkabilir. Örneğin: tüm görevlerin yapılması için gereken zamanın veya geciken görev

sayısının en aza indirilmesi vb. olabilir (Pinedo ve diğ., 1999'a atfen Kellegöz, 2006, s.1)".

"İdeal amaç fonksiyonu, çizelgeleme kararlarına bağlı sistemdeki tüm maliyetleri kapsayacak yapıda olmalıdır. Buna karşın, uygulamada bu maliyetlerin tam anlamıyla tanımlanması ve hesaplanması çoğunlukla mümkün değildir. Gerçekte, planlama işlevi tarafından sadece kolayca belirlenebilecek temel işlem maliyetleri göz önünde bulundurulurken çizelgelemeye bağlı izole edilmesi güç olan diğer maliyetlerin sabit olarak alınması eğilimi vardır. Çizelgelemede, tamamlanma süresi, zamanında tamamlanma ve çıktı miktarı olmak üzere yaygın olarak kullanılan üç farklı grup karar verme kriteri bulunur. Çıktı miktarı grubunda bulunan kriterlerin bütün işleri göz önünde bulundurmasına karşın, ilk iki grupta bulunan kriterler verilen tek bir iş için söz konusu olabileceğinden amaç fonksiyonunun bütün işleri göz önünde bulunduracak şekilde geliştirilmesi gerekir (Baker, 1997'ye atfen Kellegöz, 2006, s.1-2)".

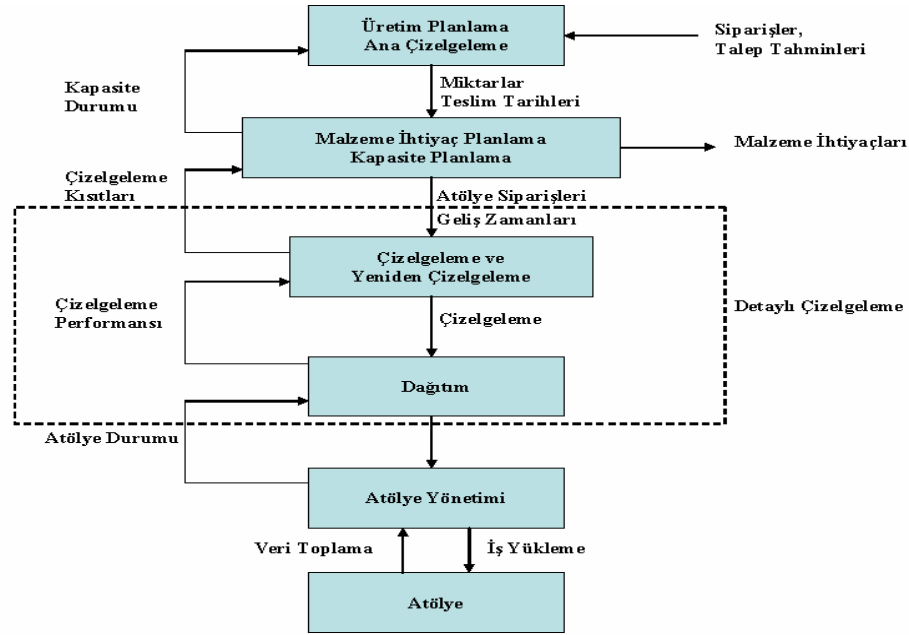
"Üretim çizelgeleme, bir veya birkaç performans ölçütünü en iyileyecek şekilde üretim kaynaklarının zaman bazında çeşitli görevlere atanmasını kapsar (Sarin ve diğ., 1993'e atfen Kellegöz, 2006, s.2)".

"Çizelgeleme problemleri klasik atölye çizelgelemeden iş gücü ve hizmet planlamaya, ürün montaj hattı dengelemeden, lojistik kaynak ataması ve çizelgelemesine kadar birçok yerde ve değişik şekillerde karşımıza çıkarlar (Büyüksünnetçi, 2006, s.1)".

"Üretim sistemine gelen siparişler öncelikle, teslim tarihlerini de içeren işlere çevrilmelidir. Genellikle bu işlere ait operasyonların belirli bir sırada atölyedeki bazı makinalar üzerinde yapılması gerekir. Buna karşın bu operasyonların, örneğin makinaların meşgul olması gibi nedenlerle bazı durumlarda bekletilmesi gerekebilir. Bunun yanı sıra makina arızaları, işlem zamanlarının beklenenden daha uzun sürmesi gibi beklenmeyen atölye olaylarının da göz önünde bulundurulması gerekir. Yapılması gereken görevlere ilişkin detaylı bir çizelgenin hazırlanması işlemlerin kontrolü ve etkinliğinin sürdürülmesinde faydalı olacaktır (Pinedo ve diğ., 1999'a atfen Kellegöz, 2006, s.2-3)".

"Bir organizasyondaki çizelgeleme işlevi, Şekil 1.6'da görüldüğü gibi, sadece atölyeden değil, aynı zamanda orta ve uzun dönemli planlamadan sorumlu üretim

planlama işlevinden de etkilenir. Üretim planlama işlevi, kaynak ihtiyaçları, talep tahminleri ve stok seviyelerini göz önünde bulundurarak uzun dönemli kaynak tahsisinin yanı sıra firmanın ürün karışımını da en iyilemeyi amaçlar. Bu yüksek planlama seviyesindeki kararlar çizelgeleme işlevini doğrudan etkileyecektir (Pinedo ve diğ., 1999'a atfen Kellegöz, 2006, s.3-4)".



Şekil 1.6: Üretim Sistemlerinde Bilgi Akış Diyagramı

Kaynak: Pinedo ve diğ., 1999'a atfen Kellegöz, 2006, s.3.

Çizelgeleme planı beş seviyede sınıflandırılabilir (Morton and Pentico, 1993'e atfen Büyüksünnetçi, 2006, s.1):

1. Uzun dönem planlama: Tesis tasarımı, tesisin genişletilmesi, tesis yerleşimi.
2. Orta dönem planlama: Lojistik, üretimin düzleştirilmesi.
3. Kısa dönem planlama: Gereksinim planları, termin ayarlamaları.
4. Çizelgeleme: Montaj hattı dengeleme, üretim büyüklüğüne karar vermek.
5. Tepkin çizelgeleme/kontrol: Yeni işler, bozulan makineler, geciken hammaddeler.

“Çizelgeleme, kıl kaynakların belirli bir zaman boyunca işlere tahsis edilmesiyle ilgilidir. Bu süreç bir veya daha fazla hedefin optimizasyonunu amaçlayan

bir karar alma sürecidir (Pinedo, 2002'ye atfen Seçme, 2006, s.4)". "Etkin bir çizelgeleme sayesinde belirli faaliyetlerin daha az kaynak kullanarak daha kısa zamanda yapılabilme olanağı ortaya çıkmaktadır (Güldalı, 1990'a atfen Seçme, 2006, s.4)".

"Çizelgeleme problemleri, yerine getirilmesi gereken bir grup görev ve bu görevlerin gerçekleştirilmesinde kullanılacak uygun kaynakları içerirler. Bu iki temel girdinin nitelikleri iyi belirlenmeli ve alacakları değerler mümkün olduğunca kesin ve doğru olarak hesaplanmalıdır. Ancak bu şekilde doğru zaman planları ortaya çıkarılabilir. Kaynaklar belirlendiğinde çizelgeleme probleminin sınırları etkin bir şekilde çizilmiş olmaktadır. Bununla beraber her bir görev; kaynak gereksinimi, süresi, başlama ve bitiş zamanları gibi bilgiler cinsinden açıklanır. Aynı zamanda, bu görevler bütünü arasında her hangi bir teknolojik kısıt varsa belirtilir (Özkazanç, 1999'a atfen Seçme, 2006, s.5)".

"Çizelgeleme probleminde iki tür olurluluk kısıtından bahsedilebilir: i. makina kapasitesi kısıtları ve ii.teknolojik kısıtlar. İşte çizelgeleme probleminin çözümü bu iki tip kısıtın olurlu bir çözümdür. Sonuçta elde edilen çözüm şu iki soruyu cevaplayabilmelidir: (i) yerine getirilecek her bir görev için hangi kaynak tahsis edilecek? ve (ii) her bir görev ne zaman yerine getirilecek? Dolayısıyla, geleneksel olarak, çoğu çizelgeleme problemi kısıtlara bağlı optimizasyon problemi olarak görülmektedir. (Baker,1994'e atfen Geyik, 1998, s.21)".

"O halde tipik bir üretim çizelgesinin özelliklerinin neler olduğu sıralanmalıdır. Radommer ve White (1988)'e göre bu özellikler şöyledir: Bir çizelge 1) belli bir zaman içinde işletilebilmeli, 2) kafiye büyüklüğünü belirlemeli, hazırlıkları ve sıraya-bağlı hazırlık zamanları ile maliyetlerini hesaba katmalı, 3) proses rotalamada hayli esnek olmalı, 4) stokastik çizelgeleme ortamını temsil edebilme; yani rassal olayları ve rahatsızlıkları içerme yeteneğine sahip olmalı, ve 5) çeşitli performans kriterlerini dengelemeli ve bünyesinde tutmalıdır (Geyik, 1998, s.21)".

"Yapılacak çizelgelemede aşağıdaki gibi bir yol takip edilmelidir (Biroğul, 2005, s.5)":

1. Problemin anlaşılması,
2. Problemin tanımlanması,

3. Problemin daha önceden çözülmüş teorik ve uygulamalı problemlerle olan benzerliklerinin ve farklılıklarının belirlenmesi,
4. Problemin zorluk derecesinin belirlenmesi,
5. Zorluk derecesine göre probleme en uygun algoritma yada çözüm yapısının belirlenmesi,
6. Problemin çözülmesi,
7. Çözümün değerlendirilmesi.

“Bu adımların takibinden sonra elde edilen çözümün istenilen düzeyde olup olmadığına karar verilmelidir. Eğer çözüm yeterli değilse 5., 6., 7. adımlara en uygun çözüm bulunana kadar tekrarlanmalıdır (Biroğul, 2005, s.5)”.

“Problemin çözüm yöntemi belirlendikten sonra, problem bilgisayar ortamına aktarılır. Problem için veri girdi ve çıktıların kararından sonra problemin çözüm yönteminin yada algoritmasının oluşturulması gerekir (Özel, 1999’a atfen Biroğul, 2005, s.6)”.

1.1.2.2. Çizelgeleme Problemlerinin Sınıflandırılması

Çizelgeleme problemleri farklı kriterlere göre çok çeşitli sınıflamalara tabi tutulabilir. Bu kriterler; ihtiyaç/gereksinim üretimi, üretim ortamı, işlem karmaşıklığı, problemin doğası, çizelgeleme stratejisi, çizelgeleme ölçütleri ve parametrelerin belirliliği olabilir. Bu kriterlere göre çizelgeleme problemleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

1. *İhtiyaç/Gereksinim Üretimine Göre Çizelgeleme Problemleri:* Üretim atölyesi açık atölye (Open Job Shop) yada kapalı atölye (Closed Job Sop) olarak ikiye ayrılır. Açık olması siparişe açıklığı ve stok bulunmayacağını ifade eder. Kapalı ortamda ise siparişler var olan stoktan karşılanır (Biroğul, 2005, s.9).
2. *Üretim Ortamına Göre Çizelgeleme Problemleri:* Çizelgeleme problemlerinin türü belirlenirken temel alınan kriterlerden en önemlisi üretim ortamının türüdür. Çizelgeleme yapılacak üretim ortamının yapısı, çizelgeleme probleminin kısıtlarını ve kaynakların özelliklerini de etkileyecektir. Atölye tipi üretim ortamından akış tipi üretim ortamına kadarki çeşitli yerleşim düzenleri için farklı özelliklerdeki çizelgeleme problemleri oluşturulabilir. Çizelgeleme ortamı,

küçük, karmaşık, tek müşteriye dönük atölyelerden, yüksek hızlı, düşük ürün karmalı transfer hatlarına, kesikli parça imalatından sürekli süreç akışlarının olduğu pek çok farklı durumda ele alınabilir (Seçme, 2006, s.14-15).

“Morton ve Pentico (1993) üretim ortamına göre çizelgeleme problemlerini 10 sınıfta incelemiştir (Özkazanç, 1999’a atfen Seçme, 2006, s.15)” :

- Akış tipi üretim çizelgeleme (Flow shop scheduling)
- Atölye tipi üretim çizelgeleme (Job shop scheduling)
- Açık atölye tipi üretim çizelgeleme (Open job shop scheduling)
- Parti üretim çizelgeleme (Batch shop Scheduling)
- Parti/Akış tipi üretim çizelgeleme (Batch/Flow shop Scheduling)
- İmalat hücresi çizelgeleme (Manufacturing cell Scheduling)
- Montaj atölyesi çizelgeleme (Assembly shop Scheduling)
- Montaj hattı çizelgeleme (Assembly line Scheduling)
- İletim hattı çizelgeleme (Transfer line Scheduling)
- Esnek iletim hattı çizelgeleme (Flexible transfer line Scheduling)

Akış tipi üretim ve atölye tipi üretim, üretim sistemlerinin iki uç noktasını oluşturmaktadır. Diğer üretim tipleri bu iki uç arasındaki çeşitli bileşimlerin uygulamalarıdır (Seçme, 2006, s.15).

3. *İşlem Karmaşıklığına Göre Çizelgeleme Problemleri*: Tek kademe, tek makina problemi; en basit problem biçimidir. Bütün işler bir makinada yapılır. Bu işlem basit olmasına karşın diğer karmaşık problemlerin temelini oluşturmaktadır (Biroğul, 2005, s.10).

Tek kademe, paralel makinalar problemi; her bir iş paralel makinalardan birisinde işlem görmektedir. Aynı işi yapan makinaların sayısı fazladır (Biroğul, 2005, s.5).

Çok kademeli problemler; her bir işin işlem sırasında çok kesin bir sıranın olduğu problem tipidir. Her bir iş, makinalar grubunda öncelik ilişkisine göre işlem görürler. Bu tip problemler akış tipi ve atölye tipi olmak üzere

gruplandırılabilir. Akış tipi çizelgelemede bütün işler aynı sırayla aynı makina grubunda işlenir. Atölye tipi çizelgeleme, sınıflandırmada en genel ve en karmaşık olan çizelgeleme problemidir. Belli bir işe ait işlem kademeleri sayısı hakkında hiçbir kısıt yoktur ve alternatif olarak kabul edilebilecek rotalar mevcuttur. Atölye tipi çizelgelemede her iş farklı makinalarda işlenmek üzere kendine özgü işlem ve işlem sıralarına sahiptir (Biroğul, 2005, s.10).

Atölye tipi üretim çizelgelemede m adet makinada işlenmek üzere n adet iş mevcuttur. Her işin aksi belirtilmedikçe, her bir makinada sadece ve sadece bir kez işlem gördüğü varsayılır. Makinada işin işlenmesine operasyon denir. İşler makinalarda belirli bir sırayla işlenir. Genel atölye tipi üretim için teknolojik kısıtların oluşumuna dair bir sınırlama yoktur. Her iş kendi işlem sırasına sahiptir ve diğer işlerin işlem sıralarından bağımsızdır. Bununla birlikte bütün işler aynı işlem sırasına sahip olduğunda oluşacak çizelgelemeye de akış tipi çizelgeleme adı verilir (Biroğul, 2005, s.10).

4. *Problemin Doğasına Göre Çizelgeleme Problemleri*: Çizelgeleme problemlerini doğasına göre 5 farklı grupta inceleyebiliriz ;

■ *Statik Çizelgeleme (Static Scheduling)*: “Statik çizelgeleme, çizelgeleme faaliyetlerinin üretim periyodundan önce tamamlandığı veya çizelgeleme çevresinin statik olduğu anlamına gelir (Greene, 1987’e atfen Zhang, 2003, s.17)”. “Çizelgeleme zamanı boyunca üretilecek olan gereksinimlerin miktarı ve buna bağlı olarak atölye ortamına giren işlerin miktarı belirlenir ve sonradan atölye ortamına ek bir iş girişi yapılmaz. Bu türdeki atölye ortamı statik olarak tanımlanır (Biroğul, 2005, s.12)”.

■ *Dinamik Çizelgeleme (Dynamic Scheduling)*: “Dinamik çizelgeleme, çizelgelemenin, ihtiyaçların sıkça değiştiği değişken bir çevrede yapılması anlamına gelir (Stankovic, 1995’atfen Zhang, 2003, s.17)”. “Çizelgeleme zamanı boyunca üretilecek olan gereksinimlerin miktarı ve buna bağlı giren iş miktarına sonradan ilave yapılabilecek şekilde problemler tanımlanabilir. Atölye ortamına herhangi bir anda yada özel bir durumda yeni iş girdileri olabilir. Bu durumda atölye ortamı dinamik olarak tanımlanır (Biroğul, 2005, s.12-13)”.

- *Online Çizelgeleme (Online Scheduling)*: “Online çizelgeleme adından anlaşıldığı gibi üretim devam ederken çizelgelemenin üretim sürecini etkilemeden aynı zamanda gerçekleştirilmesidir (Narashiman ve diğ., 1995’e atfen Zhang, 2003, s.17)”.
- *Offline Çizelgeleme (Offline Scheduling)*: “Offline çizelgeleme, üretimin duruş zamanlarında gerçekleştirilir (Riggs, 1993’e atfen Zhang, 2003, s.17)”.
- *Gerçek Zamanlı Çizelgeleme (Real-time Scheduling)*: “Gerçek zamanlı çizelgeleme, çizelgeleme aktivitelerinin gerçek zamanlı bir çevrede tamamlanması anlamına gelir (Garvey and Lesser, 1993’e atfen Zhang, 2003, s.17)”.

5. *Stratejilerine Göre Çizelgeleme Problemleri:*

- *Çizelgeleme ve Yeniden Çizelgeleme (Scheduling and Rescheduling)*: “Çizelgeleme verilen bir zaman tablosunda görevlerin bir listesini oluşturmaktır (Zweben, 1993’e atfen Zhang, 2003, s.18)”. “Diğer taraftan, yeniden çizelgeleme, önceki çizelgelemeden elde edilen yetersiz sonuçlar nedeniyle çizelgeleme aktivitelerinin yeni çizelgeleme stratejileri altında tekrarlanması anlamına gelir(Zhang, 2003, s.18)”.
- *Reaktif ve Kestirimci Çizelgeleme (Reactive and Predictive Scheduling)*: “Kestirimci çizelgeleme, tüm siparişlerin tüm faaliyetleri için zaman ve makinaların üretim başlamadan önce belirlenmesi sürecidir (Henseler, 1995’e atfen Zhang, 2003, s.18)”. “Reaktif çizelgeleme, var olan çizelgenin beklenemeyen olaylara karşı tepki olarak revize edilmesidir (Dorn, 1995, s.2)”. “Bu süreç bir dizi işin değişen kısıtlar altında yeniden çizelgeleme çabası olarak görülebilir. Kestirimci çizelgelerin dinamik üretim çevresinde geliştirilmesidir(Zhang, 2003, s.18)”.
- *İnteraktif ve Aktif Çizelgeleme (Interactive and Active Scheduling)*: “İnteraktif çizelgeleme, dışarıdan gelen ve tüm çizelgelemeyi değil yerel çizelgeyi etkileyen değişikliklerle baş edebilmekten sorumludur ve dahili bilgi birikimine sahiptir. Aktif çizelgeleme, kestirimci çizelgelemeye dayalı sürekli yeniden çizelgeleme sürecidir (Henseler, 1995’e atfen Zhang, 2003, s.18)”.

■ *Zeki ve Bilgi Tabanlı Çizelgeleme (Intelligent and Knowledge Based Scheduling)*: “Zeki çizelgeleme, geniş kapsamlı bir çizelgeleme kavramıdır. Zeki çizelgeleme, eninde sonunda, kapsamlı olarak, karmaşık çevre ile bağlantılı olan güncel bilgilerle sonuca varan yüksek seviyeli çizelgeleme süreci olarak tanımlanabilir (Ehlers ve diğ., 1994’e atfen Zhang, 2003, s.19)”. Bilgi tabanlı çizelgelemenin anlamı, çizelgeleme sonuçlarının bilgi tabanlı problem analizi, bilgi tabanlı yöntemler, bilgi tabanlı çizelgeleyiciler ve bilgi tabanlı sistem tasarımı gibi bilgi tabanı tasarımına dayalı olmasıdır. Bu sebeple bilgi tabanlı çizelgeleme çok rasyonel, zeki ve tamamen en iyi çizelgeleme biçimidir (Noronha, 1991’e atfen Zhang, 2003, s.19).

6. *Ölçütlerine Göre Çizelgeleme Problemleri*: Performans ölçütü çizelgelemenin amacını ortaya koyar. “Çizelgelemede amaçları ifade etmek her zaman kolay değildir. Amaçlar çok karmaşıktır ve genellikle birbirleriyle bağdaşmazlar. Ancak çizelgelemede ne derecede başarılı olunduğuna karar vermek için bir takım kriterleri tanımlamak gerekir. Aksi taktirde matematiksel olarak çizelge oluşturmak imkansızlaşır (Biroğul, 2005, s.13)”.

Örneğin: Kararlaştırılmış teslim tarihlerine uymak zorunda kalınabilir. Aksi taktirde güvenilirlik kaybı ve finansal ceza maliyeti söz konusu olabilir. Bazen teslim tarihi önemli olmayabilir ve çizelgeleme zamanının uzunluğu en küçüklenmek istenebilir. Tüm işler tamamlandıktan sonra bazı makinalar başka işler için kullanılabilir. Böylece makinaların aylak (boş) kalma zamanları en küçüklenmek istenebilir. Aylak makina aylak sermaye demektir. Bunlara ek olarak stok maliyeti en küçüklenmek istenebilir (Selam, 1996’ya atfen Biroğul, 2005, s.13).

7. *Parametrelerin Belirliğine Göre Çizelgeleme Problemleri*: “Çizelgeleme problemlerinin sınıflandırılmasında temel alınan kriterlerden biri problem parametrelerinin belirliliğidir. Stokastik modeller ve deterministik modeller olmak üzere ikiye ayrılan çizelgeleme problemlerinde kaynakların ve diğer kısıtların önceden bilindiği veya belirli bir olasılık dağılımına göre belirlendiği kabul edilir. Birçok kaynakta çizelgeleme problemleri bu temel iki kritere göre

sınıflandırıldıktan sonra alt gruplara ayrılmaktadır (Pinedo, 2002'e atfen Seçme, 2006, s.14)". "Eğer tüm parametreler miktar olarak önceden biliniyorsa ve sabitse belirgin olarak tanımlanır. Aksi halde bilinmiyorsa belirsiz olarak tanımlanır. Örneğin: Her işin her bir kademedeki ve her bir makinadaki işlem süreleri önceden biliniyorsa bu tipteki atölye belirgin (deterministik) olarak tanımlanır. Aksi taktirde; işlem süreleri tam olarak bilinmiyorsa ve belli bir olasılık dağılımıyla rastgele değişken olursa bu tipteki atölye belirsiz (stokastik) olarak tanımlanır (Biroğul, 2005, s.12)".

1.1.2.3. Çizelgeleme Problemlerinin Çözümünde Kullanılan Matematiksel ve Sezgisel Yöntemler

Çizelgeleme problemleri literatürde çok sayıda çalışmaya konu olmuştur ve bu konuya duyulan ilgi halen devam etmektedir. Çizelgeleme konusunda ilk çalışmalar 20.yüzyılın başlarında Henry Gantt ve diğer öncüler tarafından başlatılmıştır. Başlangıçta problemin yapısını anlamaya yönelik ve basit modellere çözüm üreten çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çizelgeleme problemleri NP-zor sınıfında yer alan problemler olduğu için yapılan çalışmalarda çeşitli sezgisel yöntemler geliştirilmiştir.

Başlangıçta çizelgeleme problemlerinin çözümü için problemin yapısına uygun olarak geliştirilen probleme özel sezgiseller kullanılmıştır. Çizelgeleme problemlerinin çözümünde kullanılan probleme özel sezgiseller tablo 1.2'de gösterilmiştir. Bilgisayar teknolojilerinin hızlı gelişimi neticesinde 1990'lı yıllardan itibaren genel amaçlı modern sezgisel yöntemler kullanılmaya başlanmıştır. Çizelgeleme problemlerinin çözümünde kullanılan genel amaçlı modern sezgisel yöntemler tablo 1.3'de sunulmuştur.

Yöntem	Referans	Açıklama
Johnson Kurak	(Johnson, 1954'e atfen Seçme, 2006, s.18)	2 makinalı çizelgeleme problemleri için tamamlanma zamanını en küçükleyerek optimum çözüme ulaşan bir algoritma göstermiştir
Dal-Sınır Algoritması	Lomnicki, 1965	Dal-sınır tekniğini 3 makinalı çizelgeleme problemlerine ve farklı bazı akış tipi çizelgeleme problemlerine uygulamıştır.
Palmer'in Eğim Dizisi Yöntemi	Palmer, 1965	Bu yöntemde her işe bir dizin değeri tanımlanır, bu dizin değerine göre işler sıralanır. İşlem süreleri ilk makinelerde kısa olanlar öne, uzun olanlar ise sona gelecek şekilde eğim dizisi tamamlanır.
Campbell, Dudek ve Smith (CDS) Algoritması	Campbell, Dudek ve Smith, 1970	Johnson algoritması kurallarına dayanır, n-iş, m-makine problemleri, önce (m-1) adet n-iş iki makine problemlerine dönüştürülür. Daha sonra Johnson algoritması ile problemler teker teker çözülür.
Fonksiyonel Sezgisel Algoritma	Gupta, 1971	Gupta 1971 yılında mevcut tekniklerle çözülemeyen m makinalı akış tipi çizelgeleme problemlerinin pratik çözümlerini üreten sezgisel bir algoritma geliştirmiştir.
RA, RACS ve RAES algoritmaları	Dannenbring, 1977	Dannenbring akış tipi çizelgeleme problemi için 3 farklı sezgisel algoritma geliştirmiş ve tamamlanma zamanının en küçüklenmesi amacı altında daha iyi sonuçlar elde edilebileceğini göstermiştir.
Aksoy'un Sezgiseli	Aksoy, 1980	Aksoy, algoritmasında tamamlanma zamanını en küçükleme çalışmıştır (Aksoy, 1980'e atfen Seçme, 2006, s.18)
NEH algoritması	Nawaz, Ensore ve Ham, 1983	İşleri, toplam işlem zamanlarına dayalı olarak sıralayan bir algoritmadır. (Engin ve Fırlah, 2002, s.36)
Hundol ve Rajgopal'ın Sezgiseli	Hundol ve Rajgopal, 1988	CDS Algoritmasının temel mantığı ile, Palmer'in sezgisel yönteminin basit kurallarının iyileştirilmesi sonucu ortaya çıkmış bir yöntemdir. (Engin ve Fırlah, 2002, s.36)
Ho ve Chang'ın Sezgiseli	Ho ve Chang, 1991	Tamamlanma zamanı, ortalama akış zamanı ve ortalama kullanım zamanı hedefleri açısından önerilen sezgiselin , karşılaştırılan diğer sezgisellerden oldukça iyi deneysel sonuçlar verdiği gözlenmiştir (Seçme, 2006, s.19)
Rajendran ve Chaudhuri'nin Sezgiselleri	Rajendran ve Chaudhuri, 1991	Rajendran ve Chaudhuri 1991 yılında, toplam akış zamanının en küçüklenmesi amacıyla akış tipi üretim çizelgeleme problemini 3 farklı sezgisel ile çözerek, etkin hesaplama zamanlarında optimale yakın sonuçlar elde edilebileceğini göstermişlerdir (Seçme, 2006, s.19)

Tablo 1.2 : Çizelgeleme Problemlerinin Çözümünde Kullanılan Probleme Özel Sezgisel Yöntemler.

Yöntem	Referans	Açıklama
Tavlama Benzetimi, Tabu Arama algoritmaları	Widmer ve Hertz, 1989	İki aşamalı bir sezgisel yöntemdir. İlk aşamada, gezgin satıcı problemi (TSP) analogisi ile başlangıç çözümü belirlenir. İkinci aşamada ise bu çözüm Tabu araştırmaları tekniği ile iyileştirilir (Engin ve Fırlalı, 2002, s.36)
	Ogbu ve Smith, 1990	1990 yılında Ogbu ve Smith tavlama benzetimi (simulated annealing) ve tabu arama (Tabu Search) teknikleriyle tamamlanma zamanını en küçükmeye çalışmışlardır (Seçme, 2006, s.19)
Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı	Knapp ve Wang, 1992	1992 yılında Knapp ve Wang, makina hatalarının teşhisinde yapay sinir ağları yaklaşımını göstermişlerdir (Seçme, 2006, s.19)
	Pellerin ve Herault, 1994	1994 yılında Pellerin ve Herault, geri beslemeli sinir ağları kullanarak insanlar ve makinalar için bir zaman çizelgesi oluşturmuşlardır. Bir kişisel bilgisayarda C dilinde yazılan sinir ağı çalıştırılmış ve oldukça iyi performans sonuçları elde edilmiştir (Seçme, 2006, s.19).
	Sabuncuoğlu ve Gürgün, 1996	Sabuncuoğlu ve Gürgün 1996 yılında, yapay sinir ağları yaklaşımı ile tek makinaleli ortalama geçliğin en küçüklenmesi hedefli çizelgeleme problemini ve en küçük tamamlanma zamanı hedefli atölye tipi üretim çizelgeleme problemini çözmüşlerdir. Elde edilen sonuçlar farklı deneylerle mevcut sezgiseller ile karşılaştırılmıştır (Seçme, 2006, s.20)
	El-Bouri ve diğ., 2000	2000 yılında El-Bouri ve diğ., sinir ağları yaklaşımı ile tek makinada işlerin sıralanmasını göstermişlerdir. Sinir ağları yaklaşımının farklı amaçlar için limitli bir üstel zamanlı davranış gösterdiği tespit edilmiştir.

Tablo 1.3: Çizelgeleme Problemlerinin Çözümünde Kullanılan Genel Amaçlı Modern Sezgisel Yöntemler.

Yöntem	Referans	Açıklama
Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı	Lee ve Shaw, 2000	Lee ve Shaw bir dizi işin farklı kombinasyonlarda iş istasyonlarına geldiği klasik akış tipi üretim çizelgeleme problemini ele almışlardır. Sıralama bilgisini artarak öğrenen iki aşamalı sinir ağı kullanarak gerçek zamanlı çözümler elde etmişlerdir.
	Feng ve diğ., 2003	Feng ve diğ., atölye tipi üretim ortamında belirli bir planlama sürecinde, deterministik zaman varyasyonlu talep durumunda çok katmanlı sinir ağlarının çizelgeleme için kullanımını göstermişlerdir.
	Akyol, 2004	Akyol çalışmasında, hata geri yayma öğrenme kurallı, çok tabakalı ileri beslemeli ağlar kullanarak akış tipi çizelgeleme problemini çözmüştür.
Bulanık Üyelik Fonksiyonları ile CDS Algoritması	McChanon ve diğ., 1992	Gerçek hayatta işlem zamanlarının kesin olarak bilinemeyeceği varsayımından hareketle, akış tipi çizelgeleme probleminde işlem zamanları için üçgensel bulanık üyelik fonksiyonları tanımlayarak CDS algoritması ile örnek problemler çözmüştür (Seçme, 2006, s.19)
Genetik Algoritma	Chen, Vempati ve Aljaber, 1995	Chen, Vempati ve Aljaber, tamamlanma zamanı (makespan-Cmax) kriterli akış tipi çizelgeleme problemleri için sezgisel tabanlı GA kullanmıştır. Bulunan sonuçlar mevcut sezgisel yöntemler (NEH, CDS) ile karşılaştırılarak GA'nın iyi performans verdiği belirlenmiştir(Engin ve Fırlalı, 2002, s.37)
	Reeves, 1995	Reeves'in çalışmasında, akış tipi çizelgeleme (n-iş; m-makine) problemleri, GA ile çözümlenip, elde edilen sonuçlar, komşuluk arama (neighbourhood search) ve tavlama benzetimi ile karşılaştırılmıştır. GA'nın daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir (Engin ve Fırlalı, 2002, s.37)

Tablo 1.3 Devamı: Çizelgeleme Problemlerinin Çözümünde Kullanılan Genel Amaçlı Modern Sezgisel Yöntemler.

Yöntem	Referans	Açıklama
Genetik Algoritma	Murata, Ishibuchi ve Tanaka, 1996	Murata, Ishibuchi ve Tanaka (1996), akış tipi çizelgeleme problemlerinin GA çözüm değerlerini, diğer arama yöntemlerinden olan yerel arama, tabu araştırmaları ve tavlama benzetimi yöntemleri ile karşılaştırmışlardır; bulunan sonuçlara göre GA daha iyi sonuç vermiştir. Bu çalışmada GA'nın performansının artırılması için iki melez GA da önerilmiştir. Bunlar, genetik lokal arama ve genetik tavlama benzetimidir (Engin ve Fırlalı, 2002, s.37)
	Chen, Neppali ve Aljaber, 1996	Chen, Neppali ve Aljaber (1996), akış tipi çizelgeleme problemlerinin çözümünde GA kullanarak toplam akış zamanını minimize etmeye çalışmışlardır (Engin ve Fırlalı, 2002, s.37)
	Jain ve Bagchi, 2000	Jain ve Bagchi (2000), akış tipi çizelgeleme problemlerinin GA ile çözüm etkinliğinin araştırılmasına yönelik olarak Darwin ve Lamark tabanlı Genetik algoritmaların karşılaştırılmasını yapmışlardır. GA'nın performansının artırılmasında, öğrenen temelli GA modellerini önermişler ve bu modeli klasik yöntemler (NEH,CDS) ile karşılaştırarak etkinliğini belirlemişlerdir (Engin ve Fırlalı, 2002, s.37)
Demir'in Sezgiselleri	Demir, 1999	Demir 1999 yılında, tamamlanma zamanının en küçüklenmesi amacı altında akış tipi çizelgeleme problemleri için 2 sezgisel algoritma geliştirmiştir. Algoritmalar işlere frekans değerleri ve nokta değerleri atanarak işlerin sıralanmasına esasına dayanmaktadır (Seçme, 2006, s.20)
Dağıtık Arama Tabanlı Melez Yaklaşım	Jain ve Meran, 2002	Jain ve Meeran (2002) yaptıkları çalışmayla, genel akış tipi çizelgeleme problemine çok tabakalı hibrid bir yaklaşım önermişlerdir. Deneysel sonuçlara göre yasaklı arama tekniğinden daha iyi sonuçlara ulaşılmıştır.

Tablo 1.3 Devamı: Çizelgeleme Problemlerinin Çözümünde Kullanılan Genel Amaçlı Modern Sezgisel Yöntemler.

1.2. Hizmet Planlaması

“Servis sistemlerinin yönetimine son yıllarda ilginin epeyce arttığını görmekteyiz. Özellikle 1980-1990 yılları arasında pek çok kitap ve akademik araştırmalar yayınlandı. Bunun sebebini iki nedene bağlayabiliriz. Bunlardan birisi 1980’li yılların kalite kontrol hareketi pek çok kişinin servis sistemlerindeki kalitenin ideal, kabul edilebilir ve uluslar arası arenada yarışabilecek düzeyde olmadığını anlaşılması. İkinci neden ise servis sistemlerinin ekonominin daha az önemli bir sektörü olmadığını daha da belirginleşmesi. Daha önceki anlayışın tersine 20. yüzyılın ikinci yarısında, A.B.D. ve de bütün sanayileşmiş ülkeler, ekonomilerinde servis sektörünün her geçen gün daha fazla rolü olduğunu fark ettiler (Haksever et al., 2000’e atfen Özkarahan, 2002, s.1)”.

“Müşteri memnuniyetinin artırılması ve servis kalitesinin iyileştirilmesinin önem kazanmasıyla tüm servis sektörü üreticileri ve yöneticileri bu konuda üzerlerinde büyük baskılar hissettiler (Özkarahan, 2002, s.1)”.

Hizmet sistemlerini üretim sistemlerinden ayıran özellikler

“Bir servis veya hizmet, fiziksel olarak elle tutulamaz, stoklanamaz, (üretilip sonradan kullanılmak üzere depolanamaz), üretildiği yerde tüketilir, (örneğin bir televizyon üretilince hemen kullanılmayabilir ve kutusunda durur ama bir doktorun hastasına verdiği servis hemen o anda kullanılır), servis kalitesi değişkenlik gösterir (Servis üretenle müşteri bire bir iletişim halindedir. Böylece ortaya çıkan hizmet müşteriden müşteriye farklılık gösterir. Bu hem servis üreticisinin aynı performansı gösterememesinden hem de müşterinin isteğine göre değişiklik gösterir. Kalitenin değerlendirilmesi kişilere göre de değişiklik gösterir. Bu değişkenlik performans ölçümünü de zorlaştırır.) (Özkarahan, 2002, s.1-2)”.

“Ekonomistler son yıllardaki servis sektöründe görülen büyümenin nedenlerini araştırmışlardır. Genel olarak gelir düzeyinin artmasıyla toplumların gereksinimleri tarım, madencilikten önce üretim sektörüne doğru sonra da servis sektörüne doğru kaymaktadır. Ayrıca servis sektörünün önem kazanmasında başka sebep olan faktörler arasında (Özakarahan, 1995’e atfen Özkarahan, 2002, s.3)”:

- Tarım ve üretimdeki verimin artmasıyla fazla iş gücünün servis sektörüne kayması,
- Uluslararası ticaretin getirilerinin yüksek olması,
- Gelir düzeyindeki artış,
- Şehirleşme gibi faktörler de gösterilebilir.

“Sebebi ne olursa olsun servis sektörünün önemi günümüzde artmış ve de artmağa devam etmektedir. Buna rağmen henüz A.B.D. de bile servis sistemlerinde verimliliği artırıcı yöntemlerin geliştirilmesi ve uygulanma düzeyinin ancak 1950 yıllarının üretim sektörünün seviyesinde olduğunu görmekteyiz (Özkarahan, 1995’e atfen Özkarahan, 2002, s.3)”.

“Bugün artık fabrika dediğimizde ille de bacasından duman tüten bir fabrika aklımıza gelmemelidir. Hastaneler, üniversiteler, bankalar da birer fabrika olarak düşünülmelidir. Buralardan mutlaka fiziki anlamda bir ürün çıkarmıyoruz. Hastanelerde ürünümüz hastalardır. Fabrikalarda boşa geçen süreleri, beklemeleleri en aza indirmeyi amaçladığımız gibi hastanelerde de hastanın gerektirdiği tedavi işlemlerinin en kısa zamanda en az zaman kaybı ve zorlukta bitirtmek amacımızdır (Özkarahan, 2002, s.3-4)”.

“Çizelgelemenin önemli uygulama alanlarından birisi de hastane, restoran ve bankalar gibi hizmet sistemleridir. Hizmet sistemlerinde üzerinde durulan nokta, personel ve müşterilerin çizelgelenmesidir. Hizmet endüstrilerinde, bazen stoklarla ilgilenilse de daha çok müşteri sayısındaki artış ve azalışlar dikkate alınmaktadır. Buradaki amaç müşteri taleplerindeki dalgalanmalara mümkün olduğunca cevap verebilmektir. Hizmet endüstrilerinde randevulu sistemler (doktorlar, hakimler gibi) ve ilk gelen ilk hizmet görür sistemleri (perakende satış, bankacılık işlemleri gibi) olmak üzere iki tip sistem vardır (Seçme , 2006, s.9)”.

“Hemşire çizelgeleme problemi endüstri mühendisliği literatüründe en çok ilgi görmüş konulardan biridir (Özkarahan, 1991; Özkarahan, 1992)”. “Hastaneler müşteri sayısının sürekli değiştiği dinamik bir ortamda, hemşirelerin isteklerini de göz önünde bulundurarak, en düşük maliyetle kaliteli bir hizmet sunmalıdırlar. Bu dinamik ortamda

birbirleriyle çelişen bu amaçları gerçekleştirebilecek çizelgeler oluşturulmalıdır (Özkarahan, 2002, s.4-5)”.

“Bunun gibi ameliyathanelerin çizelgelemesi de aynen bir fabrikadaki yapılacak işlerin makinalara atanma problemine benzemektedir. Ameliyathaneler, satın alma ve elde tutma maliyeti çok yüksek olan makineler olarak düşünülmelidir ve en verimli şekilde boş bırakılmadan kullanılmalı gerekir. Ameliyat edilmeyi bekleyen bir hastanın yaşadığı stres nedeniyle sağlığının olumsuz olarak etkilenmesinin maliyetinin çok yüksek olduğu açıktır (Özkarahan, 1995’e atfen Özkarahan, 2002, s.5)”.

“Hastanelerde en az hemşire çizelgeleme problemi kadar kendine has kısıtlarıyla çözümü oldukça zor olan diğer bir çizelgeleme problemi de asistan doktorların çizelgenmesi problemidir. Asistan doktorların kıdem yıllarına göre hafta sonu ve gece nöbetleri zorunluluğu farklıdır (Özkarahan, 1994’e atfen Özkarahan, 2002, s.5)”. “Ayrıca hastanenin her köşesinde gördüğümüz beklemleri en aza indirecek, endüstri mühendislerinin gözüne çarpacek problemler yine endüstri mühendisliği yöntemleriyle ortalığa zarar vermeden iş akışının en sorunsuz şekilde olması sağlanabilir (Özkarahan, 2002, s.6)”.

“Çizelgelemenin anahtar rol oynadığı alanlardan birisi de ulaştırma endüstrisidir. Havayolları; uçaklar, pilotlar, uçuş görevlileri ve müşteriler gibi birçok değişkeni dikkate alarak çizelgeleme yapmak zorundadırlar. Oluşturdukları çizelgeler hava şartları gibi beklenmeyen olaylara karşı her zaman için esnek olmalıdır. Etkili çizelgeler sadece müşteri memnuniyetinin artırılmasını değil, aynı zamanda maliyetlerin azaltılmasını da sağlar (Seçme , 2006, s.9)”.

1.2.1. Hizmet Planlama Süreci

Görüldüğü gibi hizmet sektöründeki işletmelerde de üretim planlamasına benzer bir planlama süreci vardır. Üretim ve hizmet işletmeleri arasındaki en önemli farklılık, hizmetlerin depolanamaması ve üretildiği yerde ve zamanda tüketilmesidir. Hizmetlerin önemli bir diğer farklılığı da elle tutulur bir yapısı olmadığından farklı kalite algılamalarına neden olabilmesidir. Ayrıca hizmet planlamasına konu olan parametreler (kaynaklar ve kısıtlar) üretim planlamasına göre farklılıklar gösterir. Kaynak açısından bakıldığında, üretim işletmelerinde, tesis büyüklüğü, tesis yerleşimi, kuruluş yeri, makina ve teçhizat kapasitesi, işgücü kapasitesi ve materyal

gereksinimleri gibi konular ele alınırken, hizmet işletmelerinde tesis büyüklüğü, işgücü kapasitesi, kuruluş yeri, hizmet araçları ve materyal gereksinimi konuları ele alınır. Üretim işletmelerinde kapasiteyi belirleyen iki unsur; makina kapasitesi ve işgücü kapasitesi iken, hizmet işletmelerinde kapasiteyi işgücü ve hizmet verilen ortamlar oluşturur.

Üretim işletmelerinde siparişler için bir teslim tarihi vardır ve üretimin bu tarihten önce tamamlanması arzulanır. Hizmet işletmelerindeki siparişler için ise, hizmetin türüne göre talebin hemen yada mümkün olan en kısa sürede karşılanması gerekir. Hizmet sektöründe amaçlanan, müşterilerin fazla bekletilmeden hizmet görebilmesidir. Aksi durumda müşteri memnuniyetsizliği ve hatta müşteri kaybı söz konusu olabilir. Bu nedenle hizmet sektöründe malzeme gereksinimleri kısmen önemli olsa da en önemli konu işgücü planlamasıdır.

Hizmet planlaması da uzun, orta ve kısa vadeli planlar olarak üçe ayrılabilir. Uzun vadeli planlar, seçilen kuruluş yeri için uzun vadeli talep tahmini yapılarak hizmet kapasitesini oluşturacak, tesis büyüklüğü, işgücü kapasitesi ve tedarikçi seçimi konularını kapsarlar. Uzun vadeli hizmet planları orta vadeli planları kısıtlayıcı özelliktedir. Orta vadeli planlar, orta vadeli talep tahminlerine göre malzeme tedarik anlaşmalarını, tesis yerleşimini, ve işgücü planlarını kapsarlar. Bu planlarda kısa vadeli planlar için kısıtlayıcıdır. Kısa vadeli planlar, tahmin edilen kısa vadeli talepleri karşılamak amacıyla, işgücü programları, hizmet programları, malzeme satın alma programlarını içerir. Kısa vadeli hizmet planlaması, iş sıralama, yükleme ve zaman çizelgeleme faaliyetlerinden oluşur.

“Hizmet kapasitesinin stoklanamaması, hizmetin üretimi ile tüketiminin eş zamanlı olarak gerçekleşmesi nedeniyle, hizmet üreten sistemlerde kısa dönemli planlama faaliyeti önem taşır. Boş otel odalarının gelecekteki rezervasyonlar için kullanılması mümkün değildir; boş bekleyen bir cerrah, bu zamanını gelecekteki operasyonlar için kullanamaz. Ayrıca bu sistemlerde, hizmet almak isteyen bireylerin sisteme katılmalarına ve almaları gereken hizmet biçimine ilişkin belirsizlik yüksektir, bu da kuyruk oluşma olasılığını arttırmaktadır. Sanayi işletmelerinden farklı olarak, kuyrukta bekleyeninin insan olması, hizmet işletmesi yöneticilerinin uzun kuyruklar oluşmasını engelleyecek önlemler almalarını gerektirir. Bunu sağlamak için, talebin

yada kapasitenin denetimi yoluna başvurulmalıdır. Gerçekte hizmet işletmelerinde kısa dönemli planlama ve denetim faaliyetleri ile, uzun dönemde verilmiş olan kapasite kararları arasında bir ilişki vardır. Birçok durumda kapasitenin yetersiz olması, programlama sorunları yaratmakta; programlama hataları ise kapasite yetersizliğine bağlanmaktadır (Üreten, 1997, s.200)”.

“Hizmet işletmelerinde yüksek talep dönemlerinde kapasitenin bu talebi karşılamada yetersiz kalmasını önlemenin bir yolu, talebi bu dönemlerin dışına taşımak amacıyla fiyat indirimi yada promosyon çabalarına başvurmaktır (Üreten, 1997, s.200)”. “Birçok hizmet işletmesinde taleple ilgili olarak karşılaşılan problemler, sadece müşteri siparişlerinin tesadüfi özelliğinden kaynaklanmamakta, hizmet süresinin (örneğin bir doktorun muayene süresi) değişken olması da bu soruna neden olabilmektedir. Bu duruma karşı önlem olarak, bir randevu sistemi geliştirilebilir. Böylelikle, siparişlerin zamanlaması denetlenebilecek, müşteri bekleme süresi düşecek ve kapasite kullanımı iyileştirilebilecektir. Otel, restoran ve havayolları gibi hizmet işletmelerinde oluşturulan bir rezervasyon sistemi de, işletmenin talebe ilişkin doğru bilgi sahibi olmasını sağlar. Bu yöntem, bir yandan belli bir zaman dilimi için talebin tahmin edilebilmesini sağlayacak, diğer yandan müşterinin hizmet alamaması nedeniyle hayal kırıklığına uğraması yada hizmet alamamak için uzun süre beklemesini önleyecektir (Üreten, 1997, s.201”.

“Talep-kapasite arasındaki dengesizliklerin giderilmesi amacıyla, talebin yeniden şekillendirilmesine ilave olarak, kapasite de birtakım düzenlemeler yapılabilir. İlk olarak, yeni hizmet birimleri ilavesiyle kapasitenin artırılması mümkündür. Kuşkusuz bu seçenek tesis ve/veya işgücü maliyetlerinin yükselmesine neden olacaktır. Ancak sorunun çözümünde, uzun kuyrukların da sisteme maliyet yüklediği unutulmamalı ve iki maliyet unsurunun dengelenmesine çalışılmalıdır. Kapasite düzenlemesine ilişkin ikinci seçenek, sisteme müşterilerin katılımının sağlanmasıdır. Bir self servis restoranda müşteri istediği yemeği alır, ödemesini yapar, yemeğini yedikten sonra tepsisini tanımlanan yere bırakır. Böylelikle iş yükünün bir kısmı müşteriye yüklenmiş olur (Üreten, 1997, s.201)”. “Talepteki ve hizmet karmasındaki değişikliklere uyum sağlayacak şekilde ensek kapasite yaratılması da sözkonusu olabilir. Çok fonksiyonlu işgücü yaratılarak, kapasite yetersiz kaldığında, işgücünün darboğaz oluşturan işlere kaydırılması, yada talebin yüksek olduğu saatlerde fazla

mesai, kısmi zamanlı işgören kullanımı ile kapasitenin genişletilmesi mümkündür (Üreten, 1997).”

“Kuşkusuz, hizmet işletmelerinde programlanması gerekli kaynaklardan en önemlisi insan kaynaklarıdır. Sistemde çalışanlar, çalışma saatlerine ve tatil zamanlarına ilişkin farklı istek ve beklentiler içinde bulunmaktadır. Bu durum, tüm çalışanları memnun edecek programların oluşturulmasını güçleştiren bir faktördür. Bu nedenle, hizmet işletmelerinde, çalışanların büyük bir kısmının tercihlerini göz önüne alacak kısa dönemli programlar hazırlanmalıdır (Üreten, 1997, s.202)”.

1.2.2. Zaman Çizelgeleme Problemleri

“Tipik zaman çizelgeleme problemleri çeşitli kısıtları yerine getirerek, bir dizi aktivite yada olayın kaynaklara ve zaman periyoduna atanmasından ibarettir. Kısıtlar zaman çizelgelemenin doğasından ve kuruluşun kendine özgü karmaşıklığından meydana gelir. Başka bir deyişle, zaman çizelgeleme süreçlerin bir sıraya konması veya belirli bir amacı sağlamak için olayların zamana ve kaynak kısıtlarına göre kısmen sıralanmasıdır ve bazen belirli bir kısıt performansı sağlayarak olayları zaman süresince kaynaklara atama süreci olan çizelgeleme ile karıştırılır (bununla birlikte, çoğu bilim adamı çizelgelemenin zaman çizelgelemenin özel bir durumu olduğunu veya tam tersini düşünürler) (Ross, 1995’e atfen Norberciak, 2007, s.156)”.

Wren zaman çizelgelemeyi “hedeflere verilen kaynakların arzulan tüm amaçları mümkün olduğu kadar sağlayacak şekilde boş zamanlara yerleştirilmesi” olarak tanımlamıştır (Wren, 1996, s.53).

“Zaman çizelgeleme problemleri genellikle katı (hard) ve yumuşak (soft) olmak üzere iki kategoriye ayrılan çok sayıda kısıta tabidir. Katı kısıtlar şiddetle uygulanan ve zaman çizelgeleme düzenlemesinde mutlaka yerine getirilmesi gereken kısıtlardır. Yumuşak kısıtlar arzu edilen fakat mutlaka yerine getirilmesi gerekmeyen kısıtlardır (Norberciak, 2007, s.156)”.

Zaman çizelgelemenin tipik örnekleri; hemşire/doktor/asker nöbet çizelgelemesi, ders programları, sınav programları, personel çizelgeleme vb’dir.

1.2.3. Eğitim Planlaması ve Zaman Çizelgeleme

Eğitim kurumları da bir tür hizmet kuruluşudur. Eğitim kurumlarında, ders sunumu, öğrenci ihtiyaçlarına cevap vermek üzere çeşitli hizmet birimleri (öğrenci işleri, kantin/kafeterya/yemekhane, kütüphane, fotokopi, temizlik, güvenlik, ısıtma, kitap satış vb.) bulunmaktadır. Bu hizmet birimlerinin öğrencilere ve hatta velilerine sağlıklı hizmetler verebilmesi için dikkatle planlanması gerekir. Her müfredat döneminin öncesinde bir plan dahilinde tüm hizmet birimleri yönetimin koordinasyonu ile gerekli hazırlık ve kontrol faaliyetlerini tamamlamalıdır. Örneğin, her müfredat dönemi öncesinde dersliklerin temizlik, bakım-onarım gibi ihtiyaçları ve eksiklikler tespit edilip giderilmelidir. Tüm birimler için yeterli personel, malzeme ve ekipman sağlanmalıdır.

Eğitim kuruluşlarının esas görevi eğitimi en uygun koşullarda ve en verimli şekilde verebilmektir. Bu faaliyetler için de yeterli düzeyde eğitim personeli, malzeme, teknik olanaklar ve fiziki mekanlar sağlanmalıdır. Her şeyden önce eğitimin ne zaman (ders gün ve saati), nerede (dersin yapılacağı derslik), kim tarafından verileceği (dersi verecek öğretim personeli), eğitimi kimlerin alacağı (dersi alacak öğrenciler), eğitimde hangi malzeme (tebeşir, silgi, mürekkepli kalem vb.) ve ekipmanların (tepegöz, bilgisayar, atölye malzemeleri, projeksiyon vb.) kullanılacağı müfredat dönemi başlamadan önce belirlenmelidir ve varsa eksikliklerin tamamlanması sağlanmalıdır. Bu amaçla ders programları, işgücü planları, malzeme gereksinimi planları yapılmalıdır. Müfredat dönemi içinde ise faaliyetler ve fiziki mekanlar sürekli kontrol edilmeli ve varsa aksaklıkları düzeltecek önlemler alınmalıdır.

Ders ve sınav programlarının oluşturulması, eğitimin aksamadan yapılabilmesi ve sonuçlarının değerlendirilebilmesi için gerekli en önemli hizmetlerdendir. Ders ve sınav programları belirli kısıtlar altında derslerin yada sınavların uygun derslik yada dersliklere ve uygun zaman dilimine atanmasını sağlayan çizelgelerdir. “Genel ders zaman çizelgeleme problemi NP zor sınıfındadır (Rossi-Doria ve Paechter, 2003, s.330)”. Bu nedenle bu problemlerin çözümünde tamsayı programlama, dinamik programlama gibi deterministik yöntemler başarılı olamamaktadır. Deterministik yöntemler yerine zaman çizelgeleme problemlerinde çoğunlukla sezgisel yöntemler

kullanılmaktadır. Bu yöntemlere ilişkin literatür araştırması ve yöntemlerin uygulanışı ikinci bölümde ele alınmıştır.

İKİNCİ BÖLÜM

ZAMAN ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜNDE KULLANILAN MATEMATİKSEL VE SEZGİSEL YÖNTEMLER

Bu bölümde literatürde daha önce yapılan çalışmalar incelenmiştir ve zaman çizelgeleme problemi için yapılan tanımlar, zaman çizelgelemenin yapısı ve zorluk derecesi, zaman çizelgeleme problemlerinin çeşitleri, eğitimsel zaman çizelgeleme ve türleri ile zaman çizelgeleme problemlerinin çözümünde kullanılan yöntemler hakkında bir özet sunulmuştur. Bu literatür özetinden sonra 3. bölümde ele alınan ders ve sınav programı uygulaması, çizelgeleme problemlerinin çözümünde genetik algoritma (Genetic Algorithm – GA) tabanlı melez bir yaklaşım kullanıldığı için öncelikle genetik algoritmalar incelenmiştir. Ayrıca oluşturulan melez genetik algoritma modelinde başlangıç popülasyonunu oluşturmak için kullanılan açgözlü rasgele adaptif arama prosedürü (Greedy Random Adaptive Search Procedure - GRASP), tepe tırmanma (Hill Climbing -TT), tabu arama (Tabu Search - TS) ve tavlama benzetimi (Simulated Annealing – SA) algoritmaları hakkında bilgiler verilmiştir.

2.1. Literatür Araştırması

2.1.1. Literatürde Karşılaşılan Zaman Çizelgeleme Tanımları

“Zaman çizelgeleme problemi derslerin belirli bir zaman periyodunda öğretmenler ve öğrenciler arasında düzenlenmesini ve çeşitli tiplerde bir dizi kısıtlamanın tatmin edilmesini kapsar. Zaman çizelgeleme problemi genellikle personelin günlerce çalışmasını gerektirir. Üstelik, elde edilen çözüm bazı yönlerden tatmin edici olmayabilir; örneğin: Bir öğrenci arzu ettiği dersleri alamayabilir çünkü o dersler aynı zamana çizelgelenmiştir (Schaerf, 1995, s.1)”.

“Zaman çizelgeleme problemleri son kırk yılda çok çalışılmış çizelgeleme probleminin özel bir tipidir. Genel bir zaman çizelge problemini çözmek, belirli bir sayıda etkinliği (sınav, konferans, oturum vb.) sınırlı sayıda zaman periyoduna gerekli kısıtlamaları tatmin ederek atamayı gerektirir (Burke ve diğ., 2002a, s.18)”.

Burke, Kingston ve de Werra (2004, s.446) çoğu durumu kapsayan genel zaman çizelgelemenin bir tanımını vermişlerdir. Zaman çizelgeleme problemi dört parametresi olan bir problemdir: T, sınırlı zaman periyodları; R, sınırlı kaynaklar; M, sınırlı oturumlar ve C, sınırlı kısıtlar. Problem mümkün olduğu kadar kısıtların tatmin edilmesi amacıyla oturumlara zaman periyodlarının ve kaynakların atanmasıdır.

2.1.2. Zaman Çizelgelemenin Yapısı ve Zorluk Derecesi

“Çoğu durumda, zaman çizelgeleme problemi tüm kısıtları tatmin eden zaman çizelgesini bulmaktan ibarettir. Bu durumlarda, problem bir arama problemi olarak formüle edilir. Diğer durumlarda, problem optimizasyon problemi olarak formüle edilir. Bu, zaman çizelgesinin tüm katı kısıtları tatmin etmesi ve yumuşak kısıtları içeren bir amaç fonksiyonunu minimize yada maksimize etmesini gerektirir. Bir arama probleminde esas problem, mevcut bir çözüme karar vermek; bir optimizasyon probleminde ise verilen amaç fonksiyonunun değerine göre bir çözüme karar vermek olarak tanımlayabiliriz. Problemin karmaşıklığına değinirsek, esasında karar probleminin karmaşıklığından söz ederiz (Schaerf, 1995, s.2)”.

Cooper ve Kingston (1995, s.283)’a göre zaman çizelgesi oluşturma problemi katılımcılar aynı zaman periyodunda iki oturuma katılamayacağı için oturumlara, öğretmenlerin, öğrencilerin ve dersliklerin atanmasıdır. Bu temel gereksinim genellikle öğretmenlerin iş yükleri, haftaya yayılmış oturum zamanları kısıtları vs. ile ilgili sınırlamalarla genişletilir.

“Kısıtlar katı(hard) ve yumuşak(soft) olmak üzere iki tipte gruplandırılabilir. Katı kısıtlar hiçbir koşul altında çiğnenemezler. Örneğin: İki etkinlik aynı kaynaklar (öğrenciler gibi) ile eş zamanlı atanamaz. Yumuşak kısıtlar arzu edilen fakat zaruri olmayan kısıtlardır. Yumuşak kısıtlara örnekler: İki etkinliğin ard arda çizelgelenmemesi veya eğer mümkünse bir etkinliğin özel bir odaya atanmasıdır (Burke ve diğ., 2002a, s.18)”.

“Bilinen çoğu zaman çizelgeleme problemleri NP-zordur. Bu nedenle gerçekçi zaman çizelgeleme problemleri çok sayıda karmaşıklık kaynağına sahip olabilir. Gerçekçi zaman çizelgeleme problemleri çeşitli kararları kapsarlar. Eğer bir karar ve bazı kısıtlara odaklanırsak, problem çoğunlukla zaten NP-zor hale gelir. Böyle çeşitli farklı alt problemler gerçekçi zaman çizelgeleme problemlerinin NP-Zor

olmasına neden olabilir. Ayrıca bir kısıtın kaldırılması bir alt problemin NP-Zor'dan polinomial zamanda çözülebilen kolay bir probleme dönüşmesine neden olabilir (Eikelder ve Willemen, 2000, s.18)".

2.1.3. Zaman Çizelgelemenin Türleri

"Zaman çizelgeleme problemleri eğitimsel zaman çizelgeleme, hemşire çizelgeleme, spor müsabakaları çizelgeleme, personel çizelgeleme, vardiya çizelgeleme ve nakliye çizelgelemeyi içeren çeşitli şekillerde ortaya çıkar. 1960'lardan beri hem yöneylem araştırması hem de yapay zeka araştırmacıları için ilginç ve önemli bir problem alanı olarak gösterilmiştir. Son yıllarda bu alandaki araştırma faaliyetlerinin seviyesinin artırılmış olduğu görünmektedir. Zaman Çizelgelemede Pratik ve Teori (Practice and Theory on Automated Timetabling – PATAT) adı altında bir dizi uluslar arası konferansın yapılması ve Euro Zaman Çizelgeleme Çalışma Grubunun kurulması da bu durumu ispatlamaktadır (Qu ve diğ., 2006, s.2)".

2.1.4. Eğitimsel Zaman Çizelgeleme ve Türleri

"Çok çeşitli zaman çizelgeleme problemleri arasında, pratik bir bakış açısından en yaygın olarak çalışılanlardan birisi eğitimsel zaman (educational timetabling) çizelgelemedir. Bu problem bütün akademik kuruluşlarda periyodik olarak meydana gelen en önemli ve en çok zaman alan görevlerden birisidir. Zaman çizelgelemenin kalitesi okutmanlar, öğrenciler ve yöneticilerin dahil olduğu çok çeşitli farklı paydaşlar üzerinde büyük etkiye sahiptir. Eğitimsel zaman çizelgelemenin farklı türleri: Okul çizelgeleme (school timetabling), sınıf-öğretmen çizelgeleme (class-teacher scheduling), üniversite ders çizelgelemesi (university course timetabling), sınav çizelgelemesi (exam timetabling), fakülte zaman çizelgelemesi (faculty timetabling) ve derslik atamadır (classroom assignment). En çok önem verilen ders ve sınav çizelgeleme oldukça benzer problemlerdir, fakat çok önemli farklılıklar gösterebilirler (Qu ve diğ., 2006, s.2)".

Okul çizelgeleme (School timetabling): "Bir okulun bütün sınıflarının öğretmenleri aynı zamanda iki sınıfa atanmasından kaçınarak haftalık çizelgenmesidir (Schaerf, 1995, s.2)". Okul çizelgelemeden bahsedildiğinde iki farklı amaç öne çıkartılmalıdır. İlki, problemin basit formunda sadece belirli katı kısıtlarla ilgili olurlu bir çözümün bulunmasıdır. Oysa pratikte bu yeterli değildir, ek olarak yumuşak

kısıtlarda yerine getirilmelidir. Katı kısıtlar: Her öğretmen her zaman periyodunda en fazla bir etkinliğe katılmalıdır, her sınıf her zaman periyodunda en fazla bir etkinliğe katılmalıdır, her derslik her zaman periyodunda en fazla bir etkinliğe atanmalıdır, ders, sınıf ve öğretmenlerin mevcut olmama durumları ile değerlendirilmesi gerekir. Ayrıca, özel ekipman gerektiren dersliklerin mevcudiyeti de değerlendirilmelidir. Tüm bu kısıtlar sağlandığında problemin olurlu bir çözümü bulunmuş olur. Yumuşak kısıtlar: Etkinliklerin sabah yada öğleden sonra olacak şekilde yerleştirilmesi (orta sınıfların en çok bir yada iki dersinin öğleden sonra olması gibi), öğretmenlerin çoğu part-time çalışır, bunun anlamı haftadaki boş günlerin en azından minimum bir sayıda olması (en azından bir yada iki boş gün olması gibi), belirli etkinlikler için iki parçalı saatlerin en küçüklenmesi ve en büyüklenmesi, 15 günlük veya marjinal yerleşimler gibi ilave edilen gereksinimler düşünülebilir, hafta boyunca her etkinliğin saatlerinin uniform dağılıma uygun olması istenebilir, ilave olarak bazı etkinlik yada etkinlik grupları birleşik olarak belirlenebilir yani aynı güne yerleştirilebilmesi, öğrencilerin ve öğretmenlerin sabah ve öğleden sonraki dersleri arasında boşluk olmaması, her zaman periyodu için öğretmenlerin beklenmeyen bir devamsızlığı durumunda sınıfı idare edecek bir öğretmenin mevcut olması istenebilir (Bufé ve diğ., 2001, s.432-434)”.

Ders çizelgeleme (Ders programı - Course timetabling): “Bir dizi üniversite dersinin tamamı için ortak öğrencileri olan derslerin çakışmalarını minimize ederek haftalık çizelgelenmesidir (Schaerf, 1995, s.2)”. “Üniversite ders çizelgeleme problemi çeşitli katı ve yumuşak kısıtlar altında ders etkinliklerine zaman periyotlarının ve dersliklerin atanmasını içerir (Abdullah ve diğ., 2007, s.1764)”. Carter ve Laporte (1998, s.4) ders çizelgelemeyi, derslere, bölümlere veya sınıflara atanan öğrenciler ve öğretmenlerin olduğu; etkinliklerin (öğrenciler ve öğretmenler arasındaki oturumlar) derslik ve zaman periyotlarına atandığı çok yönlü bir atama problemi olarak tanımlamıştır. “Ders çizelgeleme probleminde izlenmesi gereken katı kısıtlar: Öğrenciler aynı zamanda birden fazla derse atanamaz, derslik dersin gerektirdiği vasıfları sağlamalıdır, derse katılan öğrenci sayısı sınıf kapasitesinden az yada eşit olmalıdır, bir zaman periyodunda bir derslikte birden fazla ders olmamalıdır. Yumuşak kısıtlar: Bir öğrencinin günün son zaman periyodunda bir dersi olması, bir öğrencinin ikiden fazla ardışık dersinin olması, bir öğrencinin günde tek bir dersinin olmasıdır (Socha ve diğ., 2002, s.2)”.

Sınav çizelgeleme (Sınav programı-Examination timetabling): “Bir dizi üniversite dersinin sınavlarının ortak öğrencileri olan sınavların çakışmasından kaçınarak ve mümkün olduğu kadar öğrenciler için sınavların yayılmasını sağlayarak çizelgenmesidir (Schaerf, 1995, s.2)”. Qu ve diğerlerine göre (2006, s.3) sınav çizelgeleme problemi bir dizi sınavın $E=e_1, e_2, \dots, e_c$ bir dizi kısıtlama altında sınırlı sayıda zaman periyoduna $T=t_1, t_2, \dots, t_t$ atanması olarak tanımlanabilir. Zaman çizelgeleme problemlerinin karmaşıklığı ve zorluğu farklı kuruluşlarda tatmin edilmesi gereken, bazıları diğerleriyle çelişen çok çeşitli kısıtlardan ileri gelir. Katı kısıt örnekleri: Çakışan sınavlar aynı zamana çizelgenemez. Sınavı alacak öğrencilerin sayısı sınavın atandığı sınıfın oturma kapasitesini aşmamalıdır. Zaman çizelgelemede tüm katı kısıtların tatmin edilmesi genellikle olurluluk olarak anılır. Pratikte bütün yumuşak kısıtları tatmin eden olurlu bir çözüm bulmak genellikle imkansızdır. Sınav çizelgeleme literatüründe en yaygın yumuşak kısıt, öğrencilerin yeterince gözden geçirme zamanına sahip olması için sınavların mümkün olduğu kadar sınav dönemi boyunca yayılmasıdır. Zaman çizelgelemenin kalitesi genellikle üretilen çözümde ne kadar yumuşak kısıtın çiğnendiğinin bir ölçüsüdür.

2.1.5. Zaman Çizelgeleme Problemlerinin Çözümünde Kullanılan Yöntemler

Carter 1986’da çeşitli üniversitelerde sınav çizelgelemenin pratik uygulamaları üzerine önceki çalışmaları incelemiştir. Bardadym 1996’da çizelgeleme için bilgisayar destekli yönetim sistemlerinde farklı konuları düşünmüştür. Problemleri, gereksinimleri veri temsillerini ve matematiksel modelleri tartışmıştır. 1960’lardan 1990’lara çözüm yöntemleri hem de esasen karar destek sistemlerindeki sezgiseller, meta-sezgiseller ve algoritmik araçlar gözden geçirilmiştir. Wren 1996’da gezgin satıcı probleminin bir örneği vasıtasıyla çizelgeleme, zaman çizelgeleme ve nöbet çizelgeleme arasında faydalı ve ilginç bağlantıları göstermiştir. 1997’de Burke ve diğ. otomatik üniversite sınav çizelgeleme araştırmaları için özet bir tanıtım sunmuştur. 1998’de Carter ve Laporte 1986’dan 1996’ya kadar algoritmik yaklaşımları özetlemek için önceki araştırmayı güncellemişlerdir. Schaerf 1999’daki araştırmasında okul, ders ve sınav çizelgelemenin formülasyonlarını incelenmiş ve ders-sınav çizelgeleme arasında ayırım yapmanın zor olduğunu bildirilmiştir. Rossi-Doria ve diğ. (2002) çeşitli sezgisel üstü (meta heuristic) yöntemleri karşılaştırmıştır. Burke ve Petrovic 2002’de üniversite ders ve sınav çizelgeleme üzerine yürütülmüş yeni çalışmaların melez evrimsel algoritmalar,

çok ölçütlü yaklaşımlar ve durum-tabanlı düşünme tekniklerini içeren kendi gruplaması içinde ayrıntılı bir gözden geçirmesini sunmuştur. Burke, Kingston ve de Werra 2004’de graf boyama yöntemlerinin zaman çizelgelemeye uygulanmasını tartışmıştır. Sırasal, kümeleme, kısıt tabanlı teknikler ve meta sezgisel yöntemlerde yapılan araştırmaların bir çerçevesini vermiştir. Tablo 2.1’de literatürde zaman çizelgeleme problemlerinin çözümü için kullanılan algoritmalar özetlenmiştir.

Kullanılan Teknik	Referans	Açıklama
Graf Tabanlı Teknikler (Graph Based Techniques)	Welsh ve Powell, 1967	Welsh ve Powell graf boyama ile zaman çizelgeleme arasında bir köprü kurmuştur, bu önemli miktarda zaman çizelgelemede graf sezgiselleri üzerine araştırmalara yol açmıştır (Qu ve diğ., 2006, s.7)
	de Werra, 1985	de Werra 1985’de sınıf-öğretmen ve ders çizelgeleme için çeşitli matematiksel modeller sunmuş, graf boyama ve ağ akış tabanlı yöntemleri özet olarak gözden geçirmiştir (Qu ve diğ., 2006, s.4)
	Burke, Newall ve Weare, 1998	Burke, Newall ve Weare 1998’de rasgele bir elemanın graf sezgisellerinin çalışmasına etkisini incelemiştir (Qu ve diğ., 2006, s.8)
	Burke ve Newall, 2004	Burke ve Newall 2004’de iteratif bir süreçte problem çözerken sınavların uygun sıralandığı bir dinamik sıralama stratejisi araştırmıştır.
	Asmuni ve diğ., 2004	Bulanık mantığın kullanılması Asmuni ve diğ. Tarafından 2004’de Toronto verilerinde graf boyama tabanlı sınav çizelgelemeye uygulanmıştır.

Tablo 2.1: Literatürde Zaman Çizelgeleme Problemlerinin Çözümü İçin Kullanılan Algoritmalar.

Kullanılan Teknik		Referans	Açıklama
Kısıt Tabanlı Teknikler (Constraint Based Techniques)		David, 1998	David bir Fransız okulunda sınav çizelgeleme modeline kısıt tatmini tekniğini uygulamıştır.
		Brailsford, Potts ve Smith, 1999	Brailsford, Potts ve Smith kısıt tatmini problemleri üzerine çeşitli arama yöntemlerini tanıtmışlar ve bu tekniklerin optimizasyon problemlerine uygulanabileceğini göstermişlerdir.
Kısıt Tabanlı Teknikler (Constraint Based Techniques)		Reis ve Oliveira, 1999	“Reis ve Oliveira kısıt mantıksal programlamada çeşitli uzantılar geliştirmek için platform teşkil eden prolog tabanlı bir sistem olan ECLiPSe tabanlı bir sınav çizelgeleme sistemi geliştirmişlerdir (Qu ve diğ., 2006, s.10)”
		Merlot ve diğ., 2003	Merlot ve diğ. Benzer bir yolla bir optimizasyon programlama dili olan OPL’i kullanarak başlangıç çözümleri üretmiştir. Daha sonra tavlama benzetimi (simulated annealing) ve tepe tırmanma (hill climbing) yöntemi kullanılarak bu çözümler iyileştirilmiştir.
Yerel Arama Teknikleri (Local Search Techniques)	Açgöz Rasgele Adaptif Arama Prosedürü	Casey ve Thomson, 2003	“Casey ve Thomson zaman çizelgelemede nispeten yeni bir teknik olan açgözlü rasgele adaptif arama prosedürleri (Greedy Random Adaptive Search Procedures) yaklaşımını incelemişlerdir(Qu ve diğ., 2006, s.15)”.

Tablo 2.1 Devamı: Literatürde Zaman Çizelgeleme Problemlerinin Çözümü İçin Kullanılan Algoritmalar.

Kullanılan Teknik		Referans	Açıklama
Yerel Arama Teknikleri (Local Search Techniques)	Tabu Arama	Di Gaspero ve Schaerf, 2001	Di Gaspero ve Schaerf katı ve yumuşak kısıtların ihlallerine katkıda bulunan komşuluklarla ilgilenen tabu arama tabanlı tekniklerin bir türü üzerine değerli bir araştırma yapmıştır.
		White ve Xie, 2001	White ve Xie Ottawa Üniversitesi'nde sınav çizelgeleme problemi için her safhada çok sayıda kısıtlar dikkate alınarak çözümlerin giderek iyileşti-rildiği, OTTABU olarak bilinen dört safhalı bir tabu arama yöntemi geliştirmiştir.
Yerel Arama Teknikleri (Local Search Techniques)	Tabu Arama	Paquete ve Stutzle, 2002	Paquete ve Stutzle sınav çizelgeleme probleminde kısıtlar için verilen önceliklere göre düzenlenen bir tabu arama yöntemi geliştirmişlerdir.
	Tavlama Benzetimi	Thompson ve Dowland, 1998	Thompson ve Dowland ilk safhada olurlu çözümler üreten ve ikinci safhada yumuşak kısıtlarla ilgili tavlama benzetimi ile çözümlerin iyileştirildiği iki aşamalı bir yaklaşım geliştirmek için değerli bir çalışma yapmışlardır.
		Merlot ve diğ., 2003	Merlot ve diğ. kısıt programlama teknikleri ile başlatılan bir tavlama benzetimi yaklaşımı kullanmışlar ve ardından tepe tırmanma ile çözümler daha da iyileştirilmiştir.
		Duong ve Lam, 2004	Duong ve Lam HoChiMinh teknoloji üniversitesinde sınav çizelgeleme problemleri için bir tavlama benzetimi yönteminin başlangıç çözümlerini kısıt programlama kullanarak oluşturmuşlardır.

Tablo 2.1 Devamı: Literatürde Zaman Çizelgeleme Problemlerinin Çözümü İçin Kullanılan Algoritmalar.

Kullanılan Teknik		Referans	Açıklama
Yerel Arama Teknikleri (Local Search Techniques)	Tavlama Benzetimi	Burke ve diğ., 2004	Burke ve diğ. tavlama benzetiminin bir türü olan Great Deluge algoritmasını incelemiştir.
	Diğer Yerel Arama Teknikleri	Caramia, DellOlmo ve Italiano, 2001	“Caramia, DellOlmo ve Italiano sınavları en az sayıda zaman periyoduna atayan bir açgözlü çizelgeleyici ve zaman periyotlarını arttırmadan çizelgeyi iyileştiren bir hata azaltıcı olan bir ince ayarlı yerel arama yöntemi geliştirmiştir (Qu ve diğ., 2006, s.14)”
Yerel Arama Teknikleri (Local Search Techniques)	Diğer Yerel Arama Teknikleri	Abdullah ve diğ., 2006	Abdullah ve diğ. Farklı Optimizasyon problemleri için Ahuja ve Orlin tarafından geliştirilen graf yapısı orjinli iyileştirme yöntemlerine dayanan geniş bir komşuluk arama yöntemi geliştirmişlerdir.
		Burke ve diğ., 2006	Burke ve diğ. (2006) değişken komşuluk aramanın (Variable Neighbourhood Search) türlerini ve Toronto veri setinde literatürdeki bazı problemlerden elde edilen en iyi sonuçları incelemiştir.
Popülasyon Tabanlı Algoritmalar (Population Based Algorithms)	Evrimsel Algoritmalar (Evolutionary Algorithms)	Genetik Algoritmalar (Genetic Algorithms)	Corne, Ross ve Fang, 1994 “Corne, Ross ve Fang genel eğitimsel zaman çizelgelemede genetik algoritmalar kullanımı üzerine özet bir araştırma sunmuş ve bazı konular ile gelecekte olası gelişmeleri göstermiştir (Qu ve diğ., 2006, s.16-17)”.

Tablo 2.1 Devamı: Literatürde Zaman Çizelgeleme Problemlerinin Çözümü İçin Kullanılan Algoritmalar.

Kullanılan Teknik			Referans	Açıklama
Popülasyon Tabanlı Algoritmalar (Population Based Algorithms)	Evrimsel Algoritmalar (Evolutionary Algorithms)	Genetik Algoritmalar (Genetic Algorithms)	Erben, 2001	“Erben, uygun kodlama ve uygunluk fonksiyonları incelenen bir grupta genetik algoritması geliştirmiştir (Qu ve diğ., 2006, s.16-17)”
			Sheibani, 2002	Sheibani sınavlar arasındaki boş zamanı en bütünlükleme amacı ile eğitim merkezlerinde zaman çizelgeleme problemlerinin çözümü için matematiksel bir model ve standart bir genetik algoritma kurmuştur.
			Wong, Cote ve Gely, 2002	Wong, Cote ve Gely Cole de Technologie Supérieure’de kısıt tatmini problemi olarak modellenen bir sınav çizelgeleme probleminin çözümü üzerine uyguladıkları genetik algoritma hakkında bazı konuları tartışmıştır.
Popülasyon Tabanlı Algoritmalar (Population Based Algorithms)	Evrimsel Algoritmalar (Evolutionary Algorithms)	Memetik Algoritmalar (Memetic Algorithms)	Burke, Newall ve Weare, 1996	Burke, Newall ve Weare yerel optimumdan kaçmak amacıyla, bir sınavın veya bir dizi sınavın sırayla yeniden atanması için hafif ve ağır mutasyon operatörleri kullanan bir memetik algoritma geliştirmişlerdir.
		Memetik Algoritmalar (Memetic Algorithms)	Burke ve Landa Silva, 2004	Burke ve Landa Silva çizelgeleme ve zaman çizelgeleme problemleri için memetik algoritmaların (memetic algorithm) tasarlanması hakkında bir dizi konuyu tartışmıştır. Bu konular üzerinde yeni araştırma fikirleri ve gelecekteki yönelimler gösterilmiştir.

Tablo 2.1 Devamı: Literatürde Zaman Çizelgeleme Problemlerinin Çözümü İçin Kullanılan Algoritmalar.

Kullanılan Teknik		Referans	Açıklama
Popülasyon Tabanlı Algoritmalar (Population Based Algorithms)	Karıncalar Algoritmaları (Ant Algorithms)	Socha ve diğ., 2003	Socha ve diğ. karınca algoritma yöntemlerini tartışmıştır.
		Naji Azimi, 2004	“Naji Azimi sınav çizelgeleme problemlerinin sistematik biçimde çözülmesi için tasarlanan bir karınca kolonisi sistemi (ant colony system) oluşturmuş ve onu tavlama benzetimi, tabu arama ve genetik algoritma ile karşılaştırmıştır. Sonuçların analizinde karınca sisteminin en iyi performans gösterdiği ve tabu aramanın rasgele oluşturulan başlangıç çözümünü yüksek düzeyde iyileştirdiği belirtilmiştir (Qu ve diğ., 2006, s.18)”.
Çok Ölçütlü Teknikler (Multi-Criteria Techniques)		Burke, Bykov ve Petrovic, 2001	Burke, Bykov ve Petrovic sınav çizelgeleme problemlerinde 9 kriter ile ilgili (sınıf kapasitesi, sınavların yakınlığı, zaman ve diğer sınavlar gibi) iki safhalı çok ölçütlü bir yaklaşım geliştirmiştir.
Çok Ölçütlü Teknikler (Multi-Criteria Techniques)		Landa Silva, Burke ve Petrovic, 2004	Landa Silva, Burke ve Petrovic çok ölçütlü teknikler kullanan çok sayıda çizelgeleme ve zaman çizelgeleme uygulamalarını gözden geçirmiştir.
Melez Teknikler (Hybrid Techniques)		Weare ve diğ., 1995	Weare ve diğ. genetik operatör olarak çeşitli graf boyama sezgiselleri içeren bir genetik algoritma geliştirmişlerdir.

Tablo 2.1 Devamı: Literatürde Zaman Çizelgeleme Problemlerinin Çözümü İçin Kullanılan Algoritmalar.

Kullanılan Teknik	Referans	Açıklama
Melez Teknikler (Hybrid Techniques)	Affenzeller ve Mayrhofer, 2002	Affenzeller ve Mayrhofer çalışmalarında çeşitli melez yaklaşımları incelemiş ve ayrımcı genetik algoritma (Segregative Genetic Algorithm-SEGA) ismi ile kendi melez yaklaşımlarını tanıtmışlardır.
	Merlot ve diğ., 2003	Merlot ve diğ. üç aşamalı melez bir algoritma geliştirmişlerdir. İlk aşamada kısıt programlama ile problemin olurlu bir çözümü üretilirken ikinci aşamada tavlama benzetimi, üçüncü aşamada ise tepe tırmanma algoritmaları ile çözümün daha da iyileştirilmesi sağlanmaktadır.
Üst Sezgisel Teknikler (Hyper-Heuristic Techniques)	Burke ve diğ., 2003a	Burke ve diğ. diğerleriyle yarışan bir dizi düşük seviye sezgisel içeren bir tabu arama üst sezgiseli tanıtmıştır.
	Kendall ve Hussin, 2004	Kendall ve Hussin 2003'deki çalışmalarını temel alarak hem hareket etme stratejileri hem de düşük seviye sezgiseller olarak yapıcı graf sezgiselleri kullanılan tabu arama tabanlı bir üst-sezgisel (hyper-heuristic) incelemişlerdir.
Üst Sezgisel Teknikler (Hyper-Heuristic Techniques)	Yang ve Petrovic, 2004	Yang ve Petrovic Literatürde raporlanan çeşitli Toronto örnekleri için great delague algoritması ve en iyi sonuçları almak için başlangıç çözümünün oluşturulmasında graf sezgisellerinin seçiminde durum tabanlı muhakeme kullanılmıştır.

Tablo 2.1 Devamı: Literatürde Zaman Çizelgeleme Problemlerinin Çözümü İçin Kullanılan Algoritmalar.

Kullanılan Teknik	Referans	Açıklama
Üst Sezgisel Teknikler (Hyper-Heuristic Techniques)	Qu ve Burke, 2006	Qu ve Burke birleştirilmiş graf tabanlı üst sezgisel çerçeve içinde farklı yüksek seviye arama algoritmalarının (dik iniş-steepest descent, tabu arama-tabu search, yinelemeli yerel arama - iterated local search, değişken komşuluk arama - variable neighbourhood search) kullanılmasının etkileri incelenmiştir.
	Burke ve diğ., 2007	Burke ve diğ. tarafından graf tabanlı bir üst sezgisel sunulmuştur.

Tablo 2.1 Devamı: Literatürde Zaman Çizelgeleme Problemlerinin Çözümü İçin Kullanılan Algoritmalar.

2.2. Genetik Algoritmalar (Genetic Algorithms)

Evrimsel programlamanın bir parçası olan genetik algoritmalar (GA) Darwin'in evrim teorisinden esinlenerek ortaya çıkmıştır. Evrimsel programlama, 1960'lı yıllarda I.Rechenberg'in "Evrimsel stratejileri" adlı çalışmasıyla gündeme gelmiştir. "Evrimsel programlama genetik algoritmaları, evrimleşme stratejisini ve genetik programlamayı içermektedir. Genetik algoritmalarla evrimsel stratejiler arasında önemli fark genetik algoritmaların çaprazlama ve mutasyon operatörlerini; evrimleşme stratejisinin ise yalnız mutasyon işlemini kullanmasıdır. Öte yandan evrimleşme stratejisi kullanıldığında problem verilerinin kodlanmasına gerek duyulmamaktadır. Evrimleşme stratejisi yalnız Monte Carlo yöntemine benzer olan sayısal optimizasyon problemlerinde kullanılır. Genetik programlama, genetik algoritmaların programlara uygulanmasıdır. Verilerin işlenmesinde çeviklik gösteren LISP benzeri dillerde genetik programlama kolaylıkla uygulanmaktadır. Genetik programlamada her çözüm, ağaç kodlamayla ifade edilir (Nabiyev, 2005, s.632)".

Genetik algoritma fikri J. Holland (1975) 'a aittir. Holland, arkadaşları ve öğrencileri ile birlikte bu algoritmayı geliştirmiş ve ilk çalışmalarının sonucunda "Doğal ve Yapay Sistemlerde Adaptasyon – Adaptation in Natural ve Artificial Systems" isimli kitabını çıkarmıştır.

“Doğada, biyolojik yapılar hayatta kalma ve yüksek oranda üreme ile kendi çevreleriyle mücadelede çok başarılıdırlar. Biyolojistler, doğada gözledikleri yapıları, çevrelerinde bir dönem boyunca işleyen Darwinian doğal seçimin sonucu olarak açıklarlar. Başka bir deyişle, bir dönem boyunca, doğadaki yapılar çevreye uygunluklarının sonucudur. Uygunluk, bir dönem boyunca, doğal seçim, seksüel rekombinasyon (genetik çaprazlama) ve mutasyon yoluyla yapıların yaradılışına neden olur (Koza, 1993, s.1)”.

“Çevrelerinde görevlerini yapabilme yetenekleri daha iyi olan varlıklar (yani daha uygun bireyler), hayatta kalırlar ve yüksek oranda ürerler, daha az uygun olan varlıklar hayatta kalamazlar ve çok düşük oranda üreyebilirler. Bu Charles Darwin tarafından “On the Origin of the Specifies by Means of Natural Selection (1859)” adlı eserde tanımladığı en iyinin hayatta kalması ve doğal seçim kavramıdır (Koza, 1993, s.17)”. “Genetik algoritma Darwinian evrimsel süreci ve doğal olarak kromozomlara genetik operasyonların uygulanmasını taklit eder (Koza, 1993, s.18)”.

“Genetik Algoritmalar doğal seçim ve doğal genetik mekanizmalarına dayanan arama algoritmalarıdır. Onlar, bir arama algoritması kurmak için rasgele bilgi değişimi ile dizi yapılarının arasında en iyinin kurtulması ve insan araştırmasının yenilikçi sezgisel gücünü birleştirirler. Her nesilde, önceki nesilin en iyisinin tesadüfi yeni bir parçası denenerek, bitlerinin ve parçalarının kullanılması sonucu yeni yapay diziler oluşturulur. Genetik algoritmalar basit rasgele arama yapmazlar, onlar geçmiş bilgilerden yararlanarak yeni araştırma noktaları düşünürler (Goldberg, 1989, s. 1)”.

“Genetik algoritma, yönlendirilmiş rasgele araştırma algoritmalarının bir türüdür. Tabii seçme (natural selection) ile canlılarda bulunan genetik gelişimin benzetimini gerçekleştirmektedir. Algoritma diğer evrimsel algoritmalar gibi araştırma uzayında bulunan çözümlerin bazılarının oluşturduğu bir başlangıç popülasyonunu (Initial population) kullanmaktadır. Başlangıç popülasyonu her yeni nesilde (generation), tabii seçme (natural selection) ve üreme (reproduction) işlemleri vasıtasıyla ard arda geliştirilir. En son kuşağın en uygun yani en kaliteli (fittest) bireyi, problem için optimal çözüm olmaktadır. Bu çözüm her zaman optimum olmayabilir ama kesinlikle optimuma yakın bir optimal çözümdür (Karaboğa, 2004, s.78)”.

Holland (1975), basit bit dizileri (bit strings) kullanarak karmaşık yapıların kodlanabileceğini göstermiştir. Yapılar, çözülecek problem için çözümleri temsil etmektedir ve dizi, kromozom yada birey adı verilmektedir. Bunlar, problemin araştırma uzayından alınırlar ve bu dizilerin belirli bir miktarı genetik algoritmanın kullanacağı popülasyonu oluşturur. Daha sonra temel genetik operatörler kullanılarak çözümler geliştirilir ve yeni nesiller üretilir. Eğer bu işlemler iyi kontrol edilirse, çözülecek probleme çok iyi uyarlanmış yapıları içeren çözüm kümesinin ortaya çıkmasını sağlar.

2.2.1. Genetik Algoritmaların Özellikleri

“Genetik algoritmaları diğer sezgisel yöntemlerden ayıran en belirgin özellikleri aşağıda belirtilmiştir (Biroğul, 2005, s.29)” :

1. GA, parametre kodlarıyla uğraşır, parametrelerin kendisiyle doğrudan uğraşmaz.
2. GA, tek bir alana bağımlı kalarak çözüm aramaz. Popülasyonun tamamında çözümü arar.
3. GA, ne yaptığını değil nasıl yaptığını bilir. Yani, GA amaç işlevini kullanır; sapma değerleri ve diğer hata faktörlerini kullanmaz.
4. GA'nın uygulanmasında kullanılan operatörler raslantısal yöntemlere dayanır, belirli ve kesin yöntemler kullanmaz.

2.2.2. Temel Kavramlar

GA'nın yapısını oluşturan kavramların bilinmesi ve değerlerinin doğru olarak belirlenmesi algoritma performansı açısından oldukça büyük önem taşır. Aşağıda bu kavramlara değinilmiştir.

2.2.2.1. Gen (Gene)

“Kromozom yapısında kendi başına birer genetik bilgi taşıyan en ufak yapı birimine gen denir. Kısmî bilgiler taşıyan bu ufak yapıların bir araya gelmesiyle bütün bir çözüm kümesini oluşturan kromozom (dizi/birey) meydana gelir (Biroğul, 2005, s.34)”.

2.2.2.2. Kromozom/Dizi/Birey (Chromosome/String/Individual)

Bir yada birden fazla gen yapısının bir araya gelerek problemin çözümüne ait tüm bilgiyi içeren dizilere kromozom yada birey denir. Kromozomlar, GA yaklaşımında üzerinde durulan en önemli birim olduğu için bilgisayar ortamında iyi ifade edilmesi gerekir. Kromozomun hangi kısmının ne anlam taşıdığı, ne tür bilgiler içereceği problemin yapısına göre belirlenir.

2.2.2.3. Popülasyon (Population)

“Popülasyon, çözüm bilgilerini içeren kromozomların bir araya gelmesiyle oluşan olası çözüm yığına denir. Popülasyondaki kromozom sayısı sabit olup problemin özelliğine göre programlayıcı tarafından belirlenir. GA'nın işleyişi esnasında bu popülasyondan bir takım kromozomlar yok olmakta ve yerlerine yeni kromozom yapıları eklenerek popülasyon büyüklüğü sabitlenmektedir (Biroğul, 2005, s.34)”.

2.2.2.4. Uygunluk Değeri (Fitness Value)

“Kromozomların, çözümde gösterdikleri başarı derecesini belirleyen bir değerlendirme işlevidir. Hangi kromozomların bir sonraki nesile taşınacağına ve hangi kromozomların yok olacağına uygunluk değerlerinin büyüklüğüne göre karar verilir. Uygunluk değeri, popülasyondaki kromozomların bir değerlendirme işlevi yardımıyla hesaplanır. GA'da kullanılan değerlendirme işlevi problemin amaç işlevini oluşturur (Fang, 1992'ye atfen Biroğul, 2005, s.37)”.

2.2.2.5. Üreme (Reproduction)

“Mevcut popülasyondan gelecek popülasyona aktarılacak kromozomların seçilmesi işlemidir. Taşınan kromozomlar, genetik olarak mevcut popülasyonda en uygun yapıya (değere) sahip olan dizilerdir. Bu işlem belirlenen uygunluk değerlerine sahip iyi kromozomların bir sonraki nesile aktarılmasını sağlar (Biroğul, 2005, s.35)”.

2.2.2.6. Çaprazlama (Crossover)

“İki kromozomun bir araya gelerek karşılıklı gen yapılarının değişimi ile yeni kromozomların oluşumunu sağlayan bir GA operatörüdür. Çaprazlanarak gen değişiminin yapılmasından önce kromozomların çaprazlamaya tutulma olasılığı belirlenmelidir (Biroğul, 2005, s.41)”.

2.2.2.7. Mutasyon (Mutation)

GA'da sistem belli döngü değerine geldikten sonra kromozomlar birbirlerine git gide benzemektedir. Bu da örneklenen çözüm uzayının daralmasına neden olmaktadır. Kromozomlara ne kadar çaprazlama operatörü uygulansa da kromozom çeşitliliği sağlanamaz. Bu durumda kromozomun kendi içinde gen değerleri rasgele yer değiştirilerek yada rasgele bir genin değeri geçerli aralıktan rasgele seçilerek kromozomun genetik yapısı değiştirilir. Böylelikle kromozom çeşitliliğinin devamı sağlanır (Biroğul, 2005, s.45).

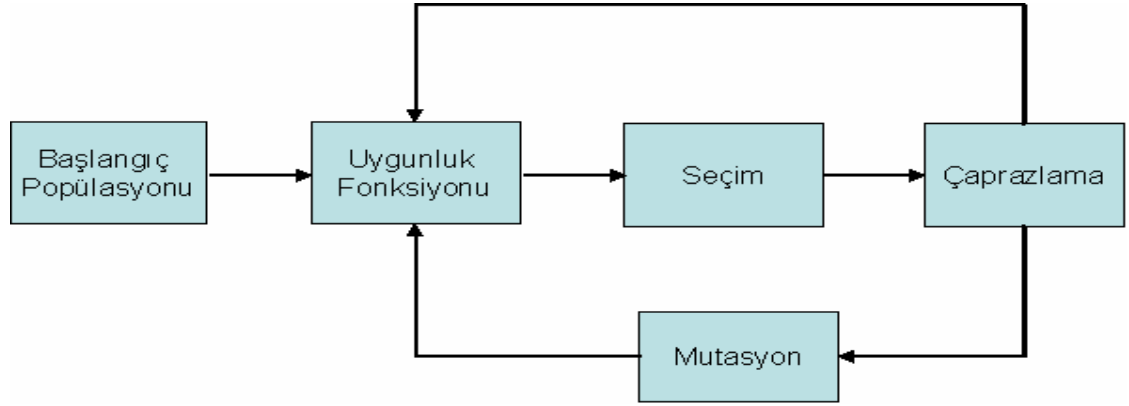
2.2.3. Genetik Algoritmaların Sağladığı Kolaylıklar

“Oldukça karmaşık hedef fonksiyonlarını modellemede kullanılan GA'ların bünyesinde biyolojik gelişimi temsil eden değişik alt kümeler bulunmaktadır. GA'da önce değişik kromozomlardan meydana gelmiş bir popülasyona izin verilir. Bu popülasyon belirli kurallarla hedef fonksiyonunu daha da en iyileyici hale gelecek biçimde değiştirir. Bazı kromozomlar ölerek süreçten ayrılırken diğerleri daha da sağlıklı olarak hayatlarına devam eder. GA ile optimizasyonun bazı faydaları şunlardır (Akoğlu, 2006, s.15)” :

1. Kesikli veya sürekli değişkenlerle optimizasyon yapılabilir.
2. Türev alma işlemine gerek yoktur.
3. Çözüm uzayında aynı anda geniş bir alanda çok sayıda noktadan araştırmaya başlanır.
4. Çok fazla sayıda değişkenle optimizasyon yapılabilir.
5. Çok fazla uç (en büyük ve en küçük, ekstrem) değeri olan hedef fonksiyonları durumunda bile optimizasyon yapılabilir.
6. Yerel optimumları sıçrayarak aşabilir.
7. Sadece mutlak en iyi çözümü değil en iyi çözümlerin listesini bile verebilir.
8. Karar değişkenlerini kodlayarak optimizasyonu kodlama dünyasında yapar.
9. Genetik sayı sistemine göre üretilen sayılarla çalışır. Bunlar deney verileri veya analitik fonksiyonlar olabilir.
10. Aynı anda birden fazla hedef fonksiyonun optimizasyonu mümkündür.

2.2.4. Basit Bir Genetik Algoritmanın Yapısı

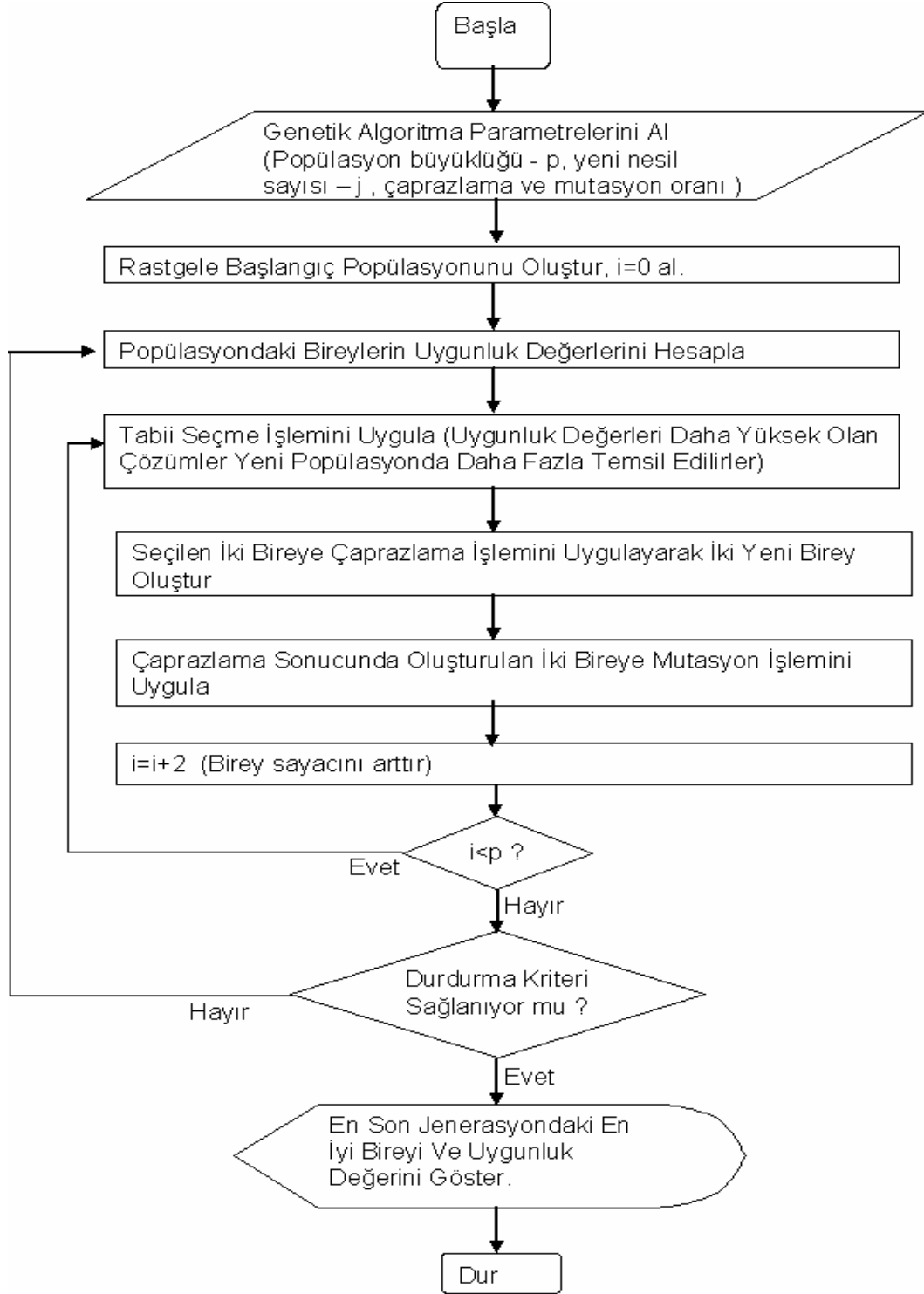
Daha önce bahsedildiği gibi önce başlangıç popülasyonu oluşturulmakta ve sonra tabii seçme işlemi ile birlikte genetik operatörler çaprazlama (crossover) ve mutasyon (mutation) gelecek nesildeki çözümleri üretmek amacıyla kullanılmaktadır. Kalite veya uygunluk değerlendirme (fitness evaluation) işlemi üreme olayında uygulanan seçme işlemi gerçekleştirilmek için her bir bireye uygulanmaktadır. Bu işlemler, optimal bir çözüm bulununcaya, algoritma için belirlenen süre yada yeni nesil sayısı tamamlanuncaya kadar devam etmektedir. Genetik algoritmalarda evrimleşme süreci şekil 2.1’de görülmektedir.



Şekil 2.1: Genetik Algoritmalarda Evrimleşme Süreci

Kaynak: Nabyev, 2005, s.634

“Basit bir genetik algoritma beş temel elemandan oluşmakta ve bunların her biri algoritmanın performansını önemli derecede etkilemektedir. Bu temel elemanlar: Çözümlerin temsil mekanizması – kodlama (representation mechanism – Encoding), başlangıç popülasyonu oluşturma yöntemi (initial population construction method), uygunluk veya kalite değerlendirme fonksiyonu (fitness evaluation function), kullanılan genetik operatörler (üreme – reproduction, çaprazlama – crossover, mutasyon – mutation) ve kontrol parametreleridir (Karaboğa, 2004, s.79)”. Basit bir genetik algoritmanın akış şeması şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2: Standart Genetik Algoritmanın Akış Şeması

2.2.5. Temsil Mekanizması (Kodlama)

Bir problemi genetik algoritma ile çözmeye başladığımızda karşılaştığımız problemlerden bir tanesi bireylerin (kromozomların) kodlanmasıdır. Bireylerin kodlanması problemin yapısına göre değişmektedir.

2.2.5.1. İkili Kodlama (Binary Encoding)

“Genetik algoritmalarda karmaşık yapıların temsilinde ilk ve en çok kullanılan mekanizma (0, 1) alfasesini kullanan ikili bit dizisidir (binary bit string). Doğrudan ikili kodlama (binary coding) en yaygın kullanılan kodlama tekniğidir. Bu tekniği kullanan genetik algoritmalar ikili kodlanmış genetik algoritmalar olarak da adlandırılır. Bununla birlikte ikili sistemde uniform kodlama ve gray kodlama gibi temsiller mümkündür (Goldberg, 1985’ e atfen Karaboğa, 2004, s.79)”.

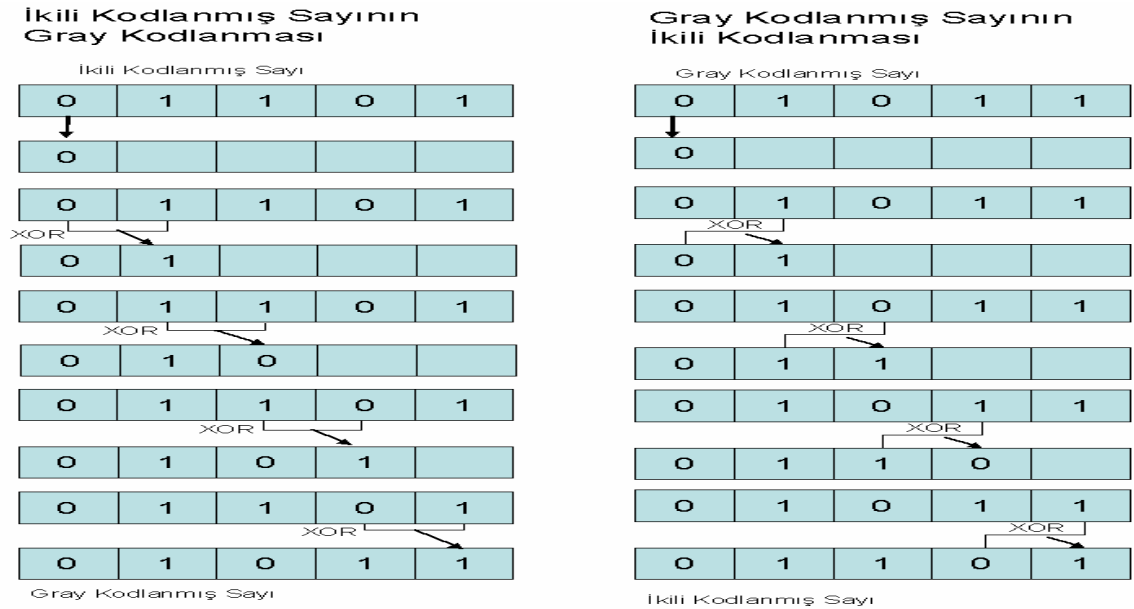
Bu yöntem ilk GA uygulamalarında kullanıldığı için hala en çok kullanılan yöntemlerdendir. İkili kodlama da veriler 0 veya 1 değerini alan n sayıda bitle temsil edilirler. Örneğin: Onluk düzende 21 sayısına karşılık gelen ikili kodlama “10101” dir. Dizinin her elemanı çözümün bir özelliğini taşır. Örnekte 1., 3. ve 5. genler problemin türüne göre bir atamanın yapılması gibi bir durum varken, 2. ve 4. genlerde atamanın gerçekleşmemesi gibi bir durum söz konusudur. Dizinin tümü ise bir sayıya karşılık gelir. İkili kodlama, küçük boyutlu problemler için çok büyük kromozom vektörleri gerektirmektedir. Çözülecek probleme bağlı olarak çeşitli kodlama yöntemleri vardır.

2.2.5.2. Gray Kodlama (Gray Encoding)

“Gray kodlama 1 ve 0’larla fenotip ve geneotip arasında ardışık tamsayıların sadece bir bitinin farklı olduğu bir temsil olarak tanımlanır. Problemimizin arama uzayının kesikli tabiatı, her kalıp tipi kesitinin birleştirilmesinde daha az uygun olan reel kodlamaya karşı ikili kesikli kodlama faydalı olabilir. Genetik algoritmalarda yaygın olarak kullanılan çok sayıda tek amaç ve değerlendirme fonksiyonu üzerinde yapılan deneysel çalışmalarda standart ikili kodlamaya karşı gray kodlama kullanmanın gelişmiş bir davranış gösterdiği görülmüştür (Greiner ve diğ. , 2005, s.580)”.

İkili kodlanmış bir bilginin gray koduna çevrilmesi (kodlama) ve Gray kodlanmış bir bilginin ikili kodlanması (kod çözümü) Şekil 2.3’de görülmektedir. İkili dizinin ilk elemanı gray kodun ilk elemanı olarak alınır. Sonraki adımda ikili dizinin

1. ve 2. elemanlarının XOR işleminin sonucu gray kodun 2. elemanı olarak atanır. Aynı şekilde tüm dizi tamamlanır. Kod çözümünde ise: Gray kodun ilk elemanı ikili kodun ilk elemanı olarak alınır. Sonraki adımda gray kodun 2. elemanı ile ikili kodun 1. elemanlarının XOR işleminin sonucu ikili kodun 2. elemanı olarak alınır. Aynı şekilde işlemler tüm diziyeye uygulanarak gray kodun ikili kod çözümü gerçekleştirilir.



(Onlu Düzende Karşılığı : 27)

Şekil 2.3: İkili Bir Sayının Gray Kodlanması ve Gray Kodlanmış Bir Sayının Kod Çözümü.

2.2.5.3. Permütasyon (Sıralı) Kodlama (Permutation Encoding)

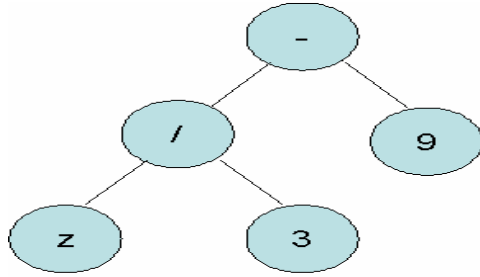
“Bu kodlama, gezgin satıcı problemi (GSP) ve iş sıralama problemleri, şebeke tasarımları gibi permütasyon problemlerinde kullanılır. Burada her kromozom bir numaralar dizisidir (Nabiyev, 2005, s.636)”. Örneğin: “35127684” dizisi gezgin satıcı probleminde satıcının izleyeceği güzergahı temsil eder. Bu problemlerde ikili kodlama kullanılabilir. Örneğin: Her onluk sayı için ikili düzendeki sayılar yazılır “35127684” dizisinin ikilik düzende karşılığı “00110101000100100111011010000100” dır. Görüldüğü permütasyon kodlamada kromozom 8 genle temsil edilirken, ikili kodlamada 32 genle ifade edilmektedir. Her dört gen bir şehri ifade eder. Bu nedenle permütasyon tipi problemlerde permütasyon kodlamanın kullanılması daha kısa kromozom dizisi nedeniyle daha avantajlıdır.

2.2.5.4. Değer Kodlama (Value Encoding)

“Bu kodlama gerçel sayılar gibi kompleks sayıların yer aldığı problemlerde kullanılır. Bu tür problemler için ikili kodlama çok zordur. Burada her kromozom bazı değerler dizisidir. Bu değerler ise problemle ilişkilidir; gerçel sayı, karakter veya kompleks nesnelere olabilir. Örneğin: “3,7512 4,1348 8,9741 6,1221” , “ABFCED”, veya “(geri), (sağa), (ileri), (geri), (sola)” gibi kodlamalar kullanılabilir. Bu kodlama bazı özel problemler (örneğin: Bir yapay sinir ağının ağırlık katsayılarının bulunması) için çok uygundur (Nabiyev, 2005, s.636)”.

2.2.5.5. Ağaç Kodlama (Tree Encoding)

“Ağaç kodlama genellikle genetik programlamada programlar ve ifadeler oluşturmak için kullanılır. Ağaç kodlamada her kromozom, adından da anlaşıldığı gibi nesnelere ve nesnelere arası işlemleri içeren bir ağaç yapısından oluşur. Şekil 2.4’de ağaç kodlama için bir kromozom örneği gösterilmiştir (Nabiyev, 2005, s.637)”.



Kodlamanın anlamı z/3-9'dur

Şekil 2.4: Ağaç Kodlama İçin Birey (Kromozom) Örneği

Kaynak: Nabiyev, 2005, s.637.

“Ağaç kodlama program geliştirmek için uygundur. Örneğin: LISP ve PROLOG gibi programlama dillerinde ağaçlar yapısal olarak sık bir biçimde kullanılır. Ağaç kodlamada çaprazlama ve mutasyon çok kolay bir şekilde uygulanabilir (Nabiyev, 2005, s.637)”.

2.2.6. Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması

“Araştırma ve uygulama çalışmalarında genetik algoritmaların başlangıç popülasyonunu oluşturmada takip edilen yollar genelde farklıdır. Gerçek mühendislik problemlerinin çözümü için değil de araştırma amacıyla yapılan çalışmalarda genellikle

başlangıç popülasyonu rasgele sayı üreticisi kullanılarak oluşturulur. Şayet problemle ilgili başlangıçta bazı çözümler kabaca biliniyorsa başlangıç popülasyonu bu çözümler kullanılarak da oluşturulabilir. Uygulamada tercih edilen yöntem genellikle budur. Çünkü bu yöntem optimal çözüm bulmada zaman açısından tasarruf sağlamaktadır (Karaboğa, 2004, s.79-80)”.

“Başlangıç popülasyonu rasgele oluşturulduğunda, genetik algoritmalar tavlama benzetimi algortimalarından daha az, fakat sezgisel yöntemlerden daha fazla etkilidirler. Eğer başlangıç popülasyonu bir sezgisel tarafından oluşturulursa, genetik algoritmalar tavlama benzetimi algortimalarından daha etkili olurlar. Ayrıca, diğer arama prosedürleri ile (açgöz rasgele adaptif arama prosedürü (ARAAP), tepe tırmanma, tabu arama, tavlama benzetimi vb.) entegre edilirse, yetenekleri daha da geliştirilebilir (Jones ve Robelo, 1998, s.9)”.

2.2.7. Uygunluk veya Kalite (Nitelik) Değerlendirmesi

“Çoğu problemde, amacın bazı fayda yada kazanç fonksiyonlarının $u(x)$ maksimizasyonundan çok, bazı maliyet fonksiyonlarının $g(x)$ minimizasyonu olması oldukça doğaldır. Eğer problem doğal olarak maksimizasyon formunda ise, bu fayda fonksiyonun tüm x 'ler için pozitif olmasını garanti etmez. Sonuçta, sıklıkla doğal amaç fonksiyonunun uygunluk formuna dönüştürülmesi gerekir. Genetik algoritmalarda genel olarak maliyet uygunluğa aşağıdaki gibi dönüştürülür (Goldberg, 1989, s.75)”:

$$g(x) < C_{\text{maks}} \text{ olduğunda } f(x) = C_{\text{maks}} - g(x), \quad (2.1)$$

Aksi durumda $f(x) = 0$.

“ C_{maks} değerinin seçmek için çeşitli yollar mevcuttur. Bu değer gözlenen en büyük g değeri, mevcut popülasyondaki en büyük g değeri yada son k nesilin en büyük değeri olarak alınabilir. Belki C_{maks} 'ın popülasyon varyansına bağlı olması çok uygun olabilir (Goldberg, 1989, s.76)”.

“Doğal amaç fonksiyonu bir fayda yada kazanç maksimizasyonu olarak formüle edildiğinde, negatif fayda fonksiyonu değerlerine ilişkin problem yine mevcuttur. Bu problem, aşağıdaki gibi kolayca aşılabılır:

$$U(x)+C_{\min}>0 \text{ olduğunda } f(x)= U(x)+C_{\min} \quad (2.2)$$

Aksi durumda $f(x)=0$.

C_{\min} mevcut popülasyonun yada son k nesilin en kötü u değeri olarak yada popülasyon varyansının bir fonksiyonu olarak seçilebilir (Goldberg, 1989, s.76)”.

Çözümlerin kalitesinin belirlenmesinde kullanılan teknik, genetik algoritmanın performansında oldukça etkilidir. Değerlendirmede kullanılan uygunluk fonksiyonu hem amaç fonksiyonu hem de kısıtları dikkate alan bir fonksiyon olmalıdır. Birçok çalışmada ihlal edilen kısıtlar için bir ceza fonksiyonu da kullanılmaktadır (Bäck ve diğ., 1991; Michalewicz ve Attia, 1994, Riche ve diğ., 1995, Gen ve Cheng, 1997a; Hadj-Aloune ve Bean, 1997; Morales, 1998; Carlson ve Shonkwiler, 1998; Coello, 2000).

“Ceza (Penalty) metodunda, kısıt ihlallerine bir maliyet yada ceza atanarak kısıtlı bir optimizasyon problemi, kısıtsız problem haline getirilir. Bu maliyetler amaç fonksiyon değerlendirmesinde yer alır. Örneğin, minimizasyon formunda orijinal kısıtlı problem (Goldberg, 1989, s.85)”:

Minimize $g(x)$

Kısıtlar $h_i(x) \geq 0$

ise, bu problem kısıtsız forma aşağıdaki gibi dönüştürülebilir:

$$\text{Minimize } g(x) + r \cdot \sum_{i=1}^n \Phi [h_i(x)] \quad (2.3)$$

Bu formülasyonda Φ ceza fonksiyonu, r ise ceza katsayısıdır.

“Amaç fonksiyonundan elde edilen ham sonuçların kullanımı araştırmanın başlangıcında yeterli olabilir. Ancak araştırma ilerledikçe iyi çözümler ve kötü çözümler arasındaki farkı ayırt etmek zorlaşır. Bu da genetik algoritmanın çözümleri geliştirmesini olumsuz etkiler. Bu yüzden kalite değerlendirme biriminde normalizasyon işlemine gerek duyulur. Genetik algoritmalar normalizasyon işlemine karşı oldukça hassastır. Araştırma bir taraftan, iyi çözümlerin bulunduğu tarafa doğru odaklanmaya çalışırken, diğer taraftan, algoritmanın küresel optimizasyon işlemi

gerçekleştirebilmesi için araştırmaya yeterli bir iraksamanın sağlanması gerekir. Aksi halde erken yakınsama (premeture convergence) problemi ortaya çıkacak ve bu da tüm araştırma uzayının tamamen araştırılmasını engelleyecektir. Bu olay küresel araştırmada arzu edilmeyen bir durumdur. Normalizasyon işleminde yaygın olarak kullanılan teknik ölçekleme penceresi (scaling window) işlemidir (Grefenstette, 1986'a atfen Karaboğa, 2004, s.80)".

2.2.8. Genetik Operatörler

"Bireyler üzerinde işlem yapmaya yarayan bu operatörler ile ilgili oldukça fazla çalışmalar yapılmış ve çok sayıda değişik genetik operatörler geliştirilmiştir. Bununla birlikte genetik algoritmaların çoğunluğu üreme (reproduction), çaprazlama (crossover) ve mutasyon (mutation) operatörlerinin değişik formlarını ihtiva ederler. Bu operatörlerin uygun kombinasyonlarının kullanımı genetik algoritmaların performansı için oldukça önemlidir. Kısaca, karmaşık problemleri çözmek için genetik algoritmaların gelişmiş ve probleme has özel genetik operatörlere ihtiyaç gösterdiği söylenebilir (Karaboğa, 2004, s.80)".

2.2.8.1. Üreme Operatörü (Reproduction)

"Üreme operatörü, tabii seçme işlemi olarak adlandırılan kalitesi yüksek bireylerin hayatta kalmaları ve sayılarının artması, kalitesi düşük bireylerin ise sayılarının azalarak kaybolması prensibine göre çalışan bir genetik algoritma elemanıdır. Bu seçme işlemi tabiatta çevre tarafından, yapay sistemde ise amaç fonksiyonu ve diğer kalite değerlendirme işlemleri tarafından kontrol edilir. Bireysel yapılar bir nesilden diğer kuşağa geçerken kalite değerlerine göre daha fazla kopya edilme şansları vardır. Bundan dolayı daha kaliteli çözümlerin popülasyona baskın olmaları, kalitesiz olanların ise yavaş yavaş kaybolmaları yani ölmeleri sağlanır. Bu operatörün uygulanması için en basit metot bayaşlanmış rulet tekerleği (biased roulette wheel) tekniğidir (Baker, 1985'e atfen Karaboğa, 2004, s.80-81)".

"Darwin'in evrim teorisine göre, en iyi olanlar kurtulmalı ve yeni dölü oluşturmalıdır. En iyi kromozomları seçmenin birçok yolu vardır. Rulet tekerleği seçimi (Roulette wheel selection), boltzman seçimi (boltzman selection), turnuva seçimi (tournament selection), sıralama seçimi (rank selection), kararlı durum seçimi (steady state selection) bunlardan bazılarıdır (Nabiyev, 2005, s.642)".

2.2.8.1.1. Rulet Tekerleği Seçimi (Roulette Wheel Selection)

1995’de De Jong “An analysis of the behaviour of a class of genetic adaptive systems” isimli önemli ve temel tezini tamamlamıştır. De Jong’un bu çalışması genetik algoritmanın gelişiminde bir dönüm noktasıdır (Goldberg, 1989, s.107)”. De Jong bu çalışmasında basit genetik algoritmanın bir dizi varyasyonunu araştırmıştır. Çalışmasında kullandığı ilk modelde rulet tekerleği seçimini kullanmıştır (Goldberg, 1989, s.110). Seçim işlemi, her bireyin uygunluğunun tüm bireylerin toplam uygunluğuna oranına göre yapılmaktadır.

“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 bireylerin uygunluk değerleri bir tabloya yazılır ve toplanır. Sonra uygunluk değerleri, toplama bölünerek bireylerin [0, 1] aralığında seçilme olasılıkları belirlenir (Nabiyev, 2005, s.642)”. Daire şeklindeki bir rulet tekerleği bu olasılık değerlerine göre oluşturulur. Kalitesi iyi olan çözümler seçilme olasılıkları daha fazla olacağı için rulette daha fazla bir alana sahip olacaktır. Rulet tekerleği çevrilir ve durduğu nokta hangi bireyin alanına denk gelirse o birey seçilmiş olur. “Popülasyon büyüklüğüne ulaşılmıca kadar rulet tekerleği çevrilerek seçimler yapılır ve seçilen her birey eşleşme havuzu (mating pool) olarak adlandırılan bir havuzda toplanarak diğer genetik operatörlerin uygulanması için hazırlanır (Karaboğa, 2004, s.81)”.

Popülasyondaki i. bireyin seçilme olasılığı:

$$P_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^n f_i} \quad (2.4)$$

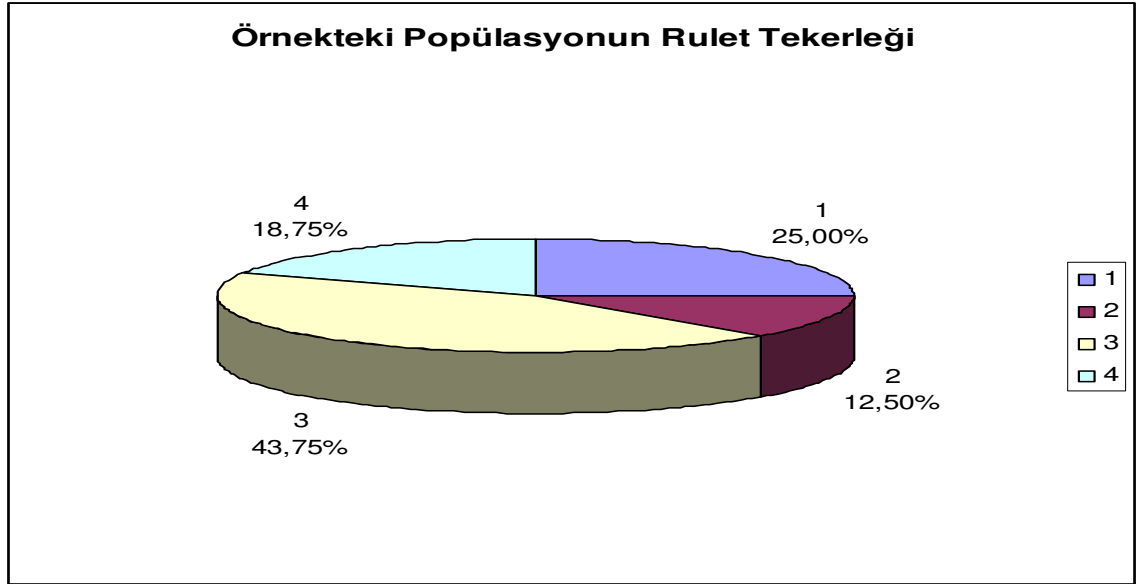
formülüne göre belirlenmektedir.

Örnek : Tablo 2.2’de ikili kodlanmış bir genetik algoritmanın herhangi bir neslindeki uygunluk değerleri ve eşleşme havuzuna seçilme olasılıkları gösterilmiştir.

İkili Kodlanmış Birey	Uygunluk	Seçilme Olasılığı (%)
00110	100	$100/400 = 25$
01010	50	$50/400 = 12,5$
10110	175	$175/400 = 43,75$
10010	75	$75/400 = 18,75$
	400	100,00

Tablo 2.2: İkili Kodlanmış Örnek Bir Popülasyon ve Rulet Tekerleği Seçiminde Bireylerin Seçilme Olasılıkları.

Bu örnekteki popülasyona ait rulet tekerleği şekil 2.5’de gösterilmiştir.



Şekil 2.5: Örnekteki Popülasyona Ait Rulet Tekerleği ve Bireylerin Seçilme Olasılıkları.

2.2.8.1.2. Erken Yakınsama (Premature Convergence), Tıkanıklık (Stagnation) ve Uygunluk Ölçekleme (Fitness Scaling)

“Bazı bireylerin uygunluğunun popülasyon ortalamasından çok yüksek olduğu durumlarda, rulet tekerleği seçim yönteminde popülasyonun bu üyeleri diğer üyelere daha sık seçilecektir. Bu nedenle, birkaç nesil sonra eşleşme havuzu bu bireylerle dolar. Eğer bu bireyler küresel maksimuma değil yerel maksimuma yakınsa, genetik algoritma mutasyon yada hiper-mutasyon yardımı olmazsa yerel maksimuma takılacaktır. Bu durum erken yakınsama (premature convergence) olarak bilinir. Rulet tekerleği seçiminde bir diğer problem tıkanıklıktır (stagnation). Bu problem genellikle çalışmanın

sonlarına doğru meydana gelir. Eğer tüm bireyler benzer uygunluğa sahipse, rulet tekerleği seçimi düşük seçim baskısı uygular ve en iyi bireye hemen hemen en kötü birey kadar seçilme şansı tanır. Bu iki problem uygunluk ölçekleme teknikleri kullanılarak çözülebilir (Murphy, 2003, s.23)”.

“Rulet tekerleği seçimi çözümlerin uygunluk değerlerinin pozitif olmasını gerektirir. Çünkü olasılıkların negatif olması çözümün seçilme şansının olmadığını göstermektedir. Çoğunluğunun uygunluk değeri negatif olan bir toplumda yeni nesiller belli noktalara takılıp kalabilir. Bu nedenle uygunluk ölçeklendirme (fitness scaling) yöntemlerine başvurulur (Nabiyev, 2005, s.642-643)”.

Ölçekleme yöntemlerinin iki amacı vardır

1. Kromozomların göreceli uygunluk dereceleri arasında makul bir farklılığın korunmasını sağlayarak algoritmanın tıkanıklıktan kurtarılması,
2. Popülasyonun süper kromozomlar tarafından çabuk ele geçirilmesini önleyerek algoritmanın erken yakınsamadan kurtarılmasını sağlamak.

Doğrusal ölçekleme (linear scaling), dinamik doğrusal ölçekleme (dynamic linear scaling), sigma budama (sigma truncation), üs kuralı ölçekleme (power law scaling), ölçekleme penceresi (scaling window), boltzman seçimi, logaritmik ölçekleme ve normalizasyon (normalizing) yöntemleri bu amaçlar için oluşturulmuştur.

2.2.8.1.2.1. Doğrusal Ölçekleme(Linear Scaling)

Kullanışlı bir ölçekleme prosedürü doğrusal ölçeklemedir. Doğrusal ölçekleme ölçeklenmiş uygunluk değeri ile ham uygunluk değeri arasında aşağıdaki gibi doğrusal bir ilişki gerektirir (Goldberg, 1989, s.77).

f: Ham uygunluk değeri

f': Ölçeklenmiş uygunluk değeri

Ölçeklenmiş uygunluk değeri ham uygunluk değerinin doğrusal bir fonksiyonudur

$$f' = a \cdot f + b \quad (2.5)$$

“a” ve “b” sayılarını seçmek için çeşitli yollar mevcuttur, ancak çoğu durumda ortalama ölçeklenmiş uygunluğun (f'_{ort}) ortalama ham uygunluğa (f_{ort}) eşit olması istenir. Çünkü, sonraki adımda seçim prosedürü popülasyondaki her ortalama üyenin yeni nesile

aktarılan bir çocuğun oluşturulmasına katkıda bulunmasını sağlamalıdır. En yüksek ham uygunluğa sahip olan bireylerin popülasyondaki çocuklarının sayısını kontrol etmek için, $f_{maks}=C_{avg}$ ilişkisi kullanılır. C_{mult} en iyi popülasyon üyesi sayısının arzu edilen değeridir. Tipik olarak küçük popülasyonlarda (n=50 ile 100 arasında) $C_{mult}= 1,2$ ile 2 arasında başarıyla kullanılabilir (Goldberg, 1989, s. 77). Goldberg tarafından kullanılan “a” ve “b” katsayıları aşağıdaki gibi belirlenmiştir :

Eğer minimum uygunluk değeri “ $C_{mult} \cdot f_{ort} - f_{maks}$ ” değerinden büyük ise katsayılar,

$$a = \frac{(C_{mult} - 1) \cdot f_{ort}}{(f_{maks} - f_{ort})}, \quad b = \frac{f_{ort} \cdot (f_{maks} - C_{mult} \cdot f_{ort})}{(f_{maks} - f_{ort})}$$

formülleriyle, aksi durumda

ise

$$a = \frac{f_{ort}}{(f_{ort} - f_{min})}, \quad b = \frac{-f_{min} \cdot f_{ort}}{(f_{ort} - f_{min})}$$

formülleriyle hesaplanabilir. Bu

formülasyon en küçük uygunluğun “0” olmasını ve ortalamaların eşitliği kuralının sağlanmasını garanti eder. Formüllerdeki f_{ort} ham uygunluk değerlerinin ortalamasını, f_{maks} ham uygunluk değerlerinin en büyüğünü, f_{min} ise ham uygunluk değerlerinin en küçüğünü ifade etmektedir. Tablo 2.3’de örnek bir uygulama gösterilmiştir.

	Ham Uygunluk Değerleri	Ölçeklenmemiş Seçilme Olasılığı (%)	a	b	Ölçeklenmiş uygunluk değerleri	Ölçeklenmiş Seçilme Olasılığı(%)
Jenerasyon 1	40	9,88	1,53	-30,57	30,57	7,55
	50	12,35			45,85	11,32
	90	22,22			106,98	26,42
	60	14,81			61,13	15,09
	20	4,94			0,00	0,00
	75	18,52			84,06	20,75
	70	17,28			76,42	18,87
Ortalama	57,86			57,86		
Jenerasyon 2	60	10,99	4,33	-260,00	0,00	0,00
	70	12,82			43,33	7,94
	90	16,48			130,00	23,81
	80	14,65			86,67	15,87
	75	13,74			65,00	11,90
	85	15,57			108,33	19,84
	86	15,75			112,67	20,63
Ortalama	78			78,00		
Jenerasyon 3	81	13,64	16,50	-1315,29	21,21	3,57
	85	14,31			87,21	14,68
	90	15,15			169,71	28,57
	89	14,98			153,21	25,79
	87	14,65			120,21	20,24
	82	13,80			37,71	6,35
	80	13,47			4,71	0,79
Ortalama	84,86			84,86		

Tablo 2.3: Doğrusal Ölçekleme İçin Örnek.

1. Nesil için ham uygunluk değerlerinin ortalaması 57,86'dır. Maksimum uygunluk 90 ve minimum uygunluk 20'dir. Bu durumda $C_{mult} \cdot f_{ort} - f_{maks} = 2 \cdot 57,86 - 90 = 25,71$

olacaktır. f_{min} bu değerden küçük olduğu için a ve b katsayıları $a = \frac{f_{ort}}{f_{ort} - f_{min}}$,

$b = \frac{-f_{min} \cdot f_{ort}}{f_{ort} - f_{min}}$ formülleriyle hesaplanır:

$$a = \frac{f_{ort}}{f_{ort} - f_{min}} = \frac{57,86}{57,86 - 20} = 1,53$$

$$b = \frac{-f_{min} \cdot f_{ort}}{f_{ort} - f_{min}} = \frac{-20 \cdot 57,86}{57,86 - 20} = -30,57$$

buna göre ölçeklenmiş uygunluk fonksiyonu:

$f' = a \cdot f + b = 1,80 \cdot f - 46,29$ olacaktır. Ölçeklenmiş uygunluk değerleri bu ilerleyen nesillerde de benzer şekilde hesaplanmıştır.

2.2.8.1.2.2. Dinamik Doğrusal Ölçekleme (Dynamic Linear Scaling)

“Uygunluk ölçeklemeye, zamana göre değişken bir yaklaşım Grefenstette (1986) tarafından önerilen dinamik doğrusal ölçeklemedir (Grefenstette, 1997, s.2)”.

$$f'_k = a f_k + b_t \quad (2.6)$$

“ b_t her nesilde değişen bir parametre olup son birkaç nesildeki en küçük ham uygunluk değerine eşittir. a değeri ise maksimizasyon problemlerinde +1, minimizasyon problemlerinde -1 değerini alan bir katsayıdır. b_t gözlenen en kötü değerlerin ağırlıklı ortalaması olarak tanımlandığında başarılı bir ölçekleme yapılabilir (Grefenstette, 1997, s.2)”:

$$b_t = \delta \cdot b_{t-1} + (1 - \delta) \cdot f_{min(t)} \quad (2.7)$$

δ , güncelleme oranı olup “0,1” değeri kullanılmıştır. $f_{min(t)}$ değeri t. Nesildeki en kötü uygunluk değeridir. Tablo 2.4’de bir örnek gösterilmiştir.

	Ham Uygunluk Değerleri	Ölçeklenmemiş Seçilme Olasılıkları (%)	b_t	Ölçeklenmiş uygunluk değerleri	Ölçeklenmiş Seçilme Olasılıkları (%)
Jenerasyon 1	40	9,88	20,00	20,00	7,55
	50	12,35		30,00	11,32
	90	22,22		70,00	26,42
	60	14,81		40,00	15,09
	20	4,94		0,00	0,00
	75	18,52		55,00	20,75
	70	17,28		50,00	18,87
	Ortalama	57,86			37,86
Jenerasyon 2	60	10,99	56,00	4,00	2,60
	70	12,82		14,00	9,09
	90	16,48		34,00	22,08
	80	14,65		24,00	15,58
	75	13,74		19,00	12,34
	85	15,57		29,00	18,83
	86	15,75		30,00	19,48
	Ortalama	78			22,00
Jenerasyon 3	81	13,64	77,60	3,40	6,69
	85	14,31		7,40	14,57
	90	15,15		12,40	24,41
	89	14,98		11,40	22,44
	87	14,65		9,40	18,50
	82	13,80		4,40	8,66
	80	13,47		2,40	4,72
	Ortalama	84,86			7,26

Tablo 2.4: Dinamik Doğrusal Ölçekleme İçin Örnek.

Başlangıçta minimum uygunluk değeri küçük olduğundan düşük bir seçim baskısı uygulanır. Böylece erken yakınsama önlenir. İlerleyen nesillerde minimum uygunluk değeri artacağından seçim baskısı arttırılmakta ve tikanıklık problemi önlenebilmektedir.

2.2.8.1.2.3. Sigma Budama (Sigma Truncate)

Forrest 1985’de ham uygunluk değerlerinin ölçeklenmesinde popülasyon varyansının kullanılması fikrini ortaya atmıştır. Bu prosedür Goldberg (1989) tarafından sigma budama olarak isimlendirilmiştir.

“Sigma budama ile, ham uygunluk değerleri $f' = f - (\bar{f} - c \cdot \sigma)$ formülüne göre değiştirilir. σ popülasyon standart sapması, c , σ ’nın kullanıcı tarafından belirlenen bir katıdır (Genellikle $1 \leq c \leq 3$ seçilir) (Murphy, 2003, s.28)”. Ölçeklenen uygun değerinin negatif olması durumunda uygunluk “0” olarak kabul edilir. “Budlanmış uygunluk değerleri eğer istenirse başka bir yöntemle ölçeklenebilirler (Murphy, 2003, s.28)”. Tablo 2.5’de bir örnek gösterilmiştir.

	Ham Uygunluk Değerleri	Ölçeklenmemiş Seçilme Olasılıkları (%)	\bar{f} ortalama	σ standart sapma	Ölçeklenmiş uygunluk değerleri	Ölçeklenmiş Seçilme Olasılıkları (%)
Jenerasyon 1	40	9,88	57,85714	23,42668401	52,42290918	10,66
	50	12,35			62,42290918	12,69
	90	22,22			102,4229092	20,82
	60	14,81			72,42290918	14,72
	20	4,94			32,42290918	6,59
	75	18,52			87,42290918	17,77
	70	17,28			82,42290918	16,75
Ortalama	57,85714			70,28005204		
Jenerasyon 2	60	10,99	78	10,47218538	13,41655614	6,10
	70	12,82			23,41655614	10,65
	90	16,48			43,41655614	19,74
	80	14,65			33,41655614	15,20
	75	13,74			28,41655614	12,92
	85	15,57			38,41655614	17,47
	86	15,75			39,41655614	17,92
Ortalama	78			31,41655614		
Jenerasyon 3	81	13,64	84,85714	3,97611919	8,071214712	9,67
	85	14,31			12,07121471	14,46
	90	15,15			17,07121471	20,44
	89	14,98			16,07121471	19,25
	87	14,65			14,07121471	16,85
	82	13,80			9,071214712	10,86
	80	13,47			7,071214712	8,47
Ortalama	84,85714			11,92835757		

Tablo 2.5: Sigma Budama İçin Örnek.

Nesiller ilerledikçe bireyler birbirine benzemeye başlayacağından popülasyon standart sapması azalacak ve ortalama uygunluk artacaktır. Böylece seçim baskısının artması sağlanacaktır. Başlangıçta seçim baskısı az olduğundan erken yakınsama problemi, ilerleyen nesillerde ise seçim baskısı fazla olduğundan tıkanıklık problemi önlenmektedir.

2.2.8.1.2.4. Üs Kuralı Ölçeleme (Power Law Scaling)

Gillies (1985) tarafından ortaya atılan bir ölçeleme yöntemidir. “Üs kuralı örnekleme ile ham uygunluk değerleri (f) uygun bir üs ile (k) $f' = f^k$ formülü ile değiştirilir. (Murphy, 2003, s.28)”. Bunun için aşağıdaki gibi bir formül düşünülebilir.

“Gillies $k=1,005$ değerini seçmiştir, ancak genelde k değerinin probleme bağlı olarak ve çalışma esnasında büyütülmesi yada küçültülmesi şeklinde değiştirilmesi

gerekir. (Goldberg, 1989, s.124)”. K için ilerleyen nesillerde tıkanıklık olmasını önlemek bakımından aşağıdaki gibi bir formülasyon düşünülebilir:

$$k = \frac{n}{\sqrt{(f_{maks} - f_{min})}} \quad (n: \text{Popülasyondaki birey sayısı}) \quad (2.8)$$

Tablo 2.6’da bir örnek gösterilmiştir.

	Ham Uygunluk Değerleri	Ölçeklenmemiş Seçilme Olasılıkları (%)	$k = \frac{n}{\sqrt{(f_{maks} - f_{min})}}$	Ölçeklenmiş uygunluk değerleri	Ölçeklenmiş Seçilme Olasılıkları (%)
Jenerasyon 1	40	9,88	0,42	4,68	12,50
	50	12,35		5,14	13,72
	90	22,22		6,57	17,55
	60	14,81		5,54	14,81
	20	4,94		3,50	9,35
	75	18,52		6,09	16,26
	70	17,28		5,91	15,80
Ortalama	57,86		5,35		
Jenerasyon 2	60	10,99	0,64	13,69	12,10
	70	12,82		15,10	13,36
	90	16,48		17,73	15,68
	80	14,65		16,45	14,55
	75	13,74		15,78	13,96
	85	15,57		17,10	15,12
	86	15,75		17,23	15,23
Ortalama	78		16,15		
Jenerasyon 3	81	13,64	1,11	129,51	13,57
	85	14,31		136,61	14,31
	90	15,15		145,53	15,25
	89	14,98		143,74	15,06
	87	14,65		140,17	14,68
	82	13,80		131,28	13,75
	80	13,47		127,74	13,38
Ortalama	84,86		136,37		

Tablo 2.6: Üs Kuralı Ölçekleme İçin Örnek.

Başlangıçta popülasyondaki maksimum ve minimum uygunluk değerleri arasındaki fark yüksek olduğundan düşük bir seçim baskısı uygulanır. Böylece erken yakınsama önlenmektedir. İlerleyen nesillerde popülasyon geliştikçe bu fark azalacağından seçim baskısı artacak ve tıkanıklık olması önlenecektir.

2.2.8.1.2.5. Ölçekleme Penceresi/Pencere Ölçeklemesi (Scaling Window/Window Scaling)

“Ölçekleme penceresi ile ham uygunluk değerleri $f' = f \cdot f_w$ formülüyle değiştirilir. w pencere büyüklüğü (window size) olarak bilinir ve tipik olarak 2-10 arasında düzenlenir. f_w son w nesilde gözlenen en kötü değerdir (chern.ie.nthu.edu.tw, 2007, s.3)”.

Tablo 2.7’de bir örnek gösterilmiştir.

	Ham Uygunluk Değerleri	Ölçeklenmemiş Seçilme Olasılıkları (%)	Ölçeklenmiş uygunluk değerleri	Ölçeklenmiş Seçilme Olasılıkları (%)
1. Nesil İçin Minimum	5			
2. Nesil İçin Minimum	10			
3. Nesil	40	11,94	35,00	11,48
	50	14,93	45,00	14,75
	90	26,87	85,00	27,87
	60	17,91	55,00	18,03
	20	5,97	15,00	4,92
	75	22,39	70,00	22,95
	Ortalama	55,83		50,83
3. Nesil İçin Minimum	20,00			
4. Nesil	60	13,04	50,00	12,50
	70	15,22	60,00	15,00
	90	19,57	80,00	20,00
	80	17,39	70,00	17,50
	75	16,30	65,00	16,25
	85	18,48	75,00	18,75
	Ortalama	76,66666667		66,67
4. Nesil İçin Minimum	60			
5. Nesil	81	15,76	61,00	15,48
	85	16,54	65,00	16,50
	90	17,51	70,00	17,77
	89	17,32	69,00	17,51
	87	16,93	67,00	17,01
	82	15,95	62,00	15,74
Ortalama	85,67		65,67	
5. Nesil İçin Minimum	80			

Tablo 2.7: Ölçekleme Penceresi Örneği.

Üçüncü nesilde son 2 nesilin en kötü değeri $f_w=5$ olarak kabul edilir ve ölçekleme bu değere göre yapılır. 4. nesil üretilirken $f_w=10$ ve 5. nesilde $f_w=20$ olarak belirlenir ve ölçeklenmiş uygunluk değeri bu f_w değerlerine göre hesaplanır.

2.2.8.1.2.6. Boltzman Seçimi (Boltzman Selection)

“Boltzman seçimi (de la Maza and Tidor 1993) tavlama benzetiminde kullanılan tekniklere dayanan üs kuralı tabanlı bir ölçekleme yöntemidir. Uygunluk fonksiyonu zamana bağlı olarak $f^t = e^{fT}$ formülüne göre değiştirilir. T parametresi gelişim esnasında seçim baskısını kontrol eder. Maza ve Tidor (1993) tavlama benzetimi prosedüründe T’nin azalması durumunda orantısal seçim için seçim baskısını attıracağını belirtmişlerdir (Grefenstette, 1997, s.3)”. Tablo 2.8’de bir örnek gösterilmiştir.

	Ham Uygunluk Değerleri	Ölçeklenmemiş Seçilme Olasılıkları (%)	Ölçeklenmiş uygunluk değerleri	Ölçeklenmiş Seçilme Olasılıkları (%)
Jenerasyon 1	40	9,88	1,49	15,42
	50	12,35	1,28	13,27
	90	22,22	1,57	16,21
	60	14,81	1,35	13,95
	20	4,94	1,11	11,43
	75	18,52	1,45	15,04
	70	17,28	1,42	14,67
Ortalama	57,86		1,38	
Jenerasyon 2	60	10,99	1,82	11,88
	70	12,82	2,01	13,13
	90	16,48	2,46	16,03
	80	14,65	2,23	14,51
	75	13,74	2,12	13,80
	85	15,57	2,34	15,25
	86	15,75	2,36	15,40
Ortalama	78		2,19	
Jenerasyon 3	81	13,64	2,25	13,74
	85	14,31	2,34	14,30
	90	15,15	2,46	15,03
	89	14,98	2,44	14,88
	87	14,65	2,39	14,59
	82	13,80	2,27	13,87
	80	13,47	2,23	13,60
Ortalama	84,86		2,34	

T=100 için Boltzman seçimine göre ölçekleme

	Ham Uygunluk Değerleri	Ölçeklenmemiş Seçilme Olasılıkları (%)	Ölçeklenmiş uygunluk değerleri	Ölçeklenmiş Seçilme Olasılıkları (%)
Jenerasyon 1	40	9,88	2,23	9,14
	50	12,35	2,72	11,17
	90	22,22	6,05	24,85
	60	14,81	3,32	13,64
	20	4,94	1,49	6,13
	75	18,52	4,48	18,41
	70	17,28	4,06	16,66
Ortalama	57,86		3,48	
Jenerasyon 2	60	10,99	3,32	9,79
	70	12,82	4,06	11,96
	90	16,48	6,05	17,84
	80	14,65	4,95	14,60
	75	13,74	4,48	13,21
	85	15,57	5,47	16,14
	86	15,75	5,58	16,46
Ortalama	78		4,85	
Jenerasyon 3	81	13,64	5,05	13,19
	85	14,31	5,47	14,29
	90	15,15	6,05	15,79
	89	14,98	5,93	15,48
	87	14,65	5,70	14,87
	82	13,80	5,16	13,46
	80	13,47	4,95	12,93
Ortalama	84,86		5,47	

T=50 için Boltzman seçimine göre ölçekleme

Tablo 2.8 : Boltzman Seçimi İçin Örnek.

Tavlama benzetimi algoritmasında olduğu gibi başlangıçta “T” parametresinin yüksek tutulması ve zamanla bu parametrenin soğutma stratejilerindeki gibi azaltılması durumunda hem erken yakınsama hem de tıkanıklık problemleri giderilebilir.

2.2.8.1.2.7. Logaritmik Ölçekleme (Logarithmic Scaling)

“Bu yöntem minimizasyon problemleri için Fitzpatrick ve Grefenstette tarafından geliştirilmiştir. Uygunluk fonksiyonu aşağıdaki gibi logaritmik bir forma dönüştürülür (Gen ve Cheng, 1997b, s.27)”:

$$f' = b - \log(f_k) \quad (2.9)$$

“b değeri bütün $\log(f_k)$ değerlerinden büyük seçilmelidir (Gen ve Cheng, 1997b, s.27)”. Tablo 2.9’da bir örnek gösterilmiştir.

	Ham Uygunluk Değerleri	Ölçeklenmemiş Seçilme Olasılıkları (%)	b	Ölçeklenmiş uygunluk değerleri	Ölçeklenmiş Seçilme Olasılıkları (%)
Jenerasyon 1	40	11,94	1,040824	0,56	11,77
	50	14,93		0,66	13,80
	90	26,87		0,91	19,15
	60	17,91		0,74	15,46
	20	5,97		0,26	5,46
	75	22,39		0,83	17,49
	70	20,90		0,80	16,87
Ortalama	57,86			0,68	
Jenerasyon 2	60	11,59	1,422521	0,36	10,90
	70	13,52		0,42	12,95
	90	17,38		0,53	16,30
	80	15,45		0,48	14,73
	75	14,48		0,45	13,87
	85	16,41		0,51	15,54
	86	16,61		0,51	15,70
Ortalama	78			0,47	
Jenerasyon 3	81	13,68	1,522472	0,39	13,59
	85	14,36		0,41	14,33
	90	15,20		0,43	15,20
	89	15,03		0,43	15,03
	87	14,70		0,42	14,68
	82	13,85		0,39	13,78
	80	13,51		0,38	13,40
Ortalama	84,86			0,41	

Tablo 2.9: Logaritmik Ölçekleme İçin Örnek.

2.2.8.1.2.8. Normalizasyon (Normalizing)

“Normalizasyon yöntemi, Gen ve Cheng tarafından öne sürülen bir tür dinamik ölçekleme yöntemidir. Maksimizasyon probleminde aşağıdaki gibi bir form alır(Gen ve Cheng, 1997b, s.28):

$$f' = \frac{f_k - f_{\min} + \gamma}{f_{\max} - f_{\min} + \gamma} \quad (2.10)$$

“Bu formülde γ genellikle [0,1] aralığından seçilen küçük bir reel sayıdır(Gen ve Cheng, 1997b, s.28)”. γ değerinin kullanılma nedeni sifıra bölme hatasının oluşmamasıdır. γ için [0,1] aralığından seçim yapılmasına karşın ham uygunluk değerleri küçük olduğunda seçim baskısını etkilemektedir. Sıfıra yakın değerler seçim baskısını arttırırken, 1'e yakın değerler seçim baskısını azaltmaktadır. Ham uygunluk değerlerinin büyük olması durumunda γ 'nın seçim baskısına etkisi azalmaktadır. Tablo 2.10'da bir örnek gösterilmiştir.

	Ham Uygunluk Değerleri	Ölçeklenmemiş Seçilme Olasılıkları (%)	Ölçeklenmiş uygunluk değerleri	Ölçeklenmiş Seçilme Olasılıkları (%)
Jenerasyon 1	40	11,94	0,29	7,64
	50	14,93	0,43	11,36
	90	26,87	1,00	26,26
	60	17,91	0,57	15,08
	20	5,97	0,01	0,19
	75	22,39	0,79	20,67
	70	20,90	0,72	18,81
	Ortalama	57,86		0,54
Jenerasyon 2	60	11,59	0,02	0,39
	70	13,52	0,34	8,11
	90	17,38	1,00	23,55
	80	15,45	0,67	15,83
	75	14,48	0,51	11,97
	85	16,41	0,84	19,69
	86	16,61	0,87	20,46
	Ortalama	78		0,61
Jenerasyon 3	81	13,68	0,14	4,00
	85	14,36	0,52	14,67
	90	15,20	1,00	28,00
	89	15,03	0,90	25,33
	87	14,70	0,71	20,00
	82	13,85	0,24	6,67
	80	13,51	0,05	1,33
	Ortalama	84,86		0,51

Tablo 2.10: Normalizasyon (Normalizing) İçin Örnek.

2.2.8.1.3. Sıralama Seçimi (Rank Selection)

“Rulet tekeri seçimi, uygunluklar çok farklıysa problemlere yol açacaktır. Örneğin: En iyi kromozomun uygunluğu, rulet tekerleğinin %90’ını kaplıyorsa, diğer bireylerin çok az seçilme şansı olacaktır (Nabiyev, 2005, s.643)”. Rulet tekerleği seçiminde anlatılan ölçeklendirme yöntemleriyle seçim baskısının azaltılması ve diğer bireylere daha fazla seçilme şansı verilmesi mümkün olabilir. Ancak farklılık çok fazlaysa ölçeklendirme yöntemleri yeterli olmayabilir.

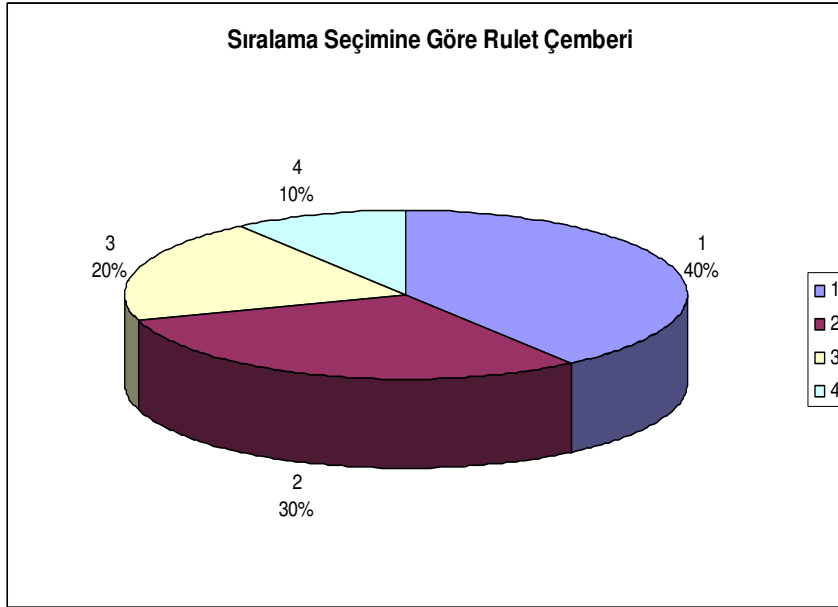
“Sıralama seçimi önce popülasyondaki bireyleri uygunluk değerlerine göre sıralamakta ve her kromozomun bu sıralamadaki uygunluğunu belirlemektedir. En kötü birey 1 ve en iyi birey n uygunlukta olacak şekilde yeni uygunluk değerleri hesaplanır (n popülasyon büyüklüğüdür). Sonraki seçim işlemleri rulet tekerleği seçiminde olduğu gibidir (Nabiyev, 2005, s.643)”.

Sıralama seçimi, bireyleri uygunluk değerlerine göre sıralayarak ve bireye sırasına göre bir seçilme olasılığı atanması şeklinde uygulanır. Bunun en basit yolu bireylere sıra numarasıyla ters orantılı bir uygunluk değeri atamaktır. Bu uygunluk değerinin popülasyon toplamına oranı hesaplanarak bireyin seçilme olasılığı hesaplanır. Bu durum tablo 2.11’de gösterilmiştir.

İkili Kodlanmış Birey	Uygunluk Değerleri	Yeni Hesaplanan Uygunluk Değerleri	Seçilme Olasılığı (%)
10110	175	4	4/10 = 40
00110	100	3	3/10 = 30
10010	75	2	2/10 = 20
01010	50	1	1/10 = 10
	400	10	100,00

Tablo 2.11: Örnek Popülasyon ve Bireylerin Sıralama Seçiminde Seçilme Olasılıkları.

Yeni hesaplanan uygunluk değerlerine göre rulet tekerleği şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6: Örnek Popülasyonun Sıralama Seçimine Göre Rulet Tekereği ve Bireylerin Seçilme Olasılıkları.

“(μ, λ) uniform sıralamada (Schewefel, 1995), bireyler uygunluk değerlerine göre sıralanarak en iyi μ bireye $1/\mu$ olasılığı, diğer bireylere ise “0” olasılığı atanır. Buna göre i . bireyin seçilme olasılığı (Zhang ve Kim, 2000, s.6)” :

$$P_i = \begin{cases} 1/\mu & , 1 \leq i \leq \mu \\ 0 & , \mu < i \leq \lambda \end{cases} \quad (2.11)$$

Seçilme olasılıkları tablo 2.12’de gösterilmiştir.

İkili Kodlanmış Birey	Uygunluk Değerleri	Sıra No (i)	Seçilme Olasılığı (%)
10110	175	2	33,33
00110	100	3	33,33
10010	75	4	0
01010	50	5	0
10010	210	1	33,33
	400	10	100

Tablo 2.12: Örnek Popülasyon ve Bireylerin $\mu=3$ İçin Uniform Sıralama Seçiminde Seçilme Olasılıkları.

“(μ, λ) doğrusal sıralamada (Baker, 1985), bireylere kendi sıra numaralarına göre orantısal seçim olasılığı atanır (Zhang ve Kim, 2000, s.6)”:

$$P_i = \begin{cases} 1/\mu * (\eta_{maks} - 2 * (\eta_{maks} - 1) * \frac{i-1}{\mu-1}) & , 1 \leq i \leq \mu \\ 0 & , \mu < i \leq \lambda \end{cases} \quad (2.12)$$

η_{maks} seçim baskısını kontrol eden bir parametredir.

Seçilme olasılıkları tablo 2.13’de gösterilmiştir.

İkili Kodlanmış Birey	Uygunluk Değerleri	Sıra No (i)	Seçilme Olasılığı (%)
10110	175	2	33,33
00110	100	3	26,67
10010	75	4	0
01010	50	5	0
10010	210	1	40,00
	400	10	100

Tablo 2.13: Örnek Popülasyon ve Bireylerin $\mu=3$ İçin Doğrusal Sıralama Seçiminde Seçilme Olasılıkları.

2.2.8.1.4. Uniform Seçim (Uniform Selection)

Hutter tarafından 2002’de önerilen bir seçim yöntemidir. Yöntemin esası şu şekilde açıklanmaktadır: “Eğer mevcut nesilin en küçük ve en büyük uygunluğu Min ve Max olarak ifade edilirse, [Min,Max] aralığından uniform dağılıma göre bir f uygunluk

değeri seçilir. Seçilen f uygunluk değerine yakın uygunluğa sahip birey seçilir ve eşleşme havuzuna eklenir (Hutter, 2002, s.784)”.

Uniform seçim yöntemi, popülasyondaki bireylere eşit seçilme şansı sağladığı için genetik çeşitliliği koruyabilmektedir. Böylelikle tıkanıklık probleminin oluşması önlenir. Uygunluğa dayalı orantısal bir seçim yöntemi olmadığından erken yakınsama problemi de oluşmaz.

2.2.8.1.5. Turnuva Seçimi (Tournament Selection)

Turnuva seçimi Blicke ve Thierens (1995) tarafından geliştirilmiştir. “Turnuva seçiminde, popülasyondan rasgele seçilen bazı kromozomların en iyisi seçilir. Bu süreç yeni nesil havuzu tamamlana kadar popülasyon büyüklüğü olan N kadar tekrarlanır (Pakhira, 2007, s.76)”.

“Popülasyondan seçilen bireylerin sayısı çoğunlukla ikidir fakat daha geniş turnuva büyüklükleri seçim baskısını arttırabilir. Turnuva seçimi rasgele seçilen birey çiftlerinin en iyisini seçer böylece popülasyon ortalama uygunluğu bir nesilden sonrakine rasgele örneklenen iki birey arasındaki farkın ortalamasının yarısı kadar artar (Thierens ve Goldberg, 1994, s.122)”.

2.2.8.1.6. Kararlı Durum Seçimi (Steady State Selection)

Diğer bir seçim yöntemi de Whitley tarafından 1989 yılında önerilen genitor seçim yada kararlı durum seçimidir. “Bu yöntemde göre ebeveynlerin büyük kısmı bir sonraki nesile taşınmalıdır. Her nesilde yeni bir döl oluşturmak için birkaç birey seçilir (büyük uygunluk değerine sahip olanlar). Daha sonra düşük uygunluk değerlerine sahip olan bazı kromozomlar atılır ve bunların yerine oluşturulan yeni dölleri getirilir. Popülasyonun geri kalanı değiştirilmeden yeni nesile aktarılır (Nabiyev, 2005, s.643-644)”.

2.2.8.1.7. Seçkinlik (Elitism)

Çaprazlama ve mutasyon işlemleri neticesinde popülasyondaki en iyi bireyin kaybedilmesi mümkün olabilir. “Seçkinlik, önce en iyi kromozomu (yada birkaç en iyi kromozomu) yeni nesile kopyalar. Geri kalan bireylere ise çaprazlama ve mutasyon uygulanır. Seçkinlik, bulunan en iyi sonucun kaybını önlediği için, genetik algoritmanın performansını oldukça hızlı bir şekilde artırır (Nabiyev, 2005, s.644)”.

2.2.8.2. Çaprazlama Operatörü (Crossover)

“Çaprazlama operatörü, tabii sitemlerde meydana gelen veya genetik çaprazlama olayıyla ortaya çıkan melez (hybrid) yapıların üretilmesine eşdeğer bir özelliği genetik algoritmaya kazandırır. Eşleştirme havuzunda bulunan yapıların birer çifti rasgele seçilir ve çaprazlama operatörü bu iki yapıdan yeni bir yapı meydana getirmek için kullanılır (Karaboğa, 2004, s.82)”.

“Eski yapılar (ebeveyn) ve çaprazlama operatörünün uygulanmasından sonra ortaya çıkan yeni iki yapı (çocuklar) mevcut nesilde tutulur veya birbirleri ile yani eski ile yeni yapılar yer değiştirilirler. İkinci durumda, kötü yapılar atılır ve popülasyon büyüklüğü sabit olarak korunur (Karaboğa, 2004, s.82)”.

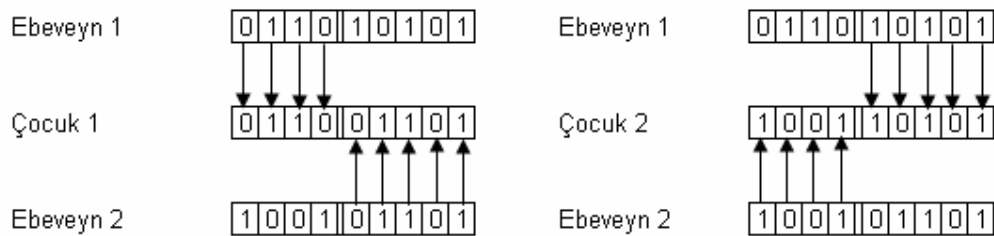
İkili kodlamada kullanılan çaprazlama operatörlerinden bazıları; tek noktalı çaprazlama (one point crossover – 1X), iki noktalı çaprazlama (two point crossover – 2X), n noktalı çaprazlama (n point crossover - NX), düzenli çaprazlama (uniform crossover - UX), aritmetik çaprazlama (arithmetic crossover – AX), mantıksal çaprazlama (logical crossover – LX)dir.

2.2.8.2.1. İkili (Binary) Kodlanmış Bireylerde Çaprazlama Operatörleri

İkili kodlanmış bireylerde tek noktalı çaprazlama, iki noktalı çaprazlama, tek biçimli (uniform) çaprazlama ve mantıksal çaprazlama operatörleri kullanılır.

2.2.8.2.1.1. Tek Noktalı Çaprazlama (One Point Crossover – 1PX)

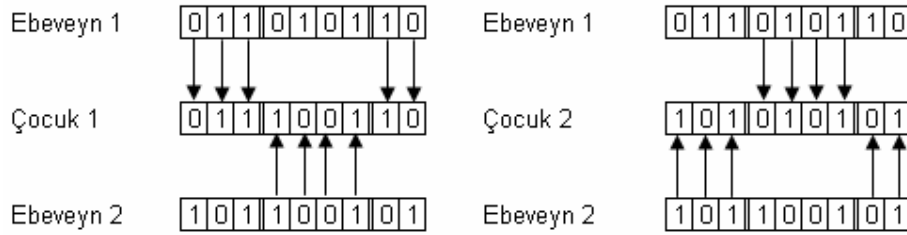
Bu operatör rasgele bir çaprazlama noktası seçer ve bu noktaya kadar 1.ebeveyndeki genleri 1.çocuğa, 2.ebeveyndeki genleri 2.çocuğa aktarır. Operatör bu çaprazlama noktasından sonra ise 1.ebeveyndeki genleri 2.çocuğa, 2.ebeveyndeki genleri 1.çocuğa aktarır. Böylece iki ebeveynen iki yeni birey (çocuk) oluşturulur (Nabiyev, 2005, s.638). Operatörün işleyişi şekil 2.7’de gösterilmiştir.



Şekil 2.7: İkili Kodlamada Tek Noktalı Çaprazlama İşlemi.

2.2.8.2.1.2. İki Noktalı Çaprazlama (Two Point Crossover – 2X)

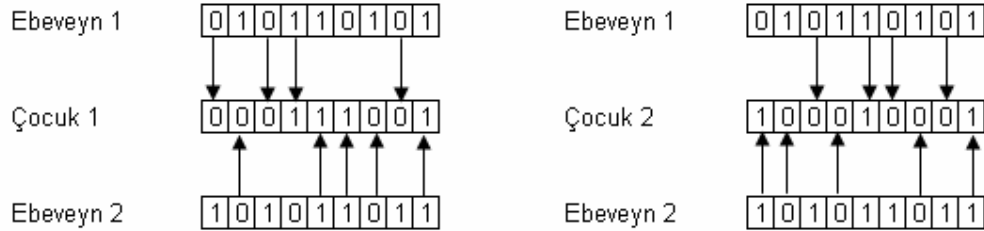
Bu çaprazlama operatörü iki çaprazlama noktası belirleyerek ebeveynleri ve çocukları üç alt diziyeye ayırır. 1. Çocuğu oluştururken, ilk ve son alt dizilerin 1. ebeveynden ortadaki alt dizinin ise 2. ebeveynden almasını sağlar. Aynı şekilde 2. çocuğu oluştururken, ilk ve son alt dizileri 2.ebeveynden ortadaki alt dizinin ise 1.ebeveynden almasını sağlar (Nabiyev, 2005, s.638). Operatörün işleyişi şekil 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 2.8: İkili Kodlamada İki Noktalı Çaprazlama İşlemi.

2.2.8.2.1.3. Düzenli Çaprazlama (Uniform Crossover – UX)

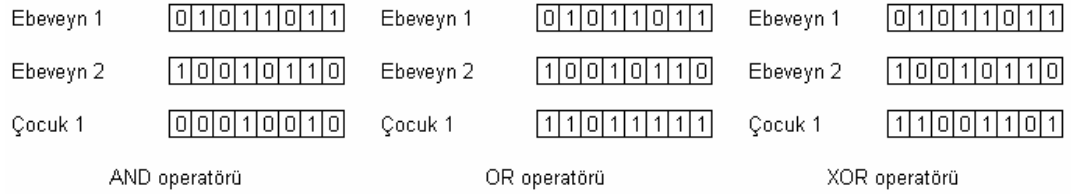
“Bu çaprazlama biçiminde genler rasgele şekilde her iki ebeveynden yeni kromozoma kopyalanmaktadır (Nabiyev, 2005, s.638)”. Her gen için iki ebeveynden birine ait gen eşit (% 50) olasılıkla yeni bireye aktarılır. Operatörün işleyişi şekil 2.9’da gösterilmiştir.



Şekil 2.9: İkili Kodlamada Düzenli (Uniform) Çaprazlama İşlemi.

2.2.8.2.1.4. Aritmetik Çaprazlama (Arithmetical Crossover – AX)

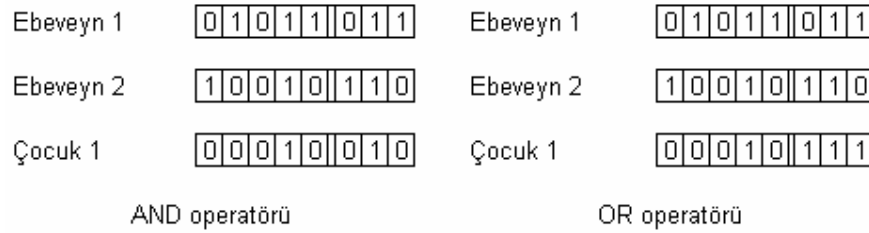
“Ebeveynlerden yeni bireyler oluşturmak için değişik aritmetik işlemler uygulanabilir (Nabiyev, 2005, s.638)”. Burada kullanılan operatör bir çaprazlama noktası kullanılmaksızın tüm kromozom boyunca uygulanır ve yeni bir birey oluşturulur. Operatörün işleyişi şekil 2.10’da gösterilmiştir.



Şekil 2.10: İkili Kodlamada Aritmetik Çaprazlama.

2.2.8.2.1.5. Mantıksal Çaprazlama (Logical Crossover - LX)

Zeng ve diğ. (2000) yaptıkları çalışmada “or” ve “and” mantıksal operatörlerine dayalı tek noktalı çok noktalı ve uniform çaprazlama operatörlerini tanıtmışlardır. Bu yöntemde çocuklardan birisi oluşturulurken “and” mantıksal operatörü diğeri oluşturulurken ise “or” mantıksal operatörü kullanılarak ebeveynlerin kombine edilmesi sağlanmaktadır. Mantıksal kombinasyonda sadece rasgele seçilen çaprazlama noktasından sonraki genlere “and” yada “or” operatörü uygulanmaktadır. Operatörün işleyişi şekil 2.11’de gösterilmiştir.



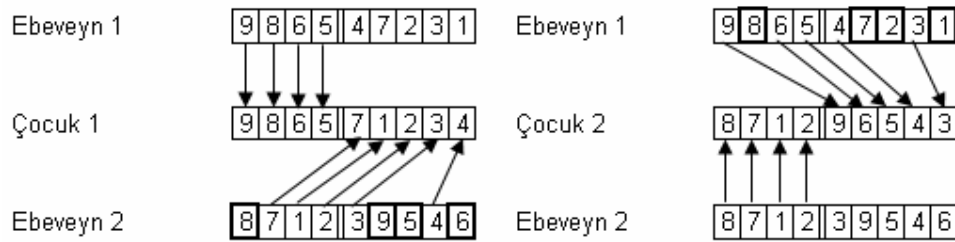
Şekil 2.11: İkili Kodlamada Mantıksal Çaprazlama İşlemi.

2.2.8.2.2. Permütasyon Kodlanmış Bireylerde Çaprazlama Operatörleri

Permütasyon kodlama için oldukça fazla çalışma yapılmış olup çok sayıda çaprazlama operatörü geliştirilmiştir. Permütasyon kodlamada temel problem bireylerde aynı değere sahip genlerin olmaması gerekliliğidir. Permütasyon kodlamada yaygın olarak kullanılan bazı çaprazlama operatörleri; tek noktalı çaprazlama (one point crossover -1X), iki noktalı çaprazlama (two point crossover – 2X), düzenli çaprazlama (uniform crossover – UX), pozisyona dayalı çaprazlama (position based crossover – PBX), sıraya dayalı çaprazlama (order based crossover – OBX), kısmî planlı çaprazlama (partially mapped crossover – PMX), çevrim çaprazlama (cycle crossover - CX), sıralı çaprazlama (ordered crossover - OX), doğrusal sıralı çaprazlamadır (linear order crossover – LOX).

2.2.8.2.2.1. Tek Noktalı Çaprazlama (One Point Crossover – 1PX)

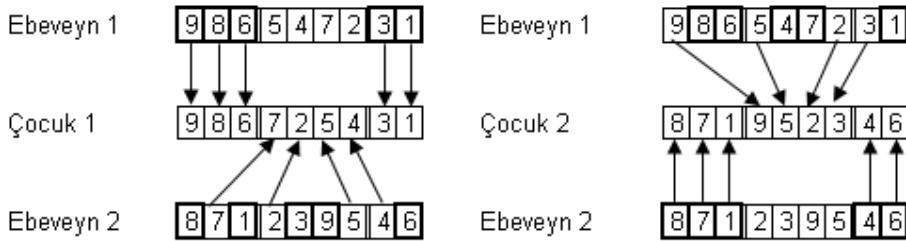
Tek noktalı çaprazlama ikili kodlamada olduğu gibidir. Ancak permütasyon kodlamada ilk alt dizi 1.ebeveynden kopyalandıktan sonra, 2. dizide 1.ebeveynden kopyalanan alt dizinin elemanları çıkartılır ve sıra ile bütün genler çocuğa kopyalanır. 2.çocuk oluşturulurken ilk alt dizi 2. ebeveynden kopyalanır ve benzer şekilde 1.ebeveynden uygun genler sırası ile kopyalanır. Operatörün işleyişi şekil 2.12’de gösterilmiştir.



Şekil 2.12: Permütasyon Kodlamada Tek Noktalı Çaprazlama İşlemi.

2.2.8.2.2.2. İki Noktalı Çaprazlama (Two Point Crossover – 2X)

Bu çaprazlama operatöründe iki kesme noktası seçilerek bireyler üç alt diziyeye bölünür. İlk ve son alt diziler 1.ebeveynden 1.çocuğa, 2.ebeveynden de 2.çocuğa kopyalanır. Daha sonra 1.çocuğa 2.ebeveynden, 2.çocuğa ise 1.ebeveynden uygun genler sırası ile kopyalanır. Operatörün işleyişi şekil 2.13’de gösterilmiştir.

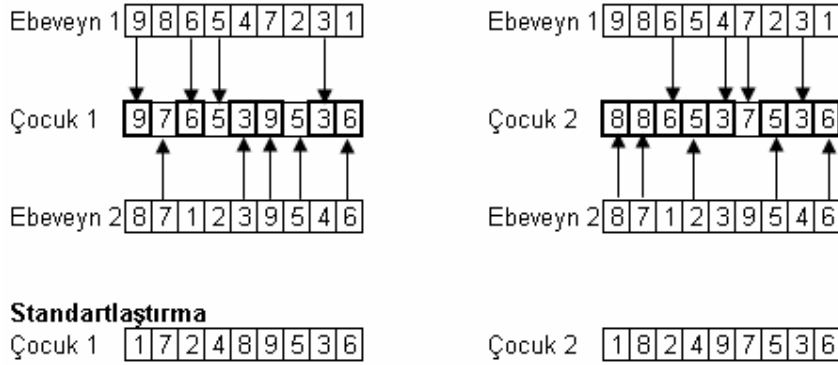


Şekil 2.13: Permütasyon Kodlamada İki Noktalı Çaprazlama İşlemi.

2.2.8.2.2.3. Düzenli Çaprazlama (Uniform Crossover – UX)

1989’da Syswerda tarafından önerilen bir çaprazlama operatörüdür. Bu çaprazlama operatöründe çocukların her geni uniform dağılıma göre (% 50 olasılıkla) 1. veya 2. ebeveynden kopyalanır. Ancak bu durumda aynı değere sahip genlerin olması mümkündür. Bu durumu engellemek için standartlaştırma işlemi uygulanabilir.

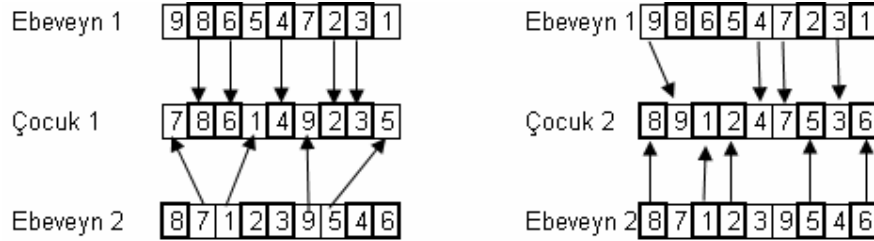
Standartlaştırmada aynı değere sahip olan genlerden birisi kullanılmamış olan bir değerle değiştirilir. Operatörün işleyişi şekil 2.14’de gösterilmiştir.



Şekil 2.14: Permütasyon Kodlamada Düzenli (Uniform) Çaprazlama İşlemi.

2.2.8.2.2.4. Pozisyona Dayalı Çaprazlama (Position Based Crossover – PBX)

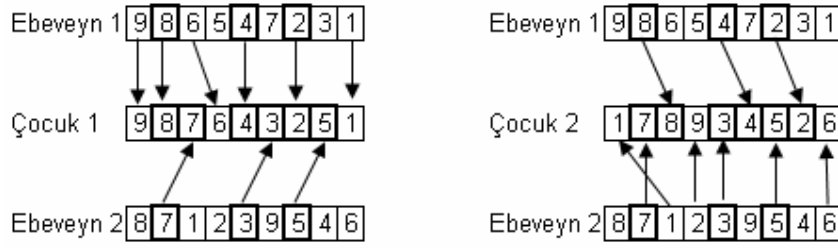
Bu yöntemde rassal olarak seçilmiş pozisyonlardaki genler çocuğa kalıtsallaştırılır. Diğer genler diğer ebeveynde buldukları sıra ile yerleştirilir. Her pozisyonun çaprazlama olasılığı % 50’dir (Murata ve diğ., 1996’ya atfen Engin ve Fırlı, 2002a, s.30). Operatörün işleyişi şekil 2.15’de gösterilmiştir.



Şekil 2.15: Permütasyon Kodlamada Pozisyona Dayalı Çaprazlama İşlemi.

2.2.8.2.2.5. Sıraya Dayalı Çaprazlama (Order Based Crossover – OBX)

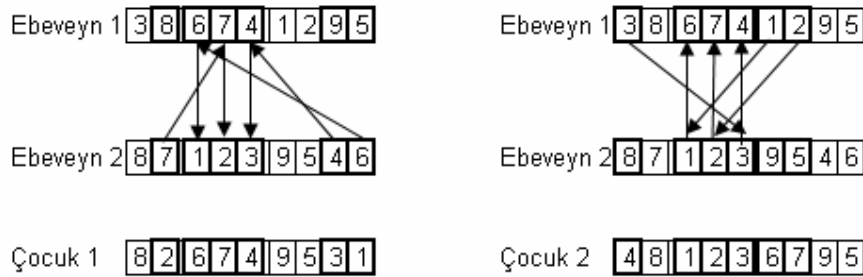
“Bu yöntemde bir grup nokta rasgele seçilir. Birinci bireyin seçilen noktalara karşılık gelen karakterleri aynen yerlerini korur. İkinci kromozomun seçilen noktalara ait karakterleri birinci kromozomun aynı noktalarındaki karakterlerin arkasına getirilir. Geriye kalan boş pozisyonlara ikinci kromozomdan aktarılan yeni karakterler de göz önünde bulundurularak ilk kromozomun kullanılmayan karakterleri sıra ile (soldan sağa) yerleştirilerek yeni bir kromozom elde edilir (cheng ve diğ., 1999’ atfen Engin ve Fırlı, 2002a, s.30)”. Operatörün işleyişi şekil 2.16’da gösterilmiştir.



Şekil 2.16: Permütasyon Kodlamada Sıraya Dayalı Çaprazlama İşlemi.

2.2.8.2.2.6. Kısmî Planlı Çaprazlama (Partially Mapped Crossover – PMX)

“Kısmî planlı çaprazlama Goldberg ve Lingle (1985) tarafından önerilen bir operatördür. Her iki ebeveynde çok sayıda mutlak pozisyonu korumak için tasarlanmıştır. 1.ebeveynde iki kesme noktası rasgele seçilir ve bu noktaların arasındaki elemanlar çocuğa kopyalanır. Bu transfer ayrıca kopyalanan elemanlarla 2. ebeveynde konumlara ilişkin bir dizi adres tanımlar. Daha sonra, ikinci ebeveynde bulunan pozisyonlarda elemanlar kopyalanır. Eğer ilk ebeveynden kopyalanan eleman tarafından işgal edilen bir pozisyonsa, adresleme tarafından sağlanan eleman düşünülür. Bu süreç çakışmalar çözülene kadar devam eder (Cotta, 1998, s.35)”. Boş kalan genler ikinci ebeveynden sıralı olarak kopyalanır. Operatörün işleyişi şekil 2.17’de gösterilmiştir.

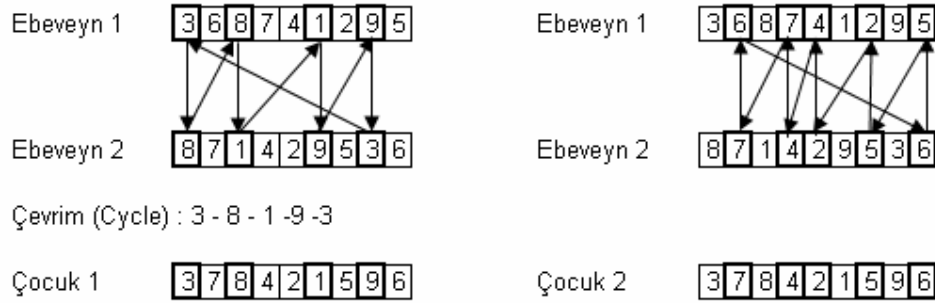


Şekil 2.17: Permütasyon Kodlamada Kısmî Planlı Çaprazlama İşlemi.

2.2.8.2.2.7. Çevrim Çaprazlama (Cycle Crossover – CX)

“Çevrim çaprazlama Oliver ve diğ. (1987) tarafından önerilen bir operatördür. Her pozisyonu bir ebeveynden gelecek şekilde çocuk oluşturulur. Bu fonksiyon çevrim tabanlıdır. Bir çevrim her iki ebeveynde aynı olan bir dizi elemanın pozisyonlarıdır. Bu operatör ilk ebeveynin pozisyonlarını içeren çevrimi çocuğa kopyalar. Diğer pozisyonlar 2.ebeveynden alınır. (Cotta, 1998, s.35)”. İkinci çocuk oluşturulurken, 2.ebeveynin 2. geninden başlayarak yeni bir çevrim oluşturulur. Bundan sonraki

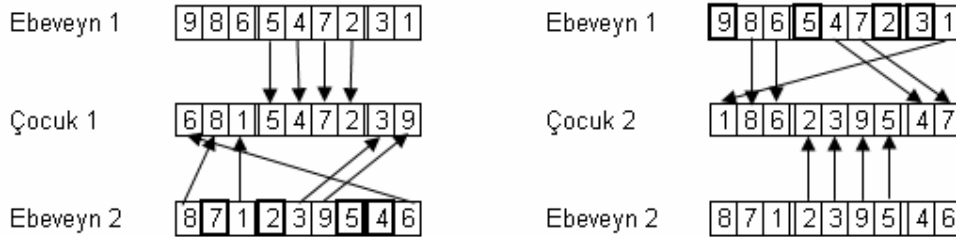
aşamalar 1.çocuğun oluşturulmasında olduğu gibidir. operatörün işleyişi şekil 2.18’de gösterilmiştir.



Şekil 2.18: Permutasyon Kodlamada Çevrim Çaprazlama İşlemi.

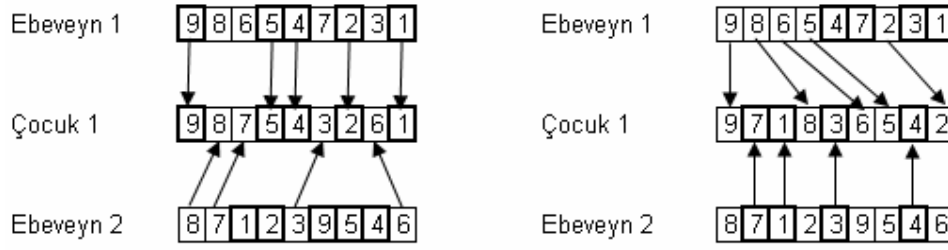
2.2.8.2.2.8. Sıralı Çaprazlama (Order Crossover – OX1, OX2, OX3)

“Sıralı çaprazlamanın ilk türü (OX1) Davis (1985) tarafından önerilmiştir. İki kesme noktası seçilir ve bu noktalar arasındaki genler bir ebeveynden alınır. 2.noktadan sonra 2.ebeveynin nisbî sırası korunarak çocuğa aktarılır (Cotta, 1998, s.33)”. Operatörün işleyişi şekil 2.19’da gösterilmiştir.



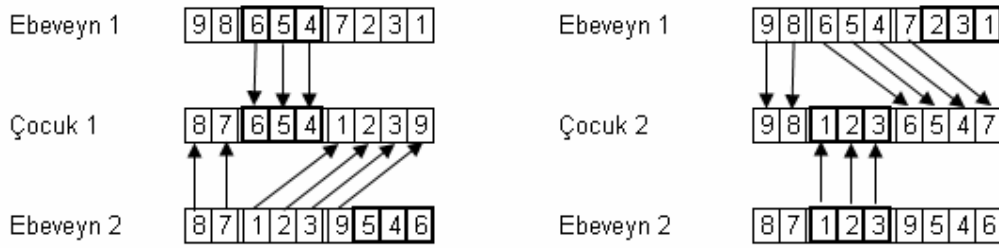
Şekil 2.19: Permutasyon Kodlamada Davis Tarafından Önerilen (1985) Sıralı Çaprazlama (OX1) İşlemi.

“Sıralı çaprazlamanın 2.türü (OX2) Syswerda (1991) tarafından önerilmiştir. Bu operatör uniform çaprazlamanın bir türü olarak görülebilir. Bu operatörde ilk ebeveynde bazı noktalar rasgele seçilir ve çocuğa kopyalanır. Kalan pozisyonlar baştan başlayarak nisbî sıraları korunarak ikinci ebeveynden alınır. Bu noktaların seçiminde uniform dağılıma uygun bir şablon kullanılırsa, ortalama $n/2$ pozisyon 1.ebeveynden alınır (Cotta, 1998, s.33)”. Operatörün işleyişi şekil 2.20’de gösterilmiştir.



Şekil 2.20: Permütasyon Kodlamada Syswerda (1991) Tarafından Önerilen Sıralı Çaprazlama (OX2) İşlemi.

“Sıralı çaprazlamanın 3. türü (OX3) Davis (1991) tarafından önerilmiştir. İki operatörün özelliklerini birleştirir. İlk operatör, ilk ebeveynde iki kesme noktası seçer ve elemanların çocuğa kopyalanmasını sağlar. İkinci operatör 2.ebeveynden nisbî konumları korunarak elemanların çocuğa kopyalanmasını sağlar (Cotta, 1998, s.33)”. Operatörün işleyişi şekil 2.21’de gösterilmiştir.



Şekil 2.21: Permütasyon Kodlamada Davis Tarafından Önerilen (1991) Sıralı Çaprazlama (OX3) İşlemi.

2.2.8.2.2.9. Doğrusal Sıralı Çaprazlama (Linear Order Crossover – LOX)

“Falkenauer ve Bouffouix tarafından geliştirilmiştir. Çevrim çaprazlamanın bir varyantıdır. İşlem adımları (Cheng ve Gen, 2000, s.10.22) aşağıda verilmektedir”:

1. Mevcut popülasyon içerisinde rastsal olarak iki ebeveyn seç,
2. Seçilen bu iki dizi (kromozom) üzerinde rastsal olarak iki alt dizi seç,
3. P1 dizisinden seçilen alt diziyi P2’den kopar ve boş kalan yerleri belirle, benzer şekilde P2’den seçilen alt dizi P1’den kopar ve boş kalan yerleri belirle.
4. 1. alt diziyi P2’deki boş yerlere yerleştir, 2. alt diziyi P1’deki boş yerlere yerleştir.

Operatörün işleyişi şekil 2.22’de gösterilmiştir.

Ebeveyn 1	<table border="1"><tr><td>9</td><td>8</td><td>6</td><td>5</td><td>4</td><td>7</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td></tr></table>	9	8	6	5	4	7	2	3	1	Çocuk 1	<table border="1"><tr><td> </td><td>8</td><td>6</td><td> </td><td>4</td><td>7</td><td>2</td><td> </td><td>1</td></tr></table> (2. alt dizi siliniyor)		8	6		4	7	2		1
9	8	6	5	4	7	2	3	1													
	8	6		4	7	2		1													
Ebeveyn 2	<table border="1"><tr><td>8</td><td>7</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>9</td><td>5</td><td>4</td><td>6</td></tr></table>	8	7	1	2	3	9	5	4	6	Çocuk 2	<table border="1"><tr><td> </td><td>7</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>9</td><td> </td><td>4</td><td> </td></tr></table> (1. alt dizi siliniyor)		7	1	2	3	9		4	
8	7	1	2	3	9	5	4	6													
	7	1	2	3	9		4														
1. Alt Dizi	<table border="1"><tr><td>8</td><td>6</td><td>5</td></tr></table>	8	6	5	Çocuk 1	<table border="1"><tr><td>3</td><td>8</td><td>6</td><td>9</td><td>4</td><td>7</td><td>2</td><td>5</td><td>1</td></tr></table> (2. alt dizi ekleniyor)	3	8	6	9	4	7	2	5	1						
8	6	5																			
3	8	6	9	4	7	2	5	1													
2. Alt Dizi	<table border="1"><tr><td>3</td><td>9</td><td>5</td></tr></table>	3	9	5	Çocuk 2	<table border="1"><tr><td>8</td><td>7</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>9</td><td>6</td><td>4</td><td>5</td></tr></table> (1. alt dizi ekleniyor)	8	7	1	2	3	9	6	4	5						
3	9	5																			
8	7	1	2	3	9	6	4	5													

Şekil 2.22: Permütasyon Kodlamada Doğrusal Sıralı Çaprazlama İşlemi.

2.2.8.2.2.10. Kenar Rekombinasyon Çaprazlama (Edge Recombination Crossover – ERX)

“Bu operatör Whitley ve diğ. (1989) tarafından geliştirilmiştir. Her gen için her iki ebeveyndeki komşu genlerden kenar listesi oluşturulur. Başlangıçta ebeveynlerden rasgele bir gen seçilir. Bu gen çocuğa aktarılır ve kenar listesinden en az kenara sahip olan bir gen rasgele seçilir. Bu süreç 1.çocuk oluşturulana kadar devam ettirilir. İkinci çocukta aynı şekilde oluşturulur (Pongcharoen ve diğ., 2001, s.450)”. Operatörün işleyişi şekil 2.23’de gösterilmiştir.

Ebeveyn 1	<table border="1"><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr></table>	1	2	3	4	5	6	7	8	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Kenar Listesi (Edge List)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1:</td><td>2,6,8</td></tr> <tr><td>2:</td><td>1,3,5</td></tr> <tr><td>3:</td><td>2,4,6</td></tr> <tr><td>4:</td><td>3,5,8</td></tr> <tr><td>5:</td><td>2,4,6,7</td></tr> <tr><td>6:</td><td>1,3,5,7</td></tr> <tr><td>7:</td><td>5,6,8</td></tr> <tr><td>8:</td><td>1,4,7</td></tr> </tbody> </table>	Kenar Listesi (Edge List)		1:	2,6,8	2:	1,3,5	3:	2,4,6	4:	3,5,8	5:	2,4,6,7	6:	1,3,5,7	7:	5,6,8	8:	1,4,7
1	2	3	4	5	6	7	8																					
Kenar Listesi (Edge List)																												
1:	2,6,8																											
2:	1,3,5																											
3:	2,4,6																											
4:	3,5,8																											
5:	2,4,6,7																											
6:	1,3,5,7																											
7:	5,6,8																											
8:	1,4,7																											
Ebeveyn 2	<table border="1"><tr><td>2</td><td>1</td><td>6</td><td>3</td><td>4</td><td>8</td><td>7</td><td>5</td></tr></table>	2	1	6	3	4	8	7	5																			
2	1	6	3	4	8	7	5																					
Çocuk 1	<table border="1"><tr><td>2</td><td>1</td><td>8</td><td>4</td><td>3</td><td>6</td><td>7</td><td>5</td></tr></table>	2	1	8	4	3	6	7	5																			
2	1	8	4	3	6	7	5																					
Çocuk 2	<table border="1"><tr><td>6</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>8</td><td>4</td><td>5</td><td>7</td></tr></table>	6	3	2	1	8	4	5	7																			
6	3	2	1	8	4	5	7																					

Şekil 2.23: Permütasyon Kodlamada Kenar Rekombinasyon Çaprazlama İşlemi.

1. Çocuğun oluşturulmasını ele alalım. İlk önce rasgele bir gen seçilir (Örnekte 1.ebeveynin 2.geni seçilmiştir.

Çocuk 1	<table border="1"><tr><td>2</td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr></table>	2							
2									

2’nin kenar listesinde 1,3,6 ve 7 alternatifleri vardır. Bu alternatiflerden en kısa kenar listesine sahip olanı 3 (2,4,8) olduğundan 3 seçilir.

Çocuk 1	<table border="1"><tr><td>2</td><td>3</td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr></table>	2	3						
2	3								

3'ün kenar listesinde 2,4 ve 8 alternatifleri vardır. Bu alternatiflerden en kısa kenar listesine sahip olanı 4 (1,3,5) olduğundan 4 seçilir.

Çocuk 1

2	3	4					
---	---	---	--	--	--	--	--

4'ün kenar listesinde 1,3 ve 5 alternatifleri vardır. Bu alternatiflerden en kısa kenar listesine sahip olanı 3 (2,4,8)'dir. Ancak 3 daha önce kullanıldığından diğer iki alternatiften birisi (1: 2,4,5,8 ve 5: 1,4,6,7) rasgele seçilir. Örnekte rasgele seçilen 1 olmuştur. Aynı işleme devam edilerek çocuk 1 oluşturulur. Aynı işlemler çocuk 2 içinde uygulanır.

2.2.8.2.2.11. Geliştirilmiş Kenar Rekombinasyon Çaprazlama (Enhanced Edge Recombination Crossover – EERX)

“Bu operatör Starkweather ve diğ. (1991) tarafından geliştirilmiştir. Bu operatör düzeltilmiş kenar rekombinasyon çaprazlama olarak da isimlendirilir. Kenar listesi çift genlerin parantez içinde gösterilmesi dışında aynı yolla tanımlanır. Operatör normal kenar rekombinasyondaki yolla çalışır, fakat çift genlere öncelik verilir (Pongcharoen ve diğ., 2001, s.451)”. Operatörün işleyişi şekil 2.24'de gösterilmiştir.

Ebeveyn 1	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr></table>	1	2	3	4	5	6	7	8	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Kenar Listesi (Edge List)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1 :</td><td>(2),6,8</td></tr> <tr><td>2 :</td><td>(1),3,5</td></tr> <tr><td>3 :</td><td>2,(4),6</td></tr> <tr><td>4 :</td><td>(3),5,8</td></tr> <tr><td>5 :</td><td>2,4,6,7</td></tr> <tr><td>6 :</td><td>1,3,5,7</td></tr> <tr><td>7 :</td><td>5,6,(8)</td></tr> <tr><td>8 :</td><td>1,4,(7)</td></tr> </tbody> </table>	Kenar Listesi (Edge List)		1 :	(2),6,8	2 :	(1),3,5	3 :	2,(4),6	4 :	(3),5,8	5 :	2,4,6,7	6 :	1,3,5,7	7 :	5,6,(8)	8 :	1,4,(7)
1	2	3	4	5	6	7	8																					
Kenar Listesi (Edge List)																												
1 :	(2),6,8																											
2 :	(1),3,5																											
3 :	2,(4),6																											
4 :	(3),5,8																											
5 :	2,4,6,7																											
6 :	1,3,5,7																											
7 :	5,6,(8)																											
8 :	1,4,(7)																											
Ebeveyn 2	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>2</td><td>1</td><td>6</td><td>3</td><td>4</td><td>8</td><td>7</td><td>5</td></tr></table>	2	1	6	3	4	8	7	5																			
2	1	6	3	4	8	7	5																					
Çocuk 1	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>2</td><td>1</td><td>8</td><td>7</td><td>5</td><td>4</td><td>3</td><td>6</td></tr></table>	2	1	8	7	5	4	3	6																			
2	1	8	7	5	4	3	6																					
Çocuk 2	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>6</td><td>3</td><td>4</td><td>8</td><td>7</td><td>5</td><td>2</td><td>1</td></tr></table>	6	3	4	8	7	5	2	1																			
6	3	4	8	7	5	2	1																					

Şekil 2.24: Permütasyon Kodlamada Geliştirilmiş Rekombinasyon Çaprazlama İşlemi.

Örnekte, 1.Çocuk için başlangıçta rasgele seçilen gen 2'dir.

Çocuk 1

2							
---	--	--	--	--	--	--	--

2.gen için 1 çift olduğu için diğer alternatiflere bakılmadan seçilir.

Çocuk 1

2	1						
---	---	--	--	--	--	--	--

1.gen için öncelik 2'ye aittir, fakat 2 daha önce kullanıldığından 6 ve 8 alternatifleri değerlendirilir. Bu iki alternatiften 8 (1,4,(7)) daha kısa olduğu için seçilir.

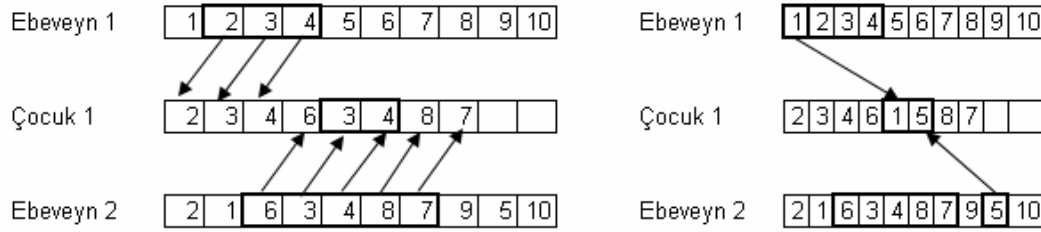
Çocuk 1

2	1	8							
---	---	---	--	--	--	--	--	--	--

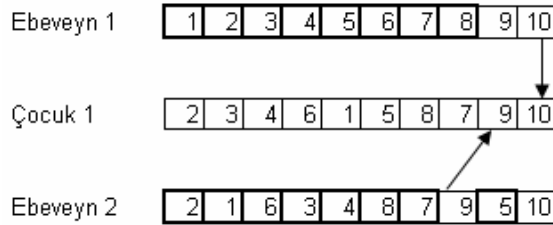
İşlemlere benzer şekilde devam edilerek çocuk 1 oluşturulur. Öncelikli olmayan genler arasında seçim yapılırken kenar listesi kısa olan tercih edilir. Kenar listelerinin eşit boyutta olması durumunda rasgele bir alternatif seçilir.

2.2.8.2.2.12. Alt Tur Yığınları Çaprazlama (Subtour-Chunks Crossover – SCX)

Bu operatör Greffensette ve diğ. (1985) tarafından geliştirilmiştir. “Alt tur yığınları çaprazlama bir çocuğu bir ebeveynden bir altur (rasgele uzunlukta) ve daha sonra diğer ebeveynden bir alt tur (rasgele uzunlukta) seçerek ve turu ebeveynlerden rasgele seçtiği kenarlarla oluşturur. Eğer bazı kenarlar mevcut turda çevrime neden oluyorsa, operatör bu kenarların yerine ebeveynlerde kalan kenarlardan çevrim oluşturmadan rasgele kenarlar seçer (Michalewicz, 2000, s.194)”. Operatörün işleyişi şekil 2.25’de gösterilmiştir.



1.Adım: Alt turlar kopyalanıyor (3 ve 4 değerleri çıkışıyor)



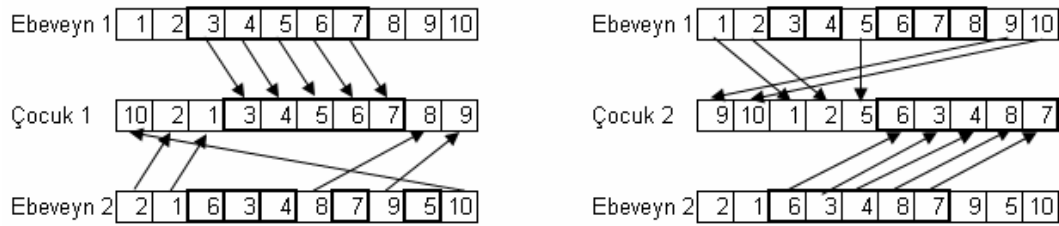
3.Adım: Kalan genler çakışma oluşturmadan tamamlanıyor.

2.Adım: Çakışma gideriliyor.

Şekil 2.25: Permütasyon Kodlamada Alt Tur Yığınları Çaprazlama İşlemi.

2.2.8.2.2.13. En Yüksek Korumalı Çaprazlama (Maximal Preservation Crossover – MPX)

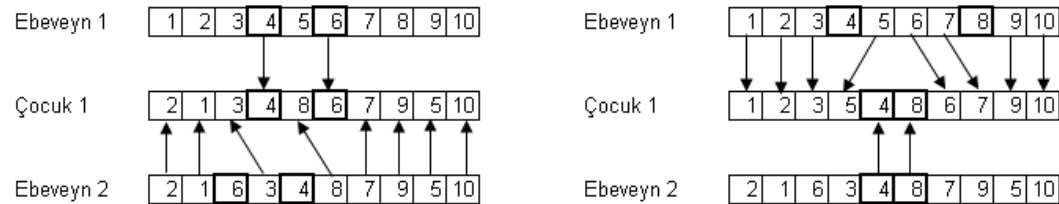
“Mühlenbein ve diğ. (1992) tarafından geliştirilen bir operatördür. Bu operatör alt tur yığınları çaprazlama operatörünün mekanizmasına çok benzerdir. Ancak, alt tur uzunluğu ebeveyn uzunluğunun dörtte biri ile yarısı arasında seçilir. 1.ebeveynden bir alt tur seçilir ve alt turun ilk elemanının 2.ebeveynde bulunduğu pozisyonda çocuğa kopyalanır. Kalan genler 2. ebeveynden bu pozisyondan itibaren sıra ile kopyalanır (Pongcharoen ve diğ., 2001, s.451)”. Operatörün işleyişi şekil 2.26’da gösterilmiştir.



Şekil 2.26: Permütasyon Kodlamada En Yüksek Korumalı Çaprazlama İşlemi.

2.2.8.2.2.14. Ortada İki Nokta Çaprazlama (Two-points Centre Crossover – 2PCX)

“Murata ve Ishibuchi (1994) tarafından geliştirilen bir operatördür. 1.Ebeveynin orta bölümünde rasgele seçilen iki gen doğrudan çocuğa kopyalanır. Kalan genler soldan sağa doğru sırayla diğer ebeveynden alınır. Aynı süreç ikinci çocuk için tekrarlanır (Pongcharoen ve diğ., 2001, s.453)”. Operatörün işleyişi şekil 2.27’de gösterilmiştir.

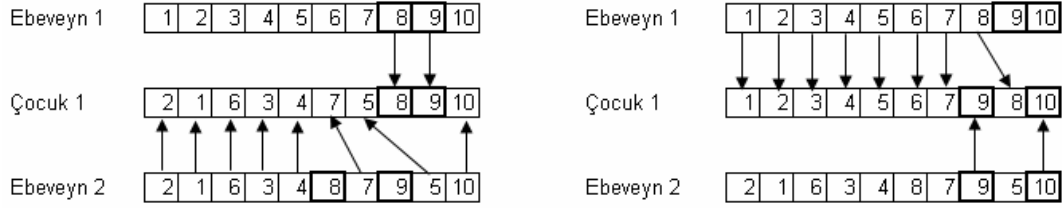


Şekil 2.27: Permütasyon Kodlamada Ortada İki Nokta Çaprazlama İşlemi.

2.2.8.2.2.15. Sonda İki Nokta Çaprazlama (Two-points End Crossover – 2PEX)

Murata ve Ishibuchi (1994) tarafından geliştirilen bir operatördür. 1.Ebeveynin son bölümünde rasgele seçilen iki gen doğrudan çocuğa kopyalanır. Kalan genler soldan

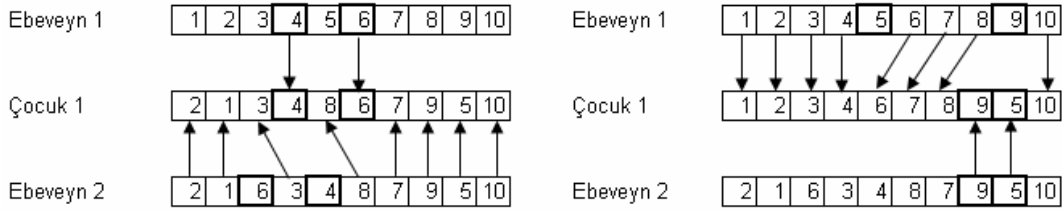
sağa doğru sırayla diğer ebeveynden alınır. Aynı süreç ikinci çocuk içinde tekrarlanır (Pongcharoen ve diğ., 2001, s.451). Operatörün işleyişi şekil 2.28’de gösterilmiştir.



Şekil 2.28: Permütasyon Kodlamada Sonda İki Nokta Çaprazlama İşlemi.

2.2.8.2.2.16. Ortada veya Sonda İki Nokta Çaprazlama (Two-points End/Centre Crossover – 2PECX)

“Murata ve Ishibuchi (1994) tarafından geliştirilen bir operatördür. 1.Ebeveynin orta veya son bölümünde rasgele seçilen iki gen doğrudan çocuğa kopyalanır. Kalan genler soldan sağa doğru sırayla diğer ebeveynden alınır. Aynı süreç ikinci çocuk içinde tekrarlanır (Pongcharoen ve diğ., 2001, s.451)”. Operatörün işleyişi şekil 2.29’da gösterilmiştir.



Şekil 2.29: Permütasyon Kodlamada Ortada veya Sonda İki Nokta Çaprazlama İşlemi.

2.2.8.2.3. Değer Kodlanmış Bireylerde Çaprazlama

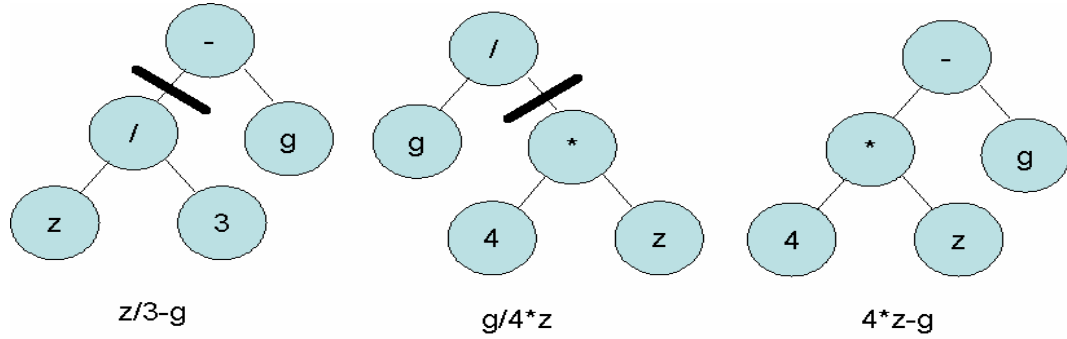
“İkili kodlanmış bireylerde kullanılan tüm çaprazlama türleri değer kodlanmış bireylerde de kullanılabilir (Nabiyev, 2005, s.640)”. Gerçek kodlamada bunların dışında çok sayıda çaprazlama operatörü kullanılmaktadır. Bu operatörlerin büyük çoğunluğu, matematiksel işlemlerle ebeveynlerin bir kombinasyonunu sağlamaktadır.

Herrera ve diğ. (1998) çalışmalarında gerçek kodlama için çok sayıda çaprazlama operatörünü incelemiş ve karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada adı geçen çaprazlama operatörleri: Düzgün çaprazlama – flat Crossover (Radcliffe, 1991), basit çaprazlama – simple crossover (Wright, 1991; Michalewicz, 1992), aritmetiksel çaprazlama – arithmetical crossover (Michalewicz, 1992), BLX- α çaprazlama (Eshelman

ve diğ., 1993), doğrusal çaprazlama – linear crossover (Wright, 1991), kesikli çaprazlama - discrete crossover (Mühlenbein ve diğ., 1993), uzatılmış doğrusal çaprazlama - extended linear crossover (Mühlenbein ve diğ., 1993), uzatılmış orta çaprazlama - extended intermediate crossover (Mühlenbein ve diğ., 1993), Wright'ın sezgisel çaprazlaması –Wright's heuristic crossover (Wright, 1990), doğrusal BGA çaprazlama – linear BGA crossover (Schlierkamp – Voosen, 1994).

2.2.8.2.4. Ağaç Kodlanmış Bireylerde Çaprazlama

“Her iki ebeveynde birer takas noktası seçerek parçalanır. Bu noktaların altındaki kısımlar, aralarında değiştirilerek yeni bireyler oluşturulur (Nabiyev, 2005, s.640)”. Operatörün işleyişi şekil 2.30’da gösterilmiştir.



Şekil 2.30: Ağaç Kodlanmış Bireylerde Çaprazlama İşlemi

Kaynak: Nabiyev, 2005, s.640.

2.2.8.3. Mutasyon Operatörü (Mutation)

“Canlılarda gen rekombinasyonlarının dışındaki diğer nedenlerle ve ani olarak meydana gelen kalıtsal değişimlere mutasyon denir. Mutasyon işlemi esnasında kromozomdaki gen sayısı değişmez sabit kalır. Mutasyon frekansının büyüklüğü genetik algoritmanın performansını etkilemektedir (Engin ve Fırlı, 2002b, s.38)”.

“Mutasyon operatörü doğal genetik mutasyon olayının benzetişimini yapmakta ve genetik algoritmanın performansında temel rol oynamaktadır (Karaboğa, 2004, s.82)”. “Mutasyon işlemi olmayan bir genetik algoritma, elemanlarının üreme ve çaprazlama operasyonlarında değişmediği varsayılırsa optimal çözümü ancak çözüm elemanlarının başlangıç popülasyonunda bulunması halinde elde edebilir. Mutasyon yeni, görülmemiş ve araştırılmamış çözüm elemanlarının bulunmasını sağlar. Mutasyon

operatörü kullanmayan bir genetik algoritma için iyi bir performans, ancak popülasyonun oldukça büyük tutulmasıyla garanti edilebilir. Aynı zamanda mutasyon işlemleriyle genetik algoritmanın alt optimal (sub-optimal) çözümlere takılması engellenir. Çünkü, mutasyon daha önceden atılmış iyi çözüm elemanlarının tekrar üretilmesini sağlar (De Jong, 1975’e atfen Karaboğa, 2004, s.82-83)”.

“Çaprazlama operatörünün her nesile uygulanmasından sonra ilerleyen nesillerde birbirinin aynı gen yapılarına sahip diziler oluşmaktadır. Bu durumu ortadan kaldırmak için değişim (mutasyon) operatörü uygulanır. Bu operatörün amacı birbirinin tekrarı olan ve çeşitliliğin azaldığı durumda, aynı kromozomdaki genlerin yerinin değiştirilmesidir (Biroğul, 2007, s.3)”.

Genetik algoritmalarda kullanılan kodlama yöntemine göre farklı mutasyon operatörleri geliştirilmiştir. Bunun nedeni kodlamanın kendine özgü yapısıdır. İkili kodlamada her gen “0” yada “1” değerini alabildiğinden mutasyon işlemi rasgele bir genin içerdiği bilgi 0’dan 1’e yada 1’den sıfıra dönüştürmek ile mümkündür. Ancak permütasyon kodlamada her genin alması gereken değerler birbirinden farklı olmak durumundadır. Bu nedenle rasgele bir gende rasgele bir değişim yapmak aynı değere sahip birden fazla gen olmasına neden olacağından uygun olmayacaktır. Gerçek kodlamada genlerde rasgele bir değer vererek değişime uğratmak mümkün olsa da daha farklı mutasyon operatörleri geliştirilmiştir.

2.2.8.3.1. İkili Kodlamada Mutasyon Operatörleri

2.2.8.3.1.1. Tek Noktada Mutasyon(Single Point Mutation -SPM)

Kromozom üzerinde rasgele bir gen seçilir ve değeri “0” için “1” yada “1” için “0” şeklinde değiştirilir. Bu mutasyon işlemi şekil 2.31’de gösterilmiştir.

Mutasyondan önce

0	1	0	1	1	0	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---

Mutasyondan sonra

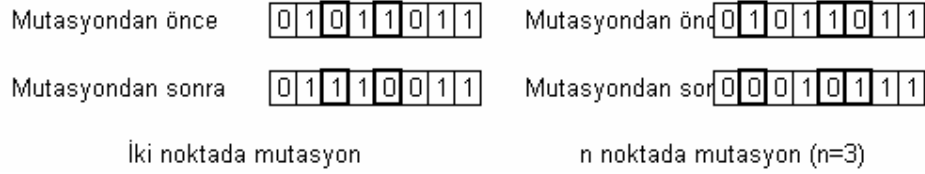
0	1	0	1	0	0	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---

Şekil 2.31: İkili Kodlamada Tek Noktada Mutasyon İşlemi.

2.2.8.3.1.2. Çok Noktada Mutasyon (Multi-Point Mutation)

Mutasyon işleminin birden fazla gene uygulanması da mümkündür. İki gende mutasyon (two point mutation -TPM), n noktada mutasyon (n point mutation - NPM)

şeklinde uygulanması mümkündür. Şekil 2.32’de iki ve n noktalı mutasyon işlemi gösterilmiştir.



Şekil 2.32: İkili Kodlamada İki ve n Noktalı Mutasyon İşlemleri.

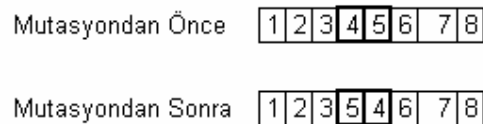
2.2.8.3.2. Permütasyon Kodlamada Mutasyon Operatörleri

Permütasyon kodlamada önemli olan nokta genlerin aynı değere sahip olmamasıdır. Bu nedenle permütasyon kodlama için ikili kodlamada kullanılan mutasyon operatörleri uygun değildir. Bu operatörler kullanılırsa bir tamir operatörüne ihtiyaç duyulacaktır. Permütasyon kodlama için geliştirilen operatörlerin bir kısmı bu tür bir tamir fonksiyonunu da yerine getirmektedir.

Permütasyon kodlama için geliştirilen mutasyon operatörlerinden yaygın olanları: İki bitişik iş takası (two operations adjacent swap), üç bitişik iş takası (three operations adjacent swap), iki rasgele iş takası (two operations random swap), üç rasgele iş takası (three operations random swap), ters çevirme mutasyonu (inverse mutation), iş kaydırma mutasyonu (shift operation mutation), orta ters çevirme mutasyonu (centre inverse mutation), gelişmiş rasgele iki iş takası (enhanced two operations random swap) dır.

2.2.8.3.2.1. İki Bitişik İş Takası (Two Operations Adjacent Swap -2OAS)

“Murata ve Ishibuchi (1994) tarafından geliştirilen bir operatördür. İki komşu pozisyon rasgele seçilir. Bu iki genin pozisyonları karşılıklı değiştirilir. Geri kalan genler pozisyonlarını korurlar (Pongcharoen ve diğ., 2001, s.455)”. Operatörün işleyişi şekil 2.33’de gösterilmiştir.



Şekil 2.33: Permütasyon Kodlamada İki Bitişik İş Takası İşlemi.

2.2.8.3.2.2. Üç Bitişik İş Takası (Three Operations Adjacent Swap – 2OAS)

“Murata ve Ishibuchi (1994) tarafından geliştirilen bir operatördür. Üç komşu pozisyon rasgele seçilir. Bu üç genin pozisyonları karşılıklı değiştirilir. Geri kalan genler pozisyonlarını korurlar (Pongcharoen ve diğ., 2001, s.455)”. Operatörün işleyişi şekil 2.34’de gösterilmiştir.

Mutasyondan Önce

1	2	3	4	5	6	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---

Mutasyondan Sonra

1	2	5	3	4	6	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---

Şekil 2.34: Permütasyon Kodlamada Üç Bitişik İş Takası İle Mutasyon İşlemi.

2.2.8.3.2.3. İki Rasgele İş Takası (Two Operations Random Swap – 2ORS)

“Murata ve Ishibuchi (1994) tarafından geliştirilen bir operatördür. Bu operatörün çalışması iki komşu iş takasına benzer. Komşu olmayan iki pozisyon rasgele seçilir ve pozisyonları değiştirilir. Diğer genler pozisyonlarını korur (Pongcharoen ve diğ., 2001, s.455)”. Operatörün işleyişi şekil 2.35’de gösterilmiştir.

Mutasyondan Önce

1	2	3	4	5	6	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---

Mutasyondan Sonra

1	5	3	4	2	6	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---

Şekil 2.35: Permütasyon Kodlamada Rasgele İki İş Takası İle Mutasyon İşlemi.

2.2.8.3.2.4. Üç Rasgele İş Takası (Three Operations Random Swap – 3ORS)

“Murata ve Ishibuchi (1994) tarafından geliştirilen bir operatördür. Bu operatörün çalışması üç komşu iş takasına benzer. Komşu olmayan üç pozisyon rasgele seçilir ve pozisyonları değiştirilir. Diğer genler pozisyonlarını korur (Pongcharoen ve diğ., 2001, s.455)”. Operatörün işleyişi şekil 2.36’da gösterilmiştir.

Mutasyondan Önce

1	2	3	4	5	6	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---

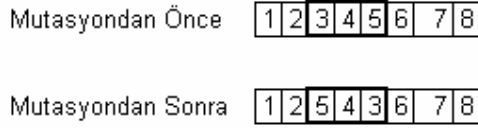
Mutasyondan Sonra

6	2	5	1	4	4	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---

Şekil 2.36 : Permütasyon Kodlamada Rasgele Üç İş Takası İle Mutasyon İşlemi.

2.2.8.3.2.5. Ters Çevirme Mutasyonu (Inverse Mutation – IM)

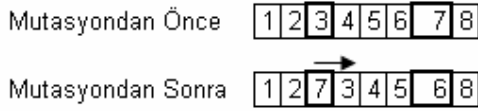
“Goldberg (1989) tarafından geliştirilen bir operatördür. Uzunluğu ve pozisyonu rasgele seçilen bir alt kromozom aynı pozisyonda ters çevrilir. Diğer genler konumlarını korur (Pongcharoen ve diğ., 2001, s.454)”. Operatörün işleyişi şekil 2.37’de gösterilmiştir.



Şekil 2.37: Permutasyon Kodlamada Ters Çevirme Mutasyon İşlemi.

2.2.8.3.2.6. İş Kaydırma Mutasyonu (Shift Operation Mutation –SOM)

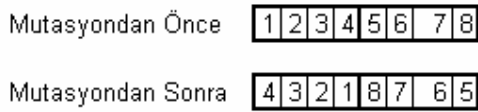
“Murata ve Ishibuchi (1994) tarafından geliştirilen bir operatördür. Rasgele iki pozisyon seçilir. Seçilen ikinci gen ilk seçilen genin pozisyonuna sıkıştırılır. Kalan genler sağa doğru kaydırılır (Pongcharoen ve diğ., 2001, s.454)”. Operatörün işleyişi şekil 2.38’de gösterilmiştir.



Şekil 2.38: Permutasyon İş Kaydırma İle Mutasyon İşlemi.

2.2.8.3.2.7. Orta Ters Çevirme Mutasyonu (Centre Inverse Mutation – CIM)

“Tralle (2000) tarafından geliştirilen bir operatördür. Kromozom iki bölüme ayrılır. Her bölümdeki tüm genler aynı bölümde ters çevrilir (Pongcharoen ve diğ., 2001, s.453)”. Operatörün işleyişi şekil 2.39’da gösterilmiştir.



Şekil 2.39: Permutasyon Kodlamada Orta Ters Çevirme Mutasyonu.

2.2.8.3.2.8. Geliştirilmiş Rasgele İki İş Takası (Enhanced Two Operations Random Swap – E2ORS)

“Tralle (2000) tarafından geliştirilen bir operatördür. Bu operatörün mekanizması kromozomun 6 genlik bölümlere ayrılmasıyla başlar. Tüm bölümlerde rasgele iki işin pozisyonları değiştirilir. Bölümlere ayrıldıktan sonra kalan genler ihmal edilir (Pongcharoen ve diğ., 2001, s.454)”. Operatörün işleyişi şekil 2.40’da gösterilmiştir.



Şekil 2.40: Permutasyon Kodlamada Geliştirilmiş Rasgele İki İş Takası İşlemi.

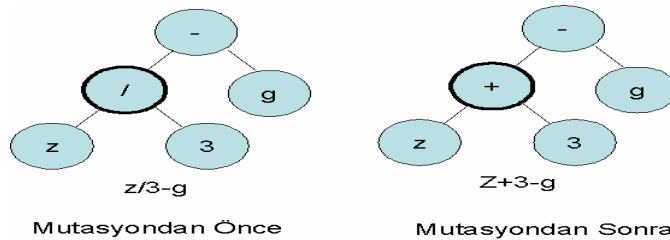
2.2.8.3.3. Değer Kodlamada Mutasyon Operatörleri

Gerçel kodlama çok çeşitli mutasyon operatörleri geliştirilmiştir. Genelde mutasyon işleminde geçerli aralıktan rasgele bir sayının seçilmesi yada matematiksel çeşitli yöntemler kullanılmaktadır.

Herrera ve diğerleri (1998) gerçel kodlama için kullanılan operatörlerden bazılarını çalışmalarında göstermişler ve davranışsal analizini yapmışlardır; rasgele mutasyon -random mutation (Michalewicz, 1992), düzensiz mutasyon - non-uniform mutation (Michalewicz, 1992), Mühlenbein’in mutasyonu - Mühlenbein’s mutation (Mühlenbein, 1993), kesikli modal mutasyon - discrete modal mutation (Voigt ve diğ., 1994), sürekli modal mutasyon - continuous modal mutation (Herrera, 1998).

2.2.8.3.4. Ağaç Kodlamada Mutasyon

Rasgele seçilen bir düğümdeki numaralar veya işlemler değiştirilir (Nabiyev, 2005, s.640). Operatörün işleyişi şekil 2.41’de gösterilmiştir.



Şekil 2.41: Ağaç Kodlamada Mutasyon İşlemi.

2.2.9. Genetik Algoritmanın Kontrol Parametreleri

Çaprazlama, mutasyon ve yeniden üreme operatörleri gibi, algoritmanın kontrol parametreleri değerlerinin seçimi de algoritmanın performansı üzerinde oldukça etkilidir. Basit bir genetik algoritmanın temel kontrol parametreleri şunlardır: Popülasyon büyüklüğü, çaprazlama ve mutasyon oranları.

2.2.9.1. Popülasyon Büyüklüğü (Population Size)

“Popülasyon büyüklüğü için seçilen değer, algoritmanın performansını iki şekilde etkilemektedir. Birincisi, popülasyon büyüklüğünün aşırı küçülmesi araştırma uzayının yetersiz örneklenmesine sebep olacağından kontrollü ıraksamayı sağlamak zorlaşacak ve araştırma belirli bir alt optimal noktaya doğru sürüklenecektir. İkincisi, popülasyon için aşırı yüksek değer seçildiğinde bir nesillik gelişim oldukça uzun süreye ihtiyaç duymaktadır. Bu, özellikle gerçek zamanlı (real-time veya on-line) problem uygulamalarında hiç istenmeyen bir durumdur. Bu yüzden popülasyon büyüklüğü için uygun bir değer belirlenmelidir (Goldberg, 1989’a atfen Karaboğa, 2004 , s.85)”.

2.2.9.2. Çaprazlama Oranı (Crossover Rate)

“Bireylerin yeni üretiminde yapılara (popülasyonun bireyleri) uygulanacak çaprazlama operatörünün frekansını belirlemek amacıyla kullanılan parametredir. Düşük çaprazlama oranı yeni kuşağa çok az sayıda yeni yapının girmesine sebep olmaktadır. Dolayısıyla üreme operatörü algortmada aşırı etkili bir operatör haline gelmekte ve araştırmanın yakınsama hızı düşmektedir. Yüksek çaprazlama oranı araştırma uzayının çok hızlı bir şekilde araştırılmasına sebep olmaktadır. Ama oran aşırı yüksek ise çaprazlama operatörü benzer veya daha iyi yapıları üretmeden kuvvetli olan yapılar çok hızlı olarak bozulduğundan algoritmanın performansı düşmektedir (Karaboğa, 2004 , s. 85)”. “Çaprazlama oranı % 100 olduğunda bütün çocuklar çaprazlama yoluyla elde edilir. Bu oran % 0 ise, yeni nesilin tümü eski popülasyondaki kromozomların kopyası olmaktadır. Ancak, mutasyon nedeniyle yeni ve eski nesillerin aynı olduğu söylenemez (Nabiyev, 2005, s.640)” .

2.2.9.3. Mutasyon Oranı (Mutation Rate)

“Mutasyon operatörünün frekansı, etkili bir genetik algoritma tasarlamak için çok iyi kontrol edilmelidir. Mutasyon operasyonu, araştırma sahasına yeni bölgelerin

girmesini sağlar. Yüksek mutasyon oranı, araştırmaya aşırı bir rasgelelik kazandıracak ve araştırmayı çok hızlı olarak ıraksatacaktır. Başka bir deyişle, popülasyonun gelişmesine değil tahribatına sebep olacaktır. Bu durumun tersine, çok düşük mutasyon oranının kullanılması ıraksamayı aşırı düşürecek ve araştırma uzayının tamamen araştırılmasını engelleyecektir. Dolayısıyla, algoritmanın alt optimal çözüm bulmasına sebep olacaktır (Karaboğa, 2004, s.86)”. “Mutasyon oranı % 100 olduğunda, tüm kromozomlar değişikliğe uğrarlar. Bu oran % 0 olduğunda ise kromozomların yapısında bir değişiklik görülmez (Nabiyev, 2005, s.641)”.

2.2.9.4. Kontrol Parametreleriyle İlgili Çalışmalar

“De Jong (1975), genetik algoritmanın performansı üzerinde kontrol parametrelerinin etkisini incelemek amacıyla çeşitli test problemleri kullanarak çalışmalar yapmış ve bu çalışmalar sonucunda iyi bir gerçek-zaman (on-line) ve gerçek olmayan zaman (off-line) performansı elde etmek için kontrol parametrelerine uygun değerler önermiştir. Gerçek zamanlı olmayan performans, tüm nesillerde popülasyonda bulunan sadece en iyi çözümün kalite değerini kullanmak suretiyle hesaplanır. Gerçek zaman performansı ise tüm nesiller boyunca popülasyonda bulunan çözümlerin ortalama kalite değerleri aracılığıyla hesaplanmaktadır. Benzer olarak, Schaffer ve diğ. (1989) GA'nın performansı üzerinde kontrol parametrelerinin etkisini incelemek amacıyla ayrıntılı bir çalışma yapmış ve iyi bir gerçek zaman performansının elde edilmesi için Tablo 2.10'da verilen değerlerin kullanılmasını önermişlerdir (Karaboğa, 2004, s.91)”. Grefenstette (1986), genetik algoritmaların kontrol parametrelerinin optimize edilmesi için ikinci bir genetik algoritmanın kullanılmasını araştırmıştır. Bu metodun üstte belirtilen deneysel yaklaşımların her ikisinden de daha kararlı olduğu aşıkardır. Çünkü bu metot, kontrol parametreleri uzayını daha iyi araştırmaktadır. De Jong, Schaffer, Grefenstette, Negnevitsky ve Michalewicz tarafından önerilen parametre değerlerinin seti tablo 2.14'de verilmiştir.

Kontrol Parametreleri	De Jong	Schaffer	Grefenstette	Negnevitsky	Michalewicz
Popülasyon büyüklüğü	50-100	20-30	30	50	30
Çaprazlama Oranı	0,60	0,75-0,95	0,95	0,7	0,95
Mutasyon Oranı	0,001	0,005-0,01	0,01	0,001-0,01	0,01

Tablo 2.14: De Jong, Schaffer, Grefenstette, Negnevitsky ve Michalewicz Tarafından Belirlenen Optimal Parametre Değerleri

Kaynak: Nabyev, 2005, s.642.

“İkili kodlu kromozomların kullanıldığı durumlarda optimal popülasyon büyüklüğünün ne olması gerektiğinin teorik araştırması Goldberg (1985) tarafından yapılmıştır ve popülasyon büyüklüğü ile kromozom uzunluğu arasındaki bağıntı aşağıda verilen denklem ile tanımlanmıştır gerektirmektedir (Karaboğa, 2004 , s. 91)”:

$$\text{Popülasyon büyüklüğü} = 1,65 \times 2^{0,2 \times \text{uzunluk}} \quad (2.13)$$

“Kullanılacak parametrelerin otomatik olarak değiştirilmesi hem zaman kazandıracak hem de performansın gelişmesini sağlayacaktır. Bu yüzden optimizasyon süresince kontrol parametrelerinin adaptasyonu üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Örneğin: Davis (1989) uygulanan genetik operatörlerin olasılıklarının araştırma esnasında belirlenmesi için bir teknik önermiştir. Teknik, optimizasyon yapılırken farklı operatörlerin izlenen performanslarına göre olasılıklarının ayarlanmasını içermektedir. Ancak, bu teknik oldukça kompleks bir işlem gerektirmektedir (Karaboğa, 2004, s.91)”.

“Pham ve Karaboğa (1997), mutasyon oranının adaptif olarak değiştirilmesine yönelik üç farklı strateji önermişlerdir. İlk strateji, araştırma yapılırken gelişimin sağlanamaması gibi bir duruma erişildiğinde, mutasyon oranının değiştirilmeye başlanması öngörülmektedir. İkinci strateji, mutasyon oranının kromozomun uygunluk değerine göre adaptasyonunu içermektedir. Üçüncü strateji ise ikinci strateji ile birlikte kromozomun farklı kısımları için farklı mutasyon olasılıklarının uygulanmasını sağlamaktadır (Karaboğa, 2004, s.92)”.

2.2.10. Genetik Algoritmalar ve Şema Teorisi (Schema Theory)

“Holland, geliştirmiş olduğu genetik algoritmanın teorik analizi veya başka bir deyişle genetik algoritmaların niçin çalıştığını göstermek amacıyla şema kavramını kullandı. Şayet, her kromozom 0 ve 1’lerin bir vektörü olarak düşünülürse o zaman aşağıdaki iki vektör

1010001

1111010

1*0 şemasının elemanları olacaktır. Burada * sembolü “değişken değerli kart” anlamındadır. Yani * işareti sıfır veya bir ile değiştirilebilir demektir. Şemalar, benzer kromozomları tanımlayan alt setler olarak düşünülebilir veya n boyutlu uzayda üst düzlemler (hyper-planes) olarak görülebilir. Holland’ın temel amaçlarından biri, genetik operatörlerin (seçme, çaprazlama ve mutasyon) uygulanması suretiyle mevcut popülasyonda temsil edilen her şemanın eleman sayısının diğer şemalardan bağımsız olarak nisbî uygunluk değeriyle orantılı olarak azalacağı veya artacağını gösterebilmektir. Matematiksel terimler aracılığıyla şema için uzunluk ve derece notasyonlarını kullanarak şema teoremini ispat etti. Bu notasyonlar sırasıyla, şemanın sabit ilk ve son pozisyonları arasındaki mesafe ve sabit olarak tanımlanan pozisyonların sayısıdır. Diğer önemli bir parametre uygunluk oranıdır. Bu, şemanın ortalama uygunluk değerinin popülasyonun ortalama uygunluk değerine oranı olarak tanımlanır (Reeves, 1995; Golberg, 1989 ‘a atfen Karaboğa, 2004, s.86”).

“Uygunluk değeriyle orantılı bir üreme işlemi kullanıldığında S şemasının t+1 anındaki beklenen sayısı

$$E(S, t+1) = f(S, t) N(S, t) \quad (2.14)$$

İfadesi ile tanımlanabilir. Burada $f(S, t)$, S şemasının uygunluk oranı, $N(S, t)$ ise t anındaki S’nin eleman sayısıdır. Eğer, $l(S)$ uzunluklu S şemasına P_c çaprazlama oranıyla t anında çaprazlama işlemi uygulanırsa; o zaman t+1 anında S’nin popülasyonda temsil edilme olasılığı, yani çaprazlama işlemi tarafından tahrip edilmeme ihtimali aşağıdaki ifade ile tanımlanabilir.

$$P[S, t+1] \geq 1 - \frac{P_c l(S)}{n-1} (1 - P[S, t]) \quad (2.15)$$

burada n kromozom uzunluğunu ve $(1 - P[S, t])$ ikinci ebeveynin farklı bir şemanın elemanı olma ihtimalini temsil etmektedir. Bu ifade alt sınırı tanımlamaktadır. Çünkü S, çaprazlama işlemi aracılığıyla farklı şemalardan eleman kazanabilir (Karaboğa, 2004, s.86”).

“Eğer, $k(S)$ dereceli S şemasına P_m mutasyon oranıyla t anında mutasyon işlemi uygulanırsa o zaman; $t+1$ anında popülasyonda S 'nin temsil edilme ihtimali

$$P[S, t + 1] \geq 1 - P_m k(S) \text{ ile tanımlanır.}$$

Bu sonuçları birleştirmek suretiyle aşağıdaki teorem elde edilir: Yukarıda tanımlanan üreme planı kullanıldığında, çaprazlama ve mutasyon oranları sırasıyla P_c ve P_m , S şemasının derecesi $k(S)$, uzunluğu $l(S)$ ve uygunluk oranı $f(S, t)$ olmak üzere $t+1$ anında S şemasının popülasyondaki temsilcilerinin beklenen sayısı için

$$E[S, t + 1] \geq \left\{ 1 - \frac{P_c l(S)}{n - 1} (1 - P[S, t]) - P_m k(S) \right\} f(S, t) N(S, t) \quad (2.16)$$

yazılabilir. Böylece, kısa ve düşük dereceli şemalar eğer uygunluk oranları 1'den fazla ise eleman sayılarını arttıracak, daha uzun ve daha yüksek dereceden şemalar ise daha fazla uğraşmak zorunda kalacaktır. Bir genetik algoritma için ideal durumda, kısa ve düşük dereceli şemaların iyi ve daha iyi çözümleri oluşturmak için birleşmeleri gerekmektedir. Bu fikrin çalışacağı kabulü yapı bloğu (building-block) hipotezi olarak adlandırılır (Goldberg, 1989'a atfen Karaboğa, 2004, s.87)”.

2.2.11. Standart Genetik Algoritma ve Diğer Modeller

“ Temel adımları daha önce verilen ve oldukça basit olan genetik algoritma, elbette gerçek problemlerin çözümünde pek fazla performans gösterememektir. Bu algoritmadaki temel operatörlere diğer operatörler, yani birimler ilave edilerek temel ve basit genetik algoritmanın performansı geliştirilebilir. Grefenstette (1986) tarafından tanımlanan böyle bir genetik algoritma çoğu uygulayıcı tarafından oldukça yaygın kullanılmaktadır (Karaboğa, 2004, s.87-88)”.

Standart veya bazen seri genetik algoritma olarak adlandırılan genetik algoritmanın temel adımları (Karaboğa, 2004, s.88):

1. Muhtemel çözümlerden başlangıç popülasyonunu oluştur.
2. Popülasyondaki her çözümün uygunluk değerini hesapla.
3. Durdurma kriteri sağlanıyorsa araştırmayı durdur. Yoksa, aşağıdaki adımları gerçekleştir.

- Uygunluk ölçekleme işlemini gerçekleştir (fitness scaling).
- Tabii seçim işlemini uygula (uygunluk değerleri daha yüksek olan çözümler yeni popülasyonda daha fazla temsilciye sahip olacaktır)
- Rasgele seçim işlemini uygula (popülasyonun çoğunluğu tabii seçim, az bir kısımda rasgele seçim işlemine tabi tutulur).
- Önceki popülasyonda var olan en iyi çözümü muhafaza et (tabii olmayan bir işlem).
- Çaprazlama işlemini uygula.
- Mutasyon işlemini uygula.

“Genetik algoritma ile ilgili olarak literatürde, seri genetik algoritmanın dışında çok sayıda farklı modeller mevcuttur. Bunlar arasında en çok karşılaşılan modeller paralel ve mikro genetik algoritmalarıdır. Paralel genetik algoritmalar, özellikle karmaşık ve büyük optimizasyon problemleri için geliştirilen iki veya daha fazla standart genetik algoritmanın paralel çalıştırılması prensibine dayanan modellerdir. Paralel çalışan algoritmalar arasında belirli zamanlarda haberleşme yapılır yani bilgi alış veriş gerçekleşir (Martina, 1989; Gordan ve Whitley, 1993; Mühlenbein, 1989; Pham ve Karaboğa, 1991; Potts ve diğ., 1994; Maruyama, Hirose ve Konagaya, 1991; Baluja, 1993’e atfen Karaboğa, 2004). Bu haberleşme ya daha önceden belirlenen belirli bir stratejiye göre (statik), yada araştırmanın durumuna göre zamana bağlı olarak değişen (dinamik) bir strateji aracılığıyla gerçekleştirilir (Potts ve diğ., 1994; Starkweather ve diğ., 1991; Manderick ve Spiessens, 1989’a atfen Karaboğa, 2004, s.88-89)”.

“Genetik algoritma popülasyon tabanlı algoritma olduğundan özellikle gerçek zamanda (real-time, on line) çözüm üretilmesinin gerekli olduğu problem uygulamalarında önemli bir dezavantajı vardır. Algoritmanın belirli bir süre içerisinde çözüm geliştirme işlemini tamamlamış olması gerekir. Bu işlemi tamamlamak için popülasyon tabanlı algoritmalar, iteratif algoritmalarla karşılaştırıldığında nispeten daha uzun süreye ihtiyaç duyarlar. Süreyi kısaltmak için az bireyle çalışabilen ve iyi performansla sahip genetik algoritmaların geliştirilmesi önemli hale gelmiştir. Mikro genetik algoritmalar bu uygulamalara dönük geliştirilmiştir. Bu model 5-6 tane bireyden oluşan popülasyonla çalışır. Belirli sürelerle popülasyondaki en iyi birey hariç diğer

bireyler rasgele üretilen yeni bireylerle yer değiştirir ve işleme bu yeni popülasyonla devam edilir (Krishnakumar, 1989; Pham ve Jin, 1996 ‘ya atfen Karaboğa, 2004, s.89)’’.

“Standart genetik algoritmanın bölgesel yakınsama hızının çok iyi olmaması önemli dezavantajlarından birisidir. Bu eksikliği kapatmak amacıyla bazı araştırmacılar standart genetik algoritmayla klasik türeve dayalı algoritmaları birleştirmişlerdir. Bu tip genetik algoritmalara melez (hibrid) genetik algoritmalar ismi verilir (Karaboğa, 2004 , s.89)’’.

2.3. Açgöz Rasgele Adaptif Arama Prosedürü (Greedy Random Adaptive Search Procedure)

“Aç göz rasgele adaptif arama prosedürü – ARAAP (greedy random adaptif search procedure – GRASP) metasezgiseli, her iterasyonu yapım ve yerel arama adımlarından oluşan çok adımlı ve iteratif bir süreçtir. Yapım aşaması olurlu bir çözüm oluşturur. Yerel arama esnasında bir yerel minimum/maksimum bulununcaya kadar mevcut çözümün komşuları araştırılır. Tüm çözümlerin en iyisi sonuç olarak saklanır. Aşağıda ARAAP’ın sözde kodu görülmektedir (Nehi ve Gelareh, 2007, s.2307)’’.

Procedure ARAAP(Iterasyon_Sayısı)

1. Girdileri Oku
2. For k=1 to Iterasyon_Sayısı Do
3. Çözüm← Açgöz_Rasgele_Oluşturma
4. Çözüm← Yerel_Arama (Çözüm)
5. Çözümü_Güncelle (Çözüm, En İyi Çözüm)
6. End
7. En İyi Çözümü Göster
8. End ARAAP

“Yapım aşamasının her iterasyonunda, olurluluğu tahrif etmeden kısmi çözüme dahil edilebilecek tüm öğelerin aday öğeler kümesine yerleştirilmesi sağlanır. Çözüme dahil edilecek yeni öğenin seçimine tüm aday öğelerin açgözlü bir değerlendirme fonksiyonuna göre değerlendirilmesi sonucunda karar verilir (Nehi ve Gelareh, 2007, s.2307)’’.

“Bu açgözlü fonksiyon oluşturulan çözüme bu öğelerin dahil edilmesinden dolayı maliyet fonksiyonundaki marjinal gelişimi gösterir. Öğelerin bu fonksiyon ile değerlendirilmesi en iyi öğeler ile oluşturulan bir sınırlandırılmış aday listesi (restricted candidate list – RCL) oluşturulmasına yol açar. Yani bu öğelerin mevcut kısmi çözüme dahil edilmesi en küçük marjinal maliyeti sağlar (bu sezgiselin açgözlü durumudur). Kısmi çözüme dahil edilecek öğe bu RCL’den rasgele seçilir (bu sezgiselin olasılıklı-rasgele durumudur). Kısmi çözüme dahil edilecek öğe seçilince aday listesi güncellenir ve marjinal maliyet yeniden değerlendirilir (bu sezgiselin adaptif durumudur). Bu strateji Hart ve Shogan’ın yarı-açgözlü sezgiseline ve yerel aramasız rasgele açgözlü yapıma benzer. Bu rasgele açgözlü seçim algoritmasının sözde kodu aşağıda gösterilmektedir (Nehi ve Gelareh, 2007, s.2308)”.

Function Açgöz_Rasgele _Oluşturma

1. $\text{Çözüm} \leftarrow \phi$
2. Aday elemanların marjinal maliyetlerini değerlendir
3. While Çözüm tamamlanmadıysa Do
4. Sınırlandırılmış aday listesini oluştur (Restricted Candidate List)
5. RCL’den rasgele bir öğe seç (x).
6. $\text{Çözüm} \leftarrow \text{Çözüm} \cup \{x\}$ (Adayı kısmi çözüme dahil et)
7. End
8. Çözümü Döndür
9. End Açgöz_Rasgele_Oluşturma

“Açgözlü rasgele yapım ile oluşturulan çözümler optimal değildir. Yerel arama adımı genellikle oluşturulan çözümü iyileştirir. Yerel arama algoritması her iterasyonda mevcut çözüm ile en iyi komşu çözümün değiştirildiği iteratif bir yapıda çalışır. Yerel arama algoritmasının sözde kodu aşağıda gösterilmektedir (Nehi ve Gelareh, 2007, s.2309)”.

Function Yerel_Arama(Çözüm)

1. While Çözüm optimal değilse Do
2. $f(x') < f(\text{Çözüm})$ Olmak Koşuluyla Bul $x' \in S$ (Çözüm)
3. $\text{Çözüm} \leftarrow x'$
4. End
5. Çözümü döndür
6. End Local_Search

“Yerel aramanın etkinliği, komşuluk yapısı, komşuluk arama tekniği, komşuların hızlı maliyet değerlendirilmesi ve başlangıç çözümünün kalitesi gibi bazı etkenlere bağlıdır. Yapım aşaması, yerel arama için yüksek kalitede başlangıç çözüm oluşturmada önemli bir rol oynar. Komşuluk arama *en iyi gelişim ve ilk gelişim* stratejilerine göre yapılabilir (Nehi ve Gelareh, 2007, s.2309)”.

2.4. Tepe Tırmanma Algoritması (Hill Climbing Algorithm)

“Tepe tırmanma metodu –TT (Hill Climbing – HC) bir iteratif iyileştirme (yerel arama) yöntemidir. TT, iniş yada adım adım iniş stratejisi olarak da adlandırılmaktadır. Bu metodun temelinde, tanımlanan bazı kurallara göre bir çözümden bir diğer komşu çözüme ulaşma vardır. TT metodunun etkinliğinde iyi bir komşuluk yapısı seçiminin önemi büyüktür. İyi mutlak açıdan en iyi olmak zorunda değildir. TT’in zayıf yanı yerel ve genel en iyi arasındaki ayrımı yapamaması sonucu yerel optimumdan kaçamamasıdır. Yerel optimumdan genel optimuma geçebilmek için modern sezgiseller geliştirilmiştir (Yiğit ve Türkbey, 2003, s.49)”.

2.4.1. Komşuluk yapısı

“Komşuluk yapısı, verilen bir çözüm üzerinde basit bir değişiklik yaratarak bir komşu çözümler kümesi elde eden bir mekanizmadır. Verilen bir çözümden her bir komşu çözüme bir taşıma ile ulaşılabilir. TT, problem çözüm uzayında bir komşudan diğerine iterative olarak ilerlediği için, komşuluk yapısı TT’nin etkinliğini doğrudan etkilemektedir. Bu yüzden, komşuluk yapısı gereksiz taşımaları ve eğer mümkünse olursuz taşımaları eleyebilmelidir (Geyik ve Cedimoğlu, 2001, s.97)”.

Komşuluk üretme mekanizmaları çözümü temsil eden dizide farklı dizi elemanlarının sahip olduğu değerlerin yer değiştirmesi için kullanılan algoritmalarıdır. Örneğin: Rasgele iki dizi elemanı karşılıklı olarak değiştirilebilir. Şekil 2.42’de bu değişimin nasıl yapıldığı görülmektedir. Bunun gibi rasgele seçilen iki alt dizinin değiştirilmesi şekil 2.43’de, rasgele seçilen bir alt dizinin ters çevrilmesi şekil 2.44’de görülmektedir.

Mevcut Çözüm

5	1	4	2	7	3	8	6
---	---	---	---	---	---	---	---

 Komşu Çözüm

5	1	3	2	7	4	8	6
---	---	---	---	---	---	---	---

Şekil 2.42: Karşılıklı İki Dizi Elemanının Değişimi İle Yeni Komşu Üretme Mekanizması.

Mevcut Çözüm

5	1	4	2	7	3	8	6
---	---	---	---	---	---	---	---

 Komşu Çözüm

5	3	8	6	7	1	4	2
---	---	---	---	---	---	---	---

Şekil 2.43 : Karşılıklı İki Alt Dizi Değişimi İle Yeni Komşu Üretme Mekanizması.

Mevcut Çözüm

5	1	4	2	7	3	8	6
---	---	---	---	---	---	---	---

 Komşu Çözüm

5	7	1	4	1	3	8	6
---	---	---	---	---	---	---	---

Şekil 2.44: Bir Alt Diziyi Ters Çevirerek Yeni Komşu Üretme Mekanizması.

Bu değişimlerin permütasyon kodlama yapısına göre olurlu olduğu görülmektedir (Aynı değere sahip dizi elemanları yoktur). Permütasyon kodlamada çözümlerin olurlu olması için sağlaması gereken başka şartlarda olabilmektedir. Mevcut şartlara göre uygun bir komşuluk üretme mekanizması seçilmelidir.

2.4.2. Tepe Tırmanma Algoritmasının Sözde Kodu

X: Çözüm Uzayı,

x: Aday çözüm,

x*: Cari en iyi çözüm,

S(x): Komşuluk üretme hareketleri,

s(x): Bir komşuluk üretme hareketi,

s_k(x): k.iterasyonda elde edilen en iyi komşu üretme hareketi,

k: İterasyon sayacı,

$c(x)$: x çözümünün amaç fonksiyon değeri,

$c(x^*)$: Cari çözümün amaç fonksiyon değeri.

1. $x \in X$ olacak şekilde bir başlangıç çözümü seç ve en iyi çözüm olarak kabul et ($x^*=x$). İterasyon sayacını sıfırla ($k=0$).

2. Aday hareketlerden en iyisini seç $s_k(x) = Optimum(s(x) \in S(x))$. İterasyon sayacını bir arttır ($k=k+1$).

3. $x = s_k(x)$ olarak ata. Eğer x 'in amaç fonksiyon değeri $c(x)$, x^* 'in amaç fonksiyon değerinden $c(x^*)$ daha iyiyse (Minimizasyon için $c(x) < c(x^*)$ ise) optimal çözümü güncelle ($x^*=x$)

4. Eğer maksimum iterasyon sayısına ulaşıldı ise veya çözüm daha fazla iyileştirilemiyorsa araştırmayı durdur.

2.4.3. Tepe Tırmanma Algoritmasının Kısır Döngüye Girmesi

“TT eldeki aday çözüme, bir komşuluk işleci uygulayarak, yeni adaylar üretir. Yeni adaylar bir değerlendirmeye tabi tutulur. Değerlendirme çözümün sonuca yakınlığını ölçer. Yeni adaylar ile eldeki eski aday içerisinde çözüme en yakın olan eskisinin yerine geçer. TT bu haliyle kısır bir döngüye sebep olabilir. Komşuluklar kapsamında eşit değerdeki iki yada daha fazla komşu arasında TT takılıp kalabilir. Arama yapılan alanın özellikleri yada TT yönteminin iyi seçilmemesi, herhangi bir denetim mekanizması kullanılmadan yapılan aramayı yerel en iyi noktalara götürebilir. Fakat gerçek hayattaki problemler yerel en iyilerin bol olduğu, fakat global en iyinin az, hatta tek olabildiği problemlerdir (Ülker ve Özcan, 2003, s.87)”.

Tepe tırmanma algoritmasının kısır döngüye girmesi ve yerel optimuma takılması şu şekilde olabilir. Mevcut çözümün (x) 4. elemanı ile 7. elemanı karşılıklı olarak değiştirilerek yeni bir komşu üretildiyse (x'). Bir sonraki adımda yine 4. ve 7. elemanlar karşılıklı olarak değiştirilirse iki adım önce ziyaret edilen çözüme ($x''=x$) geri dönmüş olur. Tepe tırmanma algoritmasında bunu önleyecek bir mekanizma yoktur. Bu nedenle algoritmanın bir yerel optimuma takılması olasıdır.

2.5. Tabu Arama Algoritması (Tabu Search Algorithm)

Tabu araştırma algoritması – TA (Tabu Search – TS) , F.Glover tarafından optimizasyon problemlerinin çözümü için geliştirilmiş iteratif bir araştırma algoritmasıdır (Glover, 1989, 1990, 1993). “TA algoritması bölgesel-sezgisel araştırma performansının artırılması amacıyla, zeki problem çözümlerinin genel kurallarını bu klasik araştırmaya kılavuzluk edecek şekilde kullanmaktadır. Başka bir deyişle TA algoritması, bölgesel en iyi çözümün daha ilerisinde bulunan çözümleri araştırabilmesi için bölgesel-sezgisel araştırmaya kılavuzluk yapmaktadır (Chelouah ve Siarry, 2000). TA’nın bölgesel optimaliteyi aşmak amacıyla kullandığı temel prensip, değerlendirme fonksiyonu denilen bir fonksiyon tarafından her iterasyonda en yüksek değerlendirme değerine sahip hareketin bir sonraki çözümü oluşturmak amacıyla seçilmesine dayanmaktadır (Karaboğa, 2004, s.49-50)”.

“TA algoritması komşuluk araştırmanın değişik bir formu olarak karakterize edilir. Komşuluk araştırmasında her çözüm $x \in X$, x ’in komşuluğu olarak adlandırılan komşular $(N(x), N(x) \subset X)$ setine sahiptir. X ’den her komşu çözüme $x' \in N(x)$ bir operasyonla doğrudan erişilebilir. Böyle bir operasyon , x ’den x' ’ne bir geçiş veya hareket şeklinde tanımlanır. Tabu araştırmada rasgelelik vurgulanmaz. Yani, rasgelelik prensibinden kaçınılır. Ancak oldukça kısıtlı olarak kullanılabilir. Bu şekilde düşünülmesinin sebebi, zeki araştırmanın çok daha sistematik bir kılavuzlanma fikrine dayalı olduğu kabulüdür. Bundan dolayı, çoğu tabu araştırma uygulamaları kısmen veya tamamen deterministiktir (Karaboğa, 2004, s.50)”.

Tabu araştırmanın altında yatan temel fikir, araştırma işlemini kontrol etmek amacıyla esnek bir hafıza yapısının kullanılmasıdır. TA’nın temel işlem basamakları aşağıda verilmektedir (Glover, 1989, s.192; Glover, 1990, s.4).

X : Çözüm uzayı

x : Çözüm uzayındaki herhangi bir çözüm

x^* : O ana kadar bulunan en iyi çözüm

$S(x)$: x ’in yeni komşularını üretmede kullanılan hareketler kümesi

s_k : k.iterasyonda seçilen hareket

$s_k(x)$: s_k ’nın uygulanmasıyla elde edilen komşu çözüm

T : Tabu listesi

1. $x \in X$ olacak şekilde bir başlangıç çözümü seç ve en iyi çözüm olarak kabul et ($x^* = x$). İterasyon sayacını sıfırla ($k=0$) ve tabu listesini boşalt (T).
2. Tabu listesinde olmayan hareketlerin kümesi ($S(x) - T$) boş ise 4.adıma git. Aksi durumda, iterasyon sayacını arttır ve tabu listesinde olmayan hareketlerin en iyisini seç $s_k(x) = Optimum(S(x) - T)$.
3. $x = s_k(x)$ olarak ata. Eğer x 'in amaç fonksiyon değeri $c(x)$, x^* 'in amaç fonksiyon değerinden $c(x^*)$ daha iyiye (minimizasyon için $c(x) < c(x^*)$ ise) $x^* = x$ olacak şekilde optimal çözümü güncelle.
4. Eğer maksimum iterasyon sayısına ulaşıldıysa, optimal çözüm bulunduysa yada tabu olmayan hareketler kümesi boş ise araştırmayı durdur. Aksi durumda tabu listesini güncelle ve 2.adıma geri dön.

“Bu araştırma işleminin çekirdeği ikinci ve üçüncü adımlardır. En iyi kabul edilebilir hareket, mevcut çözümün komşuluğunda bulunan amaç değeri ve tabu sınırlamaları açısından en yüksek değerlendirme değerine sahip olan harekettir. Değerlendirme fonksiyonu, amaç fonksiyonunda en az kötüleşme veya en çok iyileşme sağlayan hareketi seçer. Tabu listesinde kabul edilen hareketlerin karakteristikleri depolanmakta ve bu karakteristikler sonraki iterasyonlarda tabu olacak (kaçınılacak) belirli hareketleri sınıflandırmak için kullanılmaktadır. Kötüleşme sağlayan hareketlerin kabul edilebilir olması nedeniyle daha önceden denenmiş olan çözümlere tekrar dönmek mümkün olabilmekte ve böylece bir döngü oluşabilmektedir. Tabu listesini kullanmanın amacı böyle bir döngünün oluşmasını önlemektir. Bu yüzden, görevi sadece tabu listesini kontrol etmek ve güncellemek olan bir yasaklama stratejisini kullanarak araştırmayı sınırlandırmak zorunludur (Karaboğa, 2004, s.51-52)”.

2.5.1.Tabu Arama Stratejileri

“TA algoritması, katı ve özel bir algoritma olmaktan ziyade genel bir yaklaşımdır. TA algoritması genellikle bir olası başlangıç çözümü ile araştırmaya başlar ve bu çözümü daha iyi bir çözüme dönüştürmek için ardışık hareketler gerçekleştirir (Glover, 1990; 1993)”. “Araştırma esnasında aşağıdaki stratejileri kullanmak suretiyle bölgesel optimadan kurtulmaya ve diğer bölgeleri araştırmaya çalışır (Karaboğa, 2004, s.53) :

1. Tabu listesine neyin girip girmeyeceğine karar veren yasaklama stratejisi,
2. Tabu listesinden neyin ne zaman çıkacağını kontrol eden serbest bırakma stratejisi,
3. Denenecek hareketlerin seçimi için yukarıdaki stratejiler arasında ilişkiyi kontrol eden kısa dönem stratejisi,
4. Algoritmanın çalışması esnasında üretilen belirli sayıdaki hareketlerin iyi özelliklerini kaydetmek suretiyle çalışan orta dönem öğrenme stratejisi
5. Tam tabu araştırma işlemi için belirli sayıda alternatif başlangıç çözümlerinin araştırılmasını mümkün kılmak amacıyla kullanılan uzun dönem stratejisi.

Yeni komşu çözümleri üretmek için kullanılacak bir hareket mekanizması tepe tırmanma algoritmasında olduğu gibi oluşturulmalıdır. Seçilen hareket mekanizmasının tabu araştırma algoritmasının performansına önemli ölçüde etkisi vardır. Çünkü, seçilecek hareketlerin üzerinde çalışılan probleme has kısıtlara uygun olması gerekir.

2.5.1.1. Yasaklama Stratejisi

“Bu stratejinin amaçlarından biri, belirli hareketleri yasaklayan (tabu) mekanizma oluşturmak, böylece çevrimi önlemek ve dolayısıyla yeni bölgelerin araştırılmasını sağlamaktır. Çevrimi önlemek, daha önce ziyaret edilmiş olan durumun tekrar ziyaret edilmemesini kontrol etmeyi gerektirir. Eğer son iterasyonda x' , x' ’den elde edilmiş ise çevrimden kaçmanın etkili yolu, x' durumundan x durumuna geriye dönüşe neden olacak harekette ısrar etmemektir. Ancak bu önlem çevrimin oluşmamasını garanti edemez. Bu önleme ilave olarak son $|T_s|$ iterasyon süresi boyunca ziyaret edilmiş herhangi bir durumu x' formuna döndürmeme de ısrarlı olunması gerekir (Karaboğa, 2004, s.54)”. $|T_s|$ tabu listesinin uzunluğunu ve tabu listesine giren bir hareketin kaç iterasyon boyunca listede kalacağını belirler.

2.5.1.2. Aspirasyon Kriteri ve Tabu Sınırlama

“Aspirasyon kriterleri, şayet bir hareket yeteri kadar iyi performansa sahipse ve çevrimi önlemek için de gerekli yeterliliği sağlıyorsa bu hareketin tabu durumunu ortadan kaldırmak için kullanılan ölçütlerdir. Tabu sınırlamaları ve aspirasyon kriteri araştırma işleminin sınırlandırılmasında ve araştırmaya kılavuzluk edilmesinde rol

oyunlar. Bir hareket tabu değilse veya tabu durumu aspirasyon kriteri vasıtasıyla ortadan kaldırılmışsa kabul edilebilir olarak değerlendirilir (Karaboğa, 2004, s.55-56)”.

“Aspirasyon kriteri, amaç fonksiyonuna $c(x)$ uygulanan bir aspirasyon fonksiyonunun $A(c(x))$ kullanımı vasıtasıyla kontrol edilir. Aspirasyon fonksiyonları zamandan bağımsız veya zaman bağımlı olabilir. Zamandan bağımsız bir aspirasyon fonksiyonu, uygulanan tabu bir hareket, şu ana kadar bulunan en iyi çözümden daha iyi amaç fonksiyon değerine sahip çözüm üretirse çevrime sebep olmaz. Bu durumda aspirasyon verilmesi gerekir (Karaboğa, 2004, s.56)”.

2.5.1.3. Orta ve Uzun Dönem Öğrenme Stratejileri

“Bu stratejiler orta ve uzun dönem hafıza fonksiyonları kullanılarak gerçekleştirilirler. Orta dönem hafıza fonksiyonu, algoritmanın çalışması esnasında üretilen belirli sayıdaki hareketlerin iyi özelliklerini (iyi çözümlerin bölgesel özellikleri gibi) kaydetmek suretiyle çalışır ve bir öğrenme stratejisi olarak görülebilir. Çünkü, daha önce kaydedilen çözümlere benzer özellikleri bulunduran yeni çözümleri araştırır. Strateji, araştırma esnasında karşılaşılan arzu edilen özelliklere sahip olmayan hareketlerin sınırlandırılması veya cezalandırılması ile gerçekleştirilir (Karaboğa, 2004, s.56)”.

“Uzun dönem hafıza fonksiyonu, tam tabu araştırma işlemi için belirli sayıda alternatif başlangıç çözümlerinin araştırılmasını mümkün kılmak amacıyla daha önce seçilmiş olan çözümlere yakın olmayan başlangıç çözümlerinin seçimi teşvik edilerek oluşturulur. Bu, aynı zamanda araştırma işleminin uygulanacağı bölgelere doğru yönelmeyi sağlamanın zeki bir yolu olarak görülebilir (Karaboğa, 2004, s.57)”.

2.5.1.4. Serbest Bırakma Stratejisi

“Serbest bırakma stratejisi, tabu listesinden neyin çıkması gerektiğinin kontrolü ile ilgilidir. Bu strateji daha sonraki zamanlarda gerçekleştirilecek araştırmada bazı tabu çözümlerin düşünülebilmesi amacıyla bu çözümlerin tabu sınırlamalarını kaldırır. Bir tabu hareketin özellikleri $|T_s|$ iterasyon süresince tabu listesinde kalır. Özelliklerin süresi bitmişse o zaman bu strateji vasıtasıyla tabu durumundan çıkartılır (Karaboğa, 2004, s.57)”.

2.5.1.5. Kısa Dönem Hafıza Stratejisi

“Kısa dönem hafıza stratejisi, tabu araştırma algoritmasının özüdür ve yukarıda bahsedilen farklı stratejiler arasındaki ilişkiyi kontrol eden geniş kapsamlı bir stratejidir. Bu strateji aşağıdaki gibi iki temel adımı içermektedir (Karaboğa, 2004, s.57)”.

1. Kabul edilebilir adaylar listesindeki en iyi hareketin seçimi,
2. Kabul edilebilirlik şartlarının yenilenmesi.

2.5.1.5.1. En iyi Hareketi Seçme Stratejisi

“En iyi hareketi seçme stratejisi, tabu sınırlamalarının ve aspirasyon kriterinin sağlanması şartıyla, amaç fonksiyonda en büyük gelişmeyi veya en az kötüleşmeyi sağlayan mevcut çözümden elde edilecek kabul edilebilir hareketi seçer. Bu agresif kriter, daha yüksek değerlendirmelere sahip hareketlerin büyük ihtimalle birkaç adımda iyi bir çözüme veya yakın optimal çözüme sebep olacağı kabulüne dayanır. Tabu sınırlama ve aspirasyon seviyesi arasındaki ilişki şu şekilde ifade edilebilir: Bir hareket, aspirasyon kriterini sağlarsa bu hareketin tabu olup olmamasına bakılmaksızın kabul edilebilir; eğer bu kriteri sağlamazsa ve tabu değilse kabul edilebilir (Karaboğa, 2004, s.58)”.

2.5.1.5.2. İlk ve En İyi Gelişimi Seçme Stratejisi

“Bu stratejide, amaç değeri bakımından mevcut çözümü iyileştiren ilk aday hareket kabul edilir. Bundan dolayı açgözlü (greedy) bir yaklaşım kullanıldığı söylenebilir. Eğer hiçbir aday hareket gelişim sağlamıyorsa, mevcut çözümü en az kötüleştiren hareket seçilir. Yani bu durumda strateji en iyi hareketi seçme stratejisine benzerdir (Karaboğa, 2004, s.59)”.

2.6. Tavlama Benzetimi (Simulated Annealing)

Tavlama benzetimi – TB (Simulated Annealing – SA) algoritması orijini doğal ısı işleminden almaktadır. Bu algoritmanın optimizasyon problemlerine uygulaması ile ilgili çalışmalar, 1983 yılında Kirkpatrick ve diğ. tarafından yapılan bir araştırma ile başladı. “Algoritma metallerin ısı işlemi ile bir optimizasyon problemine çözüm araştırma olayları arasındaki benzerlikten ilham alınarak ortaya konulmuştur. Isıl işlem bir katının sıcaklığının belirli bir maksimum dereceye kadar artırılarak tekrar

azaltılması işlemini tanımlar. Maksimum sıcaklıkta kristalin tüm molekülleri, kendilerini rasgele olarak sıvı faza ayarlar. Sonra erimiş kristalin sıcaklığı kristal yapı soğutuluncaya kadar düşürülür. Soğuma uygun şekilde yapılırsa kristal yapı çok düzenli olur, yani süper kafes yapısı elde edilir. Soğutma işlemi, dış sıcaklığı ani olarak sıfıra düşürmek suretiyle yapılırsa kristal yapıda geniş dağılımlı düzensizlikler ve yapısal bozukluklar meydana gelir. Yani kafes yapısında düzensizlikler oluşur ve süper kafes meydana gelmez. Bu olay hızlı soğutma (quenching) olarak tanımlanır (Karaboğa, 2004, s.27)”.

“Optimizasyon problemi ile ısı işlem arasındaki analogide, katının durumları optimizasyon probleminin muhtemel çözümlerine ve durumların enerjileri de çözümlere ait amaç fonksiyon değerlerine karşılık gelmektedir. Hızlı soğutma işlemi, en dik iniş prensibi vasıtasıyla yapılan bölgesel optimizasyon işlemine benzer olarak değerlendirilebilir. Dış sıcaklık sıfır olduğunda daha yüksek enerjili bir duruma geçiş mümkün olmaz. Böylece bölgesel optimizasyondaki gibi yukarı doğru olan hareketler yasaklanır ve araştırma bir bölgesel minimuma takılı kalır. Pratikte kristaller büyürken kötü bölgesel optimaler dikkatli bir ısı işlem ile önlenir. Bu işlemde sıcaklık (T), çeşitli seviyeler boyunca yavaşça düşürülür. Her sıcaklık seviyesi erimiş olan kristalin bu sıcaklıkta dengeye erişmesi için belirli bir süre sabit tutulur. Sıcaklık sıfır olmadığı müddetçe yukarıya doğru olan hareketlerin meydana gelmesi mümkündür. Mevcut enerji seviyesinden uzaklaşmamayı sağlamak için mevcut sıcaklığı belirli bir süre muhafaza etmek suretiyle ve ground duruma oldukça yaklaşıncaya kadar bu işlemlerin tekrarlanmasıyla bölgesel optimalden kaçış gerçekleştirilebilir (Karaboğa, 2004, s.28)”.

Güvenilir sezgisel bir araştırma algoritması başlangıç noktasına bağımlılığı az olan algoritmadır. Amaç, sonunda bir minimum bulunmasını sağlamaktır. Bu yüzden yukarı doğru olan hareketlerin kabulü belirli bir kontrol stratejisi ile yapılmalıdır. Tavlama benzetimi algoritmasında bu şekildeki hareketlerin kabul edilme sıklığı araştırma ilerledikçe değişen olasılık tabanlı fonksiyon ile kontrol edilir. Bu kontrol işlemini tanımlamada Kirkpatrick ve diğerlerine ilham kaynağı olan fikir, Metropolis ve diğerlerinin istatistiksel termodinamik ile ilgili yapmış olduğu bir çalışmadan çıkmıştır. Termodinamik kanunları, T sıcaklığında enerjide δE genlikli bir artışın olma olasılığını

$$p(\delta E) = \exp\left(-\frac{\delta E}{kT}\right) \quad (2.17)$$

ifadesi ile tanımlanmaktadır; burada k Boltzman sabiti ($1,38 \times 10^{-23}$ j/k) olarak bilinen bir fiziksel sabittir. Metropolis ve diğ., sabit T sıcaklık değeri için bir kristalin termal dengeye erişiminin benzetimini yapmak amacıyla Monte-Carlo metodunu geliştirmişlerdir. Bu benzetim mevcut durumda bir pertürbasyon (bozulma) oluşturmakta ve bu değişimden dolayı ortaya çıkan enerji değişimini hesaplamaktadır. Şayet enerji azalmışsa sistem bu yeni duruma kaymaktadır. Enerji artmışsa yeni durum yukarıda verilen olasılığa göre kabul edilmektedir (Metropolis ve diğ., 1953).

“Kısaca yukarıda açıklandığı gibi metot, bir dizi kristal durumlar üretmektedir. Kristalin mevcut durumu (S) verildikten sonra (moleküllerin pozisyonlarıyla karakterize edilmektedir) rasgele seçilmiş bir molekülün yer değiştirmesiyle kristalin durumunda küçük bir bozulma sağlanır. Mevcut durum (S) ile yeni üretilmiş durumun (S') enerji seviyeleri arasındaki fark (δE) negatif ise yeni durum daha düşük enerji seviyesinde demektir ve S' yeni durum olarak kabul edilir. S' kabul edildikten sonra işleme bu durumdan devam edilir. $\delta E \geq 0$ olduğunda uniform dağılımdan rasgele bir sayı $\theta \in [0, 1]$ üretilir ve bu sayı denklem 2.17 ile tanımlı olasılık değerinden küçük ($\theta \leq e^{-\delta E/T}$) ise o zaman S' yeni durum olarak kabul edilir. Yoksa mevcut (S) yeni çözüm olarak saklanır. Bu kabul etme kuralı, Metropolis kriteri olarak adlandırılır. Böylece tavlama benzetimi algoritması ismi, benzetim tekniklerinin ısı işlem ile birlikte kullanılmasına karşılık gelmektedir (Aarts ve Korst, 1988'e atfen Karaboğa, 2004, s.29)”.

“Herhangi bir optimizasyon algoritması, komşuluğu rasgele örnekleme yaparak yeni çözümler üretmek ve bu çözümlerden kötü olanları bile denklem 2.17 ile tanımlı kabul kriterine göre kabul etmek suretiyle tavlama benzetimi algoritmasına dönüştürülebilir. Tavlama benzetimi algoritması, özel algoritma olmaktan daha ziyade bir yaklaşımdır. Bundan dolayı optimizasyon problemlerine uygulama aşamasında çeşitli seçeneklerle ilgili kararlar alınmalıdır. Bu seçenekler iki gruba ayrılabilir: Probleme bağlı yani probleme özel seçenekler ve algoritmanın kendisi ile ilgili seçenekler (Karaboğa, 2004, s.29)”.

2.6.1. Probleme Özel Seçenekler

“Seçeneklerin bir kısmı çözmeye çalıştığımız optimizasyon problemi ile ilgilidir. Bu seçeneklerin tanımlarını değiştirmek suretiyle optimizasyon algoritmasından daha iyi performans elde edilebilir. Probleme bağlı seçenekler aşağıdaki gibi özetlenebilir (Karaboğa, 2004, s.29-30)”:

1. Tüm muhtemel çözümler uzayını tanımlayabilecek şekilde çözümler için uygun bir gösterim (representation) yönteminin seçilmesi, minimize yada maksimize edilecek amaç fonksiyonun tanımlanması ve bir başlangıç çözümün üretilmesi.
2. Komşu çözümlerin üretilmesini sağlayan komşu üretme mekanizmasının tanımlanması (algoritmanın verimliliği kullanılan komşuluk yapısına oldukça bağlıdır ve bu teorik olarak ispatlanmıştır).
3. Hareket seçimleri için uygun stratejilerin tanımlanması (araştırma süresi önemli ve çözümlerin değerlendirilmesi maliyetli ise alternatif çözümlerin amaç değerlerindeki değişimi hızlıca hesaplamak amacıyla kolay ve verimli bir metodun geliştirilmesi).

2.6.2. Algoritmanın Kendisine Ait Seçenekler

“Genel seçenekler soğutma stratejisinin elemanlarını tanımlar. Bir soğutma tarifesi aşağıdaki sorulara belirgin cevaplar vermelidir (Karaboğa, 2004, s.30)”:

1. Sıcaklık parametresi T için uygun bir başlangıç değerinin tayin edilmesi.
2. Soğutma oranı ve sıcaklık değiştirme kuralının tanımlanması.
3. Her sıcaklıkta gerçekleştirilecek iterasyon sayısının belirlenmesi.
4. Araştırmanın durdurulması için durdurma kriterinin tayin edilmesi.

Tavlama benzetimi algoritmasının performansı önemli ölçüde seçilen soğutma tarifesine bağlıdır. Uygun bir soğutma tarifesi ile çoğu optimizasyon problemi için optimale yakın çözümler elde edilebilir. Literatürde, araştırmacılar tarafından önerilmiş çok sayıda teorik ve pratik soğutma tarifeleri mevcuttur.

2.6.2.1. Teorik Soğutma Tarifeleri

“Bu tip soğutma stratejileri tavlama benzetimi algoritmasının, 1.0’e eşit olasılıkla küresel optimal çözümlere yakınsamasını sağlar. Tavlama benzetimi algoritması sıcaklık parametresi T ve geçiş matrisi p_{ij} ’ye göre, Markov zincirleri teorisi kullanılarak modellenmektedir. Bir geçiş matrisi p_{ij} , i .çözüm durumundan j .çözüm durumuna geçiş olasılığını temsil etmektedir. Bu tür modellemede iki farklı formülasyon ortaya çıkmıştır (Karaboğa, 2004, s.30)” :

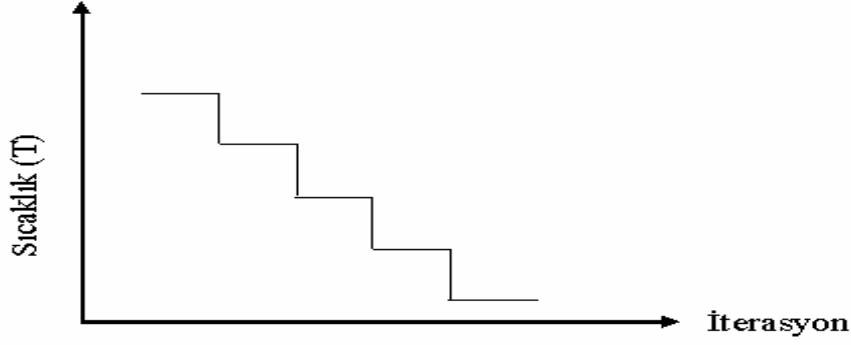
1. “Homojen algoritma: Bu algoritmada sıcaklık, sıfıra erişinceye kadar sonsuz kademeler dizisi şeklinde azaltılır. Bir kademe normal olarak sıcaklığın sabit tutulduğu bir Markov zinciri olarak tanımlanır. Markov zincir uzunluğu L (sıcaklık süresi), verilen bir sıcaklık değerinde gerçekleştirilecek iterasyon hareketlerinin sayısına eşittir (Aarts ve diğ., 1985’e atfen Karaboğa, 2004, s.30)”.
2. “Heterojen algoritma: Bu algoritmada da yine sıcaklık, sonsuz kademeler dizisi ile sıfıra doğru azaltılır. Bununla birlikte her bir kademe sadece tek bir iterasyon hareketini temsil eder. Yani, her bir sıcaklıkta bir iterasyon gerçekleştirilir. Geçiş olasılıkları sadece iterasyon sayısına bağlıdır (Karaboğa, 2004, s.30-31)”.

2.6.2.2. Basit Soğutma Stratejileri

“Teorik soğutma tarifelerine ek olarak pratik ve basit soğutma tarifeleri mevcuttur. Bu tarifeler pratikte, tamamen teorik prensiplere dayalı olan tekniklere göre daha başarılı neticeler üretmektedir (Karaboğa, 2004, s.31)”.

2.6.2.2.1. Basamak Tipli Sıcaklık Düşürme Stratejisi

“Bu kategori, belirli bazı kurallara göre sıcaklığı bir kademe düşürmeden önce verilen sıcaklık değerinde sabit bir Markov zincir uzunluğunun (L) uygulandığı uygulamaları içerir. Sıcaklığın azaltılma formu şekil 2.45’de gösterilmektedir. Bu kategoride iki tür tarife vardır: Basit soğutma tarifeleri ve teorik yaklaşım tabanlı tarifeler (Karaboğa, 2004, s.31)”.



Şekil 2.45: Basamak Tipi Soğutma Stratejisi

Kaynak: Karaboğa, 2004, s.32.

2.6.2.2.1.1. Basit Basamak Tipli Soğutma Tarifeleri

Kirkpatrick ve diğ. (1983) başlangıç sıcaklığı T_s 'nin değerini seçmek için basit bir kural kullanmışlardır. Başlangıçta T_s için büyük bir değer alınmakta ve sonra T_s 'nin bu değerinde, kabul edilen hareketlerin sayısının teşebbüs edilen hareketlerin sayısına oranını bulmak için birkaç yüz hareket gerçekleştirilmektedir. Eğer bu oran daha önceden verilmiş bir kabul oranından (örneğin: 0,8) daha düşükse başlangıç sıcaklık değeri iki katına çıkartılmaktadır.

“Bonomi ve diğ. (1984), durdurma kriteri olarak algoritmada sabit sayıda sıcaklık düşürme kademesi kullanmıştır(Karaboğa, 2004, s.32)”. Kirkpatrick ve diğerlerinin (1983) kullandıkları durdurma kriteri ise çözüm değişimlerine dayalıdır. Belirli sayıdaki ardışık Markov zincirler uzunluğu için son çözümler birbirine benzer ise algoritma durdurulmaktadır.

Azalma oranı değeri ardışık Markov zincir uzunlukları (L) yeterince küçük ama sıcaklığı değiştirmeden önce yarı-dengeyi başarabilecek kadar da uzun olacak şekilde seçilmelidir. Genellikle geometrik soğutma kuralı kullanılmaktadır. Bu kural, sıcaklığı

$$T_{k+1} = r T_k \quad (2.18)$$

formülüne göre değiştirir. Burada r sıcaklık faktörüdür. r birden küçük ama bire yakın ve genellikle 0,50-0,99 arasında değer alan bir parametredir. Kirkpatrick ve diğ. bu kuralı $r=0,90$ ve sıcaklık süresi $L=n$ olarak kullanmıştır (n problemdeki

değişkenlerin sayısına eşittir). Bu kural Johnson ve diğ. (1989) tarafından ve Bonomi ve diğ. tarafından da kullanılmıştır.

2.6.2.2.1.2. Teorik Yaklaşımla Elde Edilen Basamak Tipli Soğutma Tarifeleri

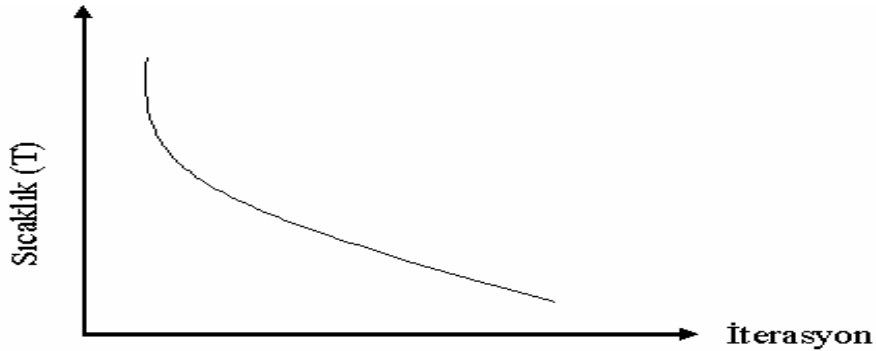
“Başlangıç sıcaklık değeri T_s , optimizasyon işlemi başlamadan önce belirli sayıdaki hareketler boyunca sistemin gelişimi gözetlenmek suretiyle elde edilir (Aarts ve diğ., 1985’e atfen Karaboğa, 2004 , s. 33)”. “Sıcaklığın azaltılma miktarları küçük seçilir ve böylece sıcaklığın her yeni değerinde denge oluşturmak için uzun Markov zinciri kullanma gerekliliği ortadan kaldırılır. L 'nin değeri herhangi bir durum komşuluğunun maksimum büyüklüğüne eşit olarak alınır. Her bir Markov zinciri gerçekleştirildikten sonra amaç fonksiyonun o sıcaklıktaki ortalama ve standart sapması $\sigma(T_k)$ hesaplanır. Yeni sıcaklık

$$T_{k+1} = T_k [1 + \{\ln(1 + \delta) T_k / \{\sigma(T_k)\}]^{-1} \quad (2.19)$$

formülü ile hesaplanır. Burada δ , başlangıçta belirlenmiş küçük bir azaltma oranıdır. Durdurma kriteri, optimizasyon işlemi esnasında belirli sayıdaki Markov zincirleri üzerinde amaç fonksiyonun ortalama değerinin azalmasına bağlıdır (Karaboğa, 2004, s.33)”.

2.6.2.2.2. Sürekli Sıcaklık Düşürme Stratejileri

“Bu kategori her sıcaklık değerinde sadece bir hareketin yapıldığı soğutma tarifelerini içerir. Sıcaklık, her iterasyondan sonra düşürülür, yani bir kurala göre sürekli olarak azaltılır. Bu soğutma tarifesinde sıcaklığın değişimi şekil 2.46’da gösterilmektedir (Karaboğa, 2004, s.33)”.



Şekil 2.46: Sürekli Sıcaklık Düşürme Stratejisi

Kaynak: Karaboğa, 2004, s.34.

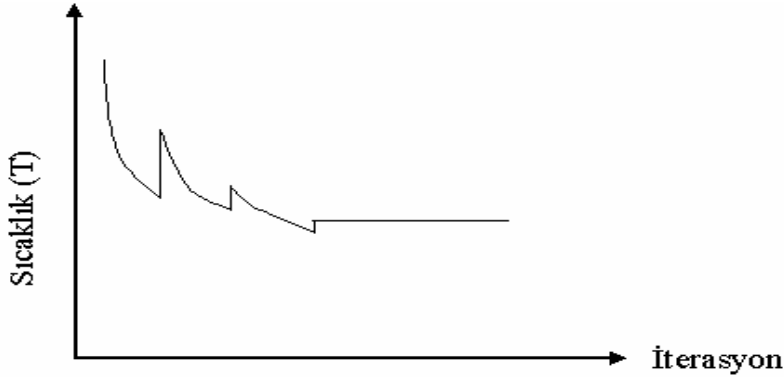
“Lundy ve diğerlerinin (1986) kullandığı soğutma tarifesini, tavlama benzetimi algoritmasının asimtotik yakınsama özelliklerine dayanır. T'nin başlangıç değeri $T_s \gg U$ olacak şekilde seçilmesi gerekmektedir. U, komşu çözümler arasında amaç fonksiyonu açısından maksimum değişimle ilgili üst sınırdır. Bu stratejide sıcaklık her iterasyonda sabit bir azalma oranı $\beta \ll 1/U$ kullanılarak ardışık şekilde daha küçük miktarlarda düşürülür. Yani, sıcaklık her iterasyon (k) sonunda

$$T_{k+1} = T_k(1 + \beta T_k)^{-1} \quad (2.20)$$

kuralına göre yenilenir (Karaboğa, 2004, s.33)”.

2.6.2.2.3. Monoton Olmayan Sıcaklık Düşürme Stratejileri

“Monoton olmayan sıcaklık azaltma stratejileri, teşebbüs edilen her iç değişimden sonra (sıcaklıkta ara sıra karşılaşılan artışlardan sonra) sıcaklığı yavaş yavaş azaltmaktadır. Komşuluğun tamamen araştırılması sonucunda herhangi bir hareket kabul edilmez ise sıcaklıkta bir artış meydana getirilir. Bunun anlamı sıcaklığın daha fazla düşürülmesinin etkili olmadığıdır. Bu strateji şekil 2.47’de gösterilmektedir (Karaboğa, 2004, s.35)”.



Şekil 2.47: Monoton Olmayan Sıcaklık Düşürme Stratejisi

Kaynak: Karaboğa, 2004, s.35.

“Bu strateji, daha önce bahsedilen stratejilerin dezavantajlarını yok etmek için Osman (1991) tarafından geliştirilmiştir. Önceki stratejilerin dezavantajlarından biri, komşuluk genellikle rasgele alternatif çözümler üretmek için araştırılmakta ve sıcaklığın düşük değerlerinde, mevcut çözümden daha kötü çözümlerin kabul edilebilirlik olasılığı çok azalmaktadır. Eğer gelişmiş amaç değerleri veren sadece birkaç komşu çözüm

varsa, daha önce belirtilen stratejiler bunları bulmak için oldukça uzun zaman harcayabilir veya bunları kaçırabilir. Bu yüzden sistematik olarak komşuluğun araştırılması tercih edilmektedir. Bu gözlem Johnson ve diğ. (1989) tarafından da desteklenmektedir (Karaboğa, 2004, s.35)”.

2.6.3. Tavlama Benzetimi Algoritmasının Temel Adımları

“Standart bir tavlama benzetimi algoritmasının temel adımları aşağıda verilmiştir (Karaboğa, 2004, s.37)” :

Adım 1. Sezgisel olarak veya rasgele bir başlangıç çözümü x üret. Sıcaklık T için bir başlangıç değeri T_s belirle ve durdurma kriteri gibi diğer parametreleri belirle.

Adım 2. Komşu bir çözüm $x' \in S(x)$ üret ve bu üretilen çözümle x çözümünün amaç değerleri arasındaki farkı $\Delta = c(x') - c(x)$ hesapla.

Adım 3. Eğer

- i. x' , x 'den daha iyi (yani minimizasyon için $\Delta < 0$, maksimizasyon için $\Delta > 0$) ise veya
- ii. x' , x 'den daha kötü ama mevcut sıcaklık T 'de $e^{-\Delta/T} > \theta$ ile (burada θ , $0 < \theta < 1$ olacak şekilde rasgele üretilmiş bir sayıdır) kabul edilmiş ise

O zaman x çözümünü x' çözümü ile yer değiştir. Yoksa, x 'i mevcut çözüm olarak muhafaza et.

Adım 4. Belirli bir kurallar setine göre T sıcaklığını değiştir. Bu,

- i. Kullanılan soğutma tarifesine göre,
- ii. Üçüncü adımda üretilen çözümlerde herhangi bir gelişme olup olmadığına göre,
- iii. x çözümüne ait komşuluğun tamamen araştırılıp araştırılmadığına göre veya başka kriterlere göre belirlenmiş kurallar olabilir.

Adım 5. Durdurma kriteri sağlanıyorsa araştırmayı durdur, yoksa 2.adıma geri git.

2.6.4. Tasarım Parametreleri

“Sonuç olarak bir tavlama benzetimi algoritmasının gerçekleştirilmesinde aşağıdaki adımların yerine getirilmesi gerekir (Karaboğa, 2004, s.38)”:

1. Başlangıç çözümünün üretilmesi için bir metodun bulunması,
2. Komşu üretme mekanizmasının tanımlanması,
3. Komşuluğun nasıl araştırılacağına tanımlanması,
4. Soğutma tarifesinin tanımlanması.

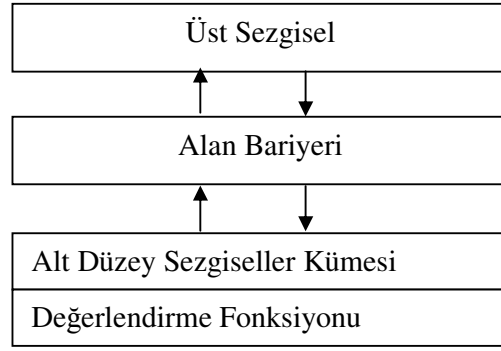
“Tavlama benzetimi algoritmasının performansı, önemli derecede seçilen soğutma stratejisine bağlıdır ve bunun gerçekleştirilmesi için aşağıdaki parametrelerin tanımlanması gerekir (Karaboğa, 2004, s.38)”:

1. Kontrol parametresi T 'nin başlangıç değeri olan T_s için bir değer atanması,
2. Sıcaklığın azaltılmasını sağlayan fonksiyonun tanımlanması,
3. Her sıcaklık kademesinde icra edilecek olan iterasyon sayısının belirlenmesi,
4. Araştırmanın sonlandırılması için bir kriterin tanımlanması.

2.7. Üst Sezgiseller

“Üst sezgiseller sezgiselleri seçen sezgiseller olarak tanımlanabilir. Üst sezgiseller çözüm uzayını sezgiselleri yöneterek endirekt araştırırlar (Bai ve diğ., 2006, s.346)”. “Bir üst sezgisel bir dizi alan bağımlı sezgisel yada komşuluk fonksiyonu kullanırlar ve yerel arama esnasında farklı durumlar ve problem örneklerine adaptasyon için tercihlerini stratejik olarak değiştirirler (Burke ve diğ., 2003b)”.

“Şekil 2.48, alt seviye sezgiseller ile üst sezgisel arasında bir bariyer göstermektedir. Alana ilişkin bilgiler bu bariyeri geçemez. Bu nedenle, üst sezgisel yönettiği alana ilişkin herhangi bir bilgiye sahip değildir. Üst sezgisel sadece n adet alt düzey sezgiseli ve değerlendirme fonksiyonu tarafından değerlendirilen sonuçları bilir (Burke ve diğ., 2003b, s.14)”.



Şekil 2.48: Bir Üst Sezgiselin Yapısı.

Kaynak: Burke ve diğ., 2003b, s.14.

“Üst sezgisel ile alt sezgiseller arasındaki ara birim iyi tanımlanmalıdır. İki katmanlı yapının nedeni (Burke ve diğ., 2003b, s.15)”:

1. Bu üst sezgiselin alt düzey sezgisellerle standart ara birimi kullanarak yada her sezgisel için ayrı bir ara birim kullanarak iletişim kurmasını sağlar. Ayrıca, her alt sezgiselle üst sezgisel arasında alanla ilgili olmayan bilgilerin iletilmesini sağlar.
2. Bu diğer alanlar için hızlı gelişim sağlar. Yeni bir problem oluşturulduğunda, kullanıcı bir dizi alt düzey sezgisele ve uygun bir değerlendirme fonksiyonuna sahip olur. Kullanıcı alt düzey sezgiselleri ve değerlendirme fonksiyonunun yardımıyla problemi kolayca çözmeye başlayabilir. Bu, bir üst sezgiselin bir meta sezgiselden daha üst düzeyde soyutlanmasını amaçlar.

“Bu çerçevede üst sezgiselin erişebildiği bilgi, tüm problem türleri için ortak olan ve kendi iç durumunun bir parçası olarak kaydedilen verilerdir. Örneğin: Üst sezgisel aşağıdaki bilgileri depolayabilir (Burke ve diğ., 2003b, s.16)”:

- Belirli bir sezgisel son çağrıldığında ne kadar süre CPU kullanmıştır?
- Bir sezgisel ne zamandan beri çağrılmamıştır.
- Bir sezgisel çağrıldığında değerlendirme fonksiyonu değişmiş midir?

“Üst sezgisel kendi iç durumunu kullanarak sonraki adımda hangi sezgiseli çağıracağına karar verir. Üst sezgiselin sonraki adımda kullanacağı sezgiseli seçmesi için çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu yöntemlerden bazıları (Özcan ve diğ., 2008, s.4)”:

Basit Rasgele (Simple Random - SR): Bir sezgiseli uniform olasılık dağılımına göre rasgele seçer.

Rasgele İniş (Random Descent - RD): Alt düzey bir sezgiseli rasgele seçer ve gelişim sağladığı sürece kullanır. Gelişim sağlanamadığında tekrar rasgele bir sezgisel seçilir.

Rasgele Permütasyon (Random Permutation - RP): Alt düzey sezgiseller için rasgele bir başlangıç permütasyonu oluşturur ve her adımda bir sonraki sezgiseli bu permütasyona göre çağırır.

Rasgele Permütasyon İniş (Random Permutation Descent - RPD): Rasgele permütasyon yöntemine benzer. Ancak alt düzey sezgiselleri sonuçları geliştirdikleri sürece uygular.

Açgöz (Greedy - GR): Tüm sezgiseller kendi aday çözümlerini üretir ve en iyi aday çözüm kabul edilir.

Seçim Fonksiyonu (Choise Function - CF): Her alt seviye sezgiselin ve sezgisel çiftlerinin performanslarını analiz eder. Bu analiz kalite geliştirme, çalışma zamanı ve genel performansa dayalıdır. “Analiz aşağıdaki formüle göre yapılır (Burke ve diğ., 2003b, s.17)”:

$$f(H_k) = \alpha \cdot f_1(H_k) + \beta \cdot f_2(H_j, H_k) + \delta \cdot f_3(H_k) \quad (2.21)$$

H_k : k. sezgisel,

$f_1(H_k)$: H_k sezgiselinin son performansı,

$f_2(H_j, H_k)$: H_j, H_k sezgisel çiftinin son performansı,

$f_3(H_k)$: H_k için harcanan süre.

$f(H_k)$ değeri en yüksek olan sezgisel bir sonraki adım için seçilir. α, β ve δ $f_1(H_k), f_2(H_j, H_k)$ ve $f_3(H_k)$ 'ün önem düzeyine göre belirlenen ağırlıklardır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

UYGUN YÖNTEMLERİN BELİRLENMESİ, BU YÖNTEMLERİ KULLANARAK DERS VE SINAV PROGRAMLARINI OTOMATİK ÇİZELGELEYEN BİR BİLGİSAYAR YAZILIMININ GELİŞTİRİLMESİ

Bu bölüm, araştırmaya ilişkin amaçlar, kısıtlar, verilerin toplanması gibi konular ile problemin modellenmesi, modelin çözümü için kullanılan yöntemler, yöntemlere ilişkin parametre ve bileşenlerin seçilmesi, deneysel çalışma ve araştırma bulgularını içermektedir.

Öncelikle araştırmanın amacı, verilerin toplanma metodu, problemin kısıtlarının tanıtılmasına yer verilmiş, ardından belirlenen amaca ve problemin yapısına uygun olarak modelleme çalışması yapılmıştır. Daha sonra bu modelin uygulanacağı bir bilgisayar yazılımı tasarlanmıştır. Bilgisayar yazılımı, üç ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm modelin gerektirdiği verilerin girilmesini, modelin çözümü için gerekli algoritmaların çalıştırılmasını ve sonuçların raporlanmasını sağlayan kullanıcı ara birimidir. İkinci bölüm, model için girilen ve algoritmalar tarafından işlenen verilerin depolanacağı veri tabanıdır. Son bölüm ise veri tabanından aldığı bilgilerle matematiksel modelin çözümü için uygun sezgisel problem çözücüdür. Algoritmaya ilişkin alınması gerekli çeşitli kararlar ve parametreler için deneysel çalışmalar tasarlanmış ve deney sonuçları sunulmuştur.

3.1 Araştırmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, ders ve sınav programları için matematiksel birer model geliştirilmesi ve bu modellerin uygun bir yöntemle çözümünü sağlayan bir bilgisayar yazılımı geliştirmektir.

Bu genel amacın yanında, kullanılan algoritmalar için uygun operatörlerin seçilmesi, uygun parametrelerin belirlenmesi, farklı algoritmaların bir arada kullanılması ve bu melez yaklaşımların performanslarının değerlendirilmesi ile en uygun melez yaklaşımın seçilmesi gibi alt amaçlarda mevcuttur.

3.2. Verilerin Toplanması

Bu çalışmada, Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi'nde gerekli izinler alınarak; 2007-2008 eğitim-öğretim yılı güz ve bahar yarıyıllarında ders ve sınav programları için kullanılan veriler (dersler ve öğrenci mevcutları, derslerin şubelere ayrılıp ayrılmayacağı, özel derslik gerektirip gerektirmediği, dersleri veren öğretim elemanları, öğretim elemanlarının oturum ve derslik tercihleri, dersliklerin sayısı ve kapasiteleri, probleme ilişkin kısıtlamalar vb.) öğrenci işleri şefliğinden alınmıştır.

3.3. Problemin Tanımı

Bu araştırmada eğitimsel zaman çizelgeleme problemlerinden iki farklı gerçek hayat problemi ele alınmıştır. Bunlardan ilki ders çizelgeleme, ikincisi ise sınav çizelgeleme problemleridir.

Araştırma, Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi'nde gerçekleştirildiğinden, gerekli veriler ve probleme ilişkin kısıtlamalar bu kuruma özeldir. Ancak ders ve sınav çizelgelemenin katı (hard) kısıtları tüm eğitim kuruluşları için benzerdir, yumuşak kısıtlar ise genellikle benzerlik göstermelerine karşın, kısmî farklılıklar olabilir.

3.3.1. Ders Çizelgeleme Probleminin Tanımı ve Kısıtları

Bir ders çizelgesinde, ders aktivitelerinin derslik ve oturumlara atanması gerekir. Ancak bu atama yapılırken katı kısıtların kesinlikle karşılanması, yumuşak kısıtların ise mümkün olduğunca karşılanması gerekir. Ele aldığımız probleme ilişkin katı kısıtlar aşağıda sıralanmıştır:

K.1. Bir öğretim elemanının verdiği derslerin aynı oturuma atanmaması gerekir (öğretim elemanlarının derslerinin çakışması).

K.2. Bir öğrenci grubunun (Örneğin: İşletme bölümü-1.sınıf gibi) şubelere ayrılan dersler hariç alacağı derslerin aynı oturuma atanmaması gerekir. Öğretim elemanları farklı olan iki farklı şubenin dersi aynı oturuma atanabilmelidir.

K.3. Bir dersliğe aynı oturumda birden fazla ders atanmaması gerekir.

K.4. Standart dersliklerin yanı sıra özel amaçlar için tasarlanmış derslikler de mevcuttur. Bazı dersler için standart derslikler yeterli olurken, bazı dersler için özel derslikler tercih edilmektedir. Fakültede dört farklı derslik türü mevcuttur: Standart derslikler, amfiler, projeksiyonlu derslikler, bilgisayar laboratuvarları. Her derslik türü için herhangi bir oturuma atanan derslerin sayısı, bu türdeki derslik sayısını aşmamalıdır.

Probleme ilişkin yumuşak kısıtlar ise :

Y.1. Oturumlara atamalarda, öğretim elemanlarının tercihleri mümkün olduğunca yerine getirilmelidir. Öğretim elemanlarının dersleri mümkün olduğunca istediği gün ve saatlere atanmaya çalışılmalı, istemediği gün ve saatlere ise atanmamalıdır.

Y.2. Derslik atamalarında da benzer şekilde, öğretim elemanlarının tercihleri mümkün olduğu kadar yerine getirilmelidir.

Y.3. Dersleri alan öğrenci sayıları dersliklerin kapasitesini mümkünse aşmamalı, mümkün değilse en az ölçüde aşmalıdır.

Y.4. Şubelere ayrılan dersler aynı öğretim elemanı tarafından veriliyorsa, aksi belirtilmemişse mümkün olduğu ölçüde aynı güne ardışık olarak atanmaya çalışılmalıdır.

Kısıtlamalardan anlaşıldığı gibi katı kısıtlar gerçekten de yerine getirilmediği takdirde geçerli bir çizelge oluşturulamaz. Çünkü söz konusu kısıtlar fiziki açıdan kaynakların kullanımına ilişkin kısıtlardır. Yumuşak kısıtlar ise, daha ziyade oluşturulan çizelgenin kalitesi ile ilgilidir. Örneğin: Öğretim elemanları istemedikleri oturumlara veya dersliklere atanırlarsa çizelgeden hoşnut olmazlar. Benzer şekilde dersi alan öğrenci sayıları atandıkları dersliğin kapasitesinin çok üstünde olursa, dersin verimli bir şekilde yapılabilmesi mümkün olmaz ve hem öğretim elemanı, hem de öğrenciler bu durumdan rahatsız olurlar. Şubelere ayrılan derslerin aynı gün olması öğretim elemanının ders dışı zamanlarını arttırmak, akademik faaliyetleri için daha fazla zaman ayırabilmelerini sağlamaktır.

3.3.2. Sınav Çizelgeleme Probleminin Tanımı ve Kısıtları

Sınav Çizelgeleme problemi, ders çizelgeleme probleminde olduğu gibi bir zaman çizelgeleme probleminin temel unsurlarına ve kısıtlarına sahiptir. İki problem yapısal olarak birbirine benzer olmakla beraber yerine getirilmesi gereken kısıtlar oldukça farklılıklar gösterebilir. Sınav çizelgeleme probleminde de kısıtlar katı ve yumuşak kısıtlar olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır. Oluşturulan çizelgenin geçerli olabilmesi için tüm katı kısıtlara uygun olması gerekir. Yumuşak kısıtların tamamına uygun bir çizelge oluşturulamazsa bile katı kısıtlara uygun olması olurlu bir çizelge olmasını sağlar. Ancak yumuşak kısıtlara mümkün olduğu kadar uygun olan bir çizelge elde etmek çizelgenin kalitesi açısından önemlidir. Çünkü yerine getirilmeyen her yumuşak kısıt birçok insanı olumsuz etkileyebilir.

Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi'nde yapılan araştırma sonucunda katı kısıtların aşağıdaki gibi olması gerektiği anlaşılmıştır :

K.1. Öğretim elemanlarının farklı dersleri için yapılacak sınavlar aynı oturuma atanmamalıdır. Ancak, öğretim elemanı farklı bölümlerde aynı dersi veriyorsa, bu dersler aynı zaman periyoduna atanmalıdır.

K.2. Öğrencilerin herhangi bir oturumda sadece bir sınava girebilmesi mümkündür. Bu nedenle her öğrenci grubunun (örneğin: İktisat bölümü 2.sınıfların) herhangi bir oturumda sadece bir sınavı olmalıdır.

K.3. Bir oturuma atanan sınavlara girecek öğrenci sayısı, dersliklerin kapasitelerini aşmamalıdır.

K.4. Her dersliğe sadece bir dersin sınavı atanmalıdır.

K.5. Şubelere ayrılan dersler için iki farklı durum söz konusudur. İki şubenin öğretim elemanı aynı ise bu iki şubenin sınavı aynı oturuma atanmalıdır. İki şubenin öğretim elemanı farklı ise bu şubelerin sınavları aynı oturuma atanmak zorunda değildir.

K.6. Bazı derslerin sınav süreleri uzun olduğu için o sınavın atandığı oturumdan sonraki oturuma herhangi bir sınav atanmamalıdır.

K.7. Her Bölümün 1. ve 2. sınıf öğrencilerinin sınavları aynı oturuma atanmamalıdır.

Yerine getirilmesi istenen yumuşak kısıtlar ise aşağıdaki gibidir :

Y.1. Her öğrenci grubunun sınav zamanları arasında mümkün olduğu kadar fazla çalışma zamanı bırakılmalıdır.

Y.2. Mümkün olduğu kadar her öğrenci grubunun günde bir sınava girmesi istenmektedir.

Y.3. Her bölümün 1. ve 2. sınıf öğrencilerinin sınavları mümkün olduğu kadar farklı günlere atanmalıdır. Örneğin bir oturuma iktisat bölümü 1.sınıf sınavı atanmış ise, aynı gün içerisinde farklı oturuma bile olsa iktisat bölümü 2.sınıf sınavı atanmamalıdır.

Y.4. Beden eğitimi, müzik, resim dersleri seçmeli derslerdir. Bu tür seçmeli derslerin sınavlarının mümkünse aynı oturuma fakat farklı dersliklere atanması istenmektedir.

3.4. Ders Çizelgeleme Probleminin Tamsayı Programlama Modeli

Ders çizelgeleme görüldüğü gibi çok sayıda katı ve yumuşak kısıtı sağlamaya çalışarak ders aktivitelerinin derslik ve oturlara atanmasıdır. Bu nedenle genellikle optimizasyon problemi şeklinde modellenirler. Bu tür modellemede, en iyileştirilecek bir amaç fonksiyonu kullanılır ve kısıtlamalarda eşitlik veya eşitsizlik şeklinde gösterilir.

D: $\{D_1, D_2, \dots, D_i\}$ Dersler

DM: $\{DM_1, DM_2, \dots, DM_i\}$ Derslerin öğrenci mevcutları

S: $\{S_1, S_2, \dots, S_s\}$ Sınıflar (aynı müfredatı paylaşan öğrenci grupları)

SD: $\{SD_1, SD_2, \dots, SD_s\}$ Sınıfların bütün dersleri

SDa: $\{SD_{s1}, SD_{s2}, \dots, SD_{as}\}$ Sınıfların şubelere ayrılmamış dersleri

SDb: $\{SD_{b1}, SD_{b2}, \dots, SD_{bs}\}$ Sınıfların şubelere ayrılmış dersleri

O: $\{O_1, O_2, \dots, O_o\}$ Öğretim elemanları

TD: $\{TD_1, TD_2, \dots, TD_o\}$ O öğretim elemanının dersleri

C: $\{C_1, C_2, \dots, C_a\}$ Derslikler

CK: {CK₁, CK₂,, CK_a} Derslik kapasiteleri

DT: {DT₁, DT₂,, DT_r} Dersliklerin farklı tipleri

OC: {OC₁, OC₂,, OC_r} r Tipi derslikler

ODC: {ODC₁, ODC₂,, ODC_r} r Tipi derslik gerektiren dersler

Z: {Z₁, Z₂,, Z_t} Oturumlar

m_{co}: O tipi derslik sayısı

m_c: Derslik sayısı.

P_{ita}: D_i dersinin C_a dersliğine ve Z_t periyoduna atanması için tercih ağırlığı
(Öğretim elemanlarının tercihlerine göre belirlenmektedir.)

$$X_{ita} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } D_i \text{ dersi } Z_t \text{ periyoduna ve } C_a \text{ dersliğine atanırsa} \\ 0 & \text{Aksi durumda} \end{cases}$$

Model öncelikle bir arama problemi olarak formüle edilmiştir. Daha sonra ise yumuşak kısıtları en iyi ölçüde tatmin edecek bir amaç fonksiyon ile optimizasyon problemi olarak formüle edilmiştir.

Problemın Arama Problemi Olarak Formülasyonu

Arama problemlerinde katı kısıtları tatmin eden bir çözümün bulunması yeterlidir. Bu çözüme olurlu çözüm adı verilmektedir.

$$\text{Bul } X_{ita} \quad (\forall i \in D, \forall t \in Z, \forall a \in C)$$

K.1. Öğretim elemanlarına ait derslerin çakışmaması gereklidir:

$$\sum_{t \in Z} \sum_{a \in C} X_{ita} \leq 1 \quad (\forall o \in O, \forall i \in TD_o) \quad (3.1)$$

K.2. Sınıfların derslerinin çakışmaması gerekmektedir. Eğer derslerin şubelere ayrılmayacağı varsayılırsa kısıt aşağıdaki gibi formüle edilir:

$$\sum_{a \in C} \sum_{t \in Z} X_{ita} \leq 1 \quad (\forall s \in S, \forall i \in SD_s) \quad (3.2)$$

Ancak ele alınan ders çizelgeleme probleminde derslerin bazılarının şubelere ayrıldığı, bazılarının ise şubelere ayrılmadığı görülmüştür. Bir dersin sadece iki şubeye ayrılacağı varsayılmaktadır. Bu durumda sınıfların ders çakışmasını önlemek için daha

farklı bir kısıt yapısı kullanmak gerekir. Bu kısıtta eğer şubelere ayrılmamış bir derse herhangi bir oturum için atama yapılmışsa aynı oturuma başka ders atanmaması gerekir. Aksi durumda şubelere ayrılan iki farklı dersin farklı şubeleri (Finansman Yönetimi A Şubesi ile Pazarlama Yönetimi B Şubesi gibi) öğretim elemanları da farklı ise aynı oturuma atanmasına izin verilmelidir. Bu durum için iki farklı kısıt olmalıdır:

Bir oturuma sadece iki ayrı şubenin dersi atanabilir:

$$\sum_{i \in SD_b} \sum_{a \in C} X_{ita} \leq 2 \quad (\forall s \in S, \forall t \in Z) \quad (3.3)$$

Bir oturuma şubelere ayrılmamış bir ders atanırsa başka ders atanmamalıdır:

$$\sum_{a \in C} \sum_{i \in SD_a} X_{ita} + \text{round} \left[\frac{(\sum_{a \in C} \sum_{i \in SD_s} X_{ita})}{2} \right] \leq 1 \quad (\forall s \in S, \forall t \in Z) \quad (3.4)$$

K.3. Her hangi bir dersliğe herhangi oturuma sadece bir ders atanmalıdır:

$$\sum_{i \in D} \sum_{t \in Z} X_{ita} \leq 1 \quad (\forall a \in C) \quad (3.5)$$

K.4. Her derslik tipi için herhangi bir oturuma atanan ders sayısı o tipteki derslik sayısından fazla olmamalıdır:

$$\sum_{a \in OC_r} \sum_{i \in ODC_r} X_{ita} \leq mco_r \quad (\forall r \in DT, \forall t \in Z) \quad (3.6)$$

Problemin Optimizasyon Problemi Olarak Formüle Edilmesi

Yukarıda tanımlanan arama probleminin kaliteli çizelgeler üretmesi beklenemez. Kaliteli çizelgeler üretebilmek için yumuşak kısıtları en büyük ölçüde tatmin edecek bir yaklaşımda bulunmak gerekir. Bu nedenle yumuşak kısıtlarla ilgili optimize edilecek bir amaç fonksiyon oluşturulmalıdır.

Y.1. ve Y.2. Öğretim elemanlarının tercih ettikleri oturumlar ve derslikler için bir puantaj matrisi oluşturulup, karar değişkeni ve puantaj matrisinin bir fonksiyonu oluşturulabilir:

$$f_1(X_{ita}) = \sum_{i \in D} \sum_{t \in Z} \sum_{a \in C} P_{ita} \cdot X_{ita} \quad (3.7)$$

Y.3. Dersliklere atanan derslerin öğrenci mevcutları dersliklerin kapasitesini mümkünse aşmamalı, mümkün değilse de en az ölçüde aşmalıdır:

$$f_2(X_{ita}) = \sum_{i \in D} \sum_{a \in C} \sum_{t \in Z} (CK_a - DM_t) X_{ita} \quad (3.8)$$

Y.4. Şubelere ayrılmış derslerin mümkün olduğu ölçüde aynı gün içerisinde ardışık olması gereklidir:

$$f_3(X_{ita}) = \sum_{i \in SDb_s} \left(\sum_{r=t}^{t+1} X_{ita} \right) - 2 \quad (\forall s \in S) \quad (3.9)$$

Yumuşak kısıtlar için kullanılacak amaç fonksiyon:

$$Maks \quad f(X_{ita}) = w_1 \cdot f_1(X_{ita}) + w_2 \cdot f_2(X_{ita}) + w_3 \cdot f_3(X_{ita}) \quad (3.10)$$

Burada w1, w2 ve w3 üç farklı fonksiyona verilen ağırlıklardır. Bu ağırlıklar hangi kısıt türüne daha çok önem verileceğini belirler. Örneğin: Öğretim elemanı tercihlerine daha fazla önem veriliyorsa $w_1 > w_2$ ve $w_1 > w_3$ olacaktır. Öğretim elemanı tercihleri P_{ita} ile belirlendiği için “w1=1” olması tercih edilmiştir. İkinci önceliğe sahip olan “f3(X_{ita})” fonksiyonu için “w3=1.000” ve “f2(X_{ita})” fonksiyonu için “w=1” olarak belirlenmiştir.

Modeli bir bütün olarak yazacak olursak:

Amaç Denklem

$$Maks \quad f(X_{ita}) = f_1(X_{ita}) + f_2(X_{ita}) + 1.000 \cdot f_3(X_{ita})$$

Kısıtlar

$$K.1. \quad \sum_{t \in Z} \sum_{a \in C} X_{ita} \leq 1 \quad (\forall o \in O, \forall i \in TDo)$$

$$K.2.a. \quad \sum_{i \in SDb_s} \sum_{a \in C} X_{ita} \leq 2 \quad (\forall s \in S, \forall t \in Z)$$

$$K.2.b. \quad \sum_{a \in C} \sum_{i \in SDa_s} X_{ita} + round \left[\frac{\sum_{a \in C} \sum_{i \in SDb_s} X_{ita}}{2} \right] \leq 1 \quad (\forall s \in S, \forall t \in Z)$$

$$K.3. \quad \sum_{i \in D} \sum_{t \in Z} X_{ita} \leq 1 \quad (\forall a \in C)$$

$$K.4. \quad \sum_{a \in OC_r} \sum_{i \in ODC_r} X_{ita} \leq mco_r \quad (\forall r \in DT, \forall t \in Z)$$

$$X_{ita} \in \{0,1\}$$

3.5. Sınav Çizelgeleme Probleminin Tamsayı Programlama Modeli

Sınav çizelgesi oluşturma problemi, sınavların oturumlara ve dersliklere atanması, bu atamaları gerçekleştirirken çakışmaların engellenmesi ve derslik kapasitelerinin aşılmamasını gerektiren bir gerçek hayat problemidir. Problemin modelleme aşamasında, daha önce yapılmış olan çalışmalar incelenerek Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi'ne özel kısıtlamalarla geliştirilmiştir. Yapılan literatür araştırmasında Eley'in 2007'de yayınlanan çalışmasında kullandığı tamsayı programlama modeli temel alınmıştır ve geliştirilmiştir(Eley, 2007, s.168-169).

R: $\{R_1, R_2, \dots, R_r\}$ Derslikler

E: $\{E_1, E_2, \dots, E_i\}$ Sınavlar

M: $\{M_1, M_2, \dots, M_i\}$ Seçmeli Derslerin Sınavları

Cs: Seçmeli Ders Sayısı

O: $\{O_1, O_2, \dots, O_o\}$ Öğretim Elemanları

OS: $\{OS_1, OS_2, \dots, OS_o\}$ Öğretim Elemanının Sınavları

G: $\{G_1, G_2, \dots, G_s\}$ Sınıfların (Aynı müfredatı alan öğrenci grupları) Sınavları

S: $\{S_1, S_2, \dots, S_s\}$ Sonraki Oturuma Sınav Atanmaması Gereken Sınavlar

T: $\{T_1, T_2, \dots, T_t\}$ Oturumlar

Ω : $\{\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_w\}$ Çakışmalar

K: $\{K_1, K_2, \dots, K_r\}$ Derslik Kapasiteleri

C_{ij} : i ve j sınavlarını alan öğrenci sayısı

CE_i : i sınavını alan öğrenci sayısı

P_w : Bir öğrenci ardışık w+1 oturumda iki sınava atandığında yüklenen ceza puanı ($P_1=16, P_2=8, P_3=4, P_4=2, P_5=1$)

$$Y_{it} = \begin{cases} 1 & \text{i. sınav t. oturuma atanırsa} \\ 0 & \text{i. sınav t. oturuma atanmazsa} \end{cases}$$

P_{irt} : t.oturumda i.sınav için r. dersliğe atanan öğrenci sayısı

Çakışmalar toplamını ağırlıklandırılarak öğrencilerin yükünü azaltmak amaçlanmaktadır:

$$Min \sum_{w \in \Omega} \sum_{i,j \in E, i \neq j} \sum_{t \in T, t > w} P_w \cdot c_{ij} \cdot y_{it} \cdot y_{j(t-w)} \quad (3.11)$$

Her sınav sadece bir oturuma atanmalıdır. Seçmeli dersler aynı oturuma atanabilir:

$$\sum_{t \in T} y_{it} = 1 \quad (\forall i \in E, i \notin M) \quad (3.12)$$

Her oturumda öğretim elemanlarının sadece bir sınavı olmalıdır:

$$\sum_{t \in T} y_{it} \cdot y_{jt} = 0 \quad (\forall o \in O, \forall i,j \in OS_o, i \neq j) \quad (3.13)$$

Bazı derslerin sınav süresi uzun olduğundan atandıkları oturumdan sonraki oturuma sınav atanmamalıdır:

$$\sum_{i \in E} \sum_{t \in T} y_{i(t+1)} \cdot y_{st} = 0 \quad (\forall s \in S) \quad (3.14)$$

Eğer sınav hiçbir oturuma atanmazsa, herhangi bir derslikte sıra rezerve edilmemelidir:

$$P_{it} \leq y_{it} \cdot K_r \quad (\forall i \in E, \forall r \in R, \forall t \in T) \quad (3.15)$$

Her sınav için sınavı alacak öğrenci sayısı kadar sıra rezerve edilmelidir:

$$\sum_{r \in R} \sum_{t \in T} P_{it} = C E_i \quad (\forall i \in E) \quad (3.16)$$

Her dersliğin her oturumu için sınavlara rezerve edilen sıra sayısının derslik kapasitesini aşmaması gerekir:

$$\sum_{i \in E} P_{it} \leq K_r \quad (\forall r \in R, \forall t \in T) \quad (3.17)$$

Bir öğrencinin aynı oturumda iki sınava atanmamalıdır:

$$\sum_{t \in T} c_{ij} \cdot y_{it} \cdot y_{jt} = 0 \quad (\forall i,j \in E, i \neq j, i,j \notin M) \quad (3.18)$$

Seçmeli derslerin sınavlarının aynı oturuma atanması gereklidir:

$$\sum_{i \in M} \sum_{t \in T} y_{it} \cdot y_{mt} = C_s \quad (\forall m \in M) \quad (3.19)$$

1. ve 2.sınıflara aynı oturumda sınav atanmamalıdır

$$\sum_{i \in I} y_{it} y_{jt} = 0 \quad (\forall i \in G_1 = \forall j \in G_2) \quad (3.20)$$

$$y_{it} \in \{0,1\} \quad (\forall i \in E, \forall t \in T)$$

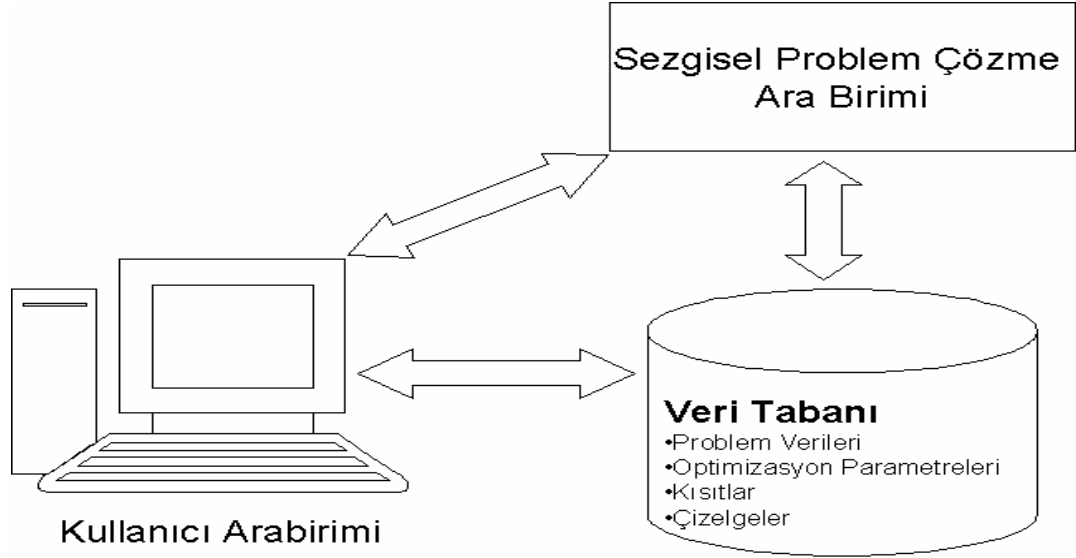
$$P_{irt} \in N_0 \quad (\forall i \in E, \forall r \in R, \forall t \in T)$$

3.6. Problemin Çözümü İçin Uygun Yöntemin Belirlenmesi

Zaman çizelgeleme problemleri NP zor yapıda olduğu için öncelikle bu tür problemlerin çözümünde kullanılan yöntemlere ilişkin bir literatür araştırması yapılmıştır. Bu literatür araştırması ikinci bölümde sunulmuştur. Literatür araştırmasında bu tür problemler için kısıt programlama, mantıksal programlama, graf tabanlı algoritmalar, sezgisel, meta sezgisel ve üst sezgisel yöntemlerin kullanıldığı görülmüştür. Son yıllarda farklı sezgisel yöntemlerin bir arada kullanıldığı melez yaklaşımların yaygın olarak kullanılmaya başlandığı belirlenmiştir. Bu nedenle ders ve sınav çizelgeleme probleminde de melez bir yaklaşımın kullanılmasının uygun olacağı düşünülmüştür. Bu amaçla geliştirilen matematiksel modeller popülasyon tabanlı bir meta sezgisel olan genetik algoritmaya aktarılmıştır. Genetik algoritmanın başlangıç popülasyonunun oluşturulmasında ve popülasyondaki bireylerin evrimsel gelişiminde farklı sezgisel yöntemlerde kullanılarak melez bir algoritma geliştirilmesi fikri benimsenmiştir. Bu amaçla GenoDSP adı ile bir bilgisayar yazılımı geliştirilmiş ve uygulanmıştır.

3.7. Geliştirilen Bilgisayar Yazılımının (GenoDSP) Yapısı ve İşleyişi

Geliştirilen yazılım 3 ana bileşenden oluşmaktadır: Kullanıcı ara birimi, veri tabanı ve sezgisel problem çözme ara birimi. Yazılımın yapısı ve veri alış verişi şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Geliştirilen Ders ve Sınav Çizelgeleme Yazılımının (GenoDSP) Yapısı.

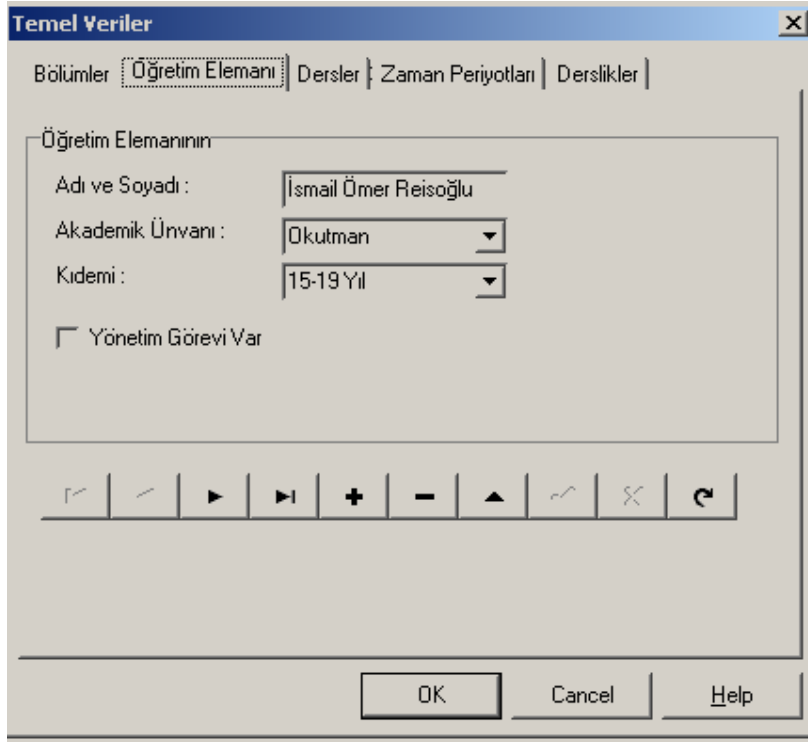
Şekil 3.1’de görüldüğü gibi kullanıcı arabirimi, veri tabanı ve sezgisel problem çözücü arasında karşılıklı bilgi akışı söz konusudur. Kullanıcı arabirimi, kullanıcının programın işleyişine yön vermesini sağlamaktadır. Kullanıcının gerekli verileri girerek veritabanına kaydetmesini, sezgisel problem çözücüyü çalıştırılıp, elde edilen sonuçların ve raporların ekranda görüntülenmesi yada yazıcıya gönderilmesini sağlamaktadır. Veri tabanı probleme özgü verileri (öğretim elemanları, dersler, derslikler, oturumlar vb.), ders ve sınav programına ilişkin kısıtları ve oluşturulan çizelgeleri depolamaktadır. İhtiyaç duyulduğunda, kullanıcı ara birimine ve sezgisel problem çözücüye bu bilgileri iletmekle görevlidir. Sezgisel problem çözücü ise, veri tabanından aldığı bilgileri kullanarak problem için optimal bir çözüm üretmek ve bu çözümü veritabanına aktarmaktan sorumludur.

3.7.1. Kullanıcı Ara Birimi

Kullanıcı arabirimi, kullanıcıların uygulama ile iletişim kurmasını ve uygulamayı yönetmesini sağlayan görsel bir ara birimdir. Bu ara birim vasıtasıyla, kullanıcı yazılım için gerekli olan problem verilerini (dersler, derslikler, öğretim elemanları vb.), probleme ait kısıtları (öğretim elemanlarının derslik ve oturum tercihleri, farklı derslik tipleri ve sayısı vb.) ve sezgisel problem çözücünün ihtiyaç duyduğu sistem parametrelerini girebilir, düzeltebilir, silebilir, gözlemleyebilir ve ayrıca

raporlama seçeneklerini kullanarak oluşturulan çizelgelerin çıktılarını görebilir ve yazdırabilir.

Kullanıcı arabirimi 6 adet ana menü vasıtasıyla kullanıcının isteklerine cevap verir: “Temel Veriler”, “Kısıtlar”, “Program Oluşturma”, “Program Değiştirme”, “Raporlama” ve “Çıkış”. “Temel Veriler” menüsü ders programı için gerekli olan temel bilgilerin (bölümler, öğretim elemanları, dersler, oturumlar, derslikler, öğretim elemanlarına derslerin atanması) girilmesini sağlar. “Temel veriler” menüsündeki herhangi bir seçenek, “Temel Veriler” ara birimini gösterir. Bu pencere şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Temel Veriler Ara Birimi.

Şekil 3.2’de görüldüğü gibi “Temel Veriler” ara birimi, “Temel Veriler” menüsündeki seçeneklerin çoğunu içermektedir. Bu pencere kullanılarak bölümler, öğretim elemanları, dersler, oturumlar ve derslikler hakkında gerekli bilgiler düzenlenebilir ve veritabanına kaydedilebilir.

Kısıtlar menüsü ile ders programını oluştururken dikkate alınması istenen kısıtlamaların tanımlanması mümkündür. Öğretim elemanı kısıtları, öğretim elemanının

dersleri için atanmasını istediği oturumlar ve dersliklerin belirlenmesi ile ilgili kısıtlardır. Bu tür kısıtların silinmesi ve düzeltilmesi mümkündür. Bu kısıtların girişi şekil 3.3’de gösterilmiştir.

Öğretim Elemanı Kısıtları

Programın Dönemi:
 Güz Yarıyılı
 Bahar Yarıyılı

Öğretim Üyesinin:
 Adı ve Soyadı: A.Tuna Taner
 Akademik Ünvanı: Prof.Dr.
 Kıdemi: 20 Yılı ve Üzeri

Öğretim Üyesinin Verdiği Dersler:

Bölüm	Dersin Adı	Öğretim Üyesi	grup
İktisat	İşletme Yönetimi II	A.Tuna Taner	0
İşletme	İşletme Yönetimi II	A.Tuna Taner	0
Maliye	İşletme Yönetimi II	A.Tuna Taner	0

Kısıt Türü:
 Bu Ders Kesirlikle Bu gün ve Saatte Olsun
 Bu Ders Bu Gün ve Saatlarda Olsun
 Bu Ders Kesirlikle Bu gün Saatte Olmasın
 Bu Ders Bu Gün ve Saatlarda Olmasın

Gün Ve Saatler:
 Gün ve Saatleri Seçilen Dersin Kredisine Göre Göster

Gün	Saat	101	102	104	105	106	107	201	202	203	204	205	206	207	301	302	303	304	305	401	402	403	404	405	ANFI_A	ANFI_B
Pazartesi	09:00																									
Pazartesi	13:30																									
Salı	09:00																									
Salı	13:30																									
Çarşamba	09:00																									
Çarşamba	13:30																									
Perşembe	09:00																									
Perşembe	13:30																									
Cuma	09:00																									
Cuma	13:30																									

gun	saat	bolum	ders	ogruye	unvan	kidem	durum	derslik
Salı	13:30	Maliye	Şirketler Muhasebesi	Senra Öncü	Prof.Dr.	20 Yılı ve Üzeri	Ders Bu gün ve saatte olabilir	ANFI_B
Çarşamba	13:30	Maliye	Şirketler Muhasebesi	Senra Öncü	Prof.Dr.	20 Yılı ve Üzeri	Ders Bu gün ve saatte olabilir	ANFI A
Perşembe	13:30	Maliye	Şirketler Muhasebesi	Senra Öncü	Prof.Dr.	20 Yılı ve Üzeri	Ders Bu gün ve saatte olabilir	ANFI A
Salı	13:30	İktisat	İşletme Yönetimi II	A.Tuna Taner	Prof.Dr.	20 Yılı ve Üzeri	Ders Bu gün ve saatte olabilir	ANFI B
Çarşamba	13:30	İktisat	İşletme Yönetimi II	A.Tuna Taner	Prof.Dr.	20 Yılı ve Üzeri	Ders Bu gün ve saatte olabilir	ANFI B
Perşembe	13:30	İktisat	İşletme Yönetimi II	A.Tuna Taner	Prof.Dr.	20 Yılı ve Üzeri	Ders Bu gün ve saatte olabilir	ANFI B
Salı	13:30	İşletme	İşletme Yönetimi II	A.Tuna Taner	Prof.Dr.	20 Yılı ve Üzeri	Ders Bu gün ve saatte olabilir	ANFI B
Çarşamba	13:30	İşletme	İşletme Yönetimi II	A.Tuna Taner	Prof.Dr.	20 Yılı ve Üzeri	Ders Bu gün ve saatte olabilir	ANFI B
Perşembe	13:30	İşletme	İşletme Yönetimi II	A.Tuna Taner	Prof.Dr.	20 Yılı ve Üzeri	Ders Bu gün ve saatte olabilir	ANFI B
Salı	13:30	Maliye	İşletme Yönetimi II	A.Tuna Taner	Prof.Dr.	20 Yılı ve Üzeri	Ders Bu gün ve saatte olabilir	ANFI B
Çarşamba	13:30	Maliye	İşletme Yönetimi II	A.Tuna Taner	Prof.Dr.	20 Yılı ve Üzeri	Ders Bu gün ve saatte olabilir	ANFI B
Perşembe	13:30	Maliye	İşletme Yönetimi II	A.Tuna Taner	Prof.Dr.	20 Yılı ve Üzeri	Ders Bu gün ve saatte olabilir	ANFI B
Salı	09:00	İktisat	İktisat II	İbrahim Erol	Prof.Dr.	20 Yılı ve Üzeri	Ders Bu gün ve saatte olabilir	
Salı	13:30	İktisat	İktisat II	İbrahim Erol	Prof.Dr.	20 Yılı ve Üzeri	Ders Bu gün ve saatte olabilir	
Çarşamba	09:00	İktisat	İktisat II	İbrahim Erol	Prof.Dr.	20 Yılı ve Üzeri	Ders Bu gün ve saatte olabilir	
Çarşamba	13:30	İktisat	İktisat II	İbrahim Erol	Prof.Dr.	20 Yılı ve Üzeri	Ders Bu gün ve saatte olabilir	
Perşembe	09:00	İktisat	İktisat II	İbrahim Erol	Prof.Dr.	20 Yılı ve Üzeri	Ders Bu gün ve saatte olabilir	
Perşembe	13:30	İktisat	İktisat II	İbrahim Erol	Prof.Dr.	20 Yılı ve Üzeri	Ders Bu gün ve saatte olabilir	

Tamam Çıkış

Şekil 3.3: Öğretim Elemanları Kısıt Giriş Ara Birimi.

Kullanıcı ara birimi vasıtasıyla sezgisel problem çözücü ara birimi çalıştırılarak ders yada sınav programı oluşturulabilir. Oluşturulan ders yada sınav programı veri tabanına kaydedilir. Veri tabanında kayıtlı olan ders yada sınav programının tamamı yada belirli kriterlere göre süzölmüş raporlara ihtiyaç duyulabilir. Kullanıcının istediği kriterlere göre rapor alabilmesi amacıyla bir raporlama ara birimi sunulmuştur. Raporlama ara birimi şekil 3.4’de gösterilmiştir.

Sorgulama ve Raporlama Ara Birimi

Veri Sorgulama Filtreleri

Bölüm : İktisat Bölüm Filtresi
Sınıf : 1 Sınıf Filtresi
Ders : İktisat II Ders Filtresi
Öğretim Elemanı : İbrahim EROL Öğretim Elemanı Filtresi
Gün : Çarşamba Gün Filtresi
Saat : 09:00 Saat Filtresi
Derslik : ANFI C Derslik Filtresi

Raporu Göster
Raporu Excele Aktar
Çıkış

Bolum	Sınıf	Ders	Grup	Öğrue	gun	saat	derslik
İktisat	1	İktisat II	A	İbrahim EROL	Çarşamba	09:00	ANFI C
İktisat	1	İktisat II	B	İbrahim EROL	Çarşamba	13:30	204
İktisat	1	Matematik II	A	Mahir YÜCEL	Çarşamba	13:30	104
İktisat	1	Matematik II	B	Mahir YÜCEL	Çarşamba	09:00	ANFI B
İktisat	2	Araştırma Yöntemleri	B	Erdem Hepaktan	Çarşamba	13:30	ANFI D
İktisat	2	Mesleki Yabancı Dil I	A	Özlem YILMAZ	Çarşamba	13:30	202
İktisat	2	Mesleki Yabancı Dil I	B	Özlem YILMAZ	Çarşamba	09:00	202
İktisat	2	Mikro İktisat II	A	İlkay DİLBER	Çarşamba	09:00	ANFI A
İktisat	3	Ekonometrik Yöntemler II	B	Sibel SELİM	Çarşamba	13:30	205
İktisat	3	İş Hukuku	B	Gülşen GERŞİL	Çarşamba	09:00	105
İktisat	4	Büyüme Teorileri	A	İlkay DİLBER	Çarşamba	13:30	ANFI A
İktisat	4	Türkiye Ekonomisi	A	Hüseyin KARAKAYALI	Çarşamba	09:00	101

Şekil 3.4: Sorgulama ve Raporlama Ara Birimi.

Şekil 3.4’de “Bölüm” ve “Gün” filtresi aktif olduğu için “İktisat” bölümünün “Çarşamba” günündeki ders programı görülmektedir. Bu kriterlere göre süzülen sonuçların rapor haline getirilmesi ve çıktı alınabilmesi için “Raporu Göster” düğmesine basılmalıdır. “Raporu Göster” düğmesine basıldığında şekil 3.5’deki gibi rapor çıktısının gönderileceği hedef seçilebilir.

Output Options

Selected Printer
Samsung ML-1610 Series

Report Destination

Printer
 Preview
 File

Format: ve Snapshot File (NDR)

Options

Copies: 1
 Collate
 Duplex

OK
Cancel
Şetup

Şekil 3.5: Rapor Çıktısının Gönderileceği Hedefin Seçilmesi.

Raporun ön izlemesi, yazıcıya gönderilmesi yada dosyaya kaydedilmesi mümkün olmaktadır. Raporun ön izlemesi şekil 3.6’da gösterilmiştir.

Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi
2007-2008 Bahar Yarıyılı Ders Programı

Bölüm	Sınıf	Ders	Grup	Öğretim Elemanı	Gün	Saat	Derslik
İktisat	1	İktisat II	A	İbrahim EROL	Çarşamba	09:00	ANFI C
İktisat	1	İktisat II	B	İbrahim EROL	Çarşamba	13:30	204
İktisat	1	Matematik II	A	Mahir YÜCEL	Çarşamba	13:30	104
İktisat	1	Matematik II	B	Mahir YÜCEL	Çarşamba	09:00	ANFI B
İktisat	2	Araştırma Yöntemleri	B	Erdem Hepaktan	Çarşamba	13:30	ANFI D
İktisat	2	Mesleki Yabancı Dil I	A	Özlem YILMAZ	Çarşamba	13:30	202
İktisat	2	Mesleki Yabancı Dil I	B	Özlem YILMAZ	Çarşamba	09:00	202
İktisat	2	Mikro İktisat II	A	İlkay DİLBER	Çarşamba	09:00	ANFI A
İktisat	3	Ekonometrik Yöntemler II	B	Sibel SELİM	Çarşamba	13:30	205
İktisat	3	İş Hukuku	B	Gülşen GERŞİL	Çarşamba	09:00	105
İktisat	4	Büyüme Teorileri	A	İlkay DİLBER	Çarşamba	13:30	ANFI A
İktisat	4	Türkiye Ekonomisi	A	Hüseyin KARAKAYALI	Çarşamba	09:00	101

Şekil 3.6: Raporun Ön İzleme Çıktısı.

Oluşturulan raporların “Excel” ortamına aktarılması da mümkündür. Bunun için gerekli filtrelemeler yapıldıktan sonra şekil 3.4’deki “Raporu Excel’e Aktar” düğmesine basmak yeterlidir. Excel ortamına aktarılan rapor şekil 3.7’de gösterilmiştir.

Microsoft Excel - sonuc_genel.xls

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	Bölüm	Sınıf	Ders	Şube	Öğretim Elemanı	Gün	Saat	Derslik	
1	İktisat	1	İktisat II	A	İbrahim EROL	Çarşamba	09:00	ANFI C	
2	İktisat	1	İktisat II	B	İbrahim EROL	Çarşamba	13:30	204	
3	İktisat	1	Matematik II	A	Mahir YÜCEL	Çarşamba	13:30	104	
4	İktisat	1	Matematik II	B	Mahir YÜCEL	Çarşamba	09:00	ANFI B	
5	İktisat	2	Araştırma Yöntemleri	B	Erdem Hepaktan	Çarşamba	13:30	ANFI D	
6	İktisat	2	Mesleki Yabancı Dil I	A	Özlem YILMAZ	Çarşamba	13:30	202	
7	İktisat	2	Mesleki Yabancı Dil I	B	Özlem YILMAZ	Çarşamba	09:00	202	
8	İktisat	2	Mikro İktisat II	A	İlkay DİLBER	Çarşamba	09:00	ANFI A	
9	İktisat	3	Ekonometrik Yöntemler II	B	Sibel SELİM	Çarşamba	13:30	205	
10	İktisat	3	İş Hukuku	B	Gülşen GERŞİL	Çarşamba	09:00	105	
11	İktisat	4	Büyüme Teorileri	A	İlkay DİLBER	Çarşamba	13:30	ANFI A	
12	İktisat	4	Türkiye Ekonomisi	A	Hüseyin KARAKAYALI	Çarşamba	09:00	101	
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									

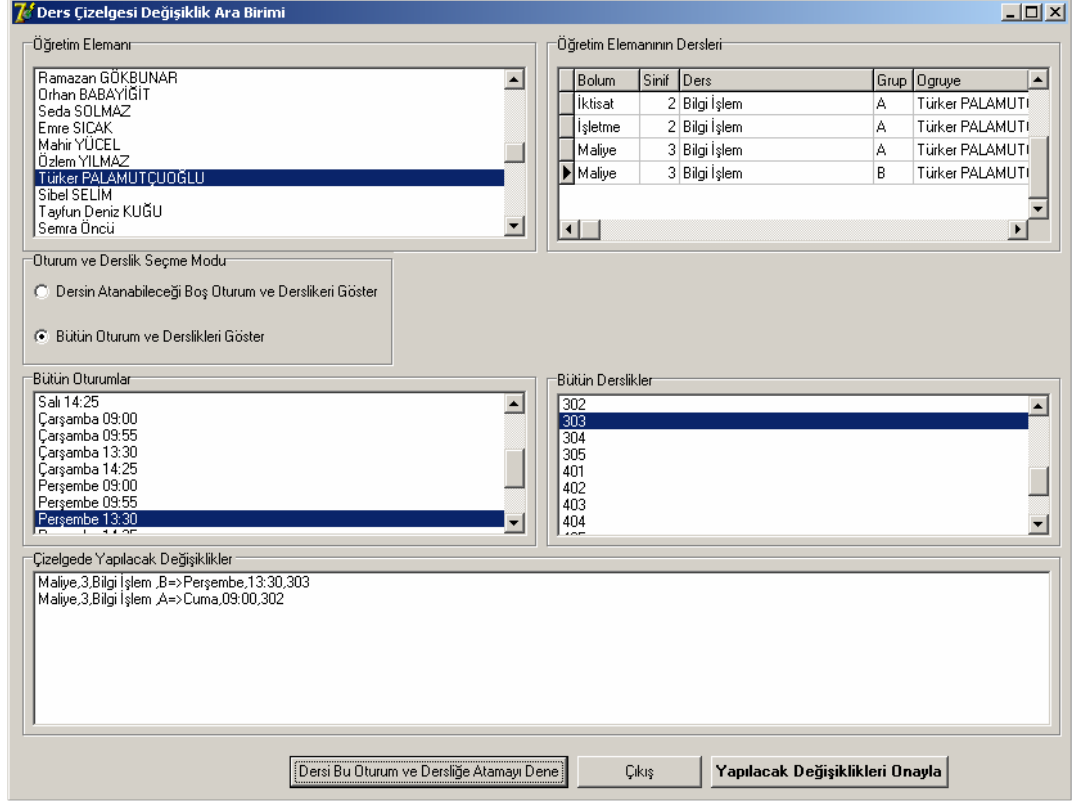
Şekil 3.7: Excel Ortamına Aktarılan Ders Programı.

Bazen oluşturulan ders programında öğretim elemanlarının tercih yada zorunluluklarının değişmesi nedeniyle değişiklikler yapılması gerekir. Bunun için bir çizelgesi değiştirme ara birimi sunulmuştur. Ara birimi şekil 3.8’de gösterilmiştir.

Şekil 3.8: Ders Programı Değişiklik Ara Birimi (Boş Oturma ve Derslikler).

Ara birimde öğretim elemanlarının , seçilen öğretim elemanının derslerinin, seçilen dersin atanabileceği boş oturum ve dersliklerin listeleri bulunmaktadır. Kullanıcı bir öğretim elemanını seçtiğinde öğretim elemanının dersleri listelenir. Programı değiştirilecek ders seçildiğinde, o dersin atanabileceği boş oturum yada oturumlar listelenir. Dersi atamak üzere bir oturum seçildiğinde ise dersin atanabileceği derslikler listelenir. Derslikte Seçildikten sonra “Dersi Bu Oturuma ve Dersliğe Ata” düğmesine basıldığında ders çizelgesinde değişiklik yapılmış olur.

Eğer boş olan oturumlar veya derslikler arzu edilen oturum yada derslikler değilse “Bütün Oturma ve Derslikleri Göster” seçeneği seçilir. Bu durumda ara birim penceresi değişir. Söz konusu değişiklik şekil 2.9’da gösterilmiştir.



Şekil 3.9: Ders Programı Değiştirme Ara Birimi (Bütün Oturma ve Derslikler).

Bütün oturumlar ve derslikler listlendiği için kullanıcı herhangi bir oturum yada dersliği seçebilmektedir. Dersin atanması istenen oturum ve derslik seçildikten sonra “Dersi Bu Oturma ve Dersliğe Atamayı Dene” düğmesine basılır. Bu düğmeye basıldığında en az dersi etkileyecek şekilde atanmanın nasıl yapılabileceği “Çizelgede Yapılacak değişiklikler” listesinde gösterilir. Ancak henüz atama gerçekleştirilmez çünkü kullanıcı yapılan çizelge değişikliklerini beğenmeyebilir. “Yapılacak Değişiklikleri Onayla” düğmesine basılmadan atama gerçekleşmez. Belirlenen oturum ve dersliğe atanmanın yapılabilmesi için çizelgede hangi değişikliklerin yapılması gerektiği geliştirilen bir algoritma vasıtasıyla hesaplanmaktadır. Algoritma, atama gerçekleştiğinde çakışmaya neden olan ders olup olmadığını kontrol eder. Eğer çakışmaya neden olan ders yoksa listede sadece yapılmak istenen atamayı gösterir. Eğer atama yapıldığında çakışan ders varsa bu ders için, öğretim elemanının tercih kısıtlarına uygun, ve mümkünse yeni çakışmalar oluşturmayan alternatif oturum ve derslikler belirlenir. Eğer yeni çakışmaya neden olmayan alternatifler bulundu ise bu alternatiflerden birisine atamayı yapar. Çakışan derse ilişkin yapılacak değişikliği de listeye ekler. Eğer yeni çakışmaya neden olmayacak alternatifler bulunamazsa, çakışma

olmasını göze alarak öğretim elemanının tercih kısıtlarına uygun alternatifler belirler. Bu alternatiflerden en uygun olanı seçer. Seçilen alternatif yeni bir çakışmaya neden olacağından çakışan dersin de yeniden çizelgelenmesi gerekir. Bunu gerçekleştirebilmek amacıyla algoritma çakışmasız bir çizelge oluşturana kadar tekrar tekrar çalıştırılır. Bazı durumlarda seçilen oturum ve derslik için atama yapılması mümkün olmayabilir. Böyle bir durum belirdiğinde algoritma “Ders Bu Oturum ve Dersliğe Atanamaz” mesajını gösterir. Kullanıcı algoritmanın ürettiği sonuçları 1 sn gibi kısa bir sürede görebilmektedir. Bu nedenle değişikliğin yapılıp yapılamayacağı hakkında hemen bilgi sahibi olabilir ve öğretim elemanıya bu bilgiyi paylaşabilir. Kullanıcı çok fazla dersin yeniden çizelgelenmesini gerektiren bir sonuç aldığı yada atamanın yapılamayacağına ilişkin bir mesaj aldığı yada bu değişikliği yapamayacağını öğretim elemanına iletebilir. Öğretim elemanının önereceği başka bir oturum ve derslik için yapılacak değişiklikler tekrar hesaplanabilir. Yapılacak değişiklikler ile ilgili dersleri veren öğretim elemanlarının onayı alındıktan sonra “Yapılacak Değişiklikleri Onayla” düğmesine basarak kullanıcı yeniden çizelgelemeyi gerçekleştirebilir.

3.7.2. GenoDSP Yazılımı İçin Kullanılan Veri Tabanı Ara Birimi

Yazılımın ihtiyaç duyacağı veri tabanı ara birimi Microsoft Access ortamında tasarlanmıştır. Oluşturulan access veri tabanında temel bilgiler, “dersler”, “oturumlar”, “derslikler”, “derslikler”, “ogrel”, “bolumler” tablolarında, öğretim elemanlarının oturum ve derslik tercihleri, “ogrkisit” tablosunda, elde edilen çizelgeler ise “dersprog” ve “sınavprog” tablolarında depolanmaktadır. Access veri tabanının sorgulanması ve bilgilerin güncellenmesi için sql dili kullanılmıştır.

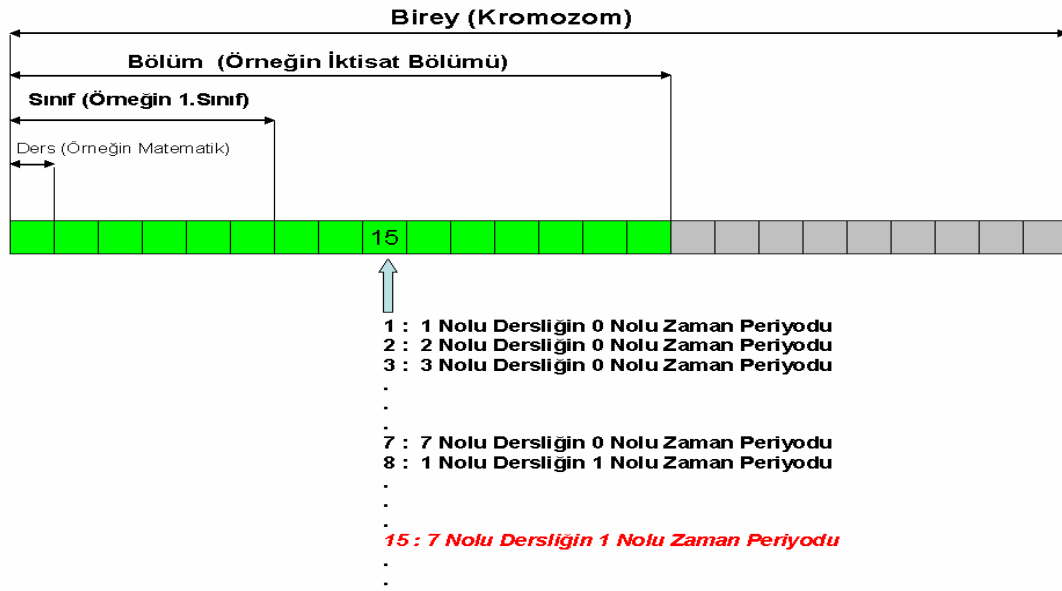
3.7.3. Ders Çizelgeleme Problemi İçin Geliştirilen Melez Genetik Algoritma

Bu bölümde, ders çizelgeleme probleminin çözümü için geliştirilen melez genetik algoritma tanıtılmıştır. Genetik algoritmanın performansını etkileyen operatörler ve parametreler: Kodlama yapısı, uygunluk değerlendirme fonksiyonu, başlangıç popülasyonunun oluşturulması, seçim yöntemi ve ölçekleme, çaprazlama ve mutasyon operatörleri, parametrelerin belirlenmesi başlığı altında sunulmuştur.

3.7.3.1. Kodlama Yapısı

Geliştirilen genetik algorithmada permütasyon tipi kodlama kullanılmıştır. Bireylerin her geni bir dersi ve bu derse ilişkin diğer bilgileri (dersi veren öğretim

elemanını, dersin şubelere ayrılması durumunda şubesini, öğrenci mevcudunu vb.) temsil etmektedir. Bu genlerin bir araya gelmesi ile sınıflar ve sınıfların bir araya gelmesi ile de bölümler temsil edilmektedir. Bölümlerde bir araya gelerek bireyi oluşturmaktadır. Genlerin aldıkları değerler ise temsil ettikleri dersin atandığı oturumu ve dersliği temsil etmektedir. Başka bir deyişle genler “1” ile “oturum sayısı x derslik sayısı” arasında bir değer alabilmektedir. Bu değerlerin her biri bir dersliği ve oturumu ifade eder. Böylece derslerin hangi oturuma ve hangi dersliğe atanacağı belirlenebilmektedir. Kullanılan Kodlama yapısı şekil 3.10’da gösterilmiştir.



Şekil 3.10 : Ders Çizelgeleme Problemi İçin Geliştirilen Genetik Algoritmada Kullanılan Kodlama Yapısı.

Her gen “1” ile “oturum sayısı x derslik sayısı” arasında değer olarak kodlandığından, uygunluk değerlendirilmesinde bu kodun çözülmesi gerekecektir. Kod çözümüyle dersin atandığı gün, saat ve derslik belirlenerek değerlendirme ona göre yapılacaktır. Kodun çözümlenmesi aşağıdaki formüllere göre yapılmaktadır:

$$\text{Gün} = (\text{Genetik Bilgi}-1) \setminus (\text{derslik sayısı} \times \text{bir gündeki oturum sayısı})$$

$$\text{Oturum} = (\text{Genetik Bilgi}-1) \setminus \text{derslik sayısı}$$

$$\text{Derslik} = (\text{Genetik Bilgi}-1) \text{ MOD } \text{derslik sayısı}$$

MOD: Bölme işleminde kalanı veren, bir aritmetik operatördür.

\: Tamsayı bölme operatörüdür.

Örnek : Bir günde 8 oturum varsa ve haftada 5 gün ders yapılıyorsa, derslik sayısı 10 ise genin alabileceği değer “1” ile “8 x 5 x 10 = 400” arasında bir değer olacaktır. Genetik bilgi 275 olduğunda:

$$\text{Gün} = (275-1) \setminus (8 \times 10) = 3 \text{ (Perşembe),}$$

$$\text{Oturum} = (275-1) \setminus 10 = 27. \text{ oturum (veya Perşembe günü 4.oturum),}$$

$$\text{Derslik} = (275-1) \text{ MOD } 10 = 4 \text{ Nolu derslik}$$

şeklinde kod çözülecektir.

3.7.3.2. Uygunluk Değerlendirme

Uygunluk değerlendirmede ceza-ödül sistemi kullanılmaktadır. Kullanıcı ara birimi aracılığıyla girilen öğretim elemanlarının oturum ve derslik tercihleri kullanılarak bir ödül puantaj tablosu oluşturulmaktadır. Tablo oluşturulurken tercih belirten öğretim elemanlarının yönetici konumunda olması, ünvanı ve kıdemi göz önünde tutularak ödül puanı belirlenmektedir. Tablo 3.1’de bu puanlamada kullanılan ağırlıklar gösterilmiştir.

Unvan	Ödül Puan Ağırlığı	Kıdem	Ödül Puan Ağırlığı	Yönetim Görevi	Ödül Puan Ağırlığı
Prof.Dr.	6	20 Yıl ve üzeri	5	Rektör	10
Doç.Dr.	5	15-19 Yıl	4	Rektör Yrd.	9
Yrd.Doç.Dr.	4	10-14 Yıl	3	Dekan	8
Öğr.Gör.Dr.	3	5-9 Yıl	2	Dekan Yrd.	7
Öğr.Gör.	2	4 Yıl ve altı	1	Enstitü Müd.	6
Okutman	1			Enstitü Müd.Yrd.	5
				Diğer Yönetim Gör.	4

Tablo 3.1: Ödül Puantaj Tablosunun Hesaplanmasında Kullanılan Ağırlıklar.

Öğretim elemanları oturum ve derslik tercihlerini 4 farklı şekilde belirleyebilirler. 1.Tip tercih kısıt türü seçildiğinde, belirtilen oturum veya dersliklerden herhangi birisine atama yapılması, 2.Tip Tercih kısıt türü seçildiğinde, sadece belirtilen oturum veya dersliğe atama yapılması, 3.Tip tercih kısıt türü seçildiğinde, belirtilen oturumlara veya dersliklere atama yapılmaması, 4.Tip tercih kısıtı seçildiğinde ise, belirtilen oturuma veya dersliğe kesinlikle atama yapılmaması istenir. Ödül puanı hesaplamada bu kısıt türlerine göre bir puan kullanılmaktadır. Kısıt türlerine verilen puanlar tablo 3.2’de gösterilmiştir.

Kısıt Türü	Ödül Puanı
Ders bu zaman periyotlarına atanabilir.	5
Ders kesinlikle bu zaman periyoduna atansın.	100
Ders bu zaman periyotlarına atanmasın.	-5
Ders kesinlikle bu zaman periyoduna atanmasın	-100
Ders Bu dersliklere atanabilir.	5
Ders kesinlikle bu dersliğe atansın	100
Ders Bu dersliklere atanmasın.	-5
Ders kesinlikle bu dersliğe atanmasın	-100

Tablo 3.2: Öğretim Elemanlarının Tercih Kısıt Türleri ve Ödül Puanları.

Ödül puantaj tablosu hesaplanırken, öğretim elemanının seçtiği kısıt türüne göre ödül puanı belirlenir ve öğretim elemanının ünvan, kıdem ve yönetim görevi ağırlıkları ile bu puan çarpılarak belirtilen oturum veya derslik için ödül puanı hesaplanır. Bu hesaplama sonucunda negatif değer oluşmaması için elde edilen ödül puanı 300.000 ile toplanır. Rulet çemberi seçimini kullanabilmek için uygunluk değerinin negatif olmaması gerekir.

Ayrıca, şubelere ayrılan dersleri veren öğretim elemanı aynı ise bu şubelerin derslerini mümkün olduğu ölçüde aynı güne ve ardışık oturumlara atanması gerekmektedir. Popülasyondaki bireylerin uygunlukları hesaplanırken , şubelere ayrılan dersler için bu kısıta uygun olan yerleşimlere 1.000 ödül puanı eklenir. Dersliklere yapılan atamalarda da, derslik kapasiteleri ile dersi alan öğrenci sayısı arasındaki farkın en yüksek olması gerekmektedir. Her dersin atandığı derslik için bu farklar hesaplanıp toplanarak bireyin ödül puanına eklenmektedir.

Geçerli bir ders programı oluşturmak için öncelikle katı kısıtların sağlanması gerekir. Bu nedenle ihlal edilen her katı kısıt (öğretim elemanlarının ve öğrencilerin derslerinin çakışması, her derslik türü için mevcut derslik sayısından fazla ders atanması) için “30.000” ceza puanı verilerek bu ceza puanlarının toplamı hesaplanır. Bu toplam daha önce hesaplanan ödül puanından çıkartılmak suretiyle uygunluk değerlerinin hesaplanması yapılmaktadır.

3.7.3.3. Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması

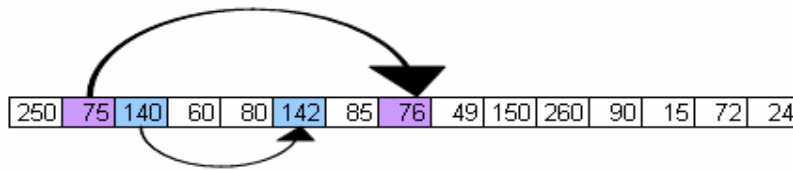
Genetik algoritmalarda diğer sezgisel arama algoritmalarında olduğu gibi elde edilebilecek sonuçların kalitesi başlangıç çözümlerine önemli ölçüde bağlılık gösterir.

Bu nedenle başlangıç popülasyonundaki bireylerin yüksek kalitede olması elde edilecek sonucun daha iyi olmasını sağlar.

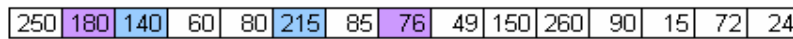
Literatürdeki birçok çalışmada başlangıç popülasyonu oluşturulurken genellikle bireylerin rastgele olarak çözüm uzayından seçildiği yada probleme özel sezgisel yöntemlerin kullanıldığı belirtilmektedir (Özdağlar vd., 2006; Yiğit, 2006; Kulluk ve Türkbey, 2004; Karaboğa, 2004).

Başlangıç Popülasyonunu Rasgele Oluşturma (BPRO): İlk olarak, geliştirilen genetik algortmada bireylerin çözüm uzayından rastgele seçilmesi yöntemi denenmiştir. Bu yöntemde her bireyin genlerinin alacağı değer, “1” ile “oturum sayısı x derslik sayısı” aralığından rastgele seçilmektedir. Her değerın seçilme olasılığı eşittir.

Başlangıç Popülasyonunu Rasgele Oluşturma ve Tepe Tırmanma Algoritması ile Geliştirme (BPRO-TT): Başlangıç popülasyonunun kalitesi yüksek olduğunda genetik algortmalardan daha iyi sonuçlar elde edilmesi mümkündür. Bu nedenle ikinci yöntem olarak başlangıç popülasyonunu rastgele oluşturduktan sonra, popülasyondaki her bireyin tepe tırmanma algoritması kullanılarak geliştirilmesi denenmiştir. Bu şekilde oluşturulan başlangıç popülasyonu ile daha iyi sonuçlar alınacağı düşünülmüştür. Komşuluk üretme mekanizması katı kısıt ihlallerinin azaltılmasını amaçlamaktadır. Uygunluk değerlendirmesi sürecinde belirlenen ders çakışma noktalarındaki genlerin değerlerine yeni çakışmalara neden olmadan açgöz bir yaklaşımla değişim işlemi uygulanmaktadır. Eğer ihlal edilen katı kısıt kalmamışsa, açgöz bir yaklaşımla rastgele seçilen iki genin değerleri değiştirilmektedir. Genler, uygunluk değerine katkılarıyla ters orantılı bir olasılıkla değişim için seçilmektedirler. Komşu üretme mekanizması şekil 3.110’de görülmektedir.



Orijinal bireyde iki nokta aynı zaman periyoduna atandığından çakışma oluşmuştur.



Bu çakışma noktalarındaki değer değiştirilerek çakışma giderilmiştir.

Şekil 3.11: Yerel Arama Algoritmalarında Kullanılan Komşu Üretme Mekanizması.

Bu şekilde katı kısıt ihlalleri nedeniyle oluşan ceza puanları azaltılacağından bireyin uygunluk değerinin artması beklenmektedir. Algoritma için iterasyon sayısı 1.000 olarak belirlenmiştir.

Tepe Tırmanma, Tabu Arama, Tavlama Benzetimi Algoritmalarında Kullanılan Açgöz Değişim Operatörü: Kullanılan değişim operatörü, değişimin uygulanacağı gen için verilebilecek değerlerden en yüksek puantaja sahip olan olanları seçmeye çalışır. Bu amaçla en yüksek puana sahip olan değerlerin bir listesi oluşturulur. Elde edilen listeden rastgele bir tanesi seçilir. Böylece yapılan değişimlerin çözümü iyileştirmede daha etkin olacağı düşünülmektedir.

Başlangıç Popülasyonunu Rasgele Oluşturma Tabu Arama Algoritması ile Geliştirme (BPRO-TA): Başlangıç popülasyonun kalitesini arttırmak için kullanılan diğer bir yöntem de tabu araştırma algoritmasıdır. Algoritma, bireylerin uygunluk değerini arttırmayı amaçlamaktadır ve sadece kısa dönem hafıza stratejisi kullanılmıştır. Aspirasyon kriteri olarak tabu listesinde olmasına rağmen en iyi çözümden daha yüksek uygunluk değerine sahip olan hareketlere izin verilmektedir. Komşuluk üretme mekanizması Tepe tırmanma algoritmasındaki gibidir.

Başlangıç Popülasyonunu Rasgele Oluşturma Tavlama Benzetimi (Yapay Isıl İşlem) Algoritması ile Geliştirme (BPRO-TB): Başlangıç popülasyonun kalitesini arttırmak için tavlama benzetimi algoritması da denenmiştir. Algoritma katı kısıt ihlallerini azaltarak uygunluk değerini arttırmayı amaçlar. Komşuluk üretme mekanizması tepe tırmanma algoritması ile aynı yapıdadır. Başlangıç sıcaklığı 500, sıcaklık faktörü 0.9 olarak belirlenmiştir ve sıcaklık 10 adımda bir düşürülmektedir. Komşuluk oluşturma hareketinin kabul veya reddedilmesinde Metropolis yaklaşımı kullanılmıştır.

Başlangıç Popülasyonunu Açgöz Rastgele Adaptif Arama Prosedürü (ARAAP) İle Oluşturma: Araap algoritması açgöz yaklaşımı nedeniyle her gen için en yüksek puanı sağlayan alternatif değerlerden birisini rastgele seçmektedir. Bu aç göz yaklaşım neticesinde başlangıç popülasyonunu rastgele oluşturma yönteminden daha kaliteli bireyler oluşturulabileceği düşünülmektedir. Araap algoritmasının sadece açgöz rastgele oluşturma aşaması kullanılmaktadır. Yerel arama aşaması kullanılmamaktadır.

Araap algoritmasıyla oluşturulan başlangıç popülasyonunun kalitesini tepe tırmanma (ARAAP-TT), tabu araştırma (ARAAP-TA) ve tavlama benzetimi (ARAAP-TB) algoritmaları ile geliştirilmesi düşünülmüş ve denemeler yapılmıştır.

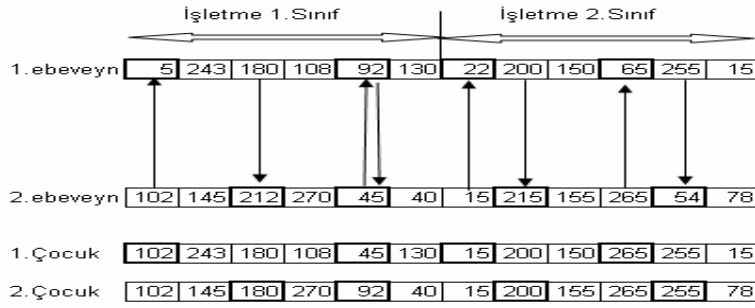
Yukarıda anlatılan yöntemlerle denemeler yapılmıştır ve elde edilen optimizasyon sonuçları birbirleriyle karşılaştırılarak en iyi sonucu veren yöntem seçilmiştir. Başlangıç popülasyonunu oluşturmak için kullanılan yöntemlerin denemeleri ve sonuçları “Deneysel Çalışma ve Bulgular” başlığı altında değerlendirilmiştir.

3.7.3.4. Uygun Çaprazlama Operatörünün Belirlenmesi

Genetik algoritmanın performansında çaprazlama operatörü çok etkili olabilmektedir ve farklı çaprazlama operatörleri değişik problemlerde aynı performansı göstermeyebilir. Bu nedenle permütasyon kodlama için literatürde yer alan çeşitli çaprazlama operatörleri ders çizelgeleme problemine uygulanarak karşılaştırılmıştır. Literatürde yer alan operatörler; tek noktali çaprazlama (one point crossover -1PX), iki noktali çaprazlama (two point crossover – 2PX), düzenli çaprazlama (uniform crossover – UX), pozisyona dayali çaprazlama (position based crossover – PBX), sıraya dayali çaprazlama (order based crossover – OBX), kısmi planli çaprazlama (partially mapped crossover – PMX), çevrim çaprazlama (cycle crossover - CX), sıralı çaprazlama (ordered crossover - OX), doğrusal sıralı çaprazlama (linear order crossover – LOX), alt tur yığınları çaprazlama (sub-tour chunk crossover – SCX), en yüksek korumalı çaprazlama (maximal preservation crossover – MPX), ortada iki nokta çaprazlama (two-points centre crossover – 2PCX), sonda iki nokta çaprazlama (two-points end crossover – 2PEX), ortada ve sonda iki nokta çaprazlama (two-points end/center crossover – 2PECX) operatörleridir. Ayrıca katı ve yumuşak kısıt ihlallerini azalmayı amaçlayan kısıt tabanlı çaprazlama - KTX operatörü geliştirilmiştir.

Kısıt Tabanlı Çaprazlama - KTX: Bu operatör çaprazlamayı üç adımda gerçekleştirir. İlk adımda, her iki ebeveyn için öğretim elemanlarının derslerindeki çakışmalar tespit edilir. Birinci çocuk için ilk ebeveynde çakışmayan dersleri temsil eden genler bu ebeveynden alınırken, çakışan dersler diğer ebeveynden alınır. Aynı işlem ikinci ebeveyn temel alınarak ikinci çocuk için tekrarlanır. İkinci adımda, öğrenci gruplarının derslerinde çakışmalar varsa bu çakışmalar aynı şekilde diğer ebeveynden

alınır. Son adımda ise, aynı öğretim elemanın derslerinin farklı şubeleri aynı günde değilse bu dersi temsil eden gen diğer ebeveynden alınmaktadır. Böylece ilk adımda, öğretim elemanlarının ders çakışmaları, ikinci adımda öğrenci gruplarının ders çakışmaları ve son adımda farklı günlere atanmış şubelere ayrılmış ders sayısı azaltılmaya çalışılır. Çaprazlama sonrasında çocuklara standartlaştırma işlemi uygulanarak aynı değere sahip olan genler olması önlenir. Böylece daha iyi bireyler elde edilebilir. Çakışmaları giderecek biçimde çaprazlamanın yapılması şekil 3.12’de gösterilmiştir.



Şekil 3.12: KTX Operatöründe Çakışmaları Azaltma Amaçlı Çaprazlamanın Uygulanışı.

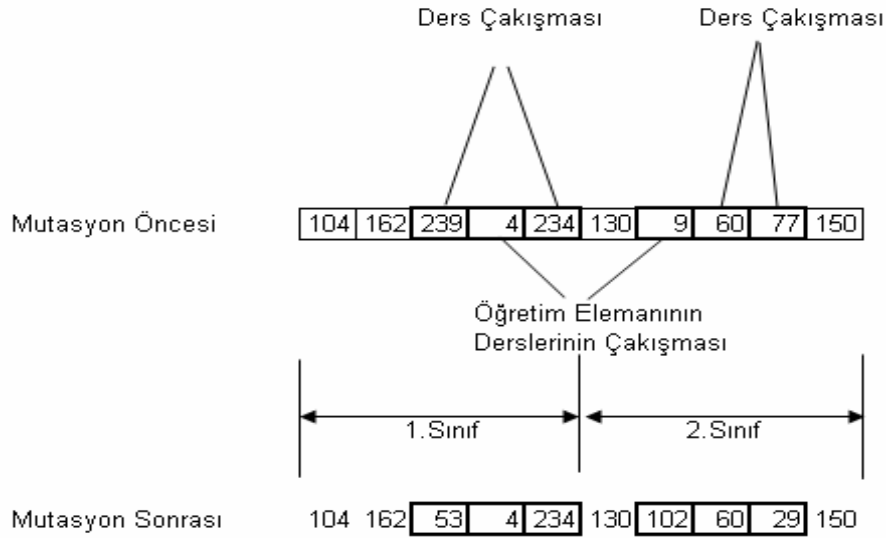
Çaprazlama operatörlerine ilişkin deneme sonuçları “Deneysel Çalışma ve Bulgular” başlığı altında verilmiştir.

3.7.3.5. Uygun Mutasyon Operatörünün Belirlenmesi

Genetik algoritmanın performansında mutasyon operatörü de çok etkili olabilir ve farklı mutasyon operatörleri değişik problemlerde aynı performansı göstermeyebilir. Bu nedenle permütasyon kodlama için literatürde yer alan çeşitli mutasyon operatörleri ders çizelgeleme problemine uygulanarak karşılaştırılmıştır. Literatürde yer alan mutasyon operatörleri; tek noktada mutasyon (one point mutation -1PM), iki noktada mutasyon (two point mutation - 2PM), n noktada mutasyon (n-point mutation - NPM), iki bitişik iş takası (two operations adjacent swap - 2OAS), üç bitişik iş takası (three operations adjacent swap - 3OAS), iki rastgele iş takası (two operations random swap - 2ORS), üç rastgele iş takası (three operations random swap - 3ORS), ters çevirme mutasyonu (Inverse Mutation - IM), orta ters çevirme mutasyonu (center inverse mutation - CIM), iş kaydırma mutasyonu (shift operation mutation - SOM), geliştirilmiş rastgele iki iş takası (enhanced two operations random swap - E2ORS)

operatörleridir. Ayrıca ders çizelgeleme için üç adet yerel arama tabanlı açgöz mutasyon operatörü geliştirilmiş ve denenmiştir.

Katı Kısıt Tabanlı Tepe Tırmanma Operatörü (KKT_TT): Bu açgöz yaklaşım, öncelikle katı kısıt ihlallerini gidermeye yönelik bir yerel arama yaklaşımıdır. Yerel arama algoritması olarak tepe tırmanma algoritması kullanılmaktadır. Komşu üretme mekanizması varsa katı kısıtları gidermeye yöneliktir. Her iterasyonda iki noktada açgöz değişim uygulanmaktadır. Noktalar belirlenirken, öncelikle öğretim elemanlarının yada öğrenci gruplarının çakışan dersleri belirlenir. Mutasyon noktası olarak bu çakışma noktalarından ikisi seçilir. Her iterasyonda öğretim elemanlarının derslerindeki çakışmalardan birisi ve öğrenci gruplarının derslerindeki çakışmalar birisi giderilmeye çalışılır. Eğer hiç ders çakışması yoksa rasgele iki mutasyon noktası seçilir ve bu iki noktada açgöz değişim uygulanır. İterasyon sayısına ulaşıncaya kadar bu işlemler tekrarlanır. İterasyon sayısı deneysel çalışmalar sonucu 400 olarak belirlenmiştir. Operatörün katı kısıt ihlallerini giderme mantığı şekil 3.13’de gösterilmiştir.



Şekil 3.13: KKT_TT, KKT_TA ve KKT-TB Operatörlerinin Komşu Üretme Mekanizması.

Katı Kısıt Tabanlı Tabu Arama Operatörü (KKT_TA): KKT_TT operatörünün benzeri bir operatördür. Tek farklılık kullanılan yerel arama algoritması olup bu operatörde tabu arama algoritması kullanılmaktadır. Mutasyon noktalarının belirlenmesi mekanizması aynıdır. Eğer değişimler neticesinde bireyin uygunluk değeri azalır, tabu

listesi kontrol edilir ve bu iki nokta tabu listesinde yoksa değişim kabul edilir aksi halde değişim reddedilir. Aspirasyon kriteri yeni çözümlerin eski çözümlerden iyi olmasıdır. İterasyon sayısı deneysel çalışmalar sonucu 400 olarak belirlenmiştir.

Katı Kısıt Tabanlı Tavlama Benzetimi Operatörü (KKT_TB): KKT_TT ve KKT_TA operatörlerinin benzeri bir operatördür. Kullanılan yerel arama algoritması tavlama benzetimi algoritmasıdır. Mutasyon noktalarının belirlenmesi mekanizması aynıdır. Eğer değişimler neticesinde bireyin uygunluk değeri azalır, Monte Carlo yöntemine göre değişimler kabul yada reddedilmektedir. Başlangıç sıcaklığı (T) 2.000.000, sıcaklık süresi (L) 5, sıcaklık faktörü (r) 0,9 ve iterasyon sayısı 400 olarak deneysel çalışmalar ile belirlenmiştir.

3.7.3.6. Uygun Üreme Operatörünün Belirlenmesi

İkinci bölümde açıklandığı gibi genetik algoritma literatüründe çaprazlama ve mutasyon işlemlerine tabi tutulmak üzere eşleştirilecek bireylerin seçilmesi için çeşitli yöntemler mevcuttur. Her yöntem farklı problemler için değişik performanslar gösterebilir. Bu nedenle geliştirilen modele en uygun seçim yöntemini belirlemek için “rulet tekerleği seçimi”, “sıralama seçimi”, “uniform seçim” ve “turnuva seçimi” yöntemleri denenmiş ve karşılaştırılarak en verimli yöntem seçilmiştir.

Rulet tekerleği seçim yöntemi kullanıldığında, karşılaşılan iki önemli problem bulunmaktadır: Bunlardan ilki, başlangıçta popülasyondaki uygunluğu yüksek olan bireylerin daha fazla seçilme şansı olacağından yeni nesillerde popülasyonun süper bireylerle doldurulması ve bundan dolayı erken yakınsama oluşmasıdır. İkinci önemli problem ise, nesiller ilerledikçe bireylerin uygunluk değeri arasında farklılıkların azalması ve dolayısıyla iyi bireylerin ayırt edilememesidir. Tıkanıklık adı verilen bu durum, algoritmanın çözümü iyileştirme performansını olumsuz etkiler. Literatürde, bu iki önemli problemin aşılabilmesi amacıyla geliştirilmiş çeşitli uygunluk ölçekleme yöntemleri mevcuttur. İkinci bölümde tanıtılan bu yöntemler, farklı parametre değerleriyle denenmiş ve uygun olan seçim yöntemi belirlenmeye çalışılmıştır. Denemelerde elde edilen sonuçlar “Deneysel Çalışma ve Bulgular” başlığı altında sunulmuştur.

3.7.3.7. Seçkinlik (Elitizm)

Çaprazlama ve mutasyon işlemleri neticesinde o ana kadar bulunmuş en iyi bireyin kaybedilme riski mevcuttur. Bu nedenle en iyi çözümü korumak amacıyla seçkinlik yaklaşımları uygulanır. Seçkinlik işlemi iki farklı şekilde uygulanabilir. Birincisi, o ana kadar bulunan en iyi çözümün yeni nesile kopyalanması şeklindedir. İkincisi ise, çaprazlama ve mutasyon işlemlerinde seçkinlik yaklaşımıdır. Çaprazlama operatöründe ebeveynler ve elde edilen çocuklardan en iyi ikisi yeni nesile aktarılır. Mutasyon operatöründe ise sadece çözümü geliştiren değişimlere izin verilir. Her iki yöntemde denenmiş ve değerlendirilmiştir.

3.7.3.8. Genetik Algoritma Parametrelerinin Belirlenmesi

Genetik algoritmanın performansında kullanılan parametrelerin önemli derecede etkisi olmaktadır. Popülasyon büyüklüğü, çaprazlama oranı ve mutasyon oranı için diğer koşullar sabit tutularak denemeler yapılmış ve en iyi sonucu veren değerler belirlenmiştir. Ayrıca belirli koşullarda mutasyon oranını değiştiren adaptif bir yaklaşım da denenmiştir. Belirlenen koşul ortaya çıktığında mutasyon oranı belirli bir düzeyde arttırılmaktadır. Araştırmanın rasgele aramaya dönüşmemesi için deneysel çalışma ile mutasyon oranına bir üst sınır getirilmiştir. En iyi çözüm geliştirildiğinde, başlangıçtaki mutasyon oranı kullanılmaya devam etmektedir.

3.7.4. Sınav Çizelgeleme Problemi İçin Geliştirilen Melez Genetik Algoritma

Ders ve Sınav çizelgeleme problemleri birbirlerine önemli ölçüde benzeyen problemlerdir. Her iki zaman çizelgeleme probleminde temel amaç öğrencilerin ve öğretim elemanlarının ders yada sınavlarının çakışmamasını sağlamaktır. Ayrıca oluşturulan çizelgelerde kapasite kısıtlamalarının da ihlal edilmemesi gerekir. Ders çizelgeleme ve sınav çizelgeleme problemlerinin arasındaki farklılıklar bu temel amaçlar dışındaki kısıtlar yada amaçlarda karşımıza çıkar. Ders çizelgeleme probleminde, öğretim elemanlarının tercihleri (derslik ve/veya oturma), dersleri alan öğrenci sayılarının mümkünse atandıkları derslik kapasitesini aşmaması yada en az ölçüde aşması, derslerin sadece bir oturuma ve bir dersliğe atanması, şubelere ayrılan derslerin öğretim elemanları aynı ise, her iki şubeye ait derslerin aynı günde ve ardışık oturumlarda olması gibi yumuşak kısıtlar mevcuttur. Sınav çizelgeleme probleminde, sınavların sadece bir oturuma atanması, öğretim elemanlarının ve öğrencilerin

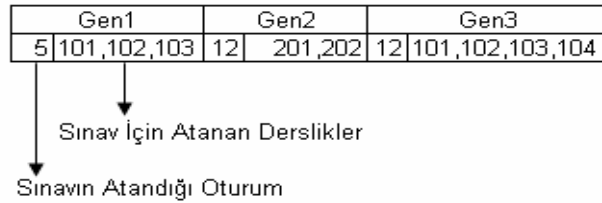
sınavlarının akıştırılmaması, sınavları alan ğrenci sayısı kadar sıra rezerve edilmesi, bazı sınavların atandığı oturumdan sonraki oturuma sınav atanmaması gibi katı kısıtlar mevcuttur. Yumuşak kısıtlar ise: Mümkünse seçmeli derslerin aynı oturuma fakat farklı dersliklere atanması, öğrencilerin sınavları arasında mümkün olduğunca fazla çalışma zamanı bırakılması, 1. ve 2. sınıf ğrencilerinin sınavlarının aynı oturuma atanmaması gibi kısıtlamalardır.

Ders ve Sınav izelgeleme problemlerindeki kısıtların ve amaçların farklı olması nedeniyle ders çizelgeleme için geliştirilen algoritmanın kodlama yapısının ve uygunluk değerlendirme fonksiyonunun sınav çizelgeleme probleminin amaç ve kısıtlarına göre düzenlenmesi gerekmiştir. Yapılan değişiklikler aşağıda alt başlıklar halinde sunulmuştur.

3.7.4.1. Kodlama Yapısı

Ders izelgeleme probleminde her dersin bir oturuma ve bir dersliğe atanması gerekiyorken sınav çizelgeleme probleminde, her sınavın bir oturuma ve sınavı alan tüm öğrencilerin yerleştirilebileceği kadar farklı dersliklere atanması gerekmektedir. Bu nedenle ders çizelgeleme probleminde kullanılan kodlama yapısı sınav çizelgeleme probleminde kullanılamaz.

Kullanılan kodlama yapısında her gen bir sınavı temsil etmektedir. Genlerin aldığı değerler sınavın atandığı oturumu ve sınavı atan derslikleri içerir. Yani genetik bilgi iki bölümden oluşmaktadır. Kodlama yapısı Şekil 3.14'de gösterilmiştir.



Şekil 3.14 : Sınav izelgeleme Problemi İçin Kullanılan Kodlama Yapısı.

Genetik algoritma sadece sınavların atandıkları oturularda çaprazlama ve mutasyon işlemlerini yapmaktadır. Bütün sınavlar oturulara atandıktan sonra, geliştirilen başka bir operatör, her oturum için boş olan derslikleri sınavlara atamaktadır.

3.7.4.2. Uygunluk Değerlendirme

Sınav çizelgeleme problemi için uygunluk değerlendirme fonksiyonunun da değiştirilmesi gerekmektedir. Uygunluk değerlendirme katı ve yumuşak kısıtların ne ölçüde ihlal edildiğini belirlemektedir. Bu amaçla denklem 3.11 'de sunulmuş olan amaç fonksiyonuna katı ve yumuşak kısıtların ihlal edilme sayıları önem düzeyine göre ağırlıklandırılarak eklenmiştir. Öncelikle tüm kısıtlar birer fonksiyon haline dönüştürülmüştür:

$$\text{Denklem 3.11} \Rightarrow f_1(\omega) = \sum_{w \in \Omega} \sum_{i,j \in E, i \neq j} \sum_{t \in T, t > w} P_w \cdot c_{ij} \cdot y_{it} \cdot y_{j(t-w)}, \quad (3.21)$$

$$\text{Denklem 3.12} \Rightarrow f_2(i) = \text{Count} \left(\sum_{t \in T} y_{it} \neq 1 \right), \quad (3.22)$$

$$\text{Denklem 3.13} \Rightarrow f_3(i, j) = \text{Count} \left(\sum_{t \in T} y_{it} y_{jt} \neq 0 \right), \quad (3.23)$$

$$\text{Denklem 3.15} \Rightarrow f_4(i, r, t) = \text{Count} (P_{irt} > y_{it} \cdot K_r), \quad (3.24)$$

$$\text{Denklem 3.16} \Rightarrow f_6(i) = \text{Count} \left(\sum_{r \in R} \sum_{t \in T} P_{irt} \neq C E_i \right), \quad (3.25)$$

$$\text{Denklem 3.17} \Rightarrow f_6(r, t) = \text{Count} \left(\sum_{i \in I} P_{irt} > K_r \right), \quad (3.26)$$

$$\text{Denklem 3.18} \Rightarrow f_7(i, j) = \text{Count} \left(\sum_{t \in T} c_{ij} \cdot y_{it} \cdot y_{jt} \neq 0 \right), \quad (3.27)$$

$$\text{Denklem 3.14} \Rightarrow f_8(s) = \text{Count} \left(\sum_{i \in I} \sum_{t \in T} y_{i(t+1)} \cdot y_{st} \neq 0 \right), \quad (3.28)$$

$$\text{Denklem 3.19} \Rightarrow f_9(m, s) = \text{Count} \left(\sum_{i \in M} \sum_{t \in T} y_{it} \cdot y_{mt} \neq C s \right) \text{ ve} \quad (3.29)$$

$$\text{Denklem 3.20} \Rightarrow f_{10}(i, j) = \text{Count} \left(\sum_{t \in T} y_{it} \cdot y_{jt} \neq 0 \right) \quad (3.30)$$

Elde edilen bu fonksiyonlar ağırlıklarıyla birleştirilerek uygunluk fonksiyonu denklem 3.31 'deki gibi tanımlanmıştır.

$$F = f_1(\dots) + 500 \cdot f_2(i) + 500 \cdot f_3(i, j) + 500 \cdot f_4(i, r, t) + 500 \cdot f_5(i) + 500 \cdot f_6(r, t) + 500 \cdot f_7(i, j) + 500 \cdot f_8(s) + f_9(m, s) + 500 \cdot f_{10}(i, j) \quad (3.31)$$

Zorunlu kısıt ihlallerinin ağırlığı “500” iken, yumuşak kısıt ihlallerinin ağırlığı “1” olarak değerlendirilmektedir. Çünkü zorunlu kısıtların tamamı sağlanmadığında olurlu bir çözüm elde edilemez.

3.7.4.3. Genetik Operatörler

Sınav çizelgeleme probleminin kodlama ve kısıt yapısının farklı olması nedeniyle bazı operatörlerin değiştirilmesi gerekmiştir.

Çaprazlama Operatörü: Ders çizelgeleme için kullanılan KTX operatöründe, öğretim elemanlarının ve öğrencilerin derslerindeki çakışmaların azaltılması yanında şubelere ayrılmış derslere ilişkin kısıt ihlallerinin de azaltılması amaçlanır. Ancak sınav çizelgeleme probleminde şubelere ayrılmış derslerin şubeleri, öğretim elemanları aynı ise birleştirilir, öğretim elemanları farklı ise iki ayrı ders olarak değerlendirilir. Dolayısıyla şubelere ayrılmış derslere ilişkin ders çizelgeleme problemindeki kısıt geçerli değildir. Bu nedenlerle KTX operatöründeki şubelere ayrılmış derslere ilişkin kısıt ihlallerini düzeltmeyi amaçlayan kod kısmı çıkartılmıştır. Operatör sadece öğretim elemanlarının ve öğrencilerinin ders çakışmalarını azaltacak şekilde düzenlenmiş ve “Katı Kısıt Tabanlı Çaprazlama (KKTX)” ismi verilmiştir.

Mutasyon Operatörü: Mutasyon operatörü olarak ders çizelgeleme problemi için kullanılan KKT_TA operatörü sınav çizelgeleme problemi için de kullanılmıştır.

Derslik Yerleştirme Operatörü: Başlangıç popülasyonu oluşturulurken ve yeni nesiller üretilirken, genetik algoritma sadece sınavların oturumlara atanmasına ilişkin operasyonlar gerçekleştirmektedir. Bu nedenle sınavlara dersliklerin kısıtlara uygun olarak atanabilmesi için ayrıca bir operatöre ihtiyaç duyulmuştur. Üreme, çaprazlama ve mutasyon ile yeni nesil oluşturulduğunda, bireyin her geni (her sınav) için derslik atama operatörü çalıştırılır. Bu operatör, bir sınavı alan öğrencilerin sayısına eşit yada daha fazla kapasiteye ulaşıncaya kadar, yüksek kapasiteye sahip dersliklerden başlayarak derslikleri atamaktadır. Operatör derslikleri atarken bir birine yakın olan derslikleri seçmektedir. Operatörün bu seçimi doğru olarak yapabilmesi önceden “Kullanıcı Ara Birimi”nden birbirine yakın olan dersliklerin gruplandırılması gerekmektedir. Örneğin, 101,102 ve 103 nolu derslikler bir binanın aynı katında ise bir grup olarak tanımlanır.

Aynı şekilde 201,202 ve 203 nolu derslikler bir binanın aynı katında fakat 101,102 ve 103 nolu derslikler ile aynı bina yada katta değiller ise ayrı bir grup olarak tanımlanabilir. Derslikler bu şekilde gruplandıklarında operatör aynı gruba üye olan derslikleri seçebileceğinden, öğretim elemanlarının sınavlarını koordine etmeleri de kolaylaştırılmaktadır.

Üreme Operatörü: Sınav çizelgeleme problemi minimizasyon problemi olarak formüle edildiğinden en küçük uygunluk değerine sahip olan bireylere daha fazla seçilme şansı tanınmaktadır.

3.8. Deneysel Çalışma ve Bulgular

Genetik algoritmaların performansını etkileyen çeşitli faktörler mevcuttur. Kullanılan operatörler, parametreler ve çeşitli stratejiler algoritmanın performansını olumlu yönde etkileyebilmektedir. Problemin yapısına göre kullanılan operatör ve parametrelerin aynı ölçüde başarı sağlaması mümkün olmamaktadır. Bu nedenle kullanılacak operatör, parametre ve adaptif stratejilerin deneysel çalışmalar ile belirlenmesinin uygun olacağı düşünülmüştür.

Öncelikle çaprazlama ve mutasyon operatörünün seçimi için sabit şartlar altında (çaprazlama için popülasyon büyüklüğü, çaprazlama oranı, mutasyon oranı) literatürde yer alan ve geliştirilen operatörler kullanılarak her operatör için 10 deneme yapılmıştır. Daha sonra seçkinlik yöntemi, seçim yöntemi ve ölçekleme, başlangıç popülasyonunu oluşturulma yöntemi, adaptif mutasyon ve parametreler için de benzer şekilde 10'ar deneme yapıp elde edilen performans değerlerinin ortalamaları karşılaştırılmıştır.

Deney sonuçlarının değerlendirilmesinde üç farklı ölçüt kullanılmıştır. Bunlardan ilki, algoritmanın çalışması neticesinde elde edilen en iyi bireyin uygunluk değeri ile başlangıç popülasyonundaki en iyi bireyin uygunluk değeri arasındaki farktır. Bu fark, algoritmanın başlangıç çözümünü ne kadar geliştirebildiğini gösterir ve “Gelişim” olarak ifade edilmiştir. İkinci ölçek, “Gelişim” değerinin başlangıç popülasyonundaki en iyi bireyin uygunluk değerine oranıdır ve “Gelişim Oranı” olarak isimlendirilmiştir. Bu oran, başlangıç çözümünün ne ölçüde geliştirildiğinin % olarak ifadesidir. Üçüncü ölçek ise operatörlerin etkinliğini karşılaştırmak amacıyla

kullanılmıştır. “Operatör Geliştirme Oranı” olarak isimlendirdiğimiz bu ölçek, operatörün başarılı olduğu uygulama sayısının toplam uygulama sayısına oranıdır.

3.8.1. Çaprazlama Operatörünün Belirlenmesi

Çaprazlama operatörünün belirlenmesi için yapılan denemelerde, önceden rasgele oluşturulmuş ve veri tabanına kaydedilmiş bir başlangıç popülasyonu kullanılmıştır. Seçim yöntemi olarak ölçekleme yapılmadan rulet tekerleği seçimi kullanılmıştır. Hem operatör hem de en iyi bireyin korunması seçkinlik yöntemleri ile iyi bireylerin kaybedilmesi önlenmiştir. Popülasyon büyüklüğü 40, çaprazlama oranı % 70, mutasyon oranı % 0 olarak belirlenmiş ve algoritma 1 dakika süreyle çalıştırılmıştır. Yapılan testlerin sonuçları tablo 3.3’de gösterilmiştir.

Operatör	Gelişim	Gelişim Oranı	Operatör Geliştirme Oranı
KTX	364.812	% 11,7	% 10,8
2PECX	362.444	% 11,6	% 20,6
1PX	131.184	% 4,1	% 6,0
PMX	87.387	% 2,8	% 2,1
2PRX	85.129	% 2,7	% 7,7
2PX	84.377	% 2,7	% 3,6
2PCX	57.526	% 1,9	% 6,9
2PEX	47.592	% 1,5	% 5,2
CX	17.647	% 0,6	% 4,6
SCX	15.600	% 0,5	% 0,2

Tablo 3.3: Çaprazlama Operatörünün Seçilmesi İçin Yapılan Testlerin Sonuçları.

Yapılan denemelerde UX, PBX, OBX, OX1, OX2, OX3, LOX, SCX ve MPX operatörlerinin gelişim sağlayamadıkları görülmüştür. Gelişim Elde edilen çaprazlama operatörlerinden en başarılı olanı KTX operatörüdür. Operatör başlangıç çözümünün uygunluğunu 364.812 arttırmış ve % 11.7 gelişim oranına ve % 10,8 operatör gelişim oranına ulaşmıştır. 2PECX operatörünün operatör gelişim oranı daha fazla olmasına karşın, gelişim ve gelişim oranı değerleri KTX operatörünün altında kalmıştır. Bu nedenle çaprazlama operatörü olarak KTX operatörü seçilmiştir.

3.8.2. Mutasyon Operatörünün Belirlenmesi

Çaprazlama operatörünün belirlenmesi için yapılan denemelerde, önceden rasgele oluşturulmuş ve veri tabanına kaydedilmiş bir başlangıç popülasyonu kullanılmıştır. Seçim yöntemi olarak ölçekleme yapılmadan rulet tekerleği seçimi

kullanılmıştır. Hem operatör hem de en iyi bireyin korunması seçkinlik yöntemleri ile iyi bireylerin kaybedilmesi önlenmiştir. Popülasyon büyüklüğü 40, çaprazlama oranı % 0, mutasyon oranı % 0,05 olarak belirlenmiş ve algoritma 1 dakika çalıştırılmıştır. Yapılan testlerin sonuçları tablo 3.4’de gösterilmiştir.

Operatör	Gelişim	Gelişim Oranı	Operatör Geliştirme Oranı
KKTM_TA	540.359	% 17,3	% 41,7
KKTM_TT	538.927	% 17,0	% 37,1
KKTM_TB	537.402	% 17,2	% 34,9
KKTM	461.694	% 14,7	% 32,6
SPM	194.542	% 6,2	% 30,8
NPM	164.385	% 5,2	% 4,2
TPM	161.859	% 5,2	% 16,3
NPOM	87.757	% 2,8	% 3,6
2OAS	68.536	% 2,2	% 9,4
3OAS	47.356	% 1,5	% 1,5
2ORS	16.455	% 0,5	% 4,7
SOM	16.375	% 0,5	% 0,5
3ORS	16.088	% 0,5	% 0,6

Tablo 3.4: Mutasyon Operatörünün Seçilmesi İçin Yapılan Testlerin Sonuçları.

Yapılan denemelerde E2ORSM operatörünün gelişim sağlayamadığı görülmüştür. Gelişim Elde edilen mutasyon operatörlerinden en başarılı olanı KKT_TA operatörüdür. Operatör başlangıç çözümünün uygunluğunu 540.359 arttırmış ve % 17.3 gelişim oranına ve % 41,7 operatör gelişim oranına ulaşmıştır. Bu nedenle çaprazlama operatörü olarak KKT_TA operatörü seçilmiştir.

3.8.3. Başlangıç Popülasyonun Oluşturulmasında Kullanılacak Yöntemin Belirlenmesi

Başlangıç popülasyonunun oluşturulmasında kullanılan aday yöntemler için yapılan testlerde, genetik algoritmanın sadece başlangıç popülasyonu oluşturulmuş ve elde edilen en iyi çözümler değerlendirilmiştir.

Yapılan testlerin sonuçları tablo 3.5’de gösterilmiştir.

Popülasyon Oluşturma Yöntemi	Popülasyon Kalitesi
ARAAP-TB	3.683.770
RG-TB	3.506.096
RG-TT	3.424.908
ARAAP-TT	3.359.550
ARAAP-TA	3.262.188
ARAAP	3.164.085
RG-TA	2.985.730
Rastgele	918.142

Tablo 3.5: Başlangıç Popülasyonunu Oluşturma Yönteminin Belirlenmesi İçin Yapılan Testlerin Sonuçları.

Tablo 3.5 incelendiğinde en iyi sonucu veren yöntemin ARAAP-TB olduğu görülmektedir. Bu nedenle uygulamada başlangıç popülasyonunun Araap algoritması ile oluşturulup tavlama benzetimi algoritması ile geliştirilmesi uygun görülmüştür.

3.8.4. Genetik Algoritma Parametrelerinin Belirlenmesi

Genetik algoritma parametrelerinin belirlenmesi için yapılan denemelerde, önceden rastgele oluşturulan sabit bir başlangıç popülasyonu kullanılmıştır. Böylece başlangıç popülasyonunun kalitesinden kaynaklanan farklılıklar olmaması amaçlanmıştır. Rulet tekerleği seçimi kullanılmış ve seçkinlik mekanizması kullanılmamıştır.

3.8.4.1. Popülasyon Büyüklüğünün Belirlenmesi

Çaprazlama oranı % 70, mutasyon oranı % 5 olarak belirlenmiş ve her popülasyon büyüklüğü için algoritma 1 dakika süre ile çalıştırılmıştır. Çaprazlama operatörü KTX ve mutasyon operatörü KKT_TA operatörüdür. Yapılan testlerin sonuçları tablo 3.6’de gösterilmiştir.

Popülasyon Büyüklüğü	Gelişim	Gelişim Oranı
4	93.056	% 2,5
6	94.198	% 2,5
8	93.016	% 2,5
10	84.911	% 2,3
12	69.349	% 1,9

Tablo 3.6: Popülasyon Büyüklüğünün Belirlenmesi İçin Yapılan Testlerin Sonuçları.

Popülasyon büyüklüğünü 6 bireye kadar yükselttiğimizde iyileşme sağlandığı görülürken, 6'nın üzerindeki popülasyon büyüklüklerinde ise ortalama uygunluk değeri azalış eğilimi göstermektedir. Bu nedenle popülasyon büyüklüğü 6 olarak belirlenmiştir.

3.8.4.2. Çaprazlama Oranının Belirlenmesi

Popülasyon büyüklüğü 6, mutasyon oranı % 0 olarak belirlenmiş ve her çaprazlama oranı için algoritma 1 dakika süre ile çalıştırılmıştır. Çaprazlama operatörü olarak KTX operatörü kullanılmıştır. Yapılan testlerin sonuçları tablo 3.7'de gösterilmiştir.

Çaprazlama Oranı	Gelişim	Gelişim Oranı
% 10	67.161	% 1,8
% 20	65.073	% 1,7
% 30	63.399	% 1,5
% 40	74.391	% 2,0
% 50	79.095	% 2,1
% 60	79.747	% 2,1
% 70	46.906	% 1,2
% 80	56.313	% 1,5
% 90	50.069	% 1,3
% 100	55.296	% 1,5

Tablo 3.7: Çaprazlama Oranının Belirlenmesi İçin Yapılan Testlerin Sonuçları.

Çaprazlama oranını % 60'a kadar yükselttiğimizde iyileşme sağlandığı görülürken, % 60'ın üzerindeki çaprazlama oranlarında ise ortalama uygunluk değeri azalma eğilimi göstermektedir. Bu nedenle çaprazlama oranı olarak % 60 olarak belirlenmiştir.

3.8.4.3. Mutasyon Oranının Belirlenmesi

Popülasyon büyüklüğü 6, çaprazlama oranı % 0 olarak belirlenmiş ve her mutasyon oranı için algoritma 1 dakika süre ile çalıştırılmıştır. Mutasyon operatörü olarak KKT_TA operatörü kullanılmıştır. Yapılan testlerin sonuçları tablo 3.8'de gösterilmiştir.

Mutasyon Oranı	Gelişim	Gelişim Oranı
% 0,10	18.145	% 0,5
% 0,25	18.842	% 0,5
% 0,50	29.390	% 0,8
% 1,00	42.499	% 1,1
% 5,00	46.852	% 1,3
% 10,00	40.515	% 1,1
% 15,00	36.823	% 1,0
% 20,00	40.566	% 1,1
% 25,00	37.569	% 1,0

Tablo 3.8 : Mutasyon Oranının Belirlenmesi İçin Yapılan Testlerin Sonuçları.

Tablo incelendiğinde uygunluk değerlerinin % 5'e kadar ortalamalarının mutasyon oranını arttırdıkça hızlı artış gösterdiği, bu oranın üstünde ise azalma eğilimi gösterdiği değerlendirilmiştir. Bu nedenle uygulamada % 5 mutasyon oranı kullanılmıştır.

3.8.4.3.1. Adaptif Mutasyon Stratejisi

İkinci bölümde farklı adaptif mutasyon stratejileri tanıtılmıştı. Bu stratejiler kullanılarak daha başarılı sonuçlar elde edilebilir. Bu düşünce ile çalışmamızda, algoritmanın erken yakınsamasını önlemek amacıyla adaptif bir strateji düşünülmüştür. Bu amaçla popülasyon standart sapması belirli bir değerin altına düştüğünde erken yakınsama olabileceği için, mutasyon oranının belirli bir ölçüde artırılması şeklinde bir adaptif strateji benimsenmiştir. Adaptif stratejide üç parametrenin belirlenmesi gerekmektedir. Bunlardan ilki, mutasyon oranının arttırılacağı standart sapma düzeyidir. İkincisi, mutasyon oranının ne kadar arttırılacağını belirleyen parametredir. Son parametre ise mutasyon oranı için üst sınırın ne olacağıdır. Bu üç parametre deneysel olarak tespit edilmiştir.

İlk olarak, mutasyon oranının üst sınırı (lmt) % 50, mutasyon oranı artış miktarı (d) ise % 5 olarak belirlenip, mutasyon oranının hangi standart sapma seviyesinde (n) değiştirilmesinin faydalı olacağı tesbit edilmeye çalışılmıştır. Bunun için, adaptif mutasyon kullanılmadan; n=20.000, n=15.000, n=10.000, n=8.000 ve n=5.000 için adaptif mutasyon kullanılarak 10'ar adet deneme yapılmıştır. Denemelerde popülasyon büyüklüğü 6, çaprazlama oranı % 60, mutasyon oranı % 5 olarak

belirlenmiştir. Çaprazlama operatörü KTX ve mutasyon operatörü KKT_TA operatörleridir. Deney sonuçları tablo 3.9’da gösterilmiştir.

n	Gelişim	Gelişim Oranı
yok	49.986	% 1,3
20.000	84.289	% 2,3
15.000	87.928	% 2,4
10.000	116.654	% 3,2
8.000	94.240	% 2,6
5.000	100.618	% 2,7

Tablo 3.9: Adaptif Mutasyon Stratejisinde Mutasyon Oranının Değiştirileceği Standart Sapma Düzeyinin (n) Belirlenmesi Amacıyla Yapılan Testlerin Sonuçları.

Tablo 3.9 incelendiğinde en iyi ortalama uygunluk değerinin n=10.000 olduğunda elde edildiği görülebilir. Bu nedenle uygulamada n=10.000 olarak belirlenmiştir.

İkinci olarak, mutasyon oranının üst sınırı (lmt) % 50, mutasyon oranının değiştirileceği standart sapma düzeyi (n) 10.000 olarak belirlenip, mutasyon oranı artış miktarının (d) ne olması gerektiği tespit edilmeye çalışılmıştır. Bunun için, adaptif mutasyon kullanılmadan; d= % 0,1, d= % 0,5, d = % 1, d = % 5 ve d = % 10 için adaptif mutasyon kullanılarak 10’ar adet deneme yapılmıştır. Deney sonuçları tablo 3.10’da gösterilmiştir.

d	Gelişim	Gelişim Oranı
Yok	49.986	% 1,3
% 0,1	83.935	% 2,3
% 0,5	50.029	% 1,3
% 1,0	66.481	% 1,8
% 5,0	96.958	% 2,6
% 10,0	89.973	% 2,4

Tablo 3.10: Adaptif Mutasyon Stratejisinde Mutasyon Oranı Artış Miktarının (d) Belirlenmesi İçin Yapılan Testlerin Sonuçları.

Tablo incelendiğinde en iyi sonucun d=% 5 olduğunda elde edildiği görülebilir. Bu nedenle uygulamada d=% 5 olarak kullanılmaktadır.

Son olarak, mutasyon oranının değiştirileceği standart sapma düzeyi (n) 10.000, mutasyon oranı artış miktarı (d) % 5 olarak belirlenip, mutasyon oranının st limitinin (lmt) ne olması gerektiği tespit edilmeye çalışılmıştır. Bunun için, adaptif mutasyon kullanılmadan; lmt=%20,lmt=%30, lmt=%40, lmt=%50 ve lmt=%60 için adaptif mutasyon kullanılarak 10’ar adet deneme yapılmıştır. Deney sonuçları tablo 3.11’de gösterilmiştir.

lmt	Gelişim	Gelişim Oranı
Yok	49.986	% 1,3
% 20	90.391	% 2,5
% 30	106.970	% 2,9
% 40	89.311	% 2,4
% 50	87.633	% 2,4
% 60	99.993	% 2,7

Tablo 3.11: Adaptif Mutasyon Stratejisinde Mutasyon Oranının st Limitinin (lmt) Tespit Edilmesi Amaçlı Test Sonuçları.

Tablo incelendiğinde en iyi gelişim ve gelişim oranının, lmt=% 30 olduğunda elde edildiği görülebilir. Bu nedenle uygulamada lmt=% 30 olarak kullanılmıştır.

3.8.5. Seçkinlik Yönteminin Belirlenmesi

Her yeni nesil oluşturulurken en iyi bireylerin kaybedilmesi riski bulunmaktadır. Elde edilen en iyi bireylerin korunması için seçkinlik işlemi uygulanabilir. İki farklı seçkinlik yöntemi uygulanmıştır. Bunlardan ilki mevcut popülasyondaki en iyi bireyin yeni nesile kopyalanmasıdır. Diğer yöntem ise operatörlerde seçkinlik uygulanmasıdır. Çaprazlama yapılırken ebeveyn ve oluşturulan çocuklardan en iyi ikisinin yeni nesile aktarılması sağlanır. Mutasyon operatöründe ise çözümü geliştirmeyen değişimlerin yasaklanması şeklinde uygulanır. İlk yöntem ‘‘En İyi Bireyi Koruma’’ diğeri ise ‘‘Operatör Seçkinliği’’ olarak isimlendirilmiştir. Bu iki yöntemin beraber kullanılmasına ise ‘‘Operatör Seçkinliği ve En İyi Bireyin Korunması’’ ismi verilmiştir. Testte seçkinlik kullanılmadığı duruma ise ‘‘Seçkinlik Yok’’ ismi verilmiştir.

Seçkinlik için kullanılan aday yöntemlerle yapılan testlerde, çaprazlama oranı % 60, mutasyon Oranı % 5, popülasyon büyüklüğü 6 olarak belirlenmiş ve her yöntem için algoritma 1 dakika süre ile çalıştırılmıştır. Testlerde kullanılan çaprazlama

operatörü KTX ve mutasyon operatörü KKT_TA operatörleridir. Yapılan testlerin sonuçları tablo 3.12’de gösterilmiştir.

Seçkinlik Yöntemi	Gelişim	Gelişim Oranı
Seçkinlik Yok	55.724	1,4%
Operatör Seçkinliği	146.105	3,7%
En İyi Bireyi Koruma	95.250	2,4%
Operatör Seçkinliği ve En İyi Bireyi Koruma	182.399	4,6%

Tablo 3.12: Seçkinlik Yöntemi İçin Yapılan Testlerin Sonuçları.

Tablo 3.12 incelendiğinde en iyi sonucu veren seçkinlik yönteminin “operatör seçkinliği ve en iyi bireyi koruma” yöntemi olduğu görülmüştür. Bu nedenle uygulamada bu yöntemin kullanılması uygun görülmüştür.

3.8.6. Üreme/Seçim Operatörünün Belirlenmesi

Genetik algoritmanın performansında etkili olan bir operatör de seçim operatörüdür. En çok kullanılan seçim yöntemleri: Rulet tekerleği seçimi, sıralama seçimi ve turnuva seçimidir. Bu yöntemler bireylerin uygunluk değerlerine göre seçim işlemini yapmaktadırlar. Her bireye eşit seçilme şansı tanıyan uniform seçim yöntemi de denenmiştir. Seçim yöntemi olarak rulet tekerleği seçimi kullanıldığında, başlangıçta iyi bireylere kolaylıkla öncelik sağlanabiliyorken, nesiller ilerledikçe bireyler birbirine benzediğinden iyi bireylerin ayırt edilmesi zorlaşır. Bu durum genetik algoritma performansını olumsuz etkiler. Hem ilerleyen nesillerde iyi bireylerin ayırt edilmesini sağlayan hem de popülasyonun süper bireylerle dolup genetik algoritmanın erken yakınsamasını önleyen bir ölçekleme yöntemi kullanılabilir. İkinci bölümde “Uygunluk ölçekleme” başlığı ile tanıtılan tüm yöntemler denenmiş ve en iyi sonucu veren seçim ve ölçekleme yöntemi belirlenmeye çalışılmıştır.

Seçim için kullanılan aday yöntemlerle yapılan testlerde, çaprazlama oranı % 60, mutasyon Oranı % 5, popülasyon büyüklüğü 6 olarak belirlenmiş ve her yöntem için algoritma 1 dakika süreyle çalıştırılmıştır. Testlerde kullanılan çaprazlama operatörü KTX ve mutasyon operatörü KKT_TA operatörleridir. Yapılan testlerin sonuçları tablo 3.13’de gösterilmiştir.

Operatör	Gelişim	Gelişim Oranı
Boltzman Seçimi (T=5.000.000)	127.195	% 2,8
Pencere Ölçeklemeli Rulet Tekerleği Seçimi (Size=2)	124.358	% 3,0
Doğrusal Ölçeklemeli Rulet Tekerleği Seçimi (c=1,2)	120.326	% 3,1
Sigma Budama Ölçeklemeli Rulet Tekerleği Seçimi (c=2)	115.537	% 2,7
Üs Kuralı Ölçeklemeli Rulet Tekerleği Seçimi	113.587	% 3,2
Turnuva Seçimi	105.044	% 2,0
Pencere Ölçeklemeli Rulet Tekerleği Seçimi (Size=6)	104.756	% 3,6
Boltzman Seçimi (T=10.000.000)	103.743	% 2,7
Pencere Ölçeklemeli Rulet Tekerleği Seçimi (Size=8)	96.267	% 2,6
Sigma Budama Ölçeklemeli Rulet Tekerleği Seçimi (c=3)	96.229	% 2,5
Sigma Budama Ölçeklemeli Rulet Tekerleği Seçimi (c=1)	95.216	% 2,7
Boltzman Seçimi (T=20.000.000)	94.673	% 2,8
Pencere Ölçeklemeli Rulet Tekerleği Seçimi (Size=10)	93.720	% 3,1
Pencere Ölçeklemeli Rulet Tekerleği Seçimi (Size=4)	93.598	% 2,8
Sıralama Seçimi	91.356	% 2,7
Uniform Seçim	90.749	% 2,4
Dinamik Doğrusal Ölçeklemeli Rulet Tekerleği Seçimi	86.955	% 2,5
Boltzman Seçimi (T=100.000.000)	83.362	% 2,1
Boltzman Seçimi (T=50.000.000)	78.323	% 2,0
Doğrusal Ölçeklemeli Rulet Tekerleği Seçimi (c=2)	75.299	% 1,3
Ölçeklemesiz Rulet Tekerleği Seçimi	71.464	% 1,8

Tablo 3.13: Üreme/Seçim Operatörünün Belirlenmesi İçin Yapılan Testlerin Sonuçları.

Tablo 3.13 incelendiğinde en iyi sonucu veren seçim yönteminin Boltzman seçimi olduğu görülmüştür. Bu nedenle uygulamada bu seçim yönteminin kullanılması uygun görülmüştür.

3.8.7. Mikro Genetik Algoritma Yaklaşımı

Algoritma için uygun popülasyon büyüklüğü 6 olarak belirlenmiştir. Bu popülasyon büyüklüğünde popülasyondaki çeşitliliğin azalması ve erken yakınsamanın meydana gelmesi olasıdır. Bu nedenle mikro genetik algoritma yaklaşımı kullanılarak, belirli zaman periyotlarında yada yeni nesil sayısı belirli bir değere ulaştığında popülasyonun yenilenmesi ile erken yakınsama önlenir. Popülasyon yenilenirken en iyi çözüm korunur, yeni bir popülasyonla araştırmaya devam edileceğinden çözüm uzayının farklı bölgelerinin de araştırılması mümkün olur. Böylece daha kaliteli çözümler elde edilebilir. Bu yaklaşımda popülasyonun hangi durumda yenileceği belirlenmelidir. Bu çalışmada belirli bir süre dolduğunda popülasyon yenilenmektedir. Bu sürenin ne olması gerektiği deneysel olarak belirlenmelidir. Sürenin çok kısa olması, daha popülasyon yeterince geliştirilemeden, popülasyonun yenilenmesine neden olabilir. Sürenin çok uzun olması ise popülasyonun erken yakınsama oluştuktan sonra yenilenmesine neden olabilir.

Mikro genetik algoritma yaklaşımı için yapılan testlerde, çaprazlama oranı % 60, mutasyon Oranı % 5, popülasyon büyüklüğü 6 olarak belirlenmiş ve her popülasyon yenileme süresi için algoritma 1 dakika süreyle çalıştırılmıştır. Testlerde kullanılan çaprazlama operatörü KTX ve mutasyon operatörü KKT_TA operatörleridir. Yapılan testlerin sonuçları tablo 3.14’de gösterilmiştir.

Popülasyon Yenileme Periyodu	Gelişim	Gelişim Oranı
5	65.856	% 1,8
10	73.872	% 2,0
15	75.350	% 2,0
20	55.939	% 1,5
25	53.701	% 1,4

Tablo 3.14: Uygun Popülasyon Yenileme Periyodunun Belirlenmesi İçin Yapılan Testlerin Sonuçları.

Tablo 3.14 incelendiğinde en iyi sonucun 15 sn’de elde edildiği görülmektedir.

Mikro genetik algoritma yaklaşımında, popülasyonun belirlenen zaman periyodlarında yenilenmesi gerekmektedir. Popülasyonun yenilenmesi için kullanılan yöntemin etkin ve hızlı bir yöntem olması algoritma performansını olumlu etkileyecektir. Başlangıç popülasyonunu oluşturmada ARAAP-TB yöntemi kullanılması uygun görülmüştür. Ancak bu yöntem etkin sonuçlar üretmesine karşın oldukça uzun bir zaman almaktadır. Bu nedenle popülasyonun yenilenmesi için uygun bir yöntem olmayabileceği düşünülmüştür. Bu yöntemin yerine daha az etkin ama daha kısa sürede popülasyonu yenileyecek bir yöntem kullanılabilir. Popülasyonu yenilemek için daha kısa zaman harcayan RG ve ARAAP yöntemlerinin kullanılması uygun olabilir. Hangi yöntemin daha uygun olduğunu belirlemek için popülasyonun ARAAP-TB, ARAAP ve RG yöntemleriyle yenildiği testler yapılmıştır. Bu testlerin sonuçları tablo 3.15’de gösterilmiştir.

Popülasyon Yenileme Algoritması	Gelişim	Gelişim Oranı
Rasgele	81.427	% 2,2
ARAAP	49.157	% 1,3
ARAAP+TB	70.275	% 1,9

Tablo 3.15: Popülasyon Yenileme Yöntemini Belirlemek İçin Yapılan Testlerin Sonuçları

Tablo 3.15 incelendiğinde popülasyonu rasgele yenilemenin en iyi sonucu verdiği anlaşılmıştır. Bu nedenle algoritma 15 sn’de bir en iyi bireyi koruyarak popülasyonu rasgele yenilemektedir.

3.8.8. Üst Sezgisel Yaklaşım

İkinci bölümün sonunda incelenen üst sezgisel yaklaşım kullanılarak popülasyondaki çeşitliliğin artırılması ve dolayısıyla erken yakınsamanın önlenmesi mümkün olabilir. Bu düşünce ile algoritmaya bir üst sezgisel yaklaşım eklenmiştir. Bu yaklaşım için önceki testlerde en başarılı olan üçer adet çaprazlama, mutasyon ve seçim operatörleri alt sezgiseller olarak belirlenmiştir. Sezgisel seçimi için olasılıklı bir yaklaşım uygulanmıştır. İlk elli nesil boyunca her operatör sıra ile işletilmiştir. Bu elli nesil boyunca elde edilen performanslarına göre sonraki adımda kullanılacak operatörler belirlenmektedir. Performansı yüksek olan operatörlere daha yüksek seçilme şansı verilmektedir.

Bu yaklaşımın kullanılmasındaki amaç, çaprazlama, mutasyon ve seçim operatörlerinin çeşitliliğini sağlamaktır. Her çaprazlama, mutasyon ve seçim operatörünün çeşitli üstünlük ve zayıflıkları mevcuttur. Birden fazla operatör kullanılmak suretiyle zayıflıkların giderilmesi ve popülasyon çeşitliliğinin daha fazla olması amaçlanmaktadır. Bu yöntemin başarılı olup olmadığını anlamak amacıyla yaptığımız testlerin sonuçları tablo 3.16’de sunulmuştur.

	Normal Yaklaşım	Üst Sezgisel Yaklaşım
Gelişim	73.830	85.873
Gelişim Oranı	% 2,0	% 2,3

Tablo 3.16: Üst sezgisel yaklaşımın ve normal yaklaşımın performans testlerinin sonuçları.

Tablo 3.16 incelendiğinde üst sezgisel yaklaşım ile daha başarılı sonuçlar alınabileceği anlaşılmaktadır. Bu nedenle algoritmada üst sezgisel yaklaşım kullanılmıştır.

İkinci bölümde üst sezgisel yaklaşım açıklanırken bazı alt sezgisel seçim yöntemleri tanıtılmıştır. Bu seçim yöntemleri denenmiş ve uygun alt sezgisel seçim yöntemi belirlenmeye çalışılmıştır. İkinci bölümde tanıtılan “seçim fonksiyonu” modifiye edilerek iki farklı yöntem oluşturulmuş ve denenmiştir.

Ortalama Seçim Fonksiyonu (Average Choise Function – ACF) : Seçim fonksiyonu yönteminde alt sezgisellerin en son performanslarına bakılarak değerlendirme yapılır. En iyi son performansa sahip sezgisel seçilir. Ortalama seçim fonksiyonu adını verdiğimiz bu yöntemde en iyi don performansa sahip olan sezgisel değil en iyi ortalama performansa sahip olan sezgisel seçilmektedir.

Hareketli Ortalama Seçim Fonksiyonu (Moving Average Choise Function – MACF): Bu seçim yönteminde seçim fonksiyonu ve ortalama seçim fonksiyonunun olumsuzluklarının giderilmesi amaçlanmaktadır. Seçim fonksiyonu son performans değerlerini kullandığından sezgisellerin genel performansını göz ardı etmektedir. Ortalama seçim fonksiyonu ise sezgisellerin tüm performansının ortalamasını değerlendirmektedir. Bu durumda problemin değişen koşullarında sezgiselin son uygulamalarındaki performans eğilimi göz ardı edilmektedir. Bu iki olumsuzluğu gidermek amacıyla değerlendirmede son 10 performans değerinin ortalaması kullanılmaktadır. Böylece değerlendirme tek performans değerine göre yapılmadığından sezgiselin genel performansı da kısmen değerlendirilmiş olur. Son 10 performans değerlendirildiği için, problemin değişen tabiatına göre daha uygun sezgisellerin seçilmesi sağlanabilmektedir.

Uygun seçim yöntemini belirlemek amacıyla yapılan testlerin sonuçları tablo 3.17’de gösterilmiştir.

Operatör+EIBK		
	Gelişim	GO
MACF	101.593	% 2,7
ACF	91.945	% 2,5
RD	88.432	% 2,4
SR	80.013	% 2,1
RP	58.580	% 1,6
CF	51.580	% 1,4
RPD	48.546	% 1,3

Tablo 3.17: Uygun Alt Sezgisel Seçim Yönteminin Belirlenmesi İçin Yapılan Testlerin Sonuçları.

Tablo 3.17'deki sonuçlar incelendiğinde, en iyi gelişimin MACF yöntemiyle elde edildiği görülmüştür. Bu nedenle algoritmada MACF yöntemi uygulanmıştır.

3.8.9 Algoritmanın Çoklu Koşum Çalıştırılması

Mikro genetik algoritma yaklaşımı daha kaliteli çizelgeler oluşturmaya karşın, her seferinde aynı başarıyı göstermesi mümkün değildir. Bunun nedeni algoritmada kullanılan tüm sezgisel yöntemlerin (ARAAP, TT, TA, TB ve Genetik Algoritma) raslantısal arama mantığına dayanmasıdır. Bu nedenle bu melez algoritmanın birkaç kere koşturularak her koşumda bulunan en iyi sonuçların saklanması düşünülmüştür. Böylece çoklu koşum çalışmadan daha iyi sonuçların alınması mümkündür. Tekrar sayısı ne kadar fazla olursa en iyi çözüme ulaşma olasılığı o kadar fazla olacaktır. Koşum sayısının artırılması da daha fazla zaman harcanmasına neden olacaktır. Bu nedenle koşum sayısının kullanıcı tarafından değiştirilmesine olanak tanınmıştır.

3.8.10. Yapılan Testler Sonucunda Elde Edilen Optimal Konfigürasyon

Çaprazlama Operatörü: Katı kısıt tabanlı çaprazlama (KTX), ortada yada sonda iki nokta çaprazlama (2PECX), tek noktada çaprazlama (1PX) operatörleri üst sezgisel tarafından yönetilmektedir.

Mutasyon Operatörü: Katı kısıt tabanlı tabu arama (KKT_TA), katı kısıt tabanlı tep tırmanma (KKT_TT) ve katı kısıt tabanlı tavlama benzetimi (KKT_TB) operatörleri üst sezgisel tarafından yönetilmektedir.

Sezgisel (Operatör) Seçim Yöntemi : Hareketli Ortalama Seçim Fonksiyonu (Moving Average Choise Function – MACF)

Popülasyon Büyüklüğü: 6

Çaprazlama Oranı: % 60

Mutasyon Oranı: % 5

Adaptif Mutasyon Stratejisi: $n = 10.000$; $d = \% 5$; $lmt = \% 30$

Başlangıç Popülasyonu: ARAAP-TB (GRASP-SA)

Seçkinlik Stratejisi: “Operatör seçkinliği ve en iyi bireyin korunması” yöntemi.

Seçim Yöntemi: $T = 5.000.000$ olan Boltzman Seçimi, $w=2$ olan pencere ölçekli (ölçekleme penceresi) rulet tekerleği seçimi ve $c=1,2$ olan doğrusal ölçekli rulet tekerleği seçimi operatörleri üst sezgisel tarafından yönetilmektedir.

Popülasyon Yenileme Süresi: 15 saniye.

3.8.11. Geliştirilen Algoritmanın Sözde Kodu

1. Başla.
2. Veri tabanından gerekli verileri hafızaya yükle. 3.adıma git.
3. Koşum sayacını sıfırla
4. ARAAP algoritması ise başlangıç popülasyonunu oluştur. 5.adıma git.
5. Popülasyondaki bireyleri tavlama benzetimi ile geliştir. 6.adıma git.
6. Eğer algoritmanın ilk çalışması ise hemen 7. adıma git, aksi durumda önceki çalışmada elde edilen en iyi bireyi popülasyondaki en kötü bireyin yerine koy ve 7.adıma git.
7. Performanslarına göre uygun çaprazlama, mutasyon ve seçim operatörlerini belirle 8. adıma git.
8. Belirlenen seçim operatörü ile iki ebeveyn seç ve 9. adıma git.
9. Seçilen ebeveynlere % 60 olasılıkla çaprazlama operatörünü uygula. Elde edilen çocuklarla ebeveynlerden en iyi ikisini yeni nesile aktar ve 10. adıma git.
10. Yeni nesile aktarılan bireylere % 5 olasılıkla mutasyon operatörünü uygula. Eğer mutasyon işlemi bireyi geliştiremedi ise işlemi iptal et. 11. adıma git.

11. Eğer yeni nesildeki birey sayısı popülasyon büyüklüğüne ulaştı ise 12. adıma git, aksi durumda 8. adıma geri dön.
12. Popülasyondaki bireylerin uygunluk değerlerini ve istatistikleri hesapla. Uygunluk ölçekleme işlemini yap ve 13. adıma git.
13. Kullanılan çaprazlama, mutasyon ve seçim operatörlerinin performans değerlerini güncelle ve 14.adıma git.
14. Eğer popülasyon standart sapması 10.000'den küçükse mutasyon oranını % 5 arttır. 15. adıma git.
15. Eğer popülasyon yenileme süresi tamamlandıysa 16. adıma git, aksi durumda 4. adıma geri dön.
16. En iyi bireyi hafızaya kaydet ve 17. adıma git.
17. Eğer algoritmanın çalışma süresi tamamlandı ise 18. adıma git, aksi durumda 4. adıma geri dön.
18. Eğer koşum sayısı istenilen değere ulaştı ise 19.adıma git. Aksi durumda koşum sayacını bir arttır ve 4.adıma git.
19. Araştırmayı durdur ve sonuçları göster.

3.8.12. Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi 2007-2008 Eğitim-Öğretim Yılı Bahar Yarıyılı Verileri ile Yazılımın Test Edilmesi ve Elde Edilen Sonuçlar

İdeal konfigürasyon tespit edildikten sonra Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Öğrenci İşleri Şefliği'nden bahar yarıyılına ait veriler alınmış ve programa girilerek kaydedilmiştir. Öğretim elemanlarının tercih ettikleri oturumlar ve dersliklere ilişkin kısıtlamalar girilmiş ve çözüm algoritması test edilmiştir.

2007-2008 Eğitim-öğretim yılı bahar yarıyılında 3 bölüm ve 4 sınıfa ait, şubelere ayrılan 55, ayrılmayan 39 ders olmak üzere toplam 94 dersin oturumlara atanması gerekmektedir. Derslerin atanabileceği oturum sayısı 40, derslik sayısı 27'dir. Dersliklerin 2'si bilgisayar laboratuvarı, 3'ü projeksiyonlu derslik, 4'ü amfi ve 18'i normal dersliklerdir. Dersleri atanacak öğretim elemanlarının sayısı 51'dir. Öğretim elemanlarının 45'i oturum tercihi yaparken 20'si derslik tercihinde de bulunmuştur.

Gerçek verilerle yapılan testlerin sonuçlarını değerlendirebilmek amacıyla Öğrenci işleri şefinin elle düzenlediği ders programı incelenmiştir ve tüm katı ve yumuşak kısıtların sağlanmış olduğu görülmüştür. Bu ders programına göre elde edilebilecek en yüksek uygunluk değeri 3.840.395 olarak hesaplanmıştır.

Gerçek verilerle ½, 1, 5, 10, 20, 30 ve 60 dakikalık süreler için ve 1,2 ve 3 koşum için performans testleri yapılmıştır. Yapılan testlerin sonuçları tablo 3.18’de gösterilmiştir.

1 Koşum							
Süre	0,5 dak	1 dak	5 dak	10 dak	20dak	30 dak	60 dak
Uygunluk	3.799.834	3.818.280	3.825.460	3.827.552	3.831.752	3.832.956	3.836.956
Tercih Puanı	3.769.795	3.771.275	3.771.975	3.772.125	3.772.395	3.772.395	3.772.395
Aynı Güne Atanamayan Şube Dersleri Sayısı	19	11	8	7	5	4	2
Derslik Sayılarını Aşan Atamaların Sayısı	0	0	0	0	0	0	0
Öğretim Elemanlarının Derslerinde Çakışma Sayısı	0	0	0	0	0	0	0
Öğrencilerin Derslerinde Çakışma Sayısı	0	0	0	0	0	0	0
Öğretim Elemanlarının Yerine Getirilmeyen Tercihlerinin Sayısı	6	4	2	1	0	0	0
Derslik Kapasiteleri ile Öğrenci Sayılarının Arasındaki Fark	6039	7005	7485	7427	7357	6561	6561
2 Koşum							
Süre	0,5 dak	1 dak	5 dak	10 dak	20dak	30 dak	60 dak
Uygunluk	3.812.716	3.821.266	3.826.440	3.827.726	3.834.988	3.838.434	3.840.407
Tercih Puanı	3.770.345	3.771.695	3.772.075	3.772.395	3.772.395	3.772.395	3.772.395
Aynı Güne Atanamayan Şube Dersleri Sayısı	15	10	7	4	3	1	0
Derslik Sayılarını Aşan Atamaların Sayısı	0	0	0	0	0	0	0
Öğretim Elemanlarının Derslerinde Çakışma Sayısı	0	0	0	0	0	0	0
Öğrencilerin Derslerinde Çakışma Sayısı	0	0	0	0	0	0	0
Öğretim Elemanlarının Yerine Getirilmeyen Tercihlerinin Sayısı	5	3	1	0	0	0	0
Derslik Kapasiteleri ile Öğrenci Sayılarının Arasındaki Fark	6571	6571	7365	7351	7723	6039	6012
3 Koşum							
Süre	0,5 dak	1 dak	5 dak	10 dak	20dak	30 dak	60 dak
Uygunluk	3.813.600	3.824.622	3.829.056	3.833.208	3.835.366	3.840.956	3.840.956
Tercih Puanı	3.771.285	3.772.015	3.772.145	3.772.395	3.772.395	3.772.395	3.772.395
Aynı Güne Atanamayan Şube Dersleri Sayısı	11	8	6	3	2	0	0
Derslik Sayılarını Aşan Atamaların Sayısı	0	0	0	0	0	0	0
Öğretim Elemanlarının Derslerinde Çakışma Sayısı	0	0	0	0	0	0	0
Öğrencilerin Derslerinde Çakışma Sayısı	0	0	0	0	0	0	0
Öğretim Elemanlarının Yerine Getirilmeyen Tercihlerinin Sayısı	4	2	1	0	0	0	0
Derslik Kapasiteleri ile Öğrenci Sayılarının Arasındaki Fark	6425	7027	7261	7213	7691	6561	6561

Tablo 3.18: Gerçek Veriler Kullanılarak Yapılan Performans Testlerinin Sonuçları.

Tablo 3.18 incelenirse, algoritmanın ½ dakika süre ile 1 koşum çalıştırılması halinde bile öğretim elemanlarının derslik ve oturum tercihlerinin % 87'si yerine getirilmektedir ve herhangi bir zorunlu kısıt ihlal edilmemektir. Şubelere ayrılmış olan ve öğretim elemanı aynı olan derslerin % 39'u kısıta uygun olarak yerleştirilmiştir. Çalışma süresi arttırıldığında tercihlerin ve şubelere ayrılmış derslere ilişkin kısıtların daha büyük oranda sağlandığı görülebilir. Algoritmanın 20 dakikalık sürede 1 koşum çalıştırılmasında, 10 dakikalık sürede 2 ve 3 koşum çalıştırılmasında öğretim görevlilerinin derslik ve oturum tercihlerinin tamamı sağlanabilmiştir. Algoritmanın 60 dakikalık süre ile 2 koşum çalıştırılmasında elde edilen sonuca bakıldığında şubelere ayrılmış derslere ilişkin kısıtın ve öğretim elemanlarının tercihlerinin tamamının sağlandığı görülmektedir. Ancak, derslik kapasitelerine ilişkin yumuşak kısıt nedeniyle en iyi sonuç elde edilememiştir. Algoritma, 60 dakika süre ile 3 koşum çalıştırıldığında ise en iyi çözüme ulaşılabilmiştir. Sezgisel algoritmalarda elbette her zaman en iyi çözüme ulaşmak mümkün olmayabilir. Bu tez çalışmasında geliştirilen genetik algoritma da optimal çözümü garanti etmemektedir. Yapılan denemeler sonucunda, algoritmanın çalışma süresinin mümkün olduğunca uzun tutulmasının ve koşum sayısının mümkün olduğunca fazla olmasının daha iyi çözümler elde edilmesini sağladığı görülmüştür. Tavsiye edilen çalışma süresi en az 60 dakika ve koşum sayısının da en az 3 olmasıdır.

Algoritmanın 60 dakikalık 3 koşum çalıştırılması ile elde edilen bu program, elle yapılan ders programı ile karşılaştırıldığında, derslerin atandığı oturumlarda ve dersliklerde farklılıklar olduğu gözlenmiştir. Oturumlardaki farklılık, öğretim elemanlarının oturum tercihlerinin geniş olmasından kaynaklanmaktadır. Örneğin, bir öğretim elemanı A, B ve C dersleri için Pazartesi, Salı ve Çarşamba günlerini tercih ettiğini varsaydığımızda, bir günde 8 oturum olduğuna göre söz konusu üç ders $3 \times 8 = 24$ oturumdan birisine atanabilir. Bu nedenle yapılan her iki ders programı da öğretim elemanları açısından tatmin edici olmuştur. Derslik atamaları incelendiğinde ise program tarafından yapılan atamaların daha tatminkar olduğu söylenebilir. Dersleri alan öğrencilerin sayısı derslik kapasitesini aşmayacak yada en az ölçüde aşacak biçimde ders çizelgesi oluşturulmuştur. Elle yapılan çizelgenin uygunluk değeri ile program tarafından gerçekleştirilen çizelgenin uygunluk değerleri arasındaki farklılık da

dersliklere yapılan atamaların farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Programdan elde edilen ders çizelgeleri için örnek çıktıları ekler kısmında sunulmuştur.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Üretim ve hizmet işletmelerinde planlama faaliyetleri, kaynakların etkin kullanımı ve müşteri memnuniyeti açısından oldukça büyük öneme sahiptir. Üretim ve hizmet planlaması uzun, orta ve kısa vadeler için gerçekleştirilmektedir. Uzun vadeli planlama işletmenin hedef ve politikalarını kapsar ve işletme kapasitesini belirler. Orta vadeli planlama uzun vadeli planlamaya uygun olarak işgücü, materyal planlaması ve üretim hedeflerini belirler. Kısa vade planlama ise orta vadeli planlamaya uygun olarak kısa vadede üretim hedeflerinin belirlenmesi, bu hedeflere göre iş sıralama, rotalama, yükleme ve programlama/çizelgeleme faaliyetlerini kapsar. Çizelgeleme, işlerin hangi makinalarda hangi sıra ile ne zaman ve kim tarafından yapılacağını belirlemeye çalışan bir planlama fonksiyonudur.

Üretim çizelgelemeye ilişkin ilk çalışmalar 20.yy'ın başlarında Henry Gantt, S.M. Johnson ve diğer öncüler tarafından başlatılmıştır. Bu çalışmalar hızlı bir şekilde artış göstermiş ve çizelgeleme problemlerinin çözümü için çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir. Başlangıçta ele alınan probleme özel sezgisel yöntemler geliştirilirken, 1989-1990'lı yıllarda tabu arama, tavlama benzetimi gibi modern sezgisel yöntemler kullanılmaya başlanmıştır. Günümüze kadar süre gelen bu çalışmalarda yapay sinir ağları yaklaşımı, genetik algoritmalar ve bulanık mantık gibi çeşitli yapay zeka tekniklerinin yaygınlaştığı anlaşılmaktadır. Günümüzde, çok amaçlı algoritmalar, melez yaklaşımlar ve üst sezgisel yöntemlerin kullanıldığı araştırmaların artarak sürdüğü görülmektedir.

Üretim çizelgelemenin özel bir hali olan zaman çizelgeleme hizmet planlaması için büyük önem taşımaktadır. Zaman çizelgeleme en basit şekilde, hizmet alan ile hizmet verenin ve de gerekli hizmet materyallerinin belirli bir hizmet ortamında bir araya getirilmesini amaçlayan bir optimizasyon problemidir. Zaman çizelgeleme problemlerinde belirli bir veya daha fazla sayıda amaç ve çeşitli katı ve yumuşak kısıtlar mevcuttur. Katı kısıtlar, oluşturulacak çizelgelerin olurlu olması için mutlaka sağlanması gereken kısıtlardır. İhlal edilen herhangi bir katı kısıt çizelgenin olursuz olmasına neden olur. Yumuşak kısıtlar ise, çizelgenin olurlu olması bakımından mutlaka sağlanması gerekmeyen, ancak çizelgenin kalitesini belirleyen kısıtlardır. Yumuşak kısıtlar ne ölçüde yerine getirilebilirse elde edilen çizelgeler o ölçüde kaliteli

olacaktır. Yumuşak kısıtların ihlal edilmesi, hizmeti alanları da, hizmet verenleri de, işletme yönetimini de olumsuz yönde etkileyerek hizmetin algılanan kalitesini düşürebilir. Bu nedenle zaman çizelgeleme problemleri, genellikle yumuşak kısıt ihlallerinin azaltılması amacı ile modellenmektedir.

Eğitim kuruluşlarında, tüm hizmet işletmelerinde olduğu gibi hizmetlerin doğru bir şekilde amaçlara uygun planlanması verimlilik ve rekabet açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu nedenle eğitim kuruluşlarında uzun, orta ve kısa vadede hizmet planlarının oluşturulması ve uygulanması zorunludur.

Eğitim kuruluşlarında, en önemli planlama faaliyetlerinden ikisi ders ve sınav programlarının (çizelgelerinin) oluşturulmasıdır. Yapılan literatür araştırmasında bu iki problemin literatürde geniş bir yere sahip olduğu görülmüştür. 1960'lı yıllardan beri araştırmacıların bu problemlere ilgi duyduğu ve çözümü için çeşitli yöntemler geliştirdikleri ve denedikleri görülmüştür. Bu problemlerin çözümünde kullanılan çeşitli yaklaşımlar, graf tabanlı teknikler, kısıt tabanlı teknikler, yerel arama teknikleri, popülasyon tabanlı teknikler, çok ölçütlü teknikler, melez ve üst sezgisel teknikler olarak sınıflandırılabilir. Son yıllardaki çalışmaların önemli ölçüde, çok ölçütlü, melez ve üst sezgisel tekniklere yöneldiği görülebilir.

Bu tez çalışmasında, ders ve sınav programlarının otomatik çizelgelemesini yapan bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Program “Kullanıcı Arabirimi”, “Veri Tabanı” ve “Sezgisel Çözümleyici” ismini verdiğimiz üç ana bileşene sahiptir. Kullanıcı arabirimi kullanıcı ile veritabanı ve çözümleyici arasındaki bilgi alışverişini yönetmeyi sağlamaktadır. Veri tabanı, kullanıcı arabiriminden yada sezgisel çözümleyiciden gelen bilgileri depolar ihtiyaç duyulduğunda gerekli bilgileri kullanıcı arabirimine yada sezgisel çözümleyiciye iletir. Sezgisel çözümleyici veri tabanından aldığı bilgileri kullanarak problem için en iyi çözümü bulmaya çalışır ve elde ettiği en iyi çizelgeyi veri tabanına ileterek depolanmasını sağlar. Kullanıcı ara birimi vasıtasıyla probleme ilişkin temel verilerin ve kısıtların veri tabanına kaydedilmesi sağlanır. Daha sonra sezgisel çözümleyicinin çalıştırılması ve elde edilen çözümlerin bölüm, sınıf, öğretim elemanı yada gün bazında raporlanabilmesini sağlar. Ayrıca “Program Değiştirme” menüsü ile oluşturulan programlarda değişiklik yapılabilmesi de sağlanır.

Yazılımın çözüm algoritmasında kullanılan yaklaşım, melez bir mikro genetik algoritmadır. Algoritmanın başlangıç çözümleri (popülasyon) oluşturulurken çeşitli yaklaşımlar denenmiş ve uygun olan yaklaşım deneysel olarak belirlenmiştir. Algoritmada, permütasyon tipi kodlama şeması kullanılmıştır. Başlangıç çözümün oluşturulmasında açgöz rasgele adaptif arama prosedürü algoritmasının oluşturma aşaması kullanılmış ve yerel arama aşaması içinse katı kısıt odaklı bir tavlama benzetimi algoritması kullanılmıştır. Seçim yöntemi olarak rulet tekerleği seçimi, sıralama seçimi, turnuva seçimi ve uniform seçim yöntemleri denenmiştir. Ayrıca rulet tekerleği seçiminde, çeşitli ölçekleme yöntemleri de denenerek uygun seçim yöntemi belirlenmiştir. Sonuçta rulet tekerleği yönteminin ölçeklenmiş bir türü olan boltzman seçiminin kullanılması uygun görülmüştür. Genetik algoritmanın performansında önemli etkiye sahip olabilen çaprazlama ve mutasyon operatörleri de deneysel çalışma neticesinde belirlenmiştir. Bu amaçla literatürde permütasyon kodlama için kullanılan çeşitli çaprazlama ve mutasyon operatörleri programlanmış ve denenmiştir. Literatürde yer alan bu operatörlere ek olarak 1 adet çaprazlama (KTX) ve 3 adet mutasyon operatörü (KKT_TT, KKT_TA, KKT_TB) geliştirilmiş ve denenmiştir. En uygun çaprazlama operatörü olarak KTX operatörü, mutasyon operatörü olarak da KKT_TA operatörü seçilmiştir. Çaprazlama ve mutasyon operatörleri nedeniyle elde edilen en iyi çözümün kaybedilmesi, ve popülasyon kalitesinin azalmasını önlemek amacıyla seçkinlik işlemi uygulanmaktadır. Uygun seçkinlik yaklaşımı deneysel olarak tespit edilmiştir. Algoritmanın performansı için önemli etkilere sahip olan çaprazlama oranı, mutasyon oranı ve popülasyon büyüklükleri deneysel olarak tespit edilmiştir. Seçilen popülasyon büyüklüğü 6 olduğu için, popülasyondaki çeşitliliğin devamını sağlamak amacıyla belirli zaman aralığıyla popülasyon yenilenmektedir. Popülasyon yenilenirken o ana kadar elde edilen en iyi çözüm saklanmaktadır. Böylece en iyi çözümün kaybedilmesi riski ortadan kaldırılmaktadır. Ayrıca popülasyon çeşitliliğini sağlamak ve yerel optimumdan kaçabilmek amacıyla adaptif bir mutasyon stratejisi kullanılmaktadır. Popülasyon standart sapması belirli bir değerin altına düştüğünde mutasyon oranı artırılarak algoritma yerel optimumdan kaçmaya çalışır. Bu strateji sayesinde algoritma popülasyon çeşitliliğini sağlamaya ve erken yakınsamayı önlemeye çalışmaktadır.

Geliştirilen algoritmada alınan önlemlere rağmen algoritmanın her zaman en iyi çözümü bulması mümkün olamayabilir. Bu nedenle kullanıcıya algoritmanın birkaç kere koşturulması imkanı sunulmuştur. Böylece en iyi çözümün elde edilmesi olasılığı daha fazla olmaktadır. Algoritma yaklaşık 30 saniyede olurlu ve yüksek kalitede bir çizelge oluşturabilmektedir. Ancak, çalışma süresi ve koşum sayısı ne kadar fazla olursa elde edilecek çözümler daha kaliteli olacaktır. Çalışma süresinin en az 30 yada 60 dakika olması, popülasyonun 15 saniyede bir yenilenmesi ve algoritmanın en az iki defa koşturulması iyi sonuçlar verecektir.

GenoDSP yazılımı ile ders programı oluşturmanın ders programının elle yapılmasına göre çeşitli avantajları görülmüştür. Bu avantajlar :

- Ders ve sınav programları için ilgili personelin 2-3 gün zaman harcadığı düşünüldüğünde, çözümün 2-3 saat gibi bir sürede elde edilebilmesinin eğitim kuruluşları için önemli bir avantaj olacağını düşünmekteyiz.
- Oluşturulan bir ders yada sınav programında bazı derslerin yerleşiminde değişiklikler yapılması gerekebilir. Böyle bir durumda GenoDSP yazılımı, seçilen ders için uygun olan oturum ve derslikleri gösterir ve dersin belirlenen yeni oturum ve dersliğe atanabilmesini sağlar. Bu da kullanıcılara önemli ölçüde bir kolaylık sağlamaktadır. GenoDSP yazılımı, bir dersin herhangi bir oturum ve dersliğe atanması durumunda çizelgede yapılması gereken değişiklikleri göstermektedir. Onay verilmesi durumunda da bu değişiklikleri gerçekleştirmektedir. Bu iki alternatif yolla oluşturulmuş bir çizelge 1-2 saniye gibi bir zamanda yeniden çizelgelenebilmektedir.
- GenoDSP yazılımı çözüm uzayının çeşitli bölgelerini taradığı için personelin elle yaptığı ders yada sınav programından daha kaliteli programlar oluşturabilmektedir.
- Ders yada sınav programını oluşturulduktan sonra, programın çeşitli kriterlere göre raporlanması gerekmektedir. Bu raporlama işleminin personel tarafından yapılması da uzun bir zaman almaktadır. GenoDSP yazılımı ile oluşturulan ders yada sınav programının çeşitli kriterlere göre raporları oluşturabilmesi de önemli bir avantaj olarak görülmektedir.

Sonuçları genel olarak değerlendirdiğimizde, problemin kısıtlarına ve amacına özel olarak geliştirilen operatörlerin daha başarılı olabildikleri, başlangıç popülasyonunun oluşturulmasında sezgisel yöntemlerin kullanılmasının genetik algoritma performansını olumlu yönde etkilediği, yerel arama tabanlı sezgisel mutasyon operatörlerinin daha etkili olduğu, adaptif stratejilerin olumlu sonuç verdiği değerlendirilmiştir.

Çok işlemci desteği olan bilgisayarlarda geliştirilen genetik algoritmaların çok kanallı paralel genetik algoritma yapısına dönüştürülmesi düşünülebilir. Çok kanallı bir yazılım geliştirilerek her kanalda bir genetik algoritmanın çalıştırılması ve zaman zaman bu genetik algoritmaların elde ettikleri sonuçlar hakkında haberleşmeleri şeklinde bir model geliştirilebilir. Paralel bilgi işleme ve çok sayıda işlemcinin kullanılması nedeniyle geliştirilen algorithmadan daha kısa sürede daha etkin sonuçlar alınabilmesi mümkündür. Bu uygulama kapsamından paralel genetik algoritma yaklaşımı denenmiştir, ancak çok sayıda popülasyonun gelişimi için bütün işlemler tek bir işlemci ile sürdürüldüğünden yeterli performans sağlanamamıştır. Çok işlemcili bir bilgisayarda paralel genetik algoritmanın daha başarılı olacağı düşünülmektedir.

Paralel genetik algoritma modeline benzer fakat her kanalda farklı bir sezgisel üstü (meta sezgisel) yöntemin çalıştırıldığı çok kanallı bir uygulama modeli de geliştirilebilir. Örneğin bir kanalda genetik algoritma çalışırken, diğer bir kanalda yapay karınca sistemi ve belki üçüncü bir kanalda yapay bağışıklık sistemi gibi algoritmalar çalıştırılabilir. Her kanalda elde edilen en iyi çözümler kanallar arasında paylaşılacağı için üç farklı sezgisel yöntemin avantajlarından faydalanma imkanı söz konusu olabilir.

Ayrıca, optimizasyon ve çizelgeleme problemlerinde yapay sinir ağları yaklaşımının kullanılması da mümkündür. Yapay sinir ağları yaklaşımı ile sezgisel üstü arama algoritmalarının beraber kullanılması, çok kanallı uygulamalar geliştirilmesi mümkün olabilir.

Farklı sezgisel üstü algoritmaların üst sezgisel bir yaklaşımla yönetilmesi de başarılı sonuçlar üretebilir. Bu amaçla çok sayıda sezgisel üstü algoritmayı ve hatta faydalı olabilecek basit sezgisel algoritmaları içeren tek kanallı yada çok kanallı üst sezgisel bir algoritma geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Abdullah, S., 2006, *Heuristic Approaches for University Timetabling Problems*, Doctor of Philosophy Thesis, The School of Computer Science and Information Technology, The University of Nottingham, Nottingham, UK.
- Abdullah, S., Burke, E.K. ve McCollum, B. , 2007, “A Hybrid Evolutionary Approach to the University Course Timetabling Problem”, *Proceedings of the IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC 2007)*, Singapore, September 2007, ISBN: 1-4244-1340-0, pp 1764-1768.
- Affenzeller, M., Mayrhofer, R., 2002, ”Generic Heuristics for Combinatorial Optimization Problems”, *Proceedings of the 9th International Conference on Operational Research (KOI)*, pp. 83-92.
- Akoğlu, Ü, 2006, *Konteyner Limanının Depolama Sahasının Genetik Algoritma İle Optimizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Celal Bayar Üniversitesi., Manisa.
- Akyol, D.E. , 2004, “Application of neural networks to heuristic scheduling algorithms”, *Computers & Industrial Engineering*, Vol.46, pp. 679–696.
- Bardadym, V. A. , 1996, “Computer-Aided School and University Timetabling: The New Wave”, *In Selected Papers From the First international Conference on Practice and theory of Automated Timetabling (August 29 - September 01, 1995)*. Burke, E. K. ve Ross, P., Eds. Lecture Notes In Computer Science, vol. 1153, pp.22-45, Springer-Verlag, London.
- Bäck, T., Hoffmeister, F., and Schwefel, H.-P., 1991, “A survey of evolution strategies”. In Belew, R.K. and Booker, L.B. (Eds.), *Proceedings of the 4th International Conference on Genetic Algorithms*, Morgan Kaufman, pp.2-9.
- Biroğul, S. , 2005, *Genetik Algoritma Yaklaşımıyla Atölye Çizelgeleme*, Yüksek Lisans, Gazi Üniversitesi , Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Blicke, T., Thiele, L., 1995, “A Mathematical Analysis of Tournament Selection”, In Eshelman, L (Eds), *Proceedings of the Sixth International Conference on Genetic Algorithms (ICGA95)*, San Francisco, CA, pp.9-16.

- Brailsford, S.C., Potts, C.N. ve Smith, B.M. , 1999, “Constraint satisfaction problems: Algorithms and applications”, *European Journal of Operational Research*, Vol.119, No.3,pp.557-581.
- Bufé, M., Fischer, T., Gubbles, H., Häcker, C., Hasprich, O., Weicker, K., Weicker, N., Wenig, M. ve Wolfangel, C. , 2001, “Automated Solution of a Highly Constrained School Timetabling Problem - Preliminary Results”, *In Proceedings of the Evoworkshops on Applications of Evolutionary Computing (April 18 - 20, 2001)*. Boers, E. J. Gottlieb, J. Lanzi, P. L. Smith, R. E. Cagnoni, S. Hart, E. Raidl, G. R. ve Tijink, H., Eds. Lecture Notes In Computer Science, vol. 2037, Springer-Verlag, London, 431-440.
- Burke, E.K. ve Newall, J.P., 2004, ”Solving Examination Timetabling Problems Through Adoption of Heuristic Orderings: Models and Algorithms for Planning and Scheduling Problems”, *Annals of Operations Research*, Vol.129, No.1-4, pp.107-134.
- Burke, E.K. ve Petrovic, S. , 2002, “Recent Research Directions in Automated Timetabling”, *European Journal of Operational Research-EJOR*, Vol.140, No.2, pp.266-280.
- Burke, E.K., Bykov, Y. ve Petrovic, S., 2001, “A multicriteria approach to examination timetabling”, *In: Burke, E.K. ve Erben, W. (eds). (2001). Practice and Theory of Automated Timetabling: Selected Papers from the 3rd International Conference*. Springer Lecture Notes in Computer Science, vol. 2079, pp.118-131.
- Burke, E.K., Eckersley, A.J., McCollum, B., Petrovic, S. ve Qu, R., 2006, *Hybrid variable neighbourhood approaches to university exam timetabling* (Technical Report NOTTCS-TR-2006-2), School of CSiT, University of Nottingham.
- Burke, E.K., Jackson, K., Kingston, J.H., Weare, R. , 1997, “Automated University Timetabling : the state of the art”, *The Computer Journal*, Vol.40, No.9, pp.565-571.

- Burke, E.K., Kendall, G., Soubeiga, E., 2003a, “A Tabu-Search Hyperheuristic for Timetabling and Rostering”, *Journal of Heuristics*, 9(6), 451-470.
- Burke E., Hart E., Kendall G., Newall J., Ross P. and Schulenburg S., 2003b, “Hyper-Heuristics: An Emerging Direction in Modern Search Technology”, *Handbook of Meta-Heuristics* (Glover, F., ed), pp 457 – 474, Kluwer.
- Burke, E.K., Kingston, J. ve Werra, D.D., 2004, Applications to Timetabling, In Gross, J. ve Yellen, J. (edt.), *Handbook of Graph Theory*, Chapman Hall/CRC Press, pp.445-474.
- Burke, E.K., McCollum, B., Meisels, A., Petrovic, S. ve Qu, R. , 2007, “A Graph-based Hyper-heuristic for Educational Timetabling Problems”, *European Journal of Operational Research-EJOR*, Vol.176, No.1, pp.177-192.
- Burke, E.K., Newall, J.P. ve Weare, R.F. , 1996, “A memetic algorithm for university exam timetabling”, *In: Burke, E.K. ve Ross, P. (eds). (1996). Practice and Theory of Automated Timetabling: Selected Papers from the 1st International Conference*, Springer Lecture Notes in Computer Science, vol. 1153, pp.241-250.
- Burke, E.K., Petrovic, S., Qu, R. , 2002a, “Case-based Heuristic Selection For Timetabling Problems”, *SEAL'02*, Singapore, Nov, pp.277-281.
- Burke, E.K., Silva, D.L. , 2004, “The Design of Memetic Algorithms for Scheduling and Timetabling Problems”, *Recent Advances in Memetic Algorithms, Studies in Fuzziness and Soft Computing*, Krasnogor, N., Hart, W. ve Smith, J., Springer, pp.289-312.
- Büyüksünnetçi, A.S. , 2006, *Tepkin Çizelgeleme Yaklaşımının Akış Tipi Atölye Ortamında Etkinliğinin Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Campbell H.G.,Dudek,R.A., Smith, B.L. , 1970, “A Heuristic Algorithm For The n-Job, m-Machine Sequencing Problem”, *Management Science*,Vol.16, pp:16.

- Carlson, S. and Shonkwiler, R., 1998, “Annealing a genetic algorithm over constraints”, in *Proceedings of 1998 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, vol.4, pp.3931-3936.
- Carter, M. W. ve Laporte, G. , 1998, “Recent Developments in Practical Course Timetabling”, In *Selected Papers From the Second international Conference on Practice and Theory of Automated Timetabling II (August 20 - 22, 1997)*, Burke, E. K. ve Carter, M. W., Eds. Lecture Notes In Computer Science, vol. 1408, pp.3-19, Springer-Verlag.
- Carter, M.W. , 1986, “A Survey of Practical Applications of Examination Timetabling Algorithms”, *Operations Research*, Vol. 34, No. 2, pp. 193-202.
- Cheng, R. ve Gen, M., 2000, Production Planning and Scheduling Using Genetic Algorithms, In Kusiak, A., Wang, J. (edt.), *Computational Intelligence In Manufacturing Handbook*, CRC Press, pp.10-1 – 10-28.
- chern.ie.nthu.edu.tw/gen/GA-6-Foundation-4.pdf, (erişim 27.12.2007).
- Coello, C.A.C., “Use of a Self-Adaptive Penalty Approach for Engineering Optimization Problems”, *Computers in Industry*, Vol.41, No.2, pp.113-127.
- Cooper, T.B. , 1996, Kingston, J.H., “The Complexity of Timetable Construction Problems”, In *Proceedings of the 1st International Conference on Practice and Theory of Automated Timetabling (PATAT 1995)*, LNCS 1153. SpringerVerlag, pp.283-295.
- Cotta, C., Troya, J.M. , 1998, “Genetic Forma Recombination in Permutation Flowshop Problems”, *Evolutionary Computation*, Vol.6, No.1, pp.25-44.
- Dannenbring, D.G. , 1977, “An Evaluation of Flow Shop Sequencing Heuristics”, *Management Science*, Vol. 23, No. 11, pp. 1174-1182.
- David, P. , 1998, “A constraint-based approach for examination timetabling using local repair techniques”, In: *Burke, E.K. ve Carter, M.W. (eds). (1998). Practice and Theory of Automated Timetabling: Selected Papers from the 2nd International Conference*.Springer Lecture Notes in Computer Science, vol.408, pp.169-186.

- Demir, M.H., Gümüőođlu, Ő., 1994, *Üretim/İşlemler Yönetimi*, İstanbul, Beta Yayım Dağıtım.
- Di Gaspero, L. ve Schaerf, A., 2001, “Tabu search techniques for examination timetabling”, In: Burke, E.K. ve Erben, W. (eds). (2001). *Practice and Theory of Automated Timetabling: Selected Papers from the 3rd International Conference*. Springer Lecture Notes in Computer Science, vol.2079, pp.104-117.
- Doğruer, İ.M., 2005, *Üretim Organizasyonu ve Yönetimi*, İstanbul, Alfa Basım Yayım Dağıtım.
- Dorn, J., *Case-based reactive scheduling* (Technical Report CD-TR 95/75). Vienna University of Technology, Institute for Information Systems, 1995.
- Duong, T.A., Lam, K.H. , 2004, “Combining constraint programming and simulated annealing on university exam timetabling”, In: *Proceedings of the 2nd International Conference in Computer Sciences, Research, Innovation & Vision for the Future (RIVF2004)*, Hanoi, Vietnam, February 2-5, 205-210.
- Eikelder, H.M.M., Willemen, R.J. , 2000, “Some Complexity Aspects of Secondary School Timetabling Problems”, In *Selected Papers From the Third international Conference on Practice and theory of Automated Timetabling III (August 16 - 18, 2000)*. Burke, E. K. ve Erben, W., Eds. Lecture Notes In Computer Science, vol. 2079, Springer-Verlag, London, pp.18-27.
- El-Bouri, A., Balakrishnan, S., Popplewell, N. , 2000, “Sequencing jobs on a single machine: A neural network approach”, *European Journal of Operational Research*, Vol.126, pp. 474-490.
- Eley M., 2007, “Ant Algorithms for the Exam Timetabling Problem”. In: *Burke E.K. and Rudova H. (eds). Selected Papers from the 6th International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling*, Lecture Notes in Computer Science Vol.3867, pp.364-382.
- Özcan, E., Bilgin, B., Korkmaz, E.E., 2008, “A Comprehensive Analysis of Hyper-heuristics”, *Intelligent Data Analysis*, Vol.12, No.1, pp.3-23.

- Engin, O., Fığlalı, A. , 2002a, “Akış Tipi izelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritma Yardımı İle özümünde Uygun aprazlama Operatörünün Belirlenmesi”, *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, S.6, s.27-35.
- Engin, O., Fığlalı, A. , 2002b, “Genetik Algoritmalarla akış tipi çizelgelemede üreme yöntemi optimizasyonu”, *itüdergisi/d mühendislik*, C.1, S.1, s.35-41.
- Eren, T., Güner, E. , 2004, “Öğrenme Etkili Akış Tipi izelgelemede Ortalama Akış Zamanının Enküçüklenmesi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi* C.19, S.2, s.119-124.
- Feng, S., Li, L., Cen, L., Huang, J. , 2003, “Using MLP networks to design a production scheduling system”, *Computers & Operations Research*, Vol.30, pp.821–832.
- Gen, M., Cheng, R., 1997a, “A Survey of Penalty Techniques in Genetic Algorithms”, *In Proceedings of the IEEE International Conference on Evolutionary Computation*, pp.804-809.
- Gen, M., Cheng, R., 1997b, *Genetic Algorithms and Engineering Design*, Wiley&Sons, Inc., New York, USA.
- Geyik, F. ve Cedimoğlu, İ.H.),1998, “Üretim izelgeleme: Yapay Zeka özüm Yaklaşımlarının Geniş Bir Taraması”,*Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği XIX. Ulusal Kongresi (YA/EM’98)*,Ankara.
- Geyik, F. ve Cedimoğlu, İ.H. , 2001, “Atölye Tipi izelgelemede Komşuluk Yapılarının Tabu Arama Tekniği ile Karşılatırılması”, *Gazi Üniv. Politeknik Dergisi*, C.4, S.1, s.95-103.
- Glover, F. , 1989, “Tabu Search – Part I”, *ORSA Journal on Computing* 1, pp.190-206.
- Glover, F. , 1990, “Tabu Search – Part II”, *ORSA Journal on Computing* 2, pp.4-32.

- Glover, F. and M. Laguna, 1993, "Tabu Search," *Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems*, C. Reeves, ed., *Blackwell Scientific Publishing*, pp.70-141.
- Goldberg, D.E., 1989, *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Boston, MA, USA ,Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc.
- Grefenstette, J.J. , 1986, "Optimization of Control Parameters for Genetic Algorithms," *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cyb.*, Vol. 16, No. 1, pp. 122-128.
- Grefenstette, J. J. (1997). "Proportional selection and sampling algorithms", In *The Handbook of Evolutionary Computation*, T. Baeck, D. Fogel and Z. Michalewicz (Eds.). IOP Publishing and Oxford University Press, 1997.
- Greiner, D., Winter, G., Emperador, J.M. ve Galván, B., 2005, "Gray Coding in Evolutionary Multicriteria Optimization: Application in Frame Structural Optimum Design", in *Carlos A. Coello Coello, Arturo Hernández Aguirre ve Eckart Zitzler (editors), Evolutionary Multi-Criterion Optimization. Third International Conference, EMO 2005*, Springer. Lecture Notes in Computer Science Vol. 3410, pp. 576-591, Guanajuato, México, March 2005 .
- Gupta, J.N.D. , 1971, "A functional heuristic algorithm for the flowshop scheduling problem", *Operational Research Quarterly*, Vol.22, pp.39-47.
- Hadj-Alouane, A.B. and Bean, J.C., 1997, A Genetic Algorithm for the Multiple-Choice Integer Program, *Operations Research*, Vol. 45, No. 1, pp.92-101.
- Herrera, F., Lozano, M. ve Verdegay J. L. , 1998, "Tackling Real-Coded genetic Algorithms: operators and Tools for Behavioral Analysis", *Artificial Intelligence Review*, Vol.12, No.4, 265-319.
- Holland, J.H., 1975, *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, University of Michigan Pres, Ann Arbor, MI.

- Hutter, M., 2002, "Fitness uniform selection to preserve genetic diversity". In X. Yao, editor, *Proceedings of the 2002 Congress on Evolutionary Computation (CEC-2002)*, pp.783-788, Washington D.C, USA, May 2002. IEEE.
- Jain, A.S., Meran, S. , 2002, "A multi-level hybrid framework applied to the general job-shop scheduling problem", *Computers & Operations Research*, Vol.29, pp.1873–1901.
- Johnson, S., Aragon, C., McGeorge, L. Ve Schevon, C. , 1989, "Optimization by simulated annealing : An Experimental Evaluation, Part I, Graph Partitioning", *Operations Research*, Vol.37, No.6, pp.865-892.
- Jones, A. and Rabelo, J. C. , 1998, *Survey of Job Shop Scheduling Techniques*, (Technical report), NISTIR, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD.
- Karaboğa, D., 2004, *Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları*, İstanbul, Atlas Yayın Dağıtım.
- Üreten, S., 1997, *Üretim/İşlemler Yönetimi*, Ankara, Gazi Üniversitesi.
- Kellegöz, T. , 2006, *Toplam Geç Bitirme Zamanının En Küçüklenmesi Performans Ölçütlü Permütasyon Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Çözümünde Genetik Algoritma Yaklaşımı*, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Hasgül, Ö., 2005, *Ana Üretim Planlamasında Karar Destek Sistemlerinin Kullanılması ve Stoksuz Üretim Yapan Bir İşletmede Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir.
- Kendall, G. ve Hussin, N.M., 2004, "A tabu search hyper-heuristic approach to the examination timetabling problem at the MARA university of technology", *In: Burke, E.K. ve Trick, M. (eds), (2005), Selected Papers from the 5th International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling*, Springer Lecture Notes in Computer Science, vol.3616, pp.199-218.
- Kirkpatrick, S. Gelatt , D. ve Vecchi, M. P. , 1983, "Optimization by simulated annealing", *Science*, Vol.220, No.4598, pp.671-680.

- Kobu, B., 2006, *Üretim Yönetimi*, İstanbul, Beta Yayım Dağıtım.
- Koulamas, C. , 1998, “A new constructive heuristic for the flowshop scheduling problem”, *European Journal of Operational Research*, Vol.105, pp. 66-71.
- Koza, J.R., 1993, *Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection*, Massachusetts, MIT Pres, Cambridge,.
- Lee, I., Shaw, M.J., 2000, “A neural-net approach to real time Flow-shop sequencing”, *Computers & Industrial Engineering* , Vol.38, pp.125-147.
- Li, G., Ye, F. , 2002,”Scheduling flow shops in the environment of multi-functional machine tools”, *Computers & Industrial Engineering*, Vol.42, pp. 163–168.
- Lomnicki, Z.A. , 1965, “A Branch and Bound Algorithm for the Exact Solution of the Three Machine Scheduling Problem”, *Operational Research Quartely*, Vol.16, No.1, pp. 89-100.
- Michalewicz, Z. and Attia, N., “Evolutionary optimization of constrained problems,” in *Proc. 3rd Annu. Conf. Evolutionary Programming*, A. V. Sebald and L. J. Fogel, Eds. River Edge, NJ: World Scientific, 1994, pp. 98–108.
- Merlot, L., Boland, N., Hughes,B. ve Stuckey,P.J. , 2003, “A hybrid algorithm for the examination timetabling problem”, In: *Burke, E, Causmaecker, P.D. (Eds.): Practice and Theory of Automated Timetabling IV (PATAT 2002, Gent Belgium, August, selected papers)*. Lecture Notes in Computer Science, Vol.2740, pp.207-231, Springer-Verlag.
- Metropolis, N. , 1953, Rosenbluth, A.W., Rosenbluth, M.N., Teller, E., “Equation of State Calculations by Fast Computing Machines”, *Journal of Chemical Physics*, Vol.21, No.6, pp.1087-1092.
- Michalewicz, Z., 2000, *How to Solve It : Modern Heuristics*, Springer-Verlag.
- Morales, A.K., Quezada, C.V., 1998, “A Universal Ecletic Genetic Algorithm for Constrained Optimization”, In 6th European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing, Aachen, Germany, pp.518-522.

- Murphy, R. , 2003, *A Generic Parallel Genetic Algorithm*, MSc Thesis, Department of Mathematics, University of Dublin.
- Nabiyeu, V.V., 2005 , *Yapay Zeka Problemler - Yöntemler – Algoritma*, Ankara, Seçkin Yayıncılık.
- Nehi, H. M. Gelareh, S. , 2007, “A survey of meta-heuristic solution methods for the quadratic assignment problem”, *Appl. Math. Sci. Online Edition*, Vol.1, No.46, pp. 2293-2312.
- Norberciak, M. , 2007, “Universal Method for Timetable Construction based on Evolutionary Approach”, *International Journal of Applied Mathematics and Computer Sciences*, Vol. 3, No.3, pp.155-160.
- Özkarahan, İ. 2002, “Servis Sistemlerinde Endüstri Mühendisliği”, *Endüstri Mühendisliğinde Yeni Ufuklar Temalı Endüstri Mühendisliği Bahar Konferansı Bildiri CD’si*.
- Pakhira, M.K. ve De R.K. , 2007, “Generational PipeLined Genetic Algorithm (PLGA) using Stochastic Selection”, *International Journal Of Computer Systems Science and Engineering*, Vol.1, No.1, 75-88.
- Palmer, D.C. , 1965, “Sequencing jobs through a multi-stage process in the minimum total time : a quick method of obtaining a near optimum”, *Operational Research Quartely*, Vol.16, No.1, pp.100-107.
- Paquete, L. and Stützle, T. , 2002, An Experimental Investigation of Iterated Local Search for Coloring Graphs. In *Proceedings of the Applications of Evolutionary Computing on Evoworkshops 2002: Evocop, Evoiasp, EvoSTIM/EvoPLAN* (April 03 - 04, 2002). S. Cagnoni, J. Gottlieb, E. Hart, M. Middendorf, and G. R. Raidl, Eds. Lecture Notes In Computer Science, vol. 2279, 122-131. Springer-Verlag, London.
- Peng, J., Liu, B. , 2004, “Parallel machine scheduling models with fuzzy processing times”, *Information Sciences* , Vol.166, pp.49–66.
- Pongcharoen, P., Stewardson , D.J., Hicks, C. , 2001, “Applying designed experiments to optimize the performance of genetic algorithms used for

scheduling complex products in the capital goods industry”, *Journal of Applied Statistics*, Vol. 28, No. 3&4, pp. 441- 455.

- Qu, R., Burke, E.K., McCollum, B., Merlot, L.T. ve Lee, S.Y., 2006, *A Survey of Search Methodologies and Automated Approach for Examination Timetabling* (Technical Report NOTTCS-TR-2006-4), School of Computer Science and Informatin Technology, University of Nottingham.
- Raaymakers, W.H.M., Weijters A.J.M.M. , 2003, “Makespan estimation in batch process industries: A comparison between regression analysis and neural Networks”, *European Journal of Operational Research* , Vol.145, pp. 14–30.
- Reis, L.P. and Oliveira, E., 1999, “Constraint logic programming using set variables for solving timetabling problems”, *INAP’99, 12th International Conference on Applications of Prolog*, Tokyo, Japan.
- Riche, R. L., Knopf-Lenoir, C., and Haftka, R. T., 1995, “A Segregated Genetic Algorithm for Constrained Structural Optimization”, In *Proceedings of the 6th international Conference on Genetic Algorithms* (July 15 - 19, 1995), Eshelman, L. J. (Eds.), Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, CA, pp.558-565.
- Rossi-Doria, O., Paechter, B., 2003, *An hyperheuristic approach to course timetabling problem using evolutionary algorithm* (Technical report), Napier University, Edinburgh, Scotland.
- Rossi-Doria, O., Sampels, M., Birattari, M., Chiarandini, M., Dorigo, M., Gambardella, L.M., Knowles, J., Manfrin, M., Mastrolilli, M., Paechter, B., Paquete, L., Stützle, T. , 2002, “A comparison of the performance of different metaheuristics on the timetabling problem”, In *Burke, E. ve De Causmaecker, P. editors, Proceedings of PATAT 2002 - Fourth International the Conference on Practice and Theory of Automated Timetabling*, KaHo Sint-Lieven, Department of Industrial Engineering, Gent, Belgium, pp. 115-119.
- Schaerf, A., 1995, *A Survey of Automated Timetabling* (Technical Report CS-R9567) , Amsterdam, Centrum voor Wiskunde en Informatika-CWI, The Netherlands.

- Schaerf, A. , 1999, “A Survey of Automated Timetabling, *Artificial Intelligence Review*, Vol.13, No.2, pp.87-127.
- Seçme, G. , 2006, *Akıs Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Yapay Sinir Ağları İle Modellenmesi*, Yüksek Lisans, Erciyes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kayseri.
- Sheibani, K., 2002, “An evolutionary approach for the examination timetabling problems”, *In: Burke, E.K. ve De Causmaecker, P. (eds). (2002). Proceedings of the 4th International Conference on Practice and Theory of Automated Timetabling, 21st-23rd August 2002*, pp.387-396. KaHo St.-Lieven, Gent, Belgium.
- Silva, D.L., Burke, E.K. ve Petrovic, S., 2004, “An Introduction to Multiobjective Metaheuristics for Scheduling and Timetabling”, *Metaheuristics for Multiobjective Optimisation, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems* ,Vol.535, Gandibleux, X., Sevaux, M., Sörensen, K. ve T'kindt, V. ,Springer , 91-129.
- Socha, K., Knowles, J., Samples, M., 2002, “A Max-Min Ant System for the University Course Timetabling Problem”, *Proceedings of the Third International Workshop on Ant Algorithms (ANTS'02)*, Springer LNCS vol. 2463, pp. 1-13.
- Socha, K., Sampels, M. ve Manfrin, M., 2003, “Ant algorithms for the university course timetabling problem with regard to state-of-the-art”, *In: Proceedings of the 3rd European Workshop on Evolutionary Computation in Combinatorial Optimisation*, pp.334-345. Essex, UK, April 2003.
- Syswerda, G., 1989, Uniform Crossover in Genetic Algorithms. *In Proceedings of the 3rd international Conference on Genetic Algorithms*, J. D. Schaffer, Ed. Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, CA, 2-9
- Taha, H.A., 1997, *Operations research : An Introduction*, Upper Saddle River, N.J., Prentice-Hall.
- Thierens, D. ve Goldberg, D. E. , 1994, “Convergence Models of Genetic Algorithm Selection Schemes”, *In Proceedings of the international Conference*

on Evolutionary Computation. the Third Conference on Parallel Problem Solving From Nature: Parallel Problem Solving From Nature (October 09 - 14, 1994). Davidor, Y. Schwefel, H. ve Männer, R., Eds. Lecture Notes In Computer Science, vol. 866. Springer-Verlag, London, pp.119-129.

- Thompson, J. ve Dowsland, K. , 1998, “A robust simulated annealing based examination timetabling system”, *Computers & Operations Research*, Vol.25, No.7-8, pp.637-648.
- Türkbey, O. , 2003, “Makina Sıralama Problemlerinde Çok Amaçlı Bulanık Küme Yaklaşımı”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, Cilt 18, No 2, S.63-77.
- Ülker, O., Özcan, E. , 2003, “Çizge Boyama Problemleri İçin Evrimsel Tabu Arama Algoritması (ETA)”, *TBD 20. Ulusal Bilisim Kurultayı*.
- Weare, R., Burke, E., Elliman, D., 1995, *A Hybrid Genetic Algorithm for Highly Constrained Timetabling Problems* (Technical Report NOTTCS-TR-95-8), School of Computer Science and IT, University of Nottingham, Jubilee Campus, Nottingham, NG8 1BB, UK.
- White, G.M. ve Xie, B.S. , 2001, “Examination timetables and tabu search with longer-term memory”, *In: Burke, E.K. ve Erben, W. (eds). Practice and Theory of Automated Timetabling: Selected Papers from the 3rd International Conference*. Springer Lecture Notes in Computer Science, Vol. 2079, pp.85-103.
- Whitley, D., 1989, “The Genitor algorithm and selection pressure: Why rank-based allocation of reproductive trials is best”, *In Proceedings of Third International Conference on Genetic Algorithms*, Morgan Kaufmann, pp. 116-121.
- Wong, T., Cote, P. ve Gely, P. , 2002, “Final exam timetabling: a practical approach”, *IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE 2002)*. Vol.2, pp.726- 731.
- Wren, A. , 1996, “Scheduling, timetabling and rostering - A special relationship?”, *In: Burke, E.K. ve Ross, P. (eds), (1996), Practice and Theory of Automated Timetabling: Selected Papers from the 1st International Conference*, LNCS 1153. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. pp.46-75.

- Yang, Y. ve Petrovic, S., 2004, “A Novel similarity measure for heuristic selection in examination timetabling”, *In: Burke, E.K. ve Trick, M. (eds). (2005). Selected Papers from the 5th International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling*, Springer Lecture Notes in Computer Science, vol.3616, pp.377-396.
- Yiğit, V., Türkbey, O. , 2003, “Tesis Yerleşim Problemlerine Sezgisel Metodlarla Yaklaşım”, *Gazi Üniv.Müh.Mim.Fak.Der.*, C.18, S.4, s.45-56.
- Zeng, X.Y., Chen, Y.W, Nakao, Z. , 2000, “A Logical Operator Based Genetic Operatör ,Bulletin of the Facultyof Engineering”, University of the Ryukyus, Vol.60, pp.69-72.
- Zhang, X., 2003, *Interactive event-based intelligent scheduling*, Doctor of Philosophy Thesis, Computer Science in the Faculty of Science of the Rand Afrikaans University.
- Zhang, B.T., Kim, J.J., 2000, “Comparison of Selection Methods for Evolutionary Optimization”, *An International Journal on the Internet*, Vol.2, No.1, pp.55-70.

EKLER

EK-1 : Fakülte Ders Programı Çıktısı

C.B.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi 2007-2008 Öğretim Yılı Bahar Yarıyılı Ders Programı

BÖLÜMÜ	YY	DERSİN ADI	ŞUBE	ÖĞRETİM ELEMANI	Günü	SAATİ	DERSLİK
İktisat	II	Atatürk İlk.ve İnk.Tar. II	A	Okt.Sadık DOĞAN	Perşembe	13:30	402
İktisat	II	Atatürk İlk.ve İnk.Tar. II	B	Okt.Sadık DOĞAN	Perşembe	10:50	402
İktisat	II	Beden Eğitimi II	A	Okt.Kenan TOZAK	Sah	16:15	107
İktisat	II	Beden Eğitimi II	B	Okt.Kenan TOZAK	Perşembe	16:15	107
İktisat	II	İktisat II	A	Prof.Dr. İbrahim EROL	Perşembe	09:00	305
İktisat	II	İktisat II	B	Prof.Dr. İbrahim EROL	Perşembe	13:30	404
İktisat	II	İşletme Yönetimi II	A	Prof.Dr. A. Tuna TANER	Sah	13:30	Anfi B
İktisat	II	Matematik II	A	Öğr.Gör. Mahir YÜCEL	Çarşamba	13:30	304
İktisat	II	Matematik II	B	Öğr.Gör. Mahir YÜCEL	Çarşamba	09:00	402
İktisat	II	Muhasebe II	A	Yrd.Doç.Dr. Sibel KARGIN	Çarşamba	09:00	Anfi C
İktisat	II	Muhasebe II	B	Yrd.Doç.Dr. Sibel KARGIN	Pazartesi	09:00	Anfi C
İktisat	II	Müzik	A	Okt.Öznur ATEŞER	Sah	16:15	206
İktisat	II	Resim	A	Öğr.Grv.Gürol YER ALTI	Pazartesi	11:45	107
İktisat	II	Temel Bilgisayar Bilimleri	A	Öğr.Grv.Dr. Sibel SELİM	Pazartesi	13:30	303
İktisat	II	Temel Bilgisayar Bilimleri	B	Öğr.Grv.Dr. Sibel SELİM	Çarşamba	13:30	302
İktisat	II	Türk Dili II	A	Okt.Ayşe KİK	Sah	09:00	403
İktisat	II	Türk Dili II	B	Okt.Ayşe KİK	Sah	10:50	403
İktisat	II	Yabancı Dil II (İngilizce)	A	Öğr.Gör. Emre SICAK	Cuma	09:00	204
İktisat	II	Yabancı Dil II (İngilizce)	B	Öğr.Gör. Emre SICAK	Cuma	13:30	204
İktisat	IV	Araştırma Yöntemleri	A	Yrd.Doç.Dr.Coşkun ÇILBA	Sah	13:30	304
İktisat	IV	Araştırma Yöntemleri	B	Yrd.Doç.Dr. Erdem HEPKAY	Perşembe	13:30	405
İktisat	IV	Bilgi İşlem	A	Öğr.Grv. Türker PALAMUT	Perşembe	09:00	302
İktisat	IV	Bilgi İşlem	B	Öğr.Grv.Tayfun Deniz KUĞ	Sah	09:00	303
İktisat	IV	Davranış Bilimleri	A	Yrd. Doç.Dr. Asena GÜLOV	Cuma	13:30	405
İktisat	IV	Davranış Bilimleri	B	Yrd.Doç.Dr. Aylin ÜNAL	Cuma	09:00	Anfi A
İktisat	IV	İstatistik-II	A	Yrd.Doç.Dr. Metin ÖNER	Cuma	09:00	201
İktisat	IV	İstatistik-II	B	Yrd.Doç.Dr. Mustafa GERŞİ	Sah	13:30	101
İktisat	IV	Makro İktisat II	A	Prof.Dr.Hüseyin KARAKAY	Pazartesi	09:00	101
İktisat	IV	Mesleki Yabancı Dil I	A	Öğr.Gör. Özlem YILMAZ	Perşembe	13:30	202
İktisat	IV	Mesleki Yabancı Dil I	B	Öğr.Gör. Özlem YILMAZ	Perşembe	09:00	202
İktisat	IV	Mikro İktisat II	A	Yrd.Doç.Dr. İlkay DİLBER	Çarşamba	09:00	Anfi A
İktisat	IV	Mikro İktisat II	B	Yrd.Doç.Dr. İlkay DİLBER	Çarşamba	13:30	Anfi A
İktisat	VI	Ekonometrik Yöntemler II	A	Öğr.Grv.Dr. Sibel SELİM	Perşembe	13:30	205
İktisat	VI	Ekonometrik Yöntemler II	B	Öğr.Grv.Dr. Sibel SELİM	Perşembe	09:55	205
İktisat	VI	İktisadi Planlama	A	Yrd.Doç.Dr.Coşkun ÇILBA	Cuma	09:00	101
İktisat	VI	İş Hayatı İçin Yabancı Dil	A	Öğr.Gör. Özlem YILMAZ	Çarşamba	13:30	202

BÖLÜMÜ	YY	DERSİN ADI	ŞUBE	ÖĞRETİM ELEMANI	Günü	SAATI	DERSLİK
İktisat	VI	İş Hayatı İçin Yabancı Dil	B	Öğr.Gör. Özlem YILMAZ	Çarşamba	09:00	202
İktisat	VI	İş Hukuku	A	Yrd.Doç.Dr. Gülşen GERŞİL	Perşembe	09:00	105
İktisat	VI	İş Hukuku	B	Yrd.Doç.Dr. Gülşen GERŞİL	Çarşamba	13:30	105
İktisat	VI	Örgüt Kurumu	A	Prof.Dr. Sevinç KÖSE	Salı	09:00	201
İktisat	VI	Ticari İşletme Hukuku	A	Yrd.Doç.Dr. Mustafa YASA	Çarşamba	09:00	403
İktisat	VI	Ticari İşletme Hukuku	B	Yrd.Doç.Dr. Mustafa YASA	Pazartesi	13:30	402
İktisat	VI	Türk Vergi Sistemi	A	Prof.Dr. Süreyya SAKINÇ	Pazartesi	09:00	405
İktisat	VI	Türk Vergi Sistemi	B	Yrd.Doç.Dr. Mustafa MİYN	Pazartesi	09:00	404
İktisat	VIII	Büyüme Teorileri	A	Yrd.Doç.Dr. İlkey DİLBER	Perşembe	13:30	Anfi A
İktisat	VIII	Denetim	A	Yrd.Doç.Dr. Ayşe Necef YE	Pazartesi	13:30	101
İktisat	VIII	Sermaye Piyasası Analizi	A	Yrd. Doç. Dr. Cevdet KAYA	Cuma	13:30	201
İktisat	VIII	Türkiye Ekonomisi	A	Prof.Dr.Hüseyin KARAKAY	Perşembe	09:00	101
İktisat	VIII	Uluslar arası İktisat II	A	Prof.Dr. İbrahim EROL	Çarşamba	09:00	405
İktisat	VIII	Yatırım Projeleri Analizi	A	Yrd.Doç.Dr. Nilgün KAYAL	Salı	13:30	Anfi C
İşletme	II	Atatürk İlk.ve İnk.Tar. II	A	Okt. İsmail ÖMERREİSOĞL	Çarşamba	10:50	205
İşletme	II	Atatürk İlk.ve İnk.Tar. II	B	Okt. İsmail ÖMERREİSOĞL	Çarşamba	09:00	205
İşletme	II	Beden Eğitimi II	A	Okt.Kenan TOZAK	Salı	09:55	107
İşletme	II	Beden Eğitimi II	B	Okt.Kenan TOZAK	Salı	10:50	107
İşletme	II	İktisat II	A	Yrd.Doç.Dr. M.Hakan YALÇ	Perşembe	13:30	204
İşletme	II	İktisat II	B	Yrd.Doç.Dr. M.Hakan YALÇ	Perşembe	09:00	204
İşletme	II	İşletme Yönetimi II	A	Prof.Dr. A. Tuna TANER	Çarşamba	13:30	Anfi B
İşletme	II	Matematik II	A	Öğr.Gör. Mahür YÜCEL	Pazartesi	09:00	Anfi B
İşletme	II	Matematik II	B	Öğr.Gör. Mahür YÜCEL	Pazartesi	13:30	Anfi B
İşletme	II	Muhasebe II	A	Yrd.Doç.Dr.Hakan ARACI	Perşembe	09:00	Anfi C
İşletme	II	Muhasebe II	B	Yrd.Doç.Dr.Hakan ARACI	Perşembe	13:30	Anfi C
İşletme	II	Müzik	A	Okt.Öznur ATEŞER	Salı	15:20	206
İşletme	II	Resim	A	Öğr.Grv.Gürol YER ALTI	Salı	09:55	106
İşletme	II	Temel Bilgisayar Bilimleri	A	Yrd.Doç.Dr. Nilgün KAYAL	Cuma	13:30	303
İşletme	II	Temel Bilgisayar Bilimleri	B	Yrd.Doç.Dr.Rabia AKTAŞ	Cuma	09:00	303
İşletme	II	Türk Dili II	A	Okt.Ayşe KİK	Salı	13:30	403
İşletme	II	Türk Dili II	B	Okt.Davut ŞAHİN	Cuma	13:30	304
İşletme	II	Yabancı Dil II (İngilizce)	A	Okt.Orhan BABA YİĞİT	Pazartesi	13:30	405
İşletme	II	Yabancı Dil II (İngilizce)	B	Okt.Orhan BABA YİĞİT	Pazartesi	09:00	305
İşletme	IV	Araştırma Yöntemleri	A	Yrd.Doç.Dr. Alınat ÖZTÜR	Cuma	09:00	403
İşletme	IV	Araştırma Yöntemleri	B	Yrd.Doç.Dr. Alınat ÖZTÜR	Cuma	13:30	403
İşletme	IV	Bilgi İşlem	A	Öğr.Grv. Türker PALAMUT	Perşembe	13:30	303
İşletme	IV	Bilgi İşlem	B	Yrd.Doç.Dr. Sibel KARGIN	Perşembe	09:00	303
İşletme	IV	İstatistik-II	A	Yrd.Doç.Dr. Mustafa GERŞİ	Çarşamba	13:30	305
İşletme	IV	İstatistik-II	B	Yrd.Doç.Dr.Çiğdem SOFYA	Pazartesi	13:30	403
İşletme	IV	Makro İktisat	A	Prof.Dr.Hüseyin KARAKAY	Çarşamba	09:00	101
İşletme	IV	Mesleki Yabancı Dil I	A	Öğr.Gör. Özlem YILMAZ	Cuma	13:30	202
İşletme	IV	Mesleki Yabancı Dil I	B	Öğr.Gör. Özlem YILMAZ	Cuma	09:00	202

BÖLÜMÜ	YY	DERSİN ADI	ŞUBE	ÖĞRETİM ELEMANI	Günü	SAATİ	DERSLİK
İşletme	IV	Örgüt Kurumu	A	Yrd.Doç.Dr. Aylin ÜNAL	Pazartesi	09:00	Anfi A
İşletme	IV	Örgüt Kurumu	B	Yrd. Doç.Dr. Asena GÜLOV	Perşembe	13:30	305
İşletme	IV	Şirketler Muhasebesi	A	Prof. Dr. Semra ÖNCÜ	Sah	13:30	Anfi A
İşletme	VI	Finansman Yönetimi	A	Yrd. Doç. Dr. Hüseyin AKT	Pazartesi	13:30	201
İşletme	VI	İş Hayatı İçin Yabancı Dil	A	Öğr.Gör. Özlem YILMAZ	Sah	09:00	202
İşletme	VI	İş Hayatı İçin Yabancı Dil	B	Öğr.Gör. Özlem YILMAZ	Sah	13:30	202
İşletme	VI	Pazarlama Yönetimi	A	Prof.Dr. Canan AY	Pazartesi	09:00	105
İşletme	VI	Pazarlama Yönetimi	B	Prof.Dr. Canan AY	Sah	09:00	105
İşletme	VI	Ticari İşletme Hukuku	A	Yrd.Doç.Dr. Mustafa YASA	Çarşamba	13:30	403
İşletme	VI	Ticari İşletme Hukuku	B	Yrd.Doç.Dr. Mustafa YASA	Pazartesi	09:00	402
İşletme	VI	Üretim Yönetimi II	A	Yrd.Doç.Dr.Çiğdem SOFYA	Sah	13:30	305
İşletme	VI	Üretim Yönetimi II	B	Yrd.Doç.Dr. Mustafa GERŞİ	Çarşamba	09:00	305
İşletme	VI	Vergi Hukuku I	A	Yrd.Doç.Dr.Birol KOVANCI	Çarşamba	09:00	404
İşletme	VI	Vergi Hukuku I	B	Yrd.Doç.Dr.Birol KOVANCI	Çarşamba	13:30	405
İşletme	VI	Yöneylem II	A	Prof.Dr.A.İlker TUNAIL	Perşembe	13:30	101
İşletme	VIII	Denetim	A	Yrd.Doç.Dr. Ayşe Necef YE	Sah	13:30	201
İşletme	VIII	İş Hukuku	A	Yrd.Doç.Dr. Gülşen GERŞİL	Perşembe	13:30	105
İşletme	VIII	İş Hukuku	B	Yrd.Doç.Dr. Gülşen GERŞİL	Çarşamba	09:00	105
İşletme	VIII	İşletme Politikası	A	Yrd. Doç. Dr. Cevdet KAYA	Çarşamba	13:30	Anfi D
İşletme	VIII	Sermaye Piyasası Analizi	A	Yrd. Doç. Dr. Hüseyin AKT	Cuma	13:30	101
İşletme	VIII	Türkiye Ekonomisi	A	Yrd.Doç.Dr. Erdem HEPKAK	Perşembe	09:00	405
İşletme	VIII	Uluslar arası Pazarlama	A	Yrd. Doç.Dr. Burak KARTA	Pazartesi	13:30	Anfi D
Maliye	II	Atatürk İlk.ve İnk. Tar. II	A	Okt. İsmail ÖMERREİSOĞL	Perşembe	09:00	304
Maliye	II	Atatürk İlk.ve İnk. Tar. II	B	Okt. İsmail ÖMERREİSOĞL	Çarşamba	13:30	404
Maliye	II	Beden Eğitimi II	A	Okt.Kenan TOZAK	Perşembe	11:45	403
Maliye	II	Beden Eğitimi II	B	Okt.Kenan TOZAK	Sah	09:00	305
Maliye	II	İktisat II	A	Yrd.Doç.Dr. M.Hakan YALÇ	Sah	09:55	204
Maliye	II	İktisat II	B	Yrd.Doç.Dr. M.Hakan YALÇ	Sah	13:30	204
Maliye	II	Matematik II	A	Yrd.Doç.Dr. Mustafa GERŞİ	Pazartesi	13:30	Anfi A
Maliye	II	Matematik II	B	Yrd.Doç.Dr. Mustafa GERŞİ	Pazartesi	09:00	403
Maliye	II	Medeni Hukuk	A	Öğr.Gör. Av. Seda SOLMAZ	Cuma	13:30	402
Maliye	II	Medeni Hukuk	B	Yrd.Doç.Dr. Mustafa YASA	Perşembe	13:30	403
Maliye	II	Muhasebe II	A	Yrd.Doç.Dr.Rabia AKTAŞ	Perşembe	13:30	Anfi D
Maliye	II	Muhasebe II	B	Yrd.Doç.Dr.Rabia AKTAŞ	Perşembe	09:00	Anfi D
Maliye	II	Müzik	A	Okt.Öznur ATEŞER	Cuma	16:15	Anfi A
Maliye	II	Resim	A	Öğr.Grv.Gürol YER ALTI	Sah	09:00	405
Maliye	II	Temel Bilgisayar Bilimleri	A	Yrd. Doç.Dr. Burak KARTA	Çarşamba	13:30	303
Maliye	II	Temel Bilgisayar Bilimleri	B	Yrd. Doç.Dr. Burak KARTA	Çarşamba	09:00	303
Maliye	II	Türk Dili II	A	Okt.Davut ŞAHİN	Cuma	10:50	405
Maliye	II	Türk Dili II	B	Okt.Davut ŞAHİN	Cuma	09:00	305
Maliye	II	Yabancı Dil II (İngilizce)	A	Okt.Orhan BABAYİĞİT	Sah	13:30	402
Maliye	II	Yabancı Dil II (İngilizce)	B	Okt.Orhan BABAYİĞİT	Sah	09:55	203

BÖLÜMÜ	YY	DERSİN ADI	ŞUBE	ÖĞRETİM ELEMANI	Günü	SAATİ	DERSLİK
Maliye	IV	İstatistik-II	A	Yrd.Doç.Dr.Çiğdem SOFYA	Çarşamba	09:00	Anfi D
Maliye	IV	İstatistik-II	B	Yrd.Doç.Dr. Metin ÖNER	Cuma	13:30	305
Maliye	IV	İşletme Yönetimi II	A	Prof.Dr. A.Tuna TANER	Perşembe	13:30	Anfi B
Maliye	IV	Kamu Hukuku	A	Doç.Dr.Ramazan GÖKBUN	Salı	13:30	205
Maliye	IV	Kamu Hukuku	B	Yrd.Doç.Dr. Ahmet UTKUS	Salı	13:30	404
Maliye	IV	Makro İktisat	A	Prof.Dr.Hüseyin KARAKAY	Salı	09:00	101
Maliye	IV	Maliye Teorisi	A	Prof.Dr. Naci Birol MUTER	Pazartesi	13:30	305
Maliye	IV	Maliye Teorisi	B	Yrd.Doç.Dr. Mustafa MİYN	Pazartesi	13:30	404
Maliye	IV	Mesleki Yabancı Dil I	A	Yrd.Doç.Dr. Mustafa MİYN	Cuma	13:30	404
Maliye	IV	Mesleki Yabancı Dil I	B	Yrd.Doç.Dr. Mustafa MİYN	Çarşamba	09:00	304
Maliye	IV	Şirketler Muhasebesi	A	Yrd.Doç.Dr.Rabia AKTAŞ	Çarşamba	13:30	Anfi C
Maliye	VI	Bilgi İşlem	A	Öğr.Gr. Türker PALAMUT	Cuma	09:00	302
Maliye	VI	Bilgi İşlem	B	Öğr.Gr. Türker PALAMUT	Cuma	13:30	302
Maliye	VI	İktisadi Düşünceler Tarihi	A	Yrd.Doç.Dr. Ahmet OKUR	Çarşamba	13:30	101
Maliye	VI	İş Hayatı İçin Yabancı Dil	A	Yrd.Doç.Dr.Birol KOVANCI	Pazartesi	09:00	304
Maliye	VI	İş Hayatı İçin Yabancı Dil	B	Yrd.Doç.Dr.Birol KOVANCI	Pazartesi	13:30	304
Maliye	VI	Kamu İktisadi Teşb.	A	Prof.Dr. Kemal ÇELEBİ	Çarşamba	09:00	201
Maliye	VI	Mahalli İdareler Maliyesi	A	Prof.Dr. Süreyya SAKINÇ	Salı	13:30	405
Maliye	VI	Mahalli İdareler Maliyesi	B	Prof.Dr. Süreyya SAKINÇ	Salı	15:20	405
Maliye	VI	Parafiskalite	A	Yrd.Doç.Dr. Ahmet UTKUS	Salı	10:50	405
Maliye	VI	Ticari İşletme Hukuku	A	Yrd.Doç.Dr. Mustafa YASA	Perşembe	09:00	Anfi A
Maliye	VI	Vergi Hukuku II	A	Yrd.Doç.Dr. Tülin CANBAY	Cuma	13:30	104
Maliye	VI	Vergi Hukuku II	B	Yrd.Doç.Dr. Tülin CANBAY	Cuma	09:00	104
Maliye	VIII	Mali Yargı	A	Prof.Dr. Kemal ÇELEBİ	Pazartesi	09:00	201
Maliye	VIII	Maliye Politikası II	A	Prof.Dr. Naci Birol MUTER	Salı	09:00	304
Maliye	VIII	Sermaye Piyasası Analizi	A	Yrd. Doç. Dr. Cevdet KAYA	Salı	13:30	Anfi D
Maliye	VIII	Türkiye Ekonomisi	A	Yrd.Doç.Dr. Erdem HEPAK	Çarşamba	09:00	Anfi B
Maliye	VIII	Uluslar arası Maliye ve Mali Kur	A	Doç.Dr.Ramazan GÖKBUN	Çarşamba	13:30	402
Maliye	VIII	Yatırım Projeleri Analizi	A	Yrd.Doç.Dr. Nilgün KAYAL	Perşembe	13:30	304

EK-2 : Bölüm Bazında Ders Programı Çıktısı

C.B.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi 2007-2008 Öğretim Yılı Bahar Yarıyılı Ders Programı (İşletme Bölümü)

BÖLÜMÜ	YY	DERSİN ADI	ŞUBE	ÖĞRETİM ELEMANI	Günü	SAATI	DERSLİK
İşletme	II	Atatürk İlk.ve İnk.Tar. II	A	Okt. İsmail ÖMERREİSOĞL	Çarşamba	10:50	205
İşletme	II	Atatürk İlk.ve İnk.Tar. II	B	Okt. İsmail ÖMERREİSOĞL	Çarşamba	09:00	205
İşletme	II	Beden Eğitimi II	A	Okt.Kenan TOZAK	Salı	09:55	107
İşletme	II	Beden Eğitimi II	B	Okt.Kenan TOZAK	Salı	10:50	107
İşletme	II	İktisat II	A	Yrd.Doç.Dr. M.Hakan YALÇ	Perşembe	13:30	204
İşletme	II	İktisat II	B	Yrd.Doç.Dr. M.Hakan YALÇ	Perşembe	09:00	204
İşletme	II	İşletme Yönetimi II	A	Prof.Dr. A.Tuna TANER	Çarşamba	13:30	Anfı B
İşletme	II	Matematik II	A	Öğr.Gör. Mahir YÜCEL	Pazartesi	09:00	Anfı B
İşletme	II	Matematik II	B	Öğr.Gör. Mahir YÜCEL	Pazartesi	13:30	Anfı B
İşletme	II	Muhasebe II	A	Yrd.Doç.Dr.Hakan ARACI	Perşembe	09:00	Anfı C
İşletme	II	Muhasebe II	B	Yrd.Doç.Dr.Hakan ARACI	Perşembe	13:30	Anfı C
İşletme	II	Müzik	A	Okt.Öznur ATEŞER	Salı	15:20	206
İşletme	II	Resim	A	Öğr.Grv.Gürol YER ALTI	Salı	09:55	106
İşletme	II	Temel Bilgisayar Bilimleri	A	Yrd.Doç.Dr. Nilgün KAYAL	Cuma	13:30	303
İşletme	II	Temel Bilgisayar Bilimleri	B	Yrd.Doç.Dr.Rabia AKTAŞ	Cuma	09:00	303
İşletme	II	Türk Dili II	A	Okt.Ayşe KİK	Salı	13:30	403
İşletme	II	Türk Dili II	B	Okt.Davut ŞAHİN	Cuma	13:30	304
İşletme	II	Yabancı Dil II (İngilizce)	A	Okt.Orhan BABA YİĞİT	Pazartesi	13:30	405
İşletme	II	Yabancı Dil II (İngilizce)	B	Okt.Orhan BABA YİĞİT	Pazartesi	09:00	305
İşletme	IV	Araştırma Yöntemleri	A	Yrd.Doç.Dr. Ahmet ÖZTÜR	Cuma	09:00	403
İşletme	IV	Araştırma Yöntemleri	B	Yrd.Doç.Dr. Ahmet ÖZTÜR	Cuma	13:30	403
İşletme	IV	Bilgi İşlem	A	Öğr.Grv. Türker PALAMUT	Perşembe	13:30	303
İşletme	IV	Bilgi İşlem	B	Yrd.Doç.Dr. Sibel KARGIN	Perşembe	09:00	303
İşletme	IV	İstatistik-II	A	Yrd.Doç.Dr. Mustafa GERŞİ	Çarşamba	13:30	305
İşletme	IV	İstatistik-II	B	Yrd.Doç.Dr.Çiğdem SOFYA	Pazartesi	13:30	403
İşletme	IV	Makro İktisat	A	Prof.Dr.Hüseyin KARAKAY	Çarşamba	09:00	101
İşletme	IV	Mesleki Yabancı Dil I	A	Öğr.Gör. Özlem YILMAZ	Cuma	13:30	202
İşletme	IV	Mesleki Yabancı Dil I	B	Öğr.Gör. Özlem YILMAZ	Cuma	09:00	202
İşletme	IV	Örgüt Kurumu	A	Yrd.Doç.Dr. Aylin ÜNAL	Pazartesi	09:00	Anfı A
İşletme	IV	Örgüt Kurumu	B	Yrd. Doç.Dr. Asena GÜLOV	Perşembe	13:30	305
İşletme	IV	Şirketler Muhasebesi	A	Prof. Dr. Semra ÖNCÜ	Salı	13:30	Anfı A
İşletme	VI	Finansman Yönetimi	A	Yrd. Doç. Dr. Hüseyin AKT	Pazartesi	13:30	201
İşletme	VI	İş Hayatı İçin Yabancı Dil	A	Öğr.Gör. Özlem YILMAZ	Salı	09:00	202
İşletme	VI	İş Hayatı İçin Yabancı Dil	B	Öğr.Gör. Özlem YILMAZ	Salı	13:30	202
İşletme	VI	Pazarlama Yönetimi	A	Prof.Dr. Canan AY	Pazartesi	09:00	105
İşletme	VI	Pazarlama Yönetimi	B	Prof.Dr. Canan AY	Salı	09:00	105

BÖLÜMÜ	YY	DERSİN ADI	ŞUBE	ÖĞRETİM ELEMANI	Günü	SAATİ	DERSLİK
İşletme	VI	Ticari İşletme Hukuku	A	Yrd.Doç.Dr. Mustafa YASA	Çarşamba	13:30	403
İşletme	VI	Ticari İşletme Hukuku	B	Yrd.Doç.Dr. Mustafa YASA	Pazartesi	09:00	402
İşletme	VI	Üretim Yönetimi II	A	Yrd.Doç.Dr.Çiğdem SOFYA	Salı	13:30	305
İşletme	VI	Üretim Yönetimi II	B	Yrd.Doç.Dr. Mustafa GERŞİ	Çarşamba	09:00	305
İşletme	VI	Vergi Hukuku I	A	Yrd.Doç.Dr.Birol KOVANCI	Çarşamba	09:00	404
İşletme	VI	Vergi Hukuku I	B	Yrd.Doç.Dr.Birol KOVANCI	Çarşamba	13:30	405
İşletme	VI	Yöneylem II	A	Prof.Dr.A.İlker TUNAIL	Perşembe	13:30	101
İşletme	VIII	Denetim	A	Yrd.Doç.Dr. Ayşe Necef YE	Salı	13:30	201
İşletme	VIII	İş Hukuku	A	Yrd.Doç.Dr. Gülşen GERŞİL	Perşembe	13:30	105
İşletme	VIII	İş Hukuku	B	Yrd.Doç.Dr. Gülşen GERŞİL	Çarşamba	09:00	105
İşletme	VIII	İşletme Politikası	A	Yrd. Doç. Dr. Cevdet KAYA	Çarşamba	13:30	Anfi D
İşletme	VIII	Sermaye Piyasası Analizi	A	Yrd. Doç. Dr. Hüseyin AKT	Cuma	13:30	101
İşletme	VIII	Türkiye Ekonomisi	A	Yrd.Doç.Dr. Erdem HEPKAK	Perşembe	09:00	405
İşletme	VIII	Uluslar arası Pazarlama	A	Yrd. Doç.Dr. Burak KARTA	Pazartesi	13:30	Anfi D

EK-3 : Sınıf Bazında Ders Programı Çıktısı

C.B.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi 2007-2008 Öğretim Yılı Bahar Yarıyılı Ders Programı (4.Sınıflar)

BÖLÜMÜ	YY	DERSİN ADI	ŞUBE	ÖĞRETİM ELEMANI	Günü	SAATİ	DERSLİK
İktisat	IV	Araştırma Yöntemleri	A	Yrd.Doç.Dr.Coşkun ÇILBA	Sah	13:30	304
İktisat	IV	Araştırma Yöntemleri	B	Yrd.Doç.Dr. Erdem HEPKAK	Perşembe	13:30	405
İktisat	IV	Bilgi İşlem	A	Öğr.Grv. Türker PALAMUT	Perşembe	09:00	302
İktisat	IV	Bilgi İşlem	B	Öğr.Grv.Tayfun Deniz KUĞ	Sah	09:00	303
İktisat	IV	Davranış Bilimleri	A	Yrd. Doç.Dr. Asena GÜLOV	Cuma	13:30	405
İktisat	IV	Davranış Bilimleri	B	Yrd.Doç.Dr. Aylin ÜNAL	Cuma	09:00	Anfi A
İktisat	IV	İstatistik-II	A	Yrd.Doç.Dr. Metin ÖNER	Cuma	09:00	201
İktisat	IV	İstatistik-II	B	Yrd.Doç.Dr. Mustafa GERŞİ	Sah	13:30	101
İktisat	IV	Makro İktisat II	A	Prof.Dr.Hüseyin KARAKAY	Pazartesi	09:00	101
İktisat	IV	Mesleki Yabancı Dil I	A	Öğr.Gör. Özlem YILMAZ	Perşembe	13:30	202
İktisat	IV	Mesleki Yabancı Dil I	B	Öğr.Gör. Özlem YILMAZ	Perşembe	09:00	202
İktisat	IV	Mikro İktisat II	A	Yrd.Doç.Dr. İlkey DİLBER	Çarşamba	09:00	Anfi A
İktisat	IV	Mikro İktisat II	B	Yrd.Doç.Dr. İlkey DİLBER	Çarşamba	13:30	Anfi A
İşletme	IV	Araştırma Yöntemleri	A	Yrd.Doç.Dr. Ahmet ÖZTÜR	Cuma	09:00	403
İşletme	IV	Araştırma Yöntemleri	B	Yrd.Doç.Dr. Ahmet ÖZTÜR	Cuma	13:30	403
İşletme	IV	Bilgi İşlem	A	Öğr.Grv. Türker PALAMUT	Perşembe	13:30	303
İşletme	IV	Bilgi İşlem	B	Yrd.Doç.Dr. Sibel KARGIN	Perşembe	09:00	303
İşletme	IV	İstatistik-II	A	Yrd.Doç.Dr. Mustafa GERŞİ	Çarşamba	13:30	305
İşletme	IV	İstatistik-II	B	Yrd.Doç.Dr.Çiğdem SOFYA	Pazartesi	13:30	403
İşletme	IV	Makro İktisat	A	Prof.Dr.Hüseyin KARAKAY	Çarşamba	09:00	101
İşletme	IV	Mesleki Yabancı Dil I	A	Öğr.Gör. Özlem YILMAZ	Cuma	13:30	202
İşletme	IV	Mesleki Yabancı Dil I	B	Öğr.Gör. Özlem YILMAZ	Cuma	09:00	202
İşletme	IV	Örgüt Kuramı	A	Yrd.Doç.Dr. Aylin ÜNAL	Pazartesi	09:00	Anfi A
İşletme	IV	Örgüt Kuramı	B	Yrd. Doç.Dr. Asena GÜLOV	Perşembe	13:30	305
İşletme	IV	Şirketler Muhasebesi	A	Prof. Dr. Senura ÖNCÜ	Sah	13:30	Anfi A
Maliye	IV	İstatistik-II	A	Yrd.Doç.Dr.Çiğdem SOFYA	Çarşamba	09:00	Anfi D
Maliye	IV	İstatistik-II	B	Yrd.Doç.Dr. Metin ÖNER	Cuma	13:30	305
Maliye	IV	İşletme Yönetimi II	A	Prof.Dr. A.Tuna TANER	Perşembe	13:30	Anfi B
Maliye	IV	Kamu Hukuku	A	Doç.Dr.Ramazan GÖKBUN	Sah	13:30	205
Maliye	IV	Kamu Hukuku	B	Yrd.Doç.Dr. Ahmet UTKUS	Sah	13:30	404
Maliye	IV	Makro İktisat	A	Prof.Dr.Hüseyin KARAKAY	Sah	09:00	101
Maliye	IV	Maliye Teorisi	A	Prof.Dr. Naci Birol MUTER	Pazartesi	13:30	305
Maliye	IV	Maliye Teorisi	B	Yrd.Doç.Dr. Mustafa MİYN	Pazartesi	13:30	404
Maliye	IV	Mesleki Yabancı Dil I	A	Yrd.Doç.Dr. Mustafa MİYN	Cuma	13:30	404
Maliye	IV	Mesleki Yabancı Dil I	B	Yrd.Doç.Dr. Mustafa MİYN	Çarşamba	09:00	304
Maliye	IV	Şirketler Muhasebesi	A	Yrd.Doç.Dr.Rabia AKTAŞ	Çarşamba	13:30	Anfi C

EK-4 : Öğretim Elemanı Bazında Ders Programı Çıktısı

C.B.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi 2007-2008

Öğretim Yılı Bahar Yarıyılı Ders Programı
(Prof.Dr. A.Tuna TANER)

BÖLÜMÜ	YY	DERSİN ADI	ŞUBE	ÖĞRETİM ELEMANI	Günü	SAATI	DERSLİK
İktisat	II	İşletme Yönetimi II	A	Prof.Dr. A.Tuna TANER	Salı	13:30	Anfi B
İşletme	II	İşletme Yönetimi II	A	Prof.Dr. A.Tuna TANER	Çarşamba	13:30	Anfi B
Maliye	IV	İşletme Yönetimi II	A	Prof.Dr. A.Tuna TANER	Perşembe	13:30	Anfi B

EK-5 : Gün Bazında Ders Programı Çıktısı

C.B.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi 2007-2008 Öğretim Yılı Bahar Yarıyılı Ders Programı (Çarşamba)

BÖLÜMÜ	YY	DERSİN ADI	ŞUBE	ÖĞRETİM ELEMANI	Günü	SAATİ	DERSLİK
İktisat	II	Matematik II	A	Öğr.Gör. Mahir YÜCEL	Çarşamba	13:30	304
İktisat	II	Matematik II	B	Öğr.Gör. Mahir YÜCEL	Çarşamba	09:00	402
İktisat	II	Muhasebe II	A	Yrd.Doç.Dr. Sibel KARGIN	Çarşamba	09:00	Anfi C
İktisat	II	Temel Bilgisayar Bilimleri	B	Öğr.Grv.Dr. Sibel SELİM	Çarşamba	13:30	302
İktisat	IV	Mikro İktisat II	A	Yrd.Doç.Dr. İlkay DİLBER	Çarşamba	09:00	Anfi A
İktisat	IV	Mikro İktisat II	B	Yrd.Doç.Dr. İlkay DİLBER	Çarşamba	13:30	Anfi A
İktisat	VI	İş Hayatı İçin Yabancı Dil	A	Öğr.Gör. Özlem YILMAZ	Çarşamba	13:30	202
İktisat	VI	İş Hayatı İçin Yabancı Dil	B	Öğr.Gör. Özlem YILMAZ	Çarşamba	09:00	202
İktisat	VI	İş Hukuku	B	Yrd.Doç.Dr. Gülşen GERŞİL	Çarşamba	13:30	105
İktisat	VI	Ticari İşletme Hukuku	A	Yrd.Doç.Dr. Mustafa YASA	Çarşamba	09:00	403
İktisat	VIII	Uluslar arası İktisat II	A	Prof.Dr. İbrahim EROL	Çarşamba	09:00	405
İşletme	II	Atatürk İlk.ve İnk.Tar. II	A	Okt. İsmail ÖMERREİSOĞL	Çarşamba	10:50	205
İşletme	II	Atatürk İlk.ve İnk.Tar. II	B	Okt. İsmail ÖMERREİSOĞL	Çarşamba	09:00	205
İşletme	II	İşletme Yönetimi II	A	Prof.Dr. A.Tuna TANER	Çarşamba	13:30	Anfi B
İşletme	IV	İstatistik-II	A	Yrd.Doç.Dr. Mustafa GERŞİ	Çarşamba	13:30	305
İşletme	IV	Makro İktisat	A	Prof.Dr.Hüseyin KARAKAY	Çarşamba	09:00	101
İşletme	VI	Ticari İşletme Hukuku	A	Yrd.Doç.Dr. Mustafa YASA	Çarşamba	13:30	403
İşletme	VI	Üretim Yönetimi II	B	Yrd.Doç.Dr. Mustafa GERŞİ	Çarşamba	09:00	305
İşletme	VI	Vergi Hukuku I	A	Yrd.Doç.Dr.Birol KOVANCI	Çarşamba	09:00	404
İşletme	VI	Vergi Hukuku I	B	Yrd.Doç.Dr.Birol KOVANCI	Çarşamba	13:30	405
İşletme	VIII	İş Hukuku	B	Yrd.Doç.Dr. Gülşen GERŞİL	Çarşamba	09:00	105
İşletme	VIII	İşletme Politikası	A	Yrd. Doç. Dr. Cevdet KAYA	Çarşamba	13:30	Anfi D
Maliye	II	Atatürk İlk.ve İnk.Tar. II	B	Okt. İsmail ÖMERREİSOĞL	Çarşamba	13:30	404
Maliye	II	Temel Bilgisayar Bilimleri	A	Yrd. Doç.Dr. Burak KARTA	Çarşamba	13:30	303
Maliye	II	Temel Bilgisayar Bilimleri	B	Yrd. Doç.Dr. Burak KARTA	Çarşamba	09:00	303
Maliye	IV	İstatistik-II	A	Yrd.Doç.Dr. Çiğdem SOFYA	Çarşamba	09:00	Anfi D
Maliye	IV	Mesleki Yabancı Dil I	B	Yrd.Doç.Dr. Mustafa MİYİN	Çarşamba	09:00	304
Maliye	IV	Şirketler Muhasebesi	A	Yrd.Doç.Dr.Rabia AKTAŞ	Çarşamba	13:30	Anfi C
Maliye	VI	İktisadi Düşünceler Tarihi	A	Yrd.Doç.Dr. Ahmet OKUR	Çarşamba	13:30	101
Maliye	VI	Kamu İktisadi Teşb.	A	Prof.Dr. Kemal ÇELEBİ	Çarşamba	09:00	201
Maliye	VIII	Türkiye Ekonomisi	A	Yrd.Doç.Dr. Erdem HEPKAK	Çarşamba	09:00	Anfi B
Maliye	VIII	Uluslar arası Maliye ve Mali Kur	A	Doç.Dr.Ramazan GÖKBUN	Çarşamba	13:30	402

EK-6 : Derslik Bazında Ders Programı Çıktısı

C.B.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi 2007-2008 Öğretim Yılı Bahar Yarıyılı Ders Programı (201 Nolu Derslik)

BÖLÜMÜ	YY	DERSİN ADI	ŞUBE	ÖĞRETİM ELEMANI	Günü	SAATİ	DERSLİK
İktisat	IV	İstatistik-II	A	Yrd.Doç.Dr. Metin ÖNER	Cuma	09:00	201
İktisat	VI	Örgüt Kuramı	A	Prof.Dr. Sevinç KÖSE	Salı	09:00	201
İktisat	VIII	Sermaye Piyasası Analizi	A	Yrd. Doç. Dr. Cevdet KAYA	Cuma	13:30	201
İşletme	VI	Finansman Yönetimi	A	Yrd. Doç. Dr. Hüseyin AKT	Pazartesi	13:30	201
İşletme	VIII	Denetim	A	Yrd.Doç.Dr. Ayşe Necef YE	Salı	13:30	201
Maliye	VI	Kamu İktisadi Teşb.	A	Prof.Dr. Kemal ÇELEBİ	Çarşamba	09:00	201
Maliye	VIII	Mali Yargı	A	Prof.Dr. Kemal ÇELEBİ	Pazartesi	09:00	201