

112205

**AKIŞ TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN GENETİK
ALGORİTMA İLE ÇÖZÜM PERFORMANSININ
ARTIRILMASINDA PARAMETRE OPTİMİZASYONU**

**DOKTORA TEZİ
Y. Müh. Orhan ENGİN
(507972102)**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Nisan 2001
Tezin Savunulduğu Tarih : 13 Temmuz 2001**

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Alpaslan FIĞLALI
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Ataç SOYSAL (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. Gönül YENERSOY ERDOĞAN (D.Ü.)

Prof.Dr. Erdal EMEL (U.Ü.)

Doç.Dr. Mehmet TANYAŞ (İ.T.Ü.)

TEMMUZ 2001

ÖNSÖZ

Bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişmeler, optimum çözümü bulunamayan, NP problemlerinin, optimuma daha yakın çözümlerinin elde edilmesini sağlamaktadır.

Tez kapsamında üretim planlamanın önemli bir bölümünü oluşturan, çizelgeleme problemlerinden biri olan akış tipi çizelgeleme problemlerinin çözüm kalitesinin artırılmasına yönelik çalışılmıştır.

Stokastik arama özelliğine sahip, güçlü bir sezgisel yöntem olan Genetik Algoritmaların, akış tipi çizelgeleme problemlerinin çözümündeki performansının artırılmasına yönelik parametre optimizasyonu yapılmıştır.

Bu çalışmanın yürütülmesinde beni yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen sayın Doç. Dr. Alpaslan FIĞLALI'ya, Prof. Dr. Gönül YENERSOY'a ve Doç. Dr. Mehmet TANYAŞ'a; çalışmaları hoşgörü ile karşılayıp sabırla katlanan Doç. Dr. Nilgün FIĞLALI'ya; Bilgisayar programının ortaya çıkmasında yardım eden Bilgisayar Müh. Muhammet EROL'a örneklerin çözümünü gerçekleştiren eşim Dilek ENGİN'e ve yardım eden herkese sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Temmuz 2001

Orhan ENGİN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Akış Tipi Çizelgeleme	2
1.1.1. Çizelgelemede kullanılan öncelik kuralları ve kabuller	4
1.1.2. Johnson algoritması	5
1.2. Kombinatoriyel Optimizasyon	7
1.3. Tabu Araştırmaları	9
1.4. Tavlama Benzetimi	10
1.5. Karınca Kolonileri Optimizasyonu	13
1.6. Yapay bağışıklık sistemleri	14
2. GENETİK ALGORİTMALAR VE KULLANIMI	16
2.1. Genetik Algoritmalar	16
2.2. Parametre Kodlama	18
2.2.1. Operasyona dayalı kodlama	20
2.2.2. İşe dayalı kodlama	22
2.2.3. Liste önceliğine dayalı kodlama	23
2.2.4. İş çifti ilişkisine dayalı kodlama	25
2.2.5. Öncelik kuralına dayalı kodlama	26
2.2.6. Tamamlanma zamanına dayalı kodlama	29
2.2.7. Makineye dayalı kodlama	29
2.2.8. Rastsal anahtarlı kodlama	29
2.2.9. Karışık kodlama	30
2.3. GA da Kullanılan Diğer Operatörler	30
2.3.1. Üreme operatörü	30
2.3.2. Çaprazlama operatörü	31
2.3.3. Mutasyon operatörü	32
2.4. GA'nın Gelişimi ve Kullanım Alanları	32
2.4.1. GA'nın tarihsel gelişimi	32

2.4.2. Çok amaçlı optimizasyon problemleri	33
2.4.3. Çizelgeleme problemleri	34
2.5. Genetik Algoritalarda Parametre Optimizasyonu	37
3. BAŞLANGIÇ POPÜLASYONU OPTİMİZASYONU	39
3.1. GA Modelinin Kurulması	39
3.2. Optimal Çözüm Koşulları Analizi	40
3.3. Modelin Kotlanması	41
3.4. Başlangıç Popülasyonu Oluşturma	41
3.5. İki Makine Çok İş Problemi ($n/2/P/C_{max}$)	42
3.6. Çok Makine Çok İş Problemi ($n/m/P/C_{max}$)	45
3.7. Uygun Başlangıç Popülasyonu Seçimi	48
4. ÜREME OPERATÖRÜ OPTİMİZASYONU	50
4.1. GA Modelinde Üreme Operatörleri	50
4.1.1. Makine verimlerine bağlı rulet çemberi yöntemi	50
4.1.2. Toplam akış zamanına göre rulet çemberi yöntemi	52
4.1.3. Yapay seçim yöntemi	52
4.1.4. Kısmi yapay seçim yöntemi	52
4.1.5. Ters yapay seçim yöntemi	53
4.2. İki Makine Çok İş Problemi İçin Uygun Üreme Yöntemi ($n/2/P/C_{max}$)	53
4.3. Çok Makine Çok İş problemi İçin Uygun Üreme Yöntemi($n/m/P/C_{max}$)	56
4.4. Uygun Üreme Yönteminin Seçimi	59
5. ÇAPRAZLAMA OPERATÖRÜ SEÇİMİ	61
5.1. Akış Tipi Çizelgelemeden Kullanılan Çaprazlama Operatörleri	61
5.1.1. Pozisyona dayalı çaprazlama	61
5.1.2. Sıraya dayalı çaprazlama	62
5.1.3. Kısmi planlı çaprazlama (PMX)	62
5.1.4. Dairesel çaprazlama (CX)	63
5.1.5. Doğrusal sıralı çaprazlama(LOX)	64
5.1.6. Sıralı çaprazlama (OX)	64
5.1.7. Alt değişimli çaprazlama (SXX)	65
5.1.8. İş Tabanlı, sıralı çaprazlama (JOX)	65
5.2. İki Makine Çok İş Problemi Analizi	65
5.3. Çok Makine Çok iş Problemleri	67
5.4. Uygun Çaprazlama Yönteminin Seçimi	70
6. MUTASYON OPERATÖRÜ SEÇİMİ	72
6.1. Mutasyon Operatörlerinin Belirlenmesi	72

6.2. İki Makine Çok İş Problemi İçin Uygun Mutasyon Yöntemi	74
6.3. Çok Makine Çok İş Problemi İçin Uygun Mutasyon Yöntemi	77
6.4. Uygun Operatör Seçimi	79
7. OPTİMUM ÇAPRAZLAMA ORANININ BELİRLENMESİ	81
7.1. Çaprazlama Oranının Önemi	81
7.2. İki Makine İçin Çaprazlama Oranı ($n/2/P/C_{\max}$)	81
7.3. Çok Makine İçin Çaprazlama Oranı ($n/m/P/C_{\max}$)	83
7.4. Optimum Çaprazlama Oranının Belirlenmesi	85
8. OPTİMUM MUTASYON ORANININ BELİRLENMESİ	86
8.1. İki makine İçin Mutasyon Oranı ($n/2/P/C_{\max}$)	86
8.2. Çok Makine İçin Mutasyon Oranı ($n/m/P/C_{\max}$)	87
8.3. Uygun Oranın Belirlenmesi	89
9. GENETİK ALGORİTMALARDA PARAMETRE OPTİMİZASYON İÇİN DENEY TASARIMI	91
9.1. Deney Tasarımı	91
9.1.1. Deney tasarımı ile ilgili kavramalar	92
9.1.2. Deney tasarımı adımları	93
9.2. Akış Tipi Çizelgelemede Kullanılacak Faktör ve Seviyeler	94
9.3. Uygun Ortogonal Düzenin Seçimi	96
9.4. İki Makine n İş Problemi İçin Deneyler	97
9.5. Çok Makine Çok İş Problemi İçin Deneyler	102
9.6. Parametre Optimizasyonunda Deney Tasarımı Sonuçları	107
10. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	108
KAYNAKLAR	111
EKLER	115
ÖZGEÇMİŞ	217

KISALTMALAR

NP	:Non Polinomial Optimization(Polinomial Olmayan Optimizasyon)
GAs	:Genetic Algorithms(Genetik Algoritmalar)
AS	:Ant Systems(Karınca Sistemleri)
TS	:Tabu Search(Tabu Araştırmaları)
SA	:Simulated Annealing(Tavlama Benzetimi)
VEGA	:Vector Evaluated Genetic Algorithms(Vektör Gelişimli GA)
PBX	:Position Based Crossover(Pozisyon Tabanlı Çaprazlama)
OBX	:Order Based Crossover(Sıra Tabanlı Çaprazlama)
PMX	:Partially Mapped Crossover(Kısmi Planlı Çaprazlama)
CX	:Cycle Crossover(Dairesel Çaprazlama)
LOX	:Linear Order Crossover(Doğrusal Sıralı Çaprazlama)
OX	:Order Crossover(Sıralı Çaprazlama)
NEH	:Nawaz Ensore Ham
CDS	:Compbell Dudek Smith
HC	:Ho Chang
TSP	:Travel Salesman Problem(Gezgin Satıcı Problemi)
MVRÇ	:Makine Verimli Rulet Çemberi
FIFO	:First In First Out(İlk Giren İlk Çıkar)
SPT	:Shortest Processing Time(Kısa İşlem Süreli)
LPT	:Longest Processing Time(Uzun İşlem Süreli)
DAI	:Distributed Artifical Intelligence(Dağıtım Yapay Zeka)
AIS	:Artifical Immune System(Yapay Bağışıklık Sistemi)
MWR	:Most Work Remaining(En Çok İş Kalan)
LWR	:Least Work Remaining(En Az İş Kalan)

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Örnek 1.1. İçin İşlem Süresi	6
Tablo 1.2. Termodinamik Simülasyonu Ve Kombinatoriyel Optimizasyonu.....	11
Tablo 2.1. İş Sıralama Problemi , 3 İş Ve 3 Makine Örneği.....	21
Tablo 2.2. Üç Makine Ve Üç İş Problemi.....	26
Tablo 2.3. Seçilmiş Öncelik Kuralları.....	27
Tablo 2.4. İş Çizelgeleme Konusunda Son Yıllarda Yapılan GA Çalışmaları.....	36
Tablo 3.1. Problem 5'in İşlem Süreleri.....	42
Tablo 3.2. Problem 5'in GA Çözüm Koşulları.....	43
Tablo 3.3. Problem5'in GA Çözüm Sonuçları.....	43
Tablo 3.4. Başlangıç Popülasyonu Deney Sonuçları:1.....	44
Tablo 3.5. Başlangıç Popülasyonu Deney Sonuçları:2.....	44
Tablo 3.6. Üç Makine On İş Problemi İşlem Süreleri.....	45
Tablo 3.7. Problem 3x10 İçin GA Çözüm Parametreleri.....	46
Tablo 3.8. Problem 3x10 İçin C_{max} Değerleri.....	46
Tablo 3.9. Problem 3x10 İçin Nesil Sayıları	47
Tablo 3.10. Başlangıç Popülasyonu Deney Sonuçları:1.....	48
Tablo 3.11. Başlangıç Popülasyonu Deney Sonuçları:2.....	48
Tablo 4.1. İkili Sistemde Dizi Kodlama.....	51
Tablo 4.2. Örnek 4.1 İçin Başlangıç Popülasyonu.....	51
Tablo 4.3. Örnek 4.1 İçin Manuel Rulet Çemberi Yöntemi.....	51
Tablo 4.4. Problem 7'nin İşlem Süreleri.....	53
Tablo 4.5. Üreme Yöntemi İçin GA Parametreleri.....	53
Tablo 4.6. Problem 7 İçin Nesil Sayısı Deney Sonuçları.....	54
Tablo 4.7. Üreme Yöntemi Deney Sonuçları 1:.....	55
Tablo 4.8. Üreme Yöntemi Deney Sonuçları 2:.....	55
Tablo 4.9. Problem 12'nin İşlem Süreleri(4-Makine X 10-İş).....	56
Tablo 4.10. GA'nın Problem 12 İçin Parametreleri.....	56
Tablo 4.11. Problem12'nin, C_{max} Deney Sonuçları.....	57
Tablo 4.12. Problem 12'nin(4x10) Nesil Sayısı Deney Sonuçları.....	58
Tablo 4.13. Üreme Yöntemi Deney Sonuçları 1:.....	59
Tablo 4.14. Üreme Yöntemi Deney Sonuçları:2.....	59
Tablo 5.1. Problem 10'nun (2x20) İşlem Zamanları.....	66
Tablo 5.2. Problem 10 İçin Parametreler	66
Tablo 5.3. Çaprazlama Yöntemleri Deney Sonuçları.....	67
Tablo 5.4. Problem 13'ün İşlem Süreleri.....	67
Tablo 5.5. Problem 13 İçin Çözüm Parametreleri	68
Tablo 5.6. Problem 13 İçin C_{max} Değerleri.....	68

Tablo 5.7.	Problem 13 İçin Nesil Sayıları.....	69
Tablo 5.8.	Çaprazlama Yöntemleri Deney Sonuçları :1.....	70
Tablo 5.9.	Çaprazlama Yöntemi Deney Sonuçları:2.....	70
Tablo 5.10.	En İyi Ve En Kötü C_{max} Değerleri.....	71
Tablo 6.1.	Problem 8'in İşlem Süreleri.....	74
Tablo 6.2.	Problem 8'in GA İle Çözüm Parametreleri.....	74
Tablo 6.3.	Problem 8'in GA Deneme Sonuçları.....	75
Tablo 6.4.	Mutasyon Yöntemi Deney Sonuçları:1.....	76
Tablo 6.5.	Mutasyon Yöntemi Deney Sonuçları:2.....	76
Tablo 6.6.	Problem 4'ün İşlem Süreleri.....	77
Tablo 6.7.	Problem 4'ün GA Çözüm Parametreleri.....	77
Tablo 6.8.	Problem 4 İçin C_{max} Değerleri.....	78
Tablo 6.9.	Problem 4 İçin Nesil Sayıları Deney Sonuçları.....	78
Tablo 6.10.	Çok Makine Mutasyon Yöntemi Deney Sonuçları:1.....	79
Tablo 6.11.	Çok Makine Mutasyon Yöntemi Deney Sonuçları:2.....	79
Tablo 6.12.	En İyi Ve En Kötü C_{max} Değerleri.....	80
Tablo 7.1.	Problem 2'nin İşlem Süreleri.....	81
Tablo 7.2.	Problem 2 İçin Çözüm Parametreleri.....	82
Tablo 7.3.	Problem 2'nin Deney Sonuçları.....	82
Tablo 7.4.	Çaprazlama Oranı Deney Sonuçları.....	83
Tablo 7.5.	Çok Makine Çaprazlama Oranı Deney Sonuçları:1.....	84
Tablo 7.6.	Çok Makine Çaprazlama Oranı Deney Sonuçları:2.....	84
Tablo 8.1.	Mutasyon Oranı Deney Sonuçları :1.....	86
Tablo 8.2.	Mutasyon Oranı Deney Sonuçları :2.....	87
Tablo 8.3.	Çok Makine Mutasyon Oranı Deney Sonuçları :1.....	88
Tablo 8.4.	Çok Makine Mutasyon Oranı Deney Sonuçları :2.....	88
Tablo 8.5.	Mutasyon Oranı %1 İçin Çözüm Parametreleri.....	89
Tablo 8.6.	Mutasyon Oranı % 1 İçin C_{max} Deney Sonuçları.....	89
Tablo 8.7.	Mutasyon Oranları Karşılaştırması.....	90
Tablo 9.1.	Deney Tasarımı İçin Kullanılacak Faktör Ve Seviyeler.....	94
Tablo 9.2.	Problem 2xn İçin Kullanılacak Faktör Ve Seviyeler.....	95
Tablo 9.3.	Problem Mxn İçin Kullanılacak Faktör Ve Seviyeler.....	95
Tablo 9.4.	L8 Ortogonal Dizi.....	97
Tablo 9.5.	L8'e Bağlı Deney Şartları.....	97
Tablo 9.6.	Problem 2x10 İçin Deney Sonuçları.....	98
Tablo 9.7.	Problem 2x10 İçin Diğer Sonuçlar.....	99
Tablo 9.8.	Problem 2x15 İçin Deney Tasarımı Sonuçları.....	100
Tablo 9.9.	Problem 2x15 İçin Diğer Sonuçlar.....	100
Tablo 9.10.	Problem 2x20 İçin Deney Tasarımı Sonuçları.....	101
Tablo 9.11.	Problem 2x20 İçin Diğer Sonuçlar.....	101
Tablo 9.12.	L8'e Bağlı Çok Makine Deney Şartları.....	102
Tablo 9.13.	Problem 5x10 İçin Deney Tasarımı Sonuçları.....	103
Tablo 9.14.	Problem 5x10 İçin Deney Tasarımı Nesil Sayıları.....	104
Tablo 9.15.	Faktör Kademeleri.....	105
Tablo 9.16.	Faktörlerin Kareleri Toplamı.....	105
Tablo 9.17.	Varyans Analizi Sonuçları.....	106
Tablo 9.18.	İki Makine İçin Önerilen Parametre Değerleri.....	107
Tablo 9.19.	Çok Makine İçin Önerilen Parametre Değerleri.....	107

Tablo A.1.	Problem 1'in İşlem Süreleri, 2-Makine; 5-İş.....	116
Tablo A.2.	Problem 2'nin İşlem Süreleri, 2-Makine; 5-İş.....	116
Tablo A.3.	Problem 3'ün İşlem Süreleri, 2-Makine; 10-İş.....	116
Tablo A.4.	Problem 4'ün İşlem Süreleri, 2-Makine; 10-İş.....	117
Tablo A.5.	Problem 5'in İşlem Süreleri, 2-Makine; 10-İş.....	117
Tablo A.6.	Problem 6'nın İşlem Süreleri, 2-Makine; 10-İş.....	117
Tablo A.7.	Problem 7'nin İşlem Süreleri, 2-Makine; 15-İş.....	117
Tablo A.8.	Problem 8'in İşlem Süreleri, 2-Makine; 15-İş.....	118
Tablo A.9.	Problem 9'un İşlem Süreleri, 2-Makine; 20-İş.....	118
Tablo A.10.	Problem 10'nun İşlem Süreleri, 2-Makine; 20-İş.....	118
Tablo A.11.	Problem 11'in İşlem Süreleri, 3-Makine; 10-İş.....	118
Tablo A.12.	Problem 12'nin İşlem Süreleri, 4-Makine; 10-İş.....	119
Tablo A.13.	Problem 13'ün İşlem Süreleri, 5-Makine; 10-İş.....	119
Tablo A.14.	14 Problem 14'ün İşlem Süreleri, 7-Makine; 15-İş.....	119
Tablo B.1.	Problem 5'in Deney Sonuçları(Nesil Sayıları).....	121
Tablo B.2.	Problem 6'nın Deney Sonuçları(Nesil Sayıları).....	122
Tablo B.3.	Problem 7'nin Deney Sonuçları(Nesil Sayıları).....	123
Tablo B.4.	Problem 8'in Deney Sonuçları(Nesil Sayıları).....	124
Tablo B.5.	Problem 9'un Deney Sonuçları(Nesil Sayıları).....	125
Tablo B.6.	Problem 10'nun Deney Sonuçları(Nesil Sayıları).....	126
Tablo B.7.1.	Problem 11'in Tamamlanma Zamanı(C_{max}) Deney Sonuçları.....	127
Tablo B.7.2.	Problem 11'in Nesil Sayısı Deney Sonuçları.....	128
Tablo B.8.1.	Problem 12'nin Tamamlanma Zamanı(C_{max}) Deney Sonuçları.....	129
Tablo B.8.2.	Problem 12'nin Nesil Sayısı Deney Sonuçları.....	130
Tablo B.9.1	Problem 13'ün Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları.....	131
Tablo B.9.2	Problem 13'ün Nesil Sayısı Deney Sonuçları.....	132
Tablo B.10.1.	Problem 14'ün Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları.....	133
Tablo B.10.2.	Problem 14'ün Nesil Sayıları Deney Sonuçları.....	134
Tablo C.1.	Problem 3'ün Deney Sonuçları(Nesil Sayıları).....	136
Tablo C.2.	Problem 4'ün Deney Sonuçları(Nesil Sayıları).....	137
Tablo C.3.	Problem 7'nin Deney Sonuçları(Nesil Sayıları).....	138
Tablo C.4.	Problem 8'in Deney Sonuçları(Nesil Sayıları).....	139
Tablo C.5.	Problem 9'un Deney Sonuçları(Nesil Sayıları).....	140
Tablo C.6.	Problem 10'nun Deney Sonuçları(Nesil Sayıları).....	141
Tablo C.7.1.	Problem 11'in Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları.....	142
Tablo C.7.2.	Problem 11'in Nesil Sayısı Deney Sonuçları.....	143
Tablo C.8.1.	Problem 12'nin Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları.....	144
Tablo C.8.2.	Problem 12'nin Nesil Sayısı Deney Sonuçları.....	145
Tablo C.9.1.	Problem 13'ün Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları.....	146
Tablo C.9.2.	Problem 13'ün Nesil Sayısı Deney Sonuçları.....	147
Tablo C.10.1.	Problem 14'ün Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları.....	148
Tablo C.10.2.	Problem 14'ün Nesil Sayıları Deney Sonuçları.....	149
Tablo D.1.	Problem 5'in Deney Sonuçları(Nesil Sayıları).....	151
Tablo D.2.	Problem 6'nın Deney Sonuçları(Nesil Sayıları).....	152
Tablo D.3.	Problem 10'nun Deney Sonuçları(Nesil Sayıları).....	153
Tablo D.4.	Problem 9'un Deney Sonuçları(Nesil Sayıları).....	154
Tablo D.5.	Problem 7'nin Deney Sonuçları(Nesil Sayıları).....	155
Tablo D.6.	Problem 8'in Deney Sonuçları(Nesil Sayıları).....	156

Tablo D.7.1	Problem 11'in Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları.....	157
Tablo D.7.2	Problem 11'in Nesil Sayısı Deney Sonuçları.....	158
Tablo D.8.1	Problem 12'nin Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları.....	159
Tablo D.8.2	Problem 12'nin Nesil Sayısı Deney Sonuçları.....	160
Tablo D.9.1	Problem 13'ün Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları.....	161
Tablo D.9.2	Problem 13'ün Nesil Sayısı Deney Sonuçları.....	162
Tablo D.10.1	Problem 14'ün Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları.....	163
Tablo D.10.2	Problem 14'ün Nesil Sayıları Deney Sonuçları.....	164
Tablo E.1.	Problem 5'in Deney Sonuçları (Nesil Sayıları).....	166
Tablo E.2.	Problem 6'nın Deney Sonuçları(Nesil Sayıları).....	167
Tablo E.3.	Problem 7'nin Deney Sonuçları(Nesil Sayıları).....	168
Tablo E.4.	Problem 8'in Deney Sonuçları(Nesil Sayıları).....	169
Tablo E.5.	Problem 10'nun Deney Sonuçları(Nesil Sayıları).....	170
Tablo E.6.	Problem 9'un Deney Sonuçları(Nesil Sayıları).....	171
Tablo E.7.1.	Problem 11'in Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları.....	172
Tablo E.7.2.	Problem 11'in Nesil Sayısı Deney Sonuçları.....	173
Tablo E.8.1.	Problem 12'nin Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları.....	174
Tablo E.8.2.	Problem 12'nin Nesil Sayısı Deney Sonuçları.....	175
Tablo E.9.1.	Problem 13'ün Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları.....	176
Tablo E.9.2.	Problem 13'ün Nesil Sayısı Deney Sonuçları.....	177
Tablo E.10.1.	Problem 14'ün Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları.....	178
Tablo E.10.2.	Problem 14'ün Nesil Sayıları Deney Sonuçları.....	179
Tablo F.1.	Problem 1'in Deney Sonuçları(Nesil Sayıları).....	181
Tablo F.2.	Problem 5'in Deney Sonuçları(Nesil Sayıları).....	182
Tablo F.3.	Problem 9'un Deney Sonuçları(Nesil Sayıları).....	183
Tablo F.4.	Problem 2'nin Deney Sonuçları(Nesil Sayıları).....	184
Tablo F.5.	Problem 6'nın Deney Sonuçları(Nesil Sayıları).....	185
Tablo F.6.	Problem 10'nun Deney Sonuçları(Nesil Sayıları).....	186
Tablo F.7.1.	Problem 11'in Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları.....	187
Tablo F.7.2.	Problem 11'in Nesil Sayısı Deney Sonuçları.....	188
Tablo F.8.1.	Problem 12'nin Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları.....	189
Tablo F.8.2.	Problem 12'nin Nesil Sayısı Deney Sonuçları.....	190
Tablo F.9.1.	Problem 13'ün Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları.....	191
Tablo F.9.2.	Problem 13'ün Nesil Sayısı Deney Sonuçları.....	192
Tablo F.10.1.	Problem 14'ün Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları.....	193
Tablo F.10.2.	Problem 14'ün Nesil Sayıları Deney Sonuçları.....	194
Tablo G.1.	Problem 3'ün Deney Sonuçları(Nesil Sayıları).....	196
Tablo G.2.	Problem 4'ün Deney Sonuçları(Nesil Sayıları).....	197
Tablo G.3.	Problem 7'nin Deney Sonuçları(Nesil Sayıları).....	198
Tablo G.4.	Problem 8'in Deney Sonuçları(Nesil Sayıları).....	199
Tablo G.5.	Problem 9'un Deney Sonuçları(Nesil Sayıları).....	200
Tablo G.6.	Problem 10'nun Deney Sonuçları(Nesil Sayıları).....	201
Tablo G.7.1	Problem 11'in Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları.....	202
Tablo G.7.2	Problem 11'in Nesil Sayısı Deney Sonuçları.....	203
Tablo G.8.1	Problem 12'nin Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları.....	204
Tablo G.8.2	Problem 12'nin Nesil Sayısı Deney Sonuçları.....	205
Tablo G.9.1	Problem 13'ün Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları.....	206
Tablo G.9.2	Problem 13'ün Nesil Sayısı Deney Sonuçları.....	207
Tablo G.10.1	Problem 14'ün Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları.....	208
Tablo G.10.2	Problem 14'ün Nesil Sayıları Deney Sonuçları.....	209

Tablo G.11.	Mutasyon Oranı %1 İçin Deney Sonuçları.....	210
Tablo H.1.	Problem 5'in Deney Sonuçları.....	212
Tablo H.2.	Problem 10'nun Deney Sonuçları.....	213
Tablo H.3.1.	Problem 13'ün Deney Sonuçları.....	214
Tablo H.3.2.	Problem 13'ün Nesil Sayısı Deney Sonuçları.....	215
Tablo H.4.	Problem 13 İçin İkinci Deney Sonuçları.....	216



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : Johnson Algoritması ile(2,4,5,3,1) numaralı işlerin gantt diyagramı	7
Şekil 2.1 : Kod ve Çözüm Uzayı.....	18
Şekil 2.2 : Kodlamada Uygun Olma ve Yasaklı Olma Durumları.....	19
Şekil 2.3 : Şifresi Çözölmüş Aktif Çizelge.....	21
Şekil 2.4 : İşe Dayalı kodlama sistemi.....	22
Şekil 2.5 : Liste önceliğine dayalı kodlama.....	24
Şekil 2.6 : Öncelik Kuralına Dayanan Kodlama.....	28
Şekil 3.1 : Temel Genetik Algoritma.....	40
Şekil 5.1 : Pozisyona Dayalı Çaprazlama.....	61
Şekil 5.2 : Sıraya Dayalı Çaprazlama.....	62
Şekil 6.1 : Farklı Mutasyon Operatörleri.....	73
Şekil 9.1 : Genel Bir Proses Modeli.....	91

AKIŞ TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN GENETİK ALGORİTMA İLE ÇÖZÜM PERFORMANSININ ARTIRILMASINDA PARAMETRE OPTİMİZASYONU

ÖZET

Tez kapsamında, NP Problemleri grubunda olan akış tipi çizelgeleme problemlerinin Genetik Algoritma(GA) ile çözüm performansının artırılmasına yönelik bir çalışma yapılmıştır.

Bu çalışmanın ilk bölümünde, akış tipi çizelgeleme problemlerinin yapısı ve çizelgeleme problemlerinde kullanılan rassal arama metotlarından olan; Tabu araştırmaları, Tavlama Benzetimi, Karınca Kolonileri ve Yapay Bağışıklık sistemlerinden bahsedilmiştir.

Akış tipi çizelgeleme problemlerinde kullanılan GA modeli ve parametreleri ile uygulama alanları, ikinci ve üçüncü bölümlerde yer almaktadır.

Genetik Algoritmalarda kullanılan parametrelerin optimizasyonu ile ilgili 10 farklı problem için 10250 deneme yapılmıştır. Öncelikli olarak, GA'da kullanılan ve GA'nın performansını etkileyen altı parametre; 2x5(iki iş, beş makine), 2x10, 2x15, 2x20 problemleri üzerinde test edilmiştir.

İki makine problemlerinin tercih edilmesinin nedeni, bu problemlerin optimum çözümlerinin Johnson algoritması ile önceden belirlenebilmesidir. İki makine problemlerinde GA ile, Johnson algoritması gibi optimum çözüme ulaşılmıştır. GA, tek optimum iş sırası yerine alternatifli iş sırası oluşturduğundan, Johnson algoritmasından daha iyi performans göstermiştir. Çok makine problemi olarak, 3x10, 4x10, 5x10, 7x15 problemleri rassal olarak üretilmiştir. Toplam 10 problem için,

- Başlangıç popülasyonu,
- Üreme Yöntemi,
- Çaprazlama Yöntemi,
- Mutasyon Yöntemi,
- Çaprazlama Oranı,
- Mutasyon Oranı

parametreleri ile ilgili deneyler yapılmıştır.

Akış tipi çizelgeleme problemlerinde; GA ile optimum veya optimuma yakın çözümlere daha düşük nesil sayılarında ulaşabilmek için, başlangıç popülasyonunun 40; iki makine için, “kısmı yapay seçim” üreme yönteminin, çok makine için, “akış zamanlı rulet çemberi” üreme yönteminin; çaprazlama yöntemi olarak, “sıralı çaprazlamanın”; çaprazlama oranının ,%60-%100 ve mutasyon oranının, %40-%70 arasında seçilmesinin uygun olacağı belirlenmiştir.

Belirlenen bu oranlara göre iki seviyeli deney tasarımı yapılmıştır. Akış tipi çizelgeleme problemlerinde GA’nın performansını etkileyen en önemli faktörlerin, üreme ile çaprazlama yönteminin olduğu belirlenmiştir.



TO INCREASE THE PERFORMANCE OF FLOW-SHOP SCHEDULING PROBLEMS SOLVING WITH GENETIC ALGORITHMS: A PARAMETERS OPTIMIZATION

SUMMARY

In the thesis, the problem of scheduling jobs in a flow-shop which is an NP – complete problem is studied to optimize the parameters for improving the genetic algorithm performance.

In the first chapter, the structure of flow-shop scheduling problems and some related random search methods such as Tabu Search, Simulated Annealing, Ant Colonies and Artificial Immune Systems are mentioned.

Optimisation of the control parameters of genetic algorithms for flow-shop scheduling problems are discussed in the second and third chapters.

In the thesis ten different problems were solved with 10250 runs. Firstly 2x5(2-machine, 5-jobs), 2x10, 2x15, 2x20 problems were tested for six parameters which influence the performance of genetic algorithms.

Two machine problems were preferred because it is possible to find an optimal schedule with Johnson Algorithm. For two machine problems Johnson Algorithm gives only one optimal schedule but genetic algorithm gives alternative optimal schedules that's why GA is preferable to Johnson Algorithm.

As multiple machine problems 3x10(3-machine, 10-jobs), 4x10, 5x10, 7x15, flow-shop problems were randomly generated for solving with GA.

Six different control parameters of genetic algorithm for flow-shop scheduling problems that are defined in the following were tested for improving the genetic algorithm performance in ten different above-mentioned problems:

- Number of initial population,
- Reproduction operators,
- Crossover operators,
- Mutation operators,
- Rate of crossover,
- Rate of mutation.

Results indicate that for the flow-shop scheduling problems 40 as initial population, partially artificial reproduction as reproduction operator for two machines and flow time rule wheel reproduction as reproduction operator for multiple machines; order crossover as crossover operator, 60% - 100% as crossover rate and 40% - 70% as mutation rate give the best result in the genetic algorithms.

For fine-tuning of these parameters a two-level experimental design is applied. It is determined that the most important factors affecting the GA performance for flow-shop scheduling problems are reproduction operator and crossover operator.



1 . GİRİŞ

Son yıllarda, çözümü zor olan optimizasyon problemleri için, literatürde farklı sezgisel arama metotları geliştirilmiştir. Genetik algoritmalar(GA),Tavlama Benzetimi(SA), Tabu Araştırmaları(TS) başarı ile uygulanan bu metotlardan üç tanesidir. Genetik algoritmalar, biyoloji biliminden; tavlama benzetimi, fizik biliminden ve Tabu araştırma da zeka tekniklerinden ortaya çıkmış arama metotlarıdır(Gen, 1996).

Genetik algoritma, ilk olarak 1975 yılında John Holland'ın "Doğal ve yapay sistemlerin uyumu" isimli kitabıyla ortaya çıkmıştır. GA'nın çalışma yöntemi, Darwin'in, "Doğal Seçim" prensibine dayanır. Darwin, "Türlerin Kökeni" adlı yapıtında, iki varsayımı ortaya atmıştır (Demirsoy, 1988). Bunlar;

1. Tüm organizmalar, gereğinden fazla yavru meydana getirme yeteneğine sahiptirler, Bununla beraber elimine edilenler ile popülasyonda denge sağlanmaktadır.
2. Bir tür içerisindeki bireyler, kalıtsal özellikleri bakımından farklıdır.

GA, doğadaki canlıların geçirdiği evrim sürecini dikkate alır. Amaç, doğal sistemlerin uyum sağlama özelliğini dikkate alarak, yapay sistemler tasarlamaktır. GA da tasarlanan yapay sistemlerde dikkate alınan en önemli faktör sağlamlık(robustness) dir.

Eğer yapay sistemler, doğal sistemler kadar sağlam olabilse, mevcut sistemler faaliyetlerini daha uzun zaman sürdürecekler ve pahalı olan yeniden tasarlama ve uyarlama işlemleri ortadan kalkacaktır.

Genetik Algoritmaların gelişimi, John Holland'ın doktora öğrencisi olan David E.Goldberg'in, 1985 yılında hazırlamış olduğu, "Gaz boru hatlarının Genetik algoritmalar kullanılarak denetlenmesi" konusundaki tezi ile sağlanmıştır. Bu ilk uygulamadan sonra Goldberg'in 1989 yılında çıkardığı"Makine Öğrenmesi, Arama ve Optimizasyon için Genetik Algoritma", adlı kitabı, GA'ya yeni bir boyut kazandırmıştır.

1.1 Akış Tipi Çizelgeleme

Akış tipi çizelgeleme ,birbirinden farklı, m makine ve n işin bulunduğu; her bir işin m operasyondan oluştuğu, her bir operasyonun farklı makinelerde yapıldığı ve bütün işlerin operasyonlarının aynı sıra ile yapıldığı problemlere denir.

Akış tipi çizelgeleme probleminde amaç fonksiyonu, toplam akış süresinin ağırlığını ve en son işin tamamlanma zamanını(makespan) minimize etmektir. Akış tipi, iki makine çizelgelemede; F , Toplam akış zamanını ve F' , ortalama akış zamanını minimum yapmak, NP(Nonpolynomial) problemleri kapsamına girer.

Akış tipi çizelgeleme problemleri ile ilgili ilk çalışmayı, Johnson (1954) yapmıştır. İki makine n -iş problemleri için optimum çözüm veren basit bir algoritma geliştirmiştir. Daha sonra yapılan çalışmalarda m -makine sayısı($m>2$) için araştırmalar yapılmıştır. Makine sayısı- m , ($m>2$) problemleri, NP kapsamına girdiğinden, bu problemler için çeşitli sezgisel yöntemler geliştirilmiştir (Chen ve diğ., 1995). Bunlar;

1. Palmer'in Eğim Dizisi Yöntemi(1965) : Bu yöntemde her işe bir dizin değeri tanımlanır, bu dizin değerine göre işler sıralanır. İşlem zamanları, ilk makinelerde kısa olanlar, öne; uzun olanlar ise sona gelecek şekilde eğim dizisi tamamlanır.
2. Campbell, Dudek ve Smith(CDS) Algoritması(1970) : Johnson algoritması kurallarına dayanır, n -iş, m -makine problemleri; önce $(m-1)$ adet n -iş iki makine problemine dönüştürülür. Daha sonra Johnson algoritması ile problemler teker teker çözülür, en iyi sonucu veren (C_{max}) iş sırası uygun çözüm olarak kabul edilir.
3. Gupta Yöntemi(1971) : Gupta, Palmer'e benzer bir eğim dizisi oluşturmuştur, Palmer'den farklı bir hesaplama ile dizinin değeri bulunur.
4. Dannenbring Yöntemi(1972) : Dannenbring, Palmer ve Campbell,Dudek,Smith'in geliştirdikleri algoritmaların avantajlarını birleştirerek yeni bir sezgisel yöntem geliştirmiştir. Bu yöntemde n -iş, m -makine problemleri, önce $(m-1)$ adet n -iş iki makine problemine dönüştürülür, bu dönüşüm Palmer'in eğim dizisine göre yapılır.

5. Nawaz, Ensore ve Ham(NEH) Yöntemi(1983) : İşleri, toplam işlem zamanlarına dayalı olarak sıralayan bir algoritmadır. İlk olarak işler tezgahlardaki toplam işlem zamanlarına göre büyükten küçüğe doğru sıralanır.
6. Hundal ve Rajgopal Yöntemi(1998) : CDS, Algoritmasının temel mantığı ile, Palmer'in sezgisel yönteminin basit kurallarının iyileştirilmesi sonucu ortaya çıkmış bir yöntemdir.
7. Widmer ve Hertz Yöntemi(1989) : Widmer ve Hertz, "SPRINT" olarak adlandırılan iki aşamalı bir sezgisel yöntem geliştirmişlerdir. İlk aşamada, gezgin satıcı problemindeki(TSP) gibi anoloji ile başlangıç çözümü belirlenir. İkinci aşamada ise bu çözüm "Tabu araştırmaları" tekniği ile iyileştirilir.
8. Ho ve Chang(HC) Yöntemi(1991): Bu yöntemde daha önce sezgisel metotlarla belirlenmiş işlerden, birbirini takip eden işler arasındaki boşlukların minimize edilmesine çalışılır. Diğer çalışmalar,

Ignall ve Schrage, ilk olarak, dal-sınır tekniği ile akış tipi çizelgeleme problemlerini çözmeye çalışmıştır. Hoogwen farklı bir dal-sınır prosedürü geliştirmiştir. Bu çalışmalarda sadece bir tek kriter (C_{max} , F veya F') düşünülmüştür. Karar verebilmek için çoğu zaman iki veya daha fazla kriterin göz önüne alınması gerekir. Bu yüzden çok kriterli iki makine akış problemi gündeme gelmiştir. Selen,Hott ve Wilson, çok kriterli iki makine akış çizelgelemesi için tamsayılı programlama modelini geliştirmiştir. Bununla toplam akış süresi ve en son işin tamamlanma süresi minimize edilmeye çalışılmıştır (Chou ve Lee, 1999).

Genel olarak iş çizelgelemede kullanılan yöntemler aşağıda verilmiştir(Maturana ve diğ., 1997);

1. Matematik programlama,
2. Öncelik kurallarına göre sıralama,
3. Simülasyon tabanlı metotlar,
4. Yapay zeka tabanlı metotlar,
5. Sezgisel yöntemler,
6. Çok temsilli paradigmlar(Multi-agent paradigm),
7. Dağıtım yapay zeka teknikleri ile üretim çizelgeleme(DAI yazılımları),

8. Üretim düzgünleştirme ve çizelgeleme operatörü yöntemi.

Çizelgeleme optimizasyonunda matematik programlama kullanmak, hesaplama süresinin çok uzun olması nedeni ile uygulanabilir değildir. Simülasyon tabanlı çizelgeleme programları esnek olduğundan son yıllarda tercih edilmektedir. Akış tipi çizelgelemede de, öncelik kurallı simülasyon tabanlı çizelgeleme programlarının iyi performans verdiği belirlenmiştir(Maturana ve diğ., 1997).

1.1.1. Çizelgelemede Kullanılan Öncelik Kuralları ve Kabuller

Çizelgeleme problemleri için literatürde on farklı öncelik kuralı kullanılmaktadır (Dorndorf ve Pesch, 1994). Bunlar;

- 1) Erken teslim tarihli,
- 2) İlk giren ilk çıkar(FIFO),
- 3) Kısa işlem zamanlı(SPT),
- 4) Kalan işlem zamanlı,
- 5) Toplam işlem zamanlı,
- 6) Dinamik değişkenli,
- 7) Rastsal öncelik kurallı,
- 8) Uzun işlem zamanlı(LPT),
- 9) Az operasyonu kalan öncelik kuralı,
- 10) Çok operasyonu kalan öncelik kuralıdır.

Akış tipi çizelgeleme problemlerinin çözümünde, aşağıdaki kabuller yapılır(French, 1982);

1. Bir iş, farklı operasyonların birleşiminden meydana gelmesine rağmen, aynı işin iki operasyonu, aynı anda işlenemez.
2. İşler için önceden rezervasyon yapılamaz, Makinede operasyon yapılırken diğer operasyonun başlayabilmesi için bir öncekinin bitmiş olması gerekir.
3. Her iş m farklı operasyondan oluşur. Bir işin bir makinada ikinci bir defa daha işlem görmesine müsaade edilmez.
4. Operasyonların ertelenmesi yapılamaz, her işin prosesi tamamlanmalıdır, eksik bırakılıp sonra tamamlanamaz.

5. Proses işlem zamanları çizelgeden bağımsızdır. Burada iki durum kabul edilir. Birincisi, her bir işlemin hazırlık süresi, çizelgeden bağımsızdır; ikinci olarak da işlerin makineler arasında taşıma süreleri ihmal edilir.
6. Prosesler arasında envanter stoğuna müsaade edilebilir; iş, bir sonraki makinede işlenmek üzere, bekleyebilir.
7. Her bir makine tipinden sadece bir tane mevcuttur, proses içerisinde işin makine seçmesine müsaade edilmez. Bu kabul bazı durumlarda ortadan kaldırılabilir, belirli makinelerden birden fazla eklenerek darboğaz oradan kaldırılmaya çalışılabilir.
8. Makinelerin boş, aylak süreleri olabilir.
9. Hiçbir makine bir anda birden fazla operasyonu yerine getiremez.
10. Makineler asla arızalanmazlar, çizelge periyodu boyunca makinalar hazır beklerler.
11. Teknolojik kısıtlar önceden bilinmektedir.
12. Olayda rassallık yoktur, yani
 - a) İş sayısı biliniyor ve sabittir.
 - b)Makine sayısı biliniyor ve sabittir.
 - c)İşlem zamanları biliniyor ve sabittir.
 - d)İhtiyaç duyulacak diğer parametreler baştan beri bilinmektedir.

1.1.2. Johnson Algoritması

Birden fazla makinenin kullanıldığı çizelgeleme modellerine, akış tipi veya atölye tipi çizelgeleme problemleri denir. Akış tipi çizelgelemede bir teknoloji kısıtı olarak bütün işler aynı sıra ile makinelerden geçerler. Akış tipi çizelgeleme problemlerinde iki makine için ve özel şartlarda üç makine için Johnson algoritması optimum çözüm vermektedir.

$n/2/F/F_{\max}(n\text{-iş, } 2\text{-makine, Tamamlanma zamanı kriterli})$, probleminde amaç, $F_{\max}=C_{\max}$ değerlerini minimum yapmaktır. Bütün işlerin sıfır anında hazır olduğu kabul edilir. Buna göre işlem adımları (French, 1981);

Adım 1 : $k=1$ ve $p=n$ kabul et.

Adım 2 : Sıralanmamış işlerin listesini oluştur, $iş = (J_1, J_2, J_3, \dots, J_n)$

Adım 3 : Bütün işler için en küçük a_i ve b_i değerlerini bul.

Adım 4 : J_i . işin makine birdeki işlem zamanı a_i en küçük ise,

- i) J_i . işi k. Pozisyonda sıraya yerleştir.
- ii) J_i . iş , sıralanmamış işler çizelgesinden sil.
- iii) k değerini, k+1 olarak artır.

Adım 6'ya git.

Adım 5 : Eğer J_i . işin en küçük zamanı ikinci makinada ise yani b_i ise,

- i) J_i . İş i l . pozisyonda sıraya koy.
- ii) J_i . işi sıralanmış işler listesinden sil.
- iii) p; p-1 azalt.
- iv) Adım 6'ya git.

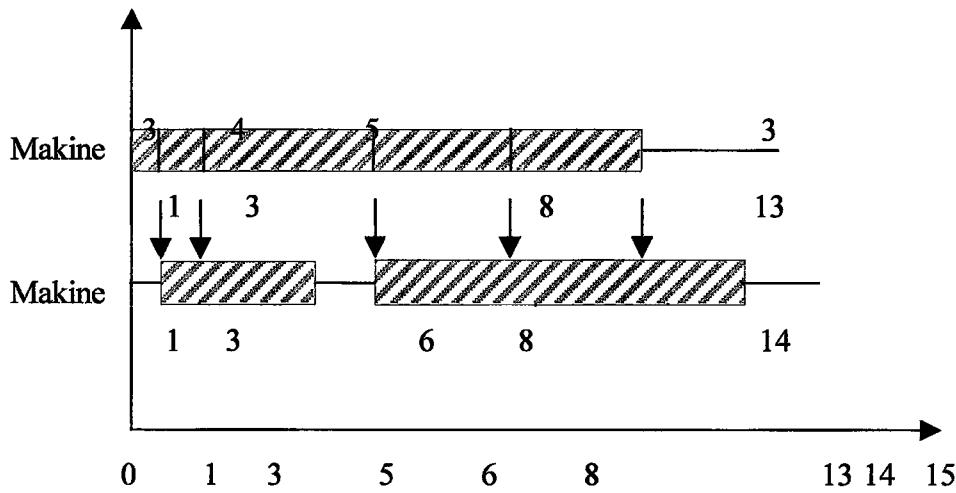
Adım 6 : Eğer henüz çizelgelenmemiş iş mevcut ise 3. Adıma git, aksi halde dur.

Örnek 1.1 İki makinenin her biri üzerinde beş iş için işlem süreleri Tablo 1.1'de gösterilmiştir.

Tablo 1.1. Örnek 1.1. İçin İşlem Süresi

İş	Makine 1	Makine 2
1	4	3
2	1	2
3	5	4
4	2	3
5	5	6

Amaç minimum tamamlanma zamanlı çizelgelemeyi belirlemektir. Johnson algoritması uygulanarak makine 1 üzerinde iş 2 için $\min \{P_{ij}\} = 1$ olduğu gözlenir. Bundan dolayı, dizilimde ilk iş olarak 2. iş yerleştirilir. İkinci iş elimine edildikten sonra, makine 1 üzerinde iş 4 için $\min_{i \neq 2,4} \{P_{ij}\} = 3$ olduğu bulunur. Bundan dolayı dizilimde ikinci olarak iş 4. yerleştirilir. Makine 2 üzerinde iş 1 için $\min_{i \neq 1,2,4} \{P_{ij}\} = 4$ oluşur. Bundan dolayı dizilimde en son iş 1 yerleştirilir. Daha sonra makine 2 üzerinde, 3. işin işlem süresinin kısa olduğu belirlenir. Bundan dolayı, 3. iş dizilimde, 4. olarak yerleştirilir. Yalnızca 5. iş kalır, ve 3. pozisyonda 5. iş yerleştirilir. Bundan dolayı minimum tamamlanma zamanlı dizilimi, {2, 4, 5, 3, 1}' olur. Şekil 1.1.'de gösterilen bu dizilim için gantt şemasına göre tamamlanma zamanı 21 birim hesaplanır.



Şekil 1.1 Johnson Algoritması İle (2,4,5,3,1) Numaralı İşlerin Gantt Diyagramı

1.2 Kombinatoriyel Optimizasyon

Optimizasyon problemleri, karar değişkenlerinin sürekli ve kesikli olmalarına göre iki kısımdan oluşur. Karar değişkenleri kesikli(sürekli) olanlara kombinatoriyel optimizasyon problemleri denir (Reeves, 1995a).

Problemlerin çözümü için kullanılan algoritmaların, sonuca kısa sürede ulaşması esastır. Bir algoritmanın en yaygın performans ölçüsü, algoritmanın sonucu bulana dek harcadığı süredir. Fakat bu süre, işlem hızı ve bilgi raporlama tekniğine bağlı olarak değişkenlik gösterebilir.

Polinomiyal zamanlı algoritmalar pratikteki problemlerin çözümünde iyi performans göstermektedirler. Büyük algoritmalar genellikle, üstel algoritma olarak adlandırılırlar. Üstel algoritmalarda, polinomiyal olmayan artış hızları geçerlidir (2^n , $n!$, n^2 , $n^{\log n}$ gibi). Polinomiyal algoritmalar, üstel algoritmalara nazaran teknolojik gelişmelerden daha avantajlı olarak faydalanırlar ve kapalılık özelliklerinden dolayı özel problemlerin çözümü için polinomiyal algoritmalar birleştirilebilirler.

Kombinatoriyel optimizasyon problemlerinin büyük çoğunluğu, “NP-Complete (Nonpolynomially Bounded)”, Polinomiyal zaman sınırı olmayan problemler sınıfına girmektedir. NP problemlerine, polinomiyal algoritma geliştirilememiştir. NP kapsamında yer alan problemler için, asıl optimum çözüm yerine, yakın çözümler tercih edilir. Bu tip problemlerin kesin çözümlerine makul sürelerde

ulaşılamadığından, yerel arama ve stokastik arama yöntemleri ile yaklaşık çözümler elde edilir. Stokastik arama yöntemleri, yerel arama yöntemlerinin, yerel optimumda takılıp kalma dezavantajlarını ortadan kaldırmak için geliştirilmiş yöntemlerdir. Aşağıda kombinatoriyel optimizasyon problemleri ile ilgili bazı örnekler görülmektedir:

Örnek 1.2.1 Tahsis-Atama Problemleri: n kişinin n adet göreve atanması şeklindedir.

İ. personelin j. göreve atanmasının minimum maliyeti,

$$\min = \sum_{i=1}^n c_i \Pi_i, \dots, \{\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \dots, \Pi_n\} \quad (1.1)$$

Örnek 1.2.2 Sırt Çantası Problemi (0-1)

C kapasiteye sahip bir sırt çantasına, n adet parça yerleştirilecektir. i. parçanın kazanç değeri V_i , kapsadığı birim alan c_i ise,

Amaç fonksiyonu,

$$\max = \sum_{i \in I} V_i \quad (1.2)$$

ve kısıt kümesi,

$$\sum_{i \in I} c_i \leq C \quad (1.3)$$

Örnek 1.2.3. Araç Rotalama Problemi

m adet araç ile n adet müşteriye dağıtım yapılacaktır, k. aracın kapasitesi c_k birim; i. müşterinin ihtiyacı c_i birim; i ile j arasındaki mesafe d_{ij} dir. Hiçbir araç D birimden fazla taşıma yapamaz. Minimum maliyetli araç rotalama modeli,

$$\sum_{k=1}^m \sum_{i=0}^{n_k} d_{\Pi_{i,k}, \Pi_{i+1,k}} \quad (1.4)$$

Talep kısıtı,

$$\sum_{i=1}^{n_k} c_{\Pi_{i,k}} \leq C_k; \dots, k = 1, \dots, m \quad (1.5)$$

Kapasite kısıtı,

$$\sum_{i=0}^{n_k} d_{\Pi_{i,k}, \Pi_{i+1,k}} \leq D; \dots, k = 1, \dots, m \quad (1.6)$$

Tüm müşterilere ulaşma kısıtı,

$$\sum_{k=1}^m n_k = n \quad (1.7)$$

Kombinatoriyel optimizasyon problemleri, lineer programlama modellerine dönüştürülerek çözülebilir. Örneğin sırt çantası problemi, 0-1 tamsayılı programlama yardımı ile çözülebilir ancak araç rotalama problemini, 0-1 tamsayılı model haline dönüştürmek, değişken ve kısıt sayısını artıracak için oldukça zordur.

Kombinatoriel problemlerde, sonlu veya sayılabilir sonsuz bir kümeden, bir alt kümeye, bir nesneye, bir permütasyona ulaşmaya çalışılır. Kombinatoriyel optimizasyon problemlerinin büyük bir kısmı, sezgisel(heuristic) yöntemler yardımı ile çözülebilmektedir. Diğer bir deyişle bu tip problemler için optimum değil, optimuma yakın çözümler elde edilmektedir(Reeves, 1995a).

NP problemlerinin çözümünde kullanılan metotlar ;

- 1) Lokal arama metotları
- 2) Yapay sinir ağları
- 3) Tabu araştırmaları
- 4) Tavlama benzetimi
- 5) Karınca Kolonileri Optimizasyonu
- 6) Yapay Bağışıklık Sistemleri
- 7) Genetik algoritmalar.

Aşağıda, NP problemlerinin çözümünde kullanılan bu metotlardan bazıları izah edilmiştir.

1.3 Tabu Araştırmaları (Tabu Search-TS)

Modern Tabu araştırmaları formu, ilk olarak Glover tarafından geliştirilmiştir Reeves (1995a). Tabu araştırmaları, lokal optimallığın tikanıklığından kaçınmak ve diğer yöntemlere yol göstermek için geliştirilmiş, optimuma yakın çözüm veren sezgisel bir arama metodudur. Tabu araştırmaları, hedefe, kısıt ve tabu kullanarak, belirli bir olasılıkla ulaştırır. Hedefe ulaşma olasılığının yükselmesi için, kısıt ve tabu sayılarını artırmak gerekir. Algoritma adımları (Reeves, 1995a);

Adım 1 : Başlangıç çözümünü rassal olarak seç, bu çözüm için amaç değerini hesapla.

Adım 2 : Değişim operatörünü seç(SWAP veya INVERSE) bu operatöre göre pozisyonlar arasında değişimi gerçekleştir,

Adım 3 : Yeni değişimin amaç değerini hesapla, başlangıç değeri ile veya bir önceki değer ile karşılaştır. Değişimin tabu olup olmadığını belirle, eğer değişim kabul edilebilir ise tabu değildir.

Adım 4 : İterasyon sayısı kadar, adım 2'e giderek işlemleri tekrarla, hesaplanan en iyi çözümü belirle.

Tabu listesi, kabul edilebilen değişimleri saklamak, istenmeyen durumun ortadan kaldırılmasında kullanılır. Tabu araştırmalarında üç ayrı strateji kullanılır. Bunlar ;

1. Yasaklama Stratejisi, hangi hareketlerin, tabu listesine girip girmeyeceğini belirleyen ve döngüyü önlemek için, belirli hareketleri yasaklama mekanizmasını oluşturan bir stratejidir.
2. Yeterlilik Kriteri, Yeterli koşulları sağlayan çözümlerin tabu durumundan çıkmasını sağlayan bir stratejidir.
3. Kısa dönem stratejisi, önceki iterasyonlardaki davranışları depolayan bir stratejidir.

1 . 4 Tavlama Benzetimi (Simulated Annealing-SA)

Tavlama benzetimi, zor kombinatorial optimizasyon problemlerinin çözümünde iyi performans gösteren sezgisel bir yöntemdir. Tavlama benzetimi ilk olarak 1953 yılında Metropolis, Rosenbluth ve Teller tarafından Reeves (1995a), bir ısı banyosu içindeki taneler kümesinin denge dağılımını hesaplamak amacıyla simülasyon tekniği ile kullanılan bir yöntemdir.

Tavlama benzetimi, fiziksel tavlama prosesi ile ayrık optimizasyon problemlerinin benzeşiminden ortaya çıkartılmış bir yöntemdir. Fiziksel tavlama prosesi, ısı banyosu içerisindeki katı bir cismin düşük enerjilerini elde etmek için kullanılan bir yöntemdir. Eğer katı bir cisim erime noktasına kadar ısıtılır ve sonra katı cisim hızla soğutulmaya başlanırsa, katı cismin moleküler yapısı(kristal yapı) soğutma oranına bağlı olarak

değişir. Metropolis algoritmasının temel prensibi, soğutma prosesindeki enerji değişimine göre belirlenir.

Otuz yıl sonra Kirkpatrick ve arkadaşları, Metropolis algoritmasını, bir optimizasyon probleminde uygun çözüm bulunmasında kullanmışlardır. Aslında bu yöntem lokal aramanın farklı bir varyasyonudur (Reeves, 1995a).

Metropolis, çalışmalarında istatistiksel termodinamiği kullanmıştır. Termodinamik kanununa göre, t. durumdaki sıcaklığa bağlı olarak, enerjideki azalma olasılığı, δE ,

$$P(\delta E) = \exp(\delta E/kt) \quad (1.8)$$

formülüyle ifade edilir. (1.8) ifadesindeki k, fiziksel sabit olup, Boltzman sabiti olarak da bilinir. Metropolis, simülasyon yardımı ile enerjideki değişimi hesaplamıştır.

Eğer enerji azalır ise, sistem yeni bir duruma geçer, enerji artar ise (1.8), ifadesine göre yeni durum kabul edilir. Bu işlemler donma noktasına kadar devam eder.

Kirkpatrick ve arkadaşları ile Cerny, Metropolis algoritmasının, optimizasyon problemlerinde uygulanması ile ilgili Tablo 1.2'deki benzerlikleri ortaya çıkartmışlardır (Reeves, 1995a).

Malzemelerin çoğundaki enerji fonksiyonu, ayırık optimizasyon problemlerindeki, tipik maliyet fonksiyonlarına karşılık gelir. Bir optimizasyon probleminde, optimum çözüme yakın çok sayıda lokal minimum maliyet fonksiyonu değerleri mevcuttur.

Tablo 1.2. Termodinamik Simülasyonu ve Kombinatoriyel Optimizasyon

Termodinamik simülasyonu	Kombinatoriyel Optimizasyon
Sistem Durumu	Uygun Çözüm
Enerji	Maliyet
Durum Değişmesi	Komşuluk Aralığı çözümü
Sıcaklık	Kontrol Parametreleri
Donma Noktası	Yaklaşık Çözüm

Tavlama algoritması çalışma prensibi olarak, Lokal arama metoduna benzer. Lokal arama metodunun en büyük dezavantajı, global optimum yerine lokal optimum bulmasıdır. Tavlama benzetimi, bu olumsuzluğu ortadan kaldırır. Kontrol parametrelerine (sıcaklık) bağlı olarak, komşuluk değerlerindeki maliyet fonksiyonu değişimini kabul eder. Algoritma adımları Anonymous (2000);

Adım 1 : Rassal olarak ya da seçilmiş bir çözüm kümesini, başlangıç çözümü olarak kabul et. S_0 ;

Adım 2 : Başlangıç çözümüne en iyi çözüm olarak $S^* = S$

Adım 3 : Başlangıç Çözümünün maliyet fonksiyonunu hesapla. $S : C(S)$;

Adım 4 : Başlangıç sıcaklığı, T_0 belirle.

Adım 5 : Başlangıç sıcaklığını, T' değerine ata. $T = T_0$;

Adım 6 : Durma kriteri gerçekleşmedi ise, aşağıdaki işlemleri gerçekleştir.

a) Markov zinciri uzunluğunu belirle.

i) Mevcut S , çizelgesinde rassal bir komşuluk aralığı, S' belirle, ($S' \subset N_s$)

ii) S' için $C(S')$ maliyet fonksiyonunu hesapla.

iii) Bir önceki çizelge ile mevcut çizelgenin maliyet fonksiyonlarının farkını al.

$$\Delta(C) = C(S') - C(S)$$

iv) Eğer $\Delta(C) \leq 0$ ise, b.) adıma geri dön, $S=S'$ kabul et.

$$C(S) < C(S^*) \text{ dan } S^*=S \text{ ata}$$

v) $\Delta(C) > 0$ ise, adım 6, a) ya geri dön ve x gibi $(0,1)$ aralığında bir

$$\text{rassal sayı üret. Eğer } X < e^{-\Delta(c)/T} \text{ ise } S=S' \text{ ata}$$

b) T sıcaklığını azalt Adım 6'ya dön

Adım 7 : En iyi çizelge, S^* , oluştur ve dur.

Teorik olarak, tavlama benzetiminin çalışma prensibi, markov zincirlerinin modellenmesi ile elde edilir. Mevcut bir durumdan, başka bir duruma hareket olasılığı, matris formları ile ve i. Çözümünden, j. Çözümüne, sıcaklık sabitine bağlı olarak P_{ij} homojen markov zinciri olarak bilinir. Tavlama benzetiminde, sıcaklık sabit değildir, belirli bir iterasyona göre azaltılır. Sıcaklık parametresinin azaltılması, çözüme ulaşmada önemli bir parametredir. Pratikte iki farklı kontrol yöntemi kullanılır. Bunlardan bir tanesi, geometrik azalma fonksiyonudur.

$\alpha(t) = a.t$ ve burada, $a < 1$ dir. Literatürde $0,80 < a < 0,99$ arasında seçilir. Diğer bir yöntemde ise,

$$\alpha(t) = \frac{t}{(1 + \beta t)} \quad (1.9)$$

(1.9) ifadesindeki β uygun küçük bir değerdir.

1.5 Karınca Kolonileri (Ant Systems-AS) Optimizasyonu

Son yıllarda, kombinatoriyel optimizasyon problemlerinin sezgisel yöntemler ile çözümünde doğal proseslerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Karınca Sistemleri de (Ant System) bu amaç için geliştirilmiş sezgisel bir yöntemdir. Colorni, Dorigo, Maniezzo tarafından 1991 yılında Gezgin satıcı Problemlerinin (TSP) çözümünde başarı ile uygulanmıştır. Karınca sistemleri (KS), karınca kolonilerinin yiyecek toplama prensibine göre çalışır (Colorni ve diğ., 1994). Doğadaki karıncalar kör olduklarından, koloniler halinde yiyecek toplamadaki, en kısa yolu seçme mekanizmalarına göre algoritma oluşturulur. Karıncalar, koloniler halinde çalıştıklarından, bu algoritma ile etkin sonuçlar elde edilebilmektedir. Doğadaki karıncalar, yiyecek toplarken, geçmiş oldukları yollar üzerine bir sıvı madde (iz-trail) bırakırlar. Bu madde uçucu olup belirli zaman sonra kaybolur. Belirli bir t zaman aralığında belirli bir yoldan ne kadar çok karınca geçer ise iz miktarı o kadar fazla olur. Daha sonra, aynı yol üzerine gelen karıncalar kısa yolu, iz miktarına bağlı olarak, seçerler, diğer bir deyişle gidebileceği birden fazla yol olduğunda, iz miktarı fazla olan yolu tercih ederler.

Karınca sistemleri algoritmasının kullanımı için önce iz matrisi, $T = [\tau_{ij}]$ ve görünürlük matrisi, $H = [\eta_{ij}]$ tanımlanır.

Problem çözüm kümesi, permütasyon tipi tanımlanır ise, $\Pi = [\Pi(1), \dots, \Pi(n)]$, bu durum problemin n farklı girişinin (Gezgin satıcı problemi için, n şehir sayısı) olduğunu gösterir. Çözümün ilk adımında, m adet karıncanın, şebeke üzerinde rassal pozisyonlarda olduğu ve bu karıncaların her birinin bulunduğu düğümden, herhangi bir yere hareket etme serbestisine sahip olduğu kabul edilir. Her bir karınca,

montekarlo prosedürüne göre geçiş olasılıklarına bağlı olarak, hareket edeceği yönü belirler.

Karınca i. düğümden j. düğüme hareket ettiğinde, j. düğüm, karıncanın hafızasında tabu listesine kaydedilir. Bir sonraki adımda, karınca tabu listesinde bulunan bu yöne doğru hareket etmez.

Her bir karıncanın i. düğümden j. düğüme k. adımda geçme olasılığı,

$$P_{ij}^k(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{j \in A_k} [\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} \quad (1.10)$$

α, β sezgisel parametrelerdir. $\Delta \tau_{ij}^k$, (i,j) çevrimi boyunca, k. karıncadan sonra bırakılan toplam iz miktarı, (1.11) ifadesi ile gösterilmiştir.

$$\Delta \tau_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k \quad (1.11)$$

Buradaki iz miktarı bir sonraki iterasyonda kullanılır, (t+1). durumdaki iz miktarı, (1.12) ifadesinde verilmiştir.

$$\tau_{ij}(t+1) = P \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta \tau_{ij} \quad (1.12)$$

P, kovaryans değerini; (1-P) izin buharlaşma miktarını ve (1-P) $\tau_{ij}(t)$; (i,j) düğümleri arasında, t ve (t+1). zaman diliminde buharlaşan iz miktarını gösterir.

Karınca sistemleri algoritması, Colorni, Dorıgo ve arkadaşları tarafından, 1994 yılında atölye tipi çizelgeleme problemlerinde başarı ile uygulanmıştır.

1 . 6 Yapay Bağışıklık Sistemleri (Artificial Immune Systems-AIS)

Doğal bağışıklık sistemleri, enfeksiyonlardan korunmak ve enfeksiyonların elimine edilmesini sağlayan sistemlerdir. Bağışıklık sistemi, hücre ve moleküllerden oluşur. Yabancı proteinler “antijen” olarak adlandırılır. Bağışıklık sistemlerinde, antijenlerin tespit edilmesinde kullanılan iki detektör mevcuttur, bunlar “T” ve “B” hücreleri olarak adlandırılır. Ayrıca antijenleri saran antikorlar mevcuttur.

Detektör hücreleri (T ve B) ile antijenler arasında, hücre yüzeyinde bir takım fiziksel ve kimyasal işlemler gerçekleşir. Her bir detektör belirli antijenleri tespit edebilir. Bir detektör, antijeni sardığında, birtakım karmaşık olaylar meydana gelir ve çoğu zaman antijen elimine edilir. Antijenin elimine edilmesi, detektörün içeriğine bağlıdır.

Bağışıklık sistemleri ile bir problem çözülürken, proses içsel ve dışsal mesajlardan oluşur; içsel mesajlar, hücre ve moleküller; dışsal mesajlar, bakteri, parazit ve virüs gibi yabancı maddelerdir. Problem çözümlerinde, içsel ve dışsal mesajların ayırt edilmesi bir çok nedenden dolayı oldukça zordur.

Bilgisayar güvenlik sistemlerinde, bağışıklık sistemleri kullanılabilir, çünkü her iki sistem de, dinamik, kompleks ve sürekli değişim gösteren bir yapıya sahiptir. Bu konu ile ilgili çeşitli uygulamalar yapılmıştır(Forrest ve Hofmeyr, 2000).

Yapay bağışıklık sistemleri(AIS), bir çok endüstriyel problemlerin çözümünde kullanılabilen yeni bir yapay zeka tekniğidir (Dasgupta ve Forrest, 1997).

Bağışıklık sistemi, öğrenme ve hafızada tutma mekanizmalarını kullanır. Bir bağışıklık sistemi, en az 10^{16} farklı yabancı molekülü ortaya çıkartabilir. İnsan genomu 10^5 farklı gen içerir (Forrest ve diğ., 1993).

Genetik algoritmalarındaki doğal seçim işlemi; bağışıklık sistemlerine, bakterilerin farkına varılması prosedürü öğretilerek gerçekleştirilir (Forrest ve diğ., 1993).

2. GENETİK ALGORİTMALAR VE KULLANIMI

2 . 1 Genetik Algoritmalar

Genetik algoritma, rassal arama tekniklerini kullanarak çözüm bulmaya çalışan, parametre kodlama esasına dayanan bir arama tekniğidir(Goldberg, 1989).

Genetik algoritmayı diğer arama yöntemlerinden farklı kılan özellikler aşağıda sunulmuştur(Goldberg 1989).

1. Genetik algoritma, parametre setlerinin kodları ile ilgilenir, parametrelerin kendileri ile doğrudan ilgilenmez,
2. Genetik algoritmanın arama alanı, yığının veya popülasyonun tamamıdır; tek nokta veya noktalarda(çözüm kümesinin daraltılmış bölgelerinde) arama yapmaz,
3. Genetik algoritmalarda, amaç fonksiyonu kullanılır, sapma değerleri veya diğer hata faktörler kullanılmaz,
4. Genetik algoritmaların uygulanmasında kullanılan operatörler, stokastik yöntemlere dayanır, deterministik yöntemler kullanılmaz.

Genetik algoritmalar, her zaman, optimum olmasa da, optimuma yakın çözümleri garanti ederler. Aşağıda bir problemin GA ile çözümünde takip edilecek işlem adımları sunulmuştur(Croce, 1995).

1. Arama uzayındaki bütün muhtemel çözümler, dizi olarak kodlanır. Bu diziyi(kromozomu) oluşturan her bir elemana gen denir. Her bir dizi, arama uzayında belirli bir bölgeye tekabül eder.
2. Genellikle rassal bir çözüm seti seçilir ve başlangıç popülasyonu olarak kabul edilir.
3. Her bir dizi için bir uygunluk değeri hesaplanır, bulunan uygunluk değerleri dizilerin çözüm kalitesini gösterir.
4. Bir grup dizi(kromozom) belirli bir olasılık değerine göre rassal olarak seçilip üreme işlemi gerçekleştirilir.
5. Üreme işleminde, çeşitli genetik operatörler kullanılabilir.

- 6.Yeni bireylerin uygunluk değerleri hesaplanarak, çaprazlama ve mutasyon işlemlerine tabi tutulur.
7. Önceden belirlenen nesil sayısı boyunca yukarıdaki işlemler devam ettirilir.
8. İterasyon, nesil sayısına ulaşınca işlem bitirilir. Uygunluk değeri en yüksek olan dizi seçilir.

Genetik algoritmalar ile ilgili temel kavramlar aşağıda kısaca anlatılmaktadır.

Gen : Kalıtsal molekülde bulunan ve organizmanın karakterlerinin tayininde rol oynayan kalıtsal birimlere denir (Oraler,1990). Yapay sistemlerde gen, kendi başına anlamlı bilgi taşıyan en küçük birim olarak alınır. Bu tezin çalışma alanı olan iş çizelgelemede her bir gen bir işi temsil eder.

Kromozom:Birden fazla genin bir araya gelerek oluşturduğu diziye denir. Kromozomlar, alternatif aday çözümleri gösterirler.

Plan-Katar(Schemata):Belirli pozisyonlarda, uygun olan alt dizileri(kromozomları) tanımlamak için kullanılan sayı katarlarına veya planlarına denir (Goldberg,1989).

Örneğin,iki tabanlı(0 ve 1) kodlama sisteminde beş adet genden oluşan bir kromozom dizisinde her bir genin yerine, (0,1,*) gibi üç farklı kod kullanılabileceğinden,

$L=5$ için, $3 \times 3 \times 3 \times 3 \times 3 = 243$ farklı alt dizi tanımlanabilir.

Genel olarak iki tabanlı kodlama sistemlerinde, plan(katar) sayısı (2.1) ifadesinde gösterilmiştir (Goldberg, 1989).

$$\text{Plan sayısı} = (k+1)^L \quad (2.1)$$

L = Dizideki rakam(gen) sayısı

k = Kodlama sistemindeki karakter sayısı(0,1 gibi)

Popülasyon : Kromozomlardan oluşan topluluğa denir. Popülasyon, geçerli alternatif çözüm kümesidir. Popülasyondaki birey sayısı(kromozom) genelde sabit tutulur. GA da popülasyondaki birey sayısı ile ilgili genel bir kural yoktur. Popülasyondaki kromozom sayısı arttıkça çözüme ulaşma süresi(iterasyon sayısı) azalır. Problemin büyüklüğüne bağlı olarak populasyon büyüklüğü, (10 ile 100) arasında seçilebilir(Ghedjati, 1999).

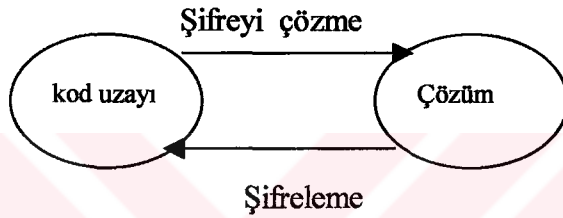
Genetik algoritmelerde dört ayrı operatör kullanılmaktadır. Bunlar,

- 1) Parametre kodlama operatörü,
- 2) Üreme operatörü,
- 3) Çaprazlama Operatörü,
- 4) Mutasyon operatörü.

Bu operatörler aşağıda sırası ile açıklanmaktadır:

2.2 Parametre Kodlama

Genetik algoritmaların temel özelliği, çözüm uzayı ve kod uzayında çalışmasıdır. Kod ve çözüm uzayı arasındaki etkileşim şekil 2.1’de verilmiştir.



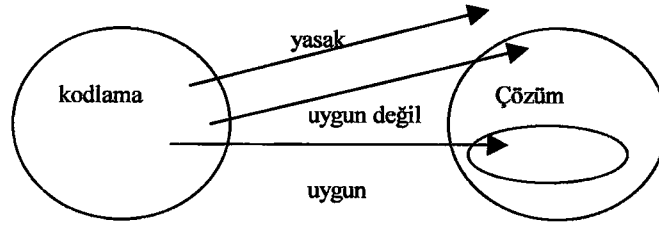
Şekil 2.1. Kod ve Çözüm Uzayı (Cheng ve diğ. 1996)

John Holland’ın çalışmalarında genelde iki tabanlı kodlama sistemi kullanılmıştır. Problemlerin başarılı bir şekilde çözümü için en kısa kodlama şekillerinin kullanılması gerekir(Goldberg, 1989).

Son on yıl boyunca değişik kodlama teknikleri geliştirilmiştir. Çözümün kromozomlara nasıl kodlanacağı GA’da anahtar niteliğinde bir çalışmadır. Kromozomların kodlanması ve şifre çözümü aşamasında, üç kritik hususa dikkat edilmesi gerekir(Cheng ve diğ. 1996). Bunlar;

1. Kromozomun uygunluğu (feasibility) kontrol edilir,
2. Kromozomun belirlenen şartları(kısıtlar) sağlayıp sağlamadığı(legality) kontrol edilir,

Kodlama haritasında, kromozomun tek olduğu kontrol edilir. Kromozomun uygunluğu ile şartları sağlayıp sağlamadığı işlemleri Şekil 2.2’de sunulmuştur (Cheng ve diğ., 1996).



Şekil 2.2. Kodlamada Uygun Olma ve Yasaklı olma Durumları

Şartları sağlamayan(illegal) bir kromozom, çözüm uzayındaki değerleri şifreleyemez; böyle bir kromozom, evrime uğrayamaz.

GA ile kurulacak modelde, akış tipi çizelge problemi ile ilgilenileceği için aşağıda bu konuda geliştirilen kodlama yöntemleri anlatılmaktadır.

İkili kodlama ile beraber kullanılan kodlama yöntemlerinden biri de harfli kodlamadır. Bu kodlamada her bir kromozoma bir harf verilir, kromozomdaki genler de ikili tabanlı kodlanırlar, eğer kromozom sayısı 26 dan fazla olursa artan kromozomlar için, 1,2,3... gibi rakamlar kullanılır(Goldberg, 1989).

Çok parametrelili kodlama, ikili kodlama tabanına göre kullanılır, Bu yöntemde uygunluk değeri en küçük olan kromozoma U_{min} , en büyük olana U_{max} değerleri verilir, $U_1, U_2, \dots, U_n$ olarak kodlanır(Min ve Cheng, 1999).

Akış tipi çizelgeleme problemlerinde iki tip dizi kodlama yöntemi kullanılır(Cheng ve Gen, 1999). Bunlar;

1. Zayıf kodlama,
2. Genel dizi kodlama

Zayıf dizi kodlamada ayrıştırıcı semboller kullanılır. Genel dizi kodlamada ise birbirinin tekrarı olan (0-1) kullanılır. Zayıf kodlamada dizi içerisinde tekrarlı genlere müsaade edilmez, her kodda en fazla bir tane mevcuttur.

John Holland tarafından geliştirilen ve yaygın olarak kullanılan plan(sayı katarları) son yıllarda çizelgeleme problemlerinde kullanılmamaktadır(Wang ve diğ., 1999).

Çizelgeleme problemleri ile ilgili olarak son beş yılda, yukarıdaki yöntemlerden farklı olarak 9 çeşit temsil yöntemi geliştirilmiştir(Cheng ve diğ., 1996).

Bunlar;

- 1) Operasyona dayalı kodlama,
- 2) İşe dayalı kodlama,
- 3) Liste önceliğine dayalı kodlama,
- 4) İş çifti ilişkisine dayalı kodlama,
- 5)Öncelik kuralına dayalı kodlama,
- 6)Tamamlanma zamanına dayalı kodlama,
- 7)Makinaya(iş yükleme grafiğine) dayalı kodlama,
- 8)Rassal anahtarlı kodlama,
- 9)Karışık kodlama.

İki temel kodlama yaklaşımları içinde yukarıdaki kodlamalar sınıflandırılabilir:

- Direkt yaklaşım
- En direkt yaklaşım

Operasyona dayalı kodlama, işe dayalı kodlama, iş çifti ilişkisine dayalı kodlama, tamamlama zamanına dayalı kodlama ve Rassal anahtarlı kodlama direk yaklaşım sınıfına aittir. En direkt yaklaşım olarak, tercih edilen dizine dayalı kodlama, öncelik kuralına dayalı kodlama yaklaşımları sayılabilir. Tablo 2.1’de basit bir örnek yardımıyla kodlama sistemleri açıklanmıştır.

2.2.1. Operasyona Dayalı Kodlama

Bu temsilde her bir gen, bir operasyona karşılık gelir. Her bir operasyon bir sayı ile temsil edilir. Gezgin Satıcı Probleminde(TSP) olduğu gibi permütasyon kodlamaya benzer yalnız öncelik kısıtları olduğu için permütasyon ile elde edilen bütün sonuçlar uygun bir çözümleri göstermez; m-makine ve n-iş probleminde kromozomlar $n \times m$ gen içerir, her iş tam olarak m defa kromozomda görünür ve her bir genin tekrarı, işin somut bir operasyonuna işaret etmez. Kod çözücü prosedürü ile bir kromozomdan bir çözümün şifresi çözülür.

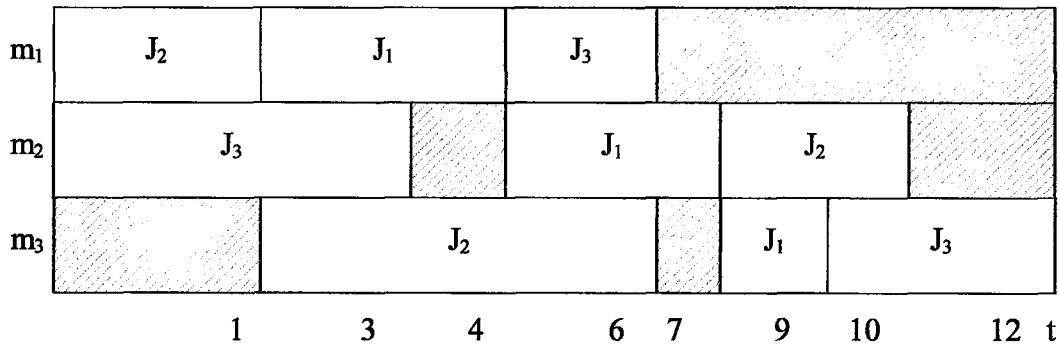
- 1.İlk olarak operasyon sıralarının oluşturduğu liste, kromozom şekline çevrilir,
- 2.Daha sonra sezgisel tabanlı bu listeden çözüm oluşturur. Listedeki ilk operasyon ilk çözümün, daha sonra ikinci operasyon ve diğerleri devam eder. Uygun makine operasyon gerekleri için mevcut en uygun işlem zamanı proses altındaki her

operasyona ayrılır. Operasyonlar çizelgelenene kadar işleme tekrar edilir(Cheng ve diğ., 1996).

Tablo 2.1. İş Sıralama Problemi , 3 İş ve 3 Makine Örneği

Operasyonlar			
	1	2	3
İşlem Zamanı			
J_1	3	3	2
J_2	1	5	3
J_3	3	2	3
Makine Dizilimi			
J_1	m_1	m_2	m_3
J_2	m_1	m_3	m_2
J_3	m_2	m_1	m_3

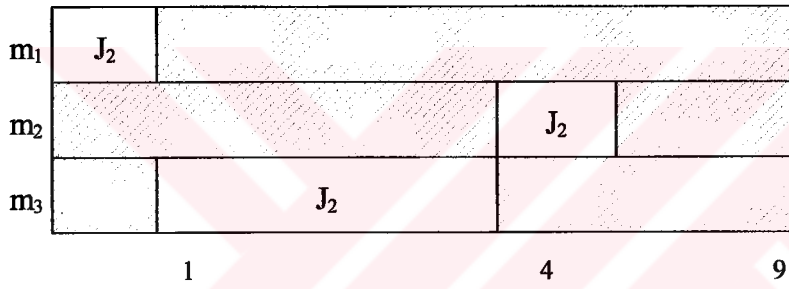
Tablo 2.1’de verilen 3 iş 3 makine problemi için, [211122333] olarak verilen bir kromozom düşünülür, her iş ,3 operasyona sahip olduğundan dolayı, kromozomda her iş 3 kez yer alır. Her gen bir operasyonu gösterir ve dizide işin oluşumu sırasına göre düzenlenebilir ve m. makinede j işinin i. operasyonu O_{jim} ile gösterilir. Kromozom operasyonların öncelik ilişkilerine göre, [O_{211} O_{111} O_{122} O_{133} O_{223} O_{232} O_{312} O_{321} O_{333}] şeklinde yazılır. Önceliğe sahip operasyon O_{211} olduğundan ilk olarak çizelgelenir. Daha sonra O_{111} ve diğerleri çizelgelenir. Şekil 2.3.’de aktif çizelgeleme sonucu gösterilmiştir(Cheng ve diğ., 1996).



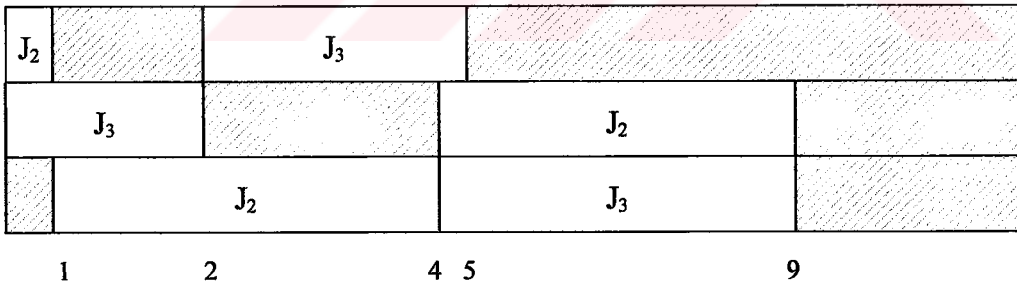
Şekil 2.3. Şifresi Çözülmüş Aktif Çizelge

2.2.2. İşe Dayalı Kodlama

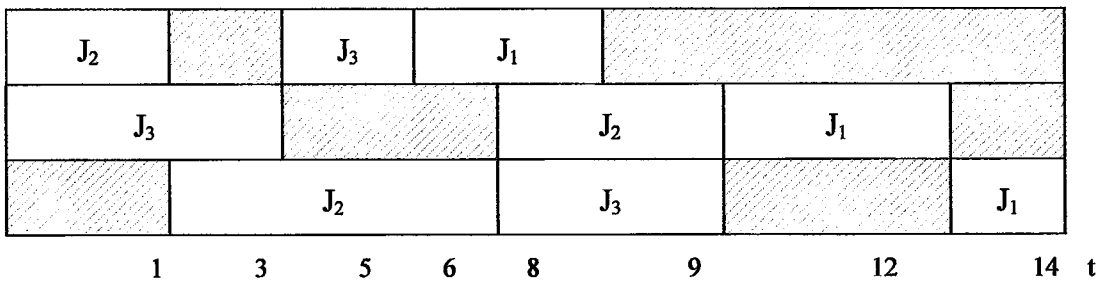
Bu kodlama, n iş listesinden oluşur ve işlerin dizilimine göre çizelge oluşturulur. İşlerin dizilimi verildiği için, listedeki ilk işin tüm operasyonları önce çizelgelenir, sonra listedeki ikinci işin bütün operasyonları çizelgelenir, tüm operasyonlar çizelgeleninceye kadar işleme devam edilir. Kromozom dizisi $[2\ 3\ 1]$ olarak kabul edilir ise, işlem gördürülen ilk iş J_2 için öncelik k operasyonu $[m_1\ m_3\ m_2]$ ve her makine için işlem zamanının yerini tutan $[1\ 5\ 3]$ 'dür. İlk olarak J_2 işinin operasyonları (Şekil 2.4(a)) daha sonra J_3 işin operasyonları çizelgelenir. Makineler içinde 3. işin operasyon önceliği $[m_2\ m_1\ m_3]$ ve her makinenin işlem zamanının yerini tutan $[3\ 2\ 3]$ 'dür. Şekil 2.4(b)'de gösterilen uygun işlem zamanında 3. işin operasyonlarının her biri çizelgelenir ve son olarak, Şekil 2.4(c) 'de görüldüğü gibi J_1 işin operasyonları çizelgelenir (Cheng ve diğ., 1996).



a. İlk olarak J_2 işi Çizelgeleme



b. İş J_3 'ü İkinci Çizelgeleme



c. İş J_1 'i Üçüncü Çizelgeleme

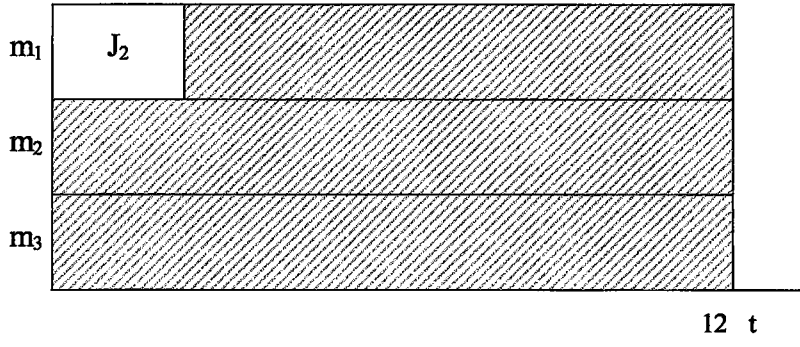
Şekil 2.4. İşe Dayalı Kodlama Sistemi

2.2.3. Liste Önceliğine Dayalı Kodlama

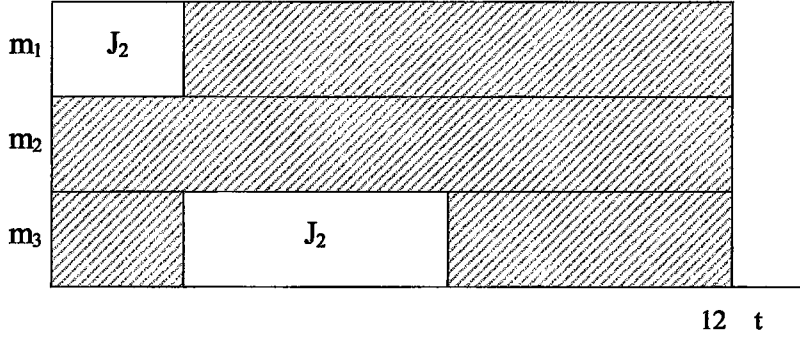
Bu kodlama ilk olarak Davis tarafından çizelgeleme problemlerinde kullanılmıştır. Falkenauer ve Bouffouix detaylandırarak teslim tarihi ve geride kalan süreye göre, atölye tipi çizelgeleme problemlerinde kullanmışlardır(Cheng ve diğ.1996). Çizelgeleme problemi, n -iş m -makine için, m alt kromozomdan oluşturulur ve her bir alt kromozom dizisindeki semboller n -iş sayısı uzunluğunda olur. Her bir sembol makinadaki ilgili bir operasyonu gösterir. Alt kromozomlar, makine üzerindeki operasyon dizilimlerini göstermez ve öncelik listesinde yer alır. Her makine kendine ait öncelik listesine sahiptir. Makine önünde, kuyruktaki beklemlerinin durumunu analiz etmek için, simülasyonla kromozomlardan asıl çizelge çıkarılır ve çizelge düzenlemek için öncelik listeleri kullanmak gerekli ise, öncelik listesinde ilk görünen operasyon seçilir.

Kromozomdan asıl çizelgenin nasıl çıkarılacağı, Tablo 2.1’de verilen aynı örnek üzerinde açıklanmıştır. Bir kromozomun $[(2\ 3\ 1)\ (1\ 3\ 2)\ (2\ 1\ 3)]$ olduğu varsayılır ise, m_1 makine için ilk gen $(2\ 3\ 1)$ tercih listesidir; m_2 makine için $(1\ 3\ 2)$ ve üçüncü makine için $(2\ 1\ 3)$ dir. Bu tercih listelerinden ilki tercih edilebilir. Operasyonlar m_1 makine üzerinde J_2 ’de, m_2 ’de J_1 . ve m_3 ’de J_2 . çıkarabilir. Verilen öncelik kısıtlarına göre Şekil 2.5(a)’da gösterildiği gibi m_1 üzerinde J_2 çizelgelenir; Şekil 2.5(b)’de gösterildiği gibi m_3 üzerinde gelecek çizelgelenebilir operasyon J_2 ’dir. Bu durumda geçerli tercih edilebilir operasyonlar m_1 üzerinde J_3 ; m_2 ve m_3 üzerinde J_1 ’dir. Geçerli zamanda onların tümü çizelgelenemediğinden dolayı, her listedeki ikinci tercih edilebilir operasyonları belirlenmeye çalışılır. Şekil 2.5(c)’de m_1 üzerinde J_1 ve m_2 üzerinde j_3 çizelgelenebilen operasyonlardır. Şekil 2.5(d)’de gösterildiği gibi m_2 üzerinde J_1 ve m_1 üzerinde J_3 gelecek çizelgelenebilir operasyonlardır. Şekil 2.5(e)’de gösterildiği gibi bundan sonraki çizelgeleme operasyonları m_1 üzerinde j_1 ve m_3 üzerinde j_1 dir. Son olarak 2.5(f)’de gösterildiği gibi m_3 üzerinde j_3 gelecek operasyon olarak çizelgelenebilir.

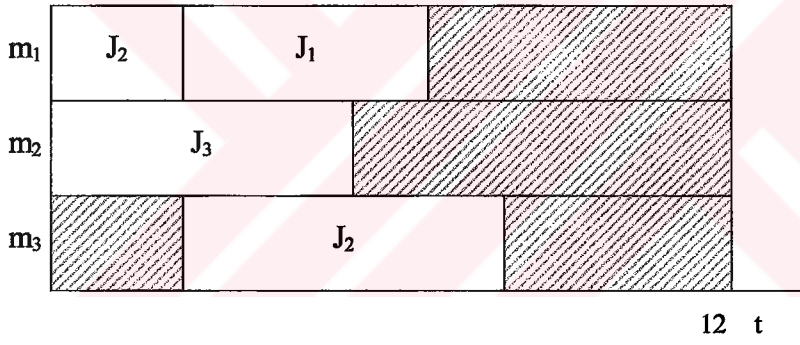
Bu işlemlere göre kromozomdan çıkarılan çizelgeye göre en son işin tamamlanma zamanı(makespan) , 12 bulunur(Cheng ve diğ. 1996).



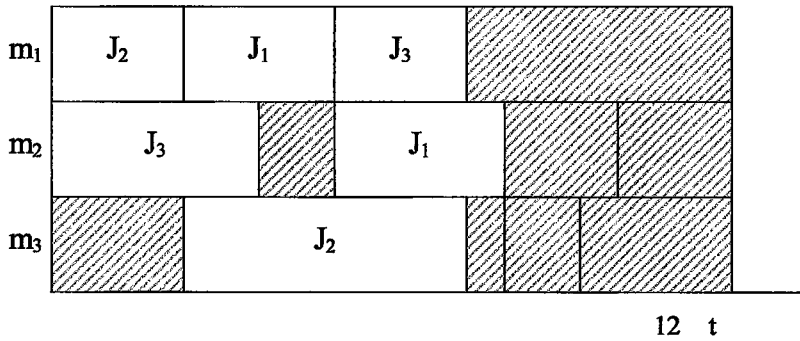
a . m_1 üzerinde iş 2 çizelgeleme



b . m_3 üzerinde iş 2 çizelgeleme



c . m_2 'de iş 3 ve m_1 'de iş 1 çizelgeleme



d . m_2 'de iş 1 ve m_1 'de iş 3 çizelgeleme

Şekil 2.5. Liste Önceliğine Dayalı Kodlama

m ₁	J ₂	J ₁	J ₃	
m ₂	J ₃		J ₁	J ₂
m ₃		J ₂		J ₁

12 t

e . m₃'de İş 1 ve m₂'de İş 2 Çizelgeleme

m ₁	J ₂	J ₁	J ₃	
m ₂	J ₃		J ₁	J ₂
m ₃		J ₂		J ₁

12 t

f. Sonuç Çizelgesi

Şekil 2.5. Devamı(Liste Önceliğine Dayalı Kodlama)

2.2.4. İş Çifti İlişkisine Dayalı Kodlama

Namaza ve Yamada çizelge kodlamak için ikilik düzendeki matrisi kullanmışlardır. Bu matris, makinelere uygun işlerin, çift ilişkisi önceliğine göre düzenlenmiş bir matristir(Cheng ve diğ., 1996).

Örnek olarak, 3 iş-3 makine problemi ele alınmıştır. İşlerin operasyonlarının öncelik kısıtları ve operasyonları Tablo 2.2.'de verilmiştir. İş çiftlerinin öncelik ilişkisini göstermek için ikilik düzende bir değişken tanımlanmıştır.

$$a_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{Eğer m makinede iş j'ye göre iş i'nin işlem görme önceliği var ise} \\ 0, & \text{Diğer durumlarda} \end{cases}$$

(m₁, m₂, m₃) makinelerdeki iş çifti, (j₁, j₂)'nin öncelik ilişkisini; verilen çizelgeye göre, (x₁₂₁ x₁₂₂ x₁₂₃) = (0 1 0) elde edilir. İş ilişkisi (j₁, j₃) için (m₁, m₃, m₂) makineler üzerindeki öncelik ilişkisi (x₂₃₁ x₂₃₃ x₂₃₂) = (1 1 0)'dır. İlk iş i'nin operasyonlarının

dizilimi ile iş çiftleri için x_{ijm} de değişkenlerin dizilimi tutarlılığını muhafaza etmelidir. Örneğin, iş çifti (j_2, j_3) için, iş j_2 'nin operasyonlarının dizilimi (1 3 2)'dir.

Bundan dolayı $(x_{231} \ x_{233} \ x_{232})$ 'den daha fazla tercih edilen $(x_{231} \ x_{233} \ x_{232})$ olarak ilişkili değişkenler sıralanır. Bu sonuçların özetlenmesinden, aşağıda uygun çizelge olarak ikilik düzende matris kodlaması elde edilir.

$$\begin{aligned} (m_1, m_2, m_3) \text{ üzerinde } (j_1, j_2): & \begin{pmatrix} x_{212} & x_{122} & x_{123} \\ x_{131} & x_{132} & x_{133} \\ x_{231} & x_{233} & x_{232} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \\ (m_1, m_2, m_3) \text{ üzerinde } (j_1, j_3): & \\ (m_1, m_2, m_3) \text{ üzerinde } (j_2, j_3): & \end{aligned}$$

İş çizelgeleme kodlamaları içinde en kompleks olanı, iş çifti ilişkisine dayanan kodlama yöntemidir.

Tablo 2.2. Üç Makine ve Üç İş Problemi

Operasyon Önceliği				Uygun Çizelge			
İş	Makine Dizilimi			Makine	İş Dizilimi		
J_1	m_1	m_2	m_3	m_1	J_2	J_1	J_3
J_2	m_1	m_3	m_2	m_2	J_3	J_1	J_2
J_3	m_2	m_1	m_3	m_3	J_2	J_1	J_3

2.2.5. Öncelik Kuralına Dayalı Kodlama

Öncelik kural tabanlı genetik algoritma, Dorndort ve Pesch tarafından geliştirilmiş olup, n-iş m-makine problemi için, $n \times m$ giriş, $(P_1, P_2, \dots, P_m)$ diziliimli bir kromozom seti geliştirilmiştir.

Bu yöntemle göre, sıralamada önceliği olan işlere göre kromozom kodlaması yapılır. GA öncelik sırasına göre kromozomlar ile daha iyi bir sıra bulmada kullanılır. Seçilmiş öncelik kuralları Tablo 2.3'de verilmiştir(Cheng ve diğ., 1996).

Tablo 2.3. Seçilmiş Öncelik Kuralları

No	Kural	Tanım
1	SPT	En kısa işlem zamanlı bir operasyon seç
2	LPT	En uzun işlem zamanlı bir operasyon seç
3	MWR	En çok toplam işlem zamanı kalan iş için operasyon seç
4	LWR	En az toplam işlem zamanı kalan iş için bir operasyon seç

Örnek üzerinde, Tablo 2.3'te verilen 4 öncelik kuralı kullanılır ise, kromozom dizisi, [1 2 2 1 4 4 2 1 3] olur; bu dizide, 1 SPT kuralını; 2, LPT'i; 3, MWR'yi ve 4 de LWR öncelik kuralını tanımlar. İlk adımda, aşağıdakiler elde edilir,

$$S_1 = \{O_{111}, O_{211}, O_{312}\}$$

$$\phi_1^* = \min [3, 1, 3] = 1$$

$$m^* = 1$$

$$C_1 = [O_{111}, O_{211}]$$

Makine m_1 için bu durumda O_{111} ve O_{211} operasyonları yarışır çünkü kromozomda verilen ilk gen 1'dir. Şekil 2.6(a)'da gösterildiği gibi m_1 makine üzerinde operasyon 211 çizelgelenir. Veri güncelleştirdikten sonra aşağıdakiler elde edilir,

$$S_2 = [O_{111}, O_{223}, O_{312}]$$

$$\phi_2^* = \min [4, 6, 3] = 3$$

$$m^* = 2, C_2 = [O_{312}]$$

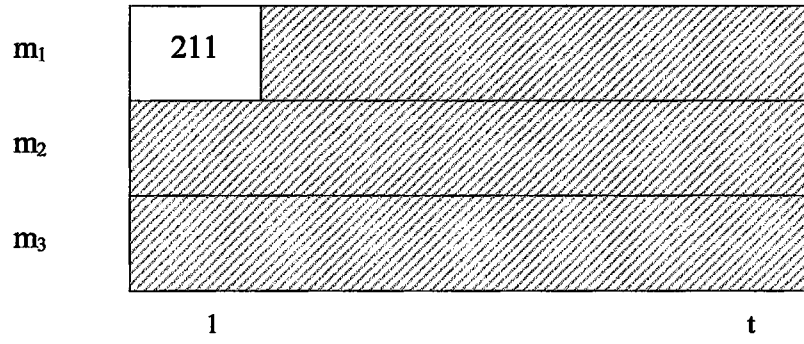
Şekil 2.6(b)'de gösterildiği gibi m_2 makine üzerinde operasyon O_{312} çizelgelenir ve güncelleştirdikten sonra aşağıdakileri elde edilir,

$$S_3 = [O_{111}, O_{223}, O_{312}]$$

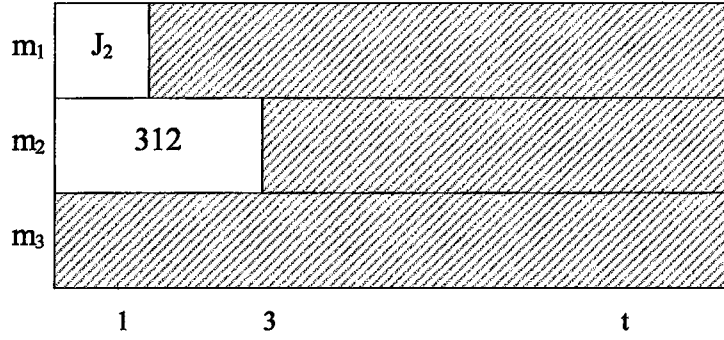
$$\phi_3^* = \min [4, 6, 3] = 3$$

$$m^* = 1, C_3 = [O_{111}, O_{321}]$$

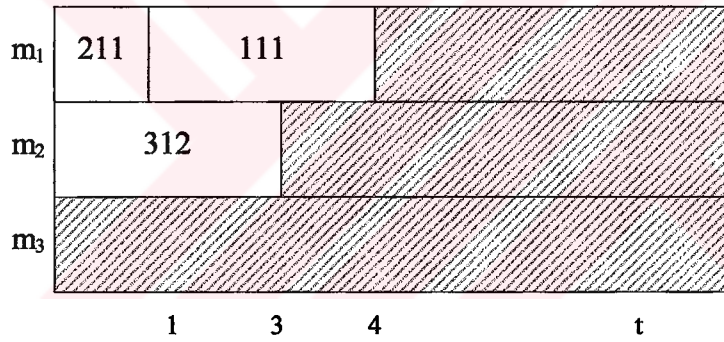
Makine m_1 için O_{111} ve O_{321} operasyonları yarışır. Kromozomda verilen 3. gen 2 olduğundan dolayı, Şekil 2.6(c)'de gösterildiği gibi makine m_1 üzerinde operasyon O_{111} çizelgelenir. Çizelge oluşturulana kadar bu adımlar tekrar edilir.



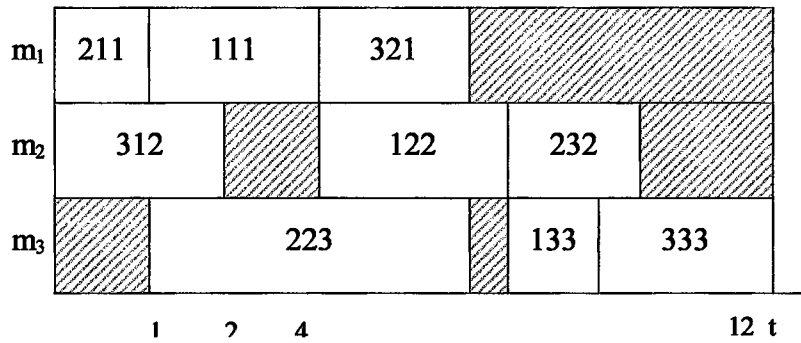
a. m_1 'de operasyon 211 çizelgeleme



b. m_2 'de operasyon 312 çizelgeleme



c. m_1 'de operasyon 1111 çizelgeleme



d. Sonlandırılmış çizelge

Şekil 2.6. Öncelik Kuralına Dayanan Kodlama

2.2.6. Tamamlanma Zamanına Dayalı Kodlama

Operasyonların tamamlanma zamanlarının sıralanmış listesi bir kromozomdur. Tablo 2.1’de verilen örnek için, aşağıdaki gibi kromozom temsil edilir.

[c_{111} c_{122} c_{133} c_{211} c_{223} c_{232} c_{312} c_{321} c_{333}] burada c_{jir} ’nin anlamı , r.makine üzerinde j. işin i. operasyonu için tamamlanma zamanını gösterir(Cheng ve diğ. 1996).

2.2.7. Makineye Dayalı Kodlama

Makineye dayalı genetik algoritmayı Dorndorf ve Pesch önermiştir. Makinelerin sırasına göre bir kromozom kodlanır ve sıralamaya dayalı olarak sezgisel darboğazı önleme ile bir çizelgeleme oluşturulur.

Sezgisel darboğazı önleme; Adams tarafından önerilmiştir. Atölye çizelgeleme problemi için şu ana kadar tüm sezgisel metotlardan bilinen en güçlü yöntemdir. Makinaların sıralanması birer birer yapılır, henüz sıraya alınmamış makineler darboğaz olarak kabul edilir. Kromozomlar makine sıralama listesini oluşturur, genetik algoritma makine sıralarının bulunmasında kullanılır.

Henüz sıralanmış makinelerin kümesi m ise kromozom, [$m_1, m_2, \dots, m_m$] olur. Kromozomdan bir çizelgeleme prosedürü aşağıda açıklanmıştır(Cheng ve diğ. 1996);

Adım 1 : $M_0 \leftarrow \phi$, $i \leftarrow 1$ ve kromozom [$m_1, m_2, \dots, m_m$]

Adım 2 : Makine m_i ’yi optimal bir şekilde sırala, set $M_0 \leftarrow M_0 \cup \{m_i\}$ ’i güncelleştir,

Adım 3 : Diğer düzenlenmiş sıralamaları muhafaza ederken, her kritik makine

$m_i \leftarrow M_0$ ’ın dizilimini yeniden optimize et,

Adım 4 : $i \leftarrow i+1$. O zaman eğer $i > m$ ise, durdur; diğer durumlarda adım 2’ye git.

2.2.8. Rassal Anahtarlı Kodlama

Rassal anahtarlı kodlama Bean tarafından geliştirilmiştir. Rassal sayı ile beraber, rassal anahtar kodlama, bir çözümü şifreler; çözümün şifresini çözmek için sıralı anahtar olarak bu değerler kullanılır ve n -iş, m -makine çizelgeleme problemi için, her gen iki parçadan oluşturulur. Setteki tamsayı [$1, 2, \dots, m$] ve $(0,1)$ ’den rassal olarak oluşturulan bir parçasıdır. Rassal anahtarların tamsayı bölümü, bu iş için makine düzenleme olarak yorumlanır.

Her makinede iş sıralama, kesirli kısımların sınıflandırılmasıyla sağlanır. Tablo 2.1’de verilen örneğe göre, kromozom, [1,34 1,09 1,88 2,66 2,91 2,01 3,23 3,21 3,44] kabul edilir ise makine 1 için, anahtarların sınıflandırılması, iş diziliminin sıra sonuçlarını, $2 \rightarrow 1 \rightarrow 3$ olarak çıkarır; makine 2 için iş sırası $3 \rightarrow 1 \rightarrow 2$; makine 3 için iş sırası $2 \rightarrow 1 \rightarrow 3$; makine m’de iş j’yi O_{jm} gösterir ve aşağıdaki gibi operasyon sıralarının tam listesi içinde kromozom çevrilebilir, $[O_{21} O_{11} O_{31} O_{32} O_{12} O_{22} O_{23} O_{13} O_{33}]$ (Cheng ve diğ., 1996).

2.2.9. Karışık Kodlama

Bir çizelgeleme probleminde sonsuz sayıda çizelge mevcut olduğundan bunlar üç sınıflandırmaya tabi tutulabilir(Cheng ve diğ., 1996).

- 1) Aktif Çizelge,
- 2) Yarı aktif çizelge,
- 3) Gecikmesiz Çizelgedir.

Optimal çizelge, aktif çizelge setlerinden oluşur, gecikmesiz çizelge aktif çizelgeden daha küçüktür ve optimum çözümü garanti etmez. Bütün kodlama teknikleri , iş çizelgeleme problemlerine aktif bir yapı kazandırır. Kodlama sistemlerinin farklı çizelgeleme problem tiplerine göre avantaj ve dezavantajları vardır; hangi tip problemlerde hangi kodlama sistemini kullanmanın avantajlı olacağı henüz tam olarak belirlenmemiştir(Cheng ve diğ., 1996).

2.3 GA’ da Kullanılan Operatörler

Genetik algoritmalarda üç operatör(işlem) kullanılır. Bunlar; üreme, çaprazlama ve mutasyon operatörleridir.

2.3.1 Üreme (Seçim) Operatörü

Bu prosedürde,bireysel diziler, amaç fonksiyonuna göre kopyalanır, gelecek nesilde daha iyi döl verebilecek bireyler seçilir. Üreme operatörü, yapay bir seleksiyondur (Goldgerg, 1989).

Üreme yönteminde genellikle rulet çemberi yöntemi kullanılır. Mevcut popülasyondaki en uygun kromozomlar rulet çemberi üzerine yerleştirilir, çember popülasyondaki dizi sayısı kadar döndürülerek, yeni nesil elde edilir.

2.3.2. Çaprazlama Operatörü

GA'nın performansını etkileyen parametrelerden biri de çaprazlama işlemidir. Doğal popülasyonlarda çaprazlama, organizmalar arasında yapılan döllenme(hayvanlarda çiftleşme, bitkilerde tozlaşma) çalışmaları olarak bilinir (Oraler,1990). Rulet çemberi yöntemi ile yapay seçim sonucunda elde edilen yeni popülasyon dizisinde rassal olarak iki kromozom seçilir ve karşılıklı çaprazlama işlemine tabi tutulur. Çaprazlama işleminde, L dizi uzunluğu olmak üzere,

$1 \leq k \leq L-1$ aralığında üniform olarak k tamsayısı seçilir. Bu tamsayı değerine göre dizi çaprazlamaya tabi tutulur.

Örnek : Başlangıç popülasyonunda A_1 ve A_2 gibi iki dizi rassal olarak seçilmiş olsun.

$$A_1 = 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1$$

$$A_2 = 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0$$

Bu örnekte dizi uzunluğu, $L = 5$ dir. Bir ile beş arasında, $k = 4$ seçildiğini varsayarsak, her iki dizinin de 4. genden sonra karşılıklı çaprazlama işlemine tabi tutulacağı kabul edilir. Bu durumda yeni kromozomlar aşağıdaki gibi olur.

$$A_1' = 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0$$

$$A_2' = 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \text{ bulunur.}$$

En basit çaprazlama yöntemi, yukarıdaki örnekte verildiği gibi bir noktalı çaprazlama yöntemidir. Bir noktalı çaprazlama yapılabilmesi için her iki kromozomun da aynı gen uzunluğunda olması gerekir. İki noktalı çaprazlamada ise kromozom iki noktadan kesilir ve karşılıklı olarak pozisyonlar yer değiştirilir(Croce ve diğ.,1995).

2.3.3. Mutasyon Operatörü

GA'da önemli rol oynayan proseslerden biri de mutasyon operatörüdür. Canlılarda gen rekombinasyonlarının dışındaki diğer nedenlerle ve ani olarak meydana gelen kalıtsal değişimlere mutasyon denir. Doğal popülasyonlarda mutasyon işlemi ile,

- 1.Kromozom yapısı değişimleri,
- 2.Kromozom sayısı değişimleri,
- 3.Gen yapısındaki fiziksel ve kimyasal değişimler gerçekleşir(Kuru, 1987).

Yapay sistemlerde mutasyon işlemi esnasında kromozomdaki gen sayısı değişmez sabit kalır. Doğal popülasyonlarda mutasyon oranı oldukça düşüktür. Mutasyon frekansının büyüklüğü GA'nın performansını etkilemektedir. Örneğin, kromozom uzunluğu 20 gen olan bir dizide, mutasyon oranı % 0,1 seçildiğinde, kromozom üzerinde mutasyondan dolayı beklenen değişim olasılığı,

$20 \times 0,001 = 0,02$ bulunur. Bu durumda yeni nesil oluşuncaya kadar mutasyon işlemi gerçekleştirilemez(Goldberg, 1989).

Mutasyon işlemi bir tek kromozom üzerinde yapılır. Mutasyon frekansına göre, mutasyona uğratılacak sayıdaki diziler popülasyondan rassal olarak seçilir ve belirlenen mutasyon yöntemine göre değişime uğratılır.

2 . 4 GA'nın Gelişimi ve Kullanım Alanları

2.4.1. GA'nın Tarihsel Gelişimi

Genetik algoritma kavramından ilk bahseden ve konu ile ilgili ilk yayını yapan Bagley(1967) dir. Bagley ile aynı tarihte Rossenberg(1967), biyolojik ve simülasyon esaslı bir çalışma yapmıştır(Goldberg, 1989).

De Jongs, 1975 yılında matematiksel fonksiyonları GA ile çözmeye çalışmıştır. De Jong, fonksiyonların minimizasyonu için beş ayrı problem incelemiştir(Goldberg, 1989). Bunlar;

1. Sürekli ve sürekli olmayan fonksiyonlar,
2. Konveks ve konveks olmayan fonksiyonlar,

3. Tek ve çok değişkenli modeller,
4. Kuadratik ve kuadratik olmayan fonksiyonlar,
5. Düşük ve yüksek dizili fonksiyonlar ve
6. Deterministik ve stokastik problemlerdir.

David E.Goldberg'in, 1985 yılındaki çalışmaları GA'nın gelişimini sağlamıştır. Bu çalışmadaki amaç, doğal gaz borularındaki kayıpları, basınç oranlarını değiştirmek suretiyle, minimize etmektir. Dinamik programlama yardımı ile Wong ve Larson tarafından basınç oranları hesaplanan bu problem, Goldberg tarafından GA ile çözülmeye çalışılmıştır. Bu problemde amaç, Kompresörlerin enerjilerini minimize etmektir(Goldberg, 1989).

2.4.2. Çok Amaçlı Optimizasyon

Bütün optimizasyon ve araştırma problemleri, mevcut durumu bir tek kritere göre değerlendirir ve bu kriter amaç fonksiyonu olarak veya genetik algoritmalarda uygunluk fonksiyonu olarak adlandırılır. Bu yaklaşım bir çok problemde başarı ile uygulanır fakat aynı anda birçok kriterin bulunduğu problemleri tek kriter haline getirmek oldukça zordur. Bu durumda çok amaçlı veya çok kriterli problemler ortaya çıkar(Goldberg, 1989).

Çok amaçlı modeller, tasarım, planlama modellerinde, günlük hayattaki karmaşık sistemlerin modellenmesinde, transportasyon problemlerinde, sermaye bütçeleme problemlerinde kullanılmaktadır.

GA, çok amaçlı optimizasyon problemlerinin çözümünde başarı ile uygulanmaktadır. Bu amaç için Genetik çok amaçlı optimizasyon modelleri geliştirilmiştir. Çok amaçlı problemlerin optimizasyonu üzerine ilk çalışan Schaffer'dır(Goldberg, 1989). Fanseca ve Fleming, Horn, Tamaki, Kita ve Kabayashi bu çalışmaları devam ettirmişlerdir(Gen ve Cheng, 2000).

GA, birbirinden farklı çok amaçlı optimizasyon problemlerinde rahatlıkla kullanılabilir. Genetik algoritma, popülasyondan- popülasyona global arama yaptığından, matematiğe ihtiyaç duymamaktadır bu yüzden oldukça kompleks olan

problemler GA ile çözülebilmektedir çünkü genetik algoritma bir çeşit meta sezgisel metottur (Gen ve Cheng, 2000).

Çok amaçlı optimizasyon problemlerinin GA ile çözümünde ilk ortaya çıkan sorun, GA'da kullanılan uygunluk değerinin nasıl belirleneceğidir. Uygunluk fonksiyonunun belirlenmesi ile ilgili son on yılda çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir (Gen ve Cheng, 2000). Bunlar;

- 1) Vektör değeri yaklaşımı, (VEGA)
- 2) Ağırlıklar toplamı yaklaşımı,
- 3) Pareto tabanlı yaklaşım,
- 4) Uzlaşma yaklaşımı,
- 5) Amaç programlama yaklaşımı.

Çok amaçlı genetik algoritma optimizasyonlarında ilk geliştirilen yaklaşım, VEGA dır. Bu yaklaşımda belirli bir ölçekteki uygunluk değeri yerine, her bir kromozom ile geliştirilen uygunluk değerleri kullanılır.

Ağırlıklar toplamı yaklaşımında, her bir amaç fonksiyonuna bir ağırlık değeri verilir ve bu ağırlıkla amaç fonksiyonları tek bir fonksiyon haline getirilir. Sabit ağırlık yönteminde, nesil sayısı boyunca amaç denklemlerinin ağırlıkları değişmez. Murata, Ishibuchi ve Tanaka, rassal ağırlıklı bir yaklaşım önermişlerdir (Gen ve Cheng, 1989). Bu yaklaşımda her nesilde, rassal olarak amaç fonksiyonları için yeni ağırlık değerleri oluşturulmaktadır. Pareto yaklaşımı, Horn, Nafpliotis ve Goldberg tarafından geliştirilmiştir.

2.4.3. Çizelgeleme Problemleri

Çizelgeleme, iyi bilinen zor kombinatoriyel optimizasyon problemlerinden biridir. Son otuz yılda bu problemlerin çözümü için yeteri kadar araştırma yapılmış olup, öncelik kurallı ve dal sınır tekniğine dayanan çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu tip problemler, NP türü problemler kapsamında olduğundan bilgisayarların hızlarının artması ile daha etkin çizelgeleme yöntemleri geliştirilmeye çalışılmıştır.

Çizelgeleme problemlerinde temel amaç permütasyon tipi, her bir operasyonun her bir makinadaki yapılış sırasını, belirleyerek minimum tamamlanma süresini elde etmektir.

Genetik Algoritmaların çizelgeleme problemlerinde kullanımı iki farklı şekilde gerçekleşmiştir(Gen ve Cheng, 2000). Bunlar;

1. Genetik algoritma yardımı ile permütasyon tipi iş sırası bulma,
2. GA ile bulunan permütasyon sırasının, bilinen sezgisel yöntemler ile karşılaştırılması.

Genetik Algoritmada, optimuma yakın çözüm veren parametreler tam uygun olmadığından kısa sürede uygun çözüme ulaşılması için üç kategoride çalışma yapılmaktadır (Gen ve Cheng, 2000). Bunlar;

1. Genetik operatörlerin belirlenmesi ile ilgili çalışma,
2. GA ile ilgili sezgisel özellikte operatör geliştirme,
3. Melez(hybrid) genetik algoritma geliştirme.

Giffler ve Thompson algoritma tabanlı çaprazlama operatörü, GA ile ilgili sezgisel özellikte geliştirilmiş bir operatördür. Bu çaprazlama yöntemi, Yamada ve Nakano tarafından geliştirilmiştir. Komşuluk araştırma tabanlı mutasyon yöntemi de bu kategoride geliştirilmiş bir yöntemdir.

Melez genetik algoritma kapsamında yapılan çalışmalarda, GA ile Lokal aramanın birleştirilmesi, GA ile Giffler Thompson metodunun birleştirilmesi ve GA ile darboğaz giderme sezgisel yönteminin birleşmesi, örnek verilebilir.

Genetik algoritmalar ile ilgili ilk iş çizelgeleme çalışmasını Davis yapmıştır(Davis, 1985). Bu konu ile ilgili son on yılda yapılan çalışmalardan bir kısmı Tablo 2.4 'de sunulmuştur.

Tablo 2.4'de verilen Akış tipi çizelgeleme konusundaki GA çalışmalarının detayları aşağıda sunulmuştur:

Chen,Vempatı ve Aljaber, tamamlanma zamanı(makespan- C_{max}) kriterli akış tipi çizelgeleme problemleri için sezgisel tabanlı GA kullanmışlardır. Akış tipi, 4-makina $\times$ 7-iş, 5 $\times$ 10, 8 $\times$ 15, 10 $\times$ 25 problemlerini Genetik Algoritma ile çözmüş ve elde edilen, C_{max} değerlerini, mevcut sezgisel yöntemler(NEH,CDS) ile karşılaştırarak GA'nın iyi performans verdiğini belirlemişlerdir(Chen ve diğ. 1995).

Tablo 2.4. İş Çizelgeleme Konusunda Son Yıllarda Yapılan GA Çalışmaları

PROBLEM	ÇALIŞMAYI YAPANLAR
Akış Tipi Çizelgeleme Problemleri	CHEN,VEMPATI,ALJABER(1995); REEVES(1995b); MURATA, ISHIBUCHI, TANAKA,H.(1996a); MURATA, ISHIBUCHI, TANAKA,H.(1996b); CHEN,NEPPALLI,ALJABER(1996) ; JAIN,BAGCHI(2000)
Atölye Tipi Çizelgeleme problemleri	NAKANO(1991); BAGCHI,UCKUN,MIYABE, KAWAMURA(1991); DAĞLI, SITTISATHANCHAI (1993); CROCE,TADEI,VOLTA(1995); CHENG,GEN,TSUJIMURA(1996); KUMAR,SRINIVASAN(1996); GUP,NAUMANN(1997); SHARMA,PARADHAN(1998); GHEDJATI(1999); CHENG,GEN,TSUJIMURA(1999);
Karmaşık İş Çizelgeleme	GILKINSON,RABELO,BUSH(1995); KHOSLA,BHATACHARY, TSAF(1996); SİVRİKAYA,ULUSOY(1997); CORREA,FERREIRA, REBREYEND(1999); KIMMS(1999)
Tek Makine Çizelgeleme	WANG,GEN,CHENG(1999)
Paralel Makine Çizelgeleme	MUHLENBIEN,SCHOMISCH,BORN(1991); MONMA,POTTS(1993); CHAN,MURIEL,LEVI(1998)

Reeves, Akış tipi çizelgeleme(n-iş;m-makine) problemlerini, GA(uygun parametreler kullanılarak) ile çözüp, elde edilen sonuçları, Komşuluk arama(Neighbourhood Search) ve Tavlama benzetimi ile karşılaştırmıştır. GA'nın daha iyi performans verdiği belirlenmiştir (Reeves,1995b).

Murata, Ishibuchi ve Tanaka, 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 biraz daha iyi sonuç vermiştir. GA'nın performansının artırılması için iki melez GA önerilmiştir. Bunlar, Genetik lokal arama ve Genetik Tavlama benzetimi dir(Murata ve diğ.,1996a)

Murata, Ishibuchi ve Tanaka, diğer bir çalışmada, Akış tipi çizelgeleme problemleri için, çok amaçlı bir genetik algoritma kullanmışlardır, bu algoritmanın performansı iki amaca göre belirlenmiştir; bunlar, tamamlanma zamanı(C_{max}) ve toplam gecikmenin minimize edilmesidir(Murata ve diğ., 1996b).

Chen ve arkadaşları, Akış tipi çizelgeleme problemlerinin çözümünde GA kullanarak toplam akış zamanını minimize etmeye çalışmışlardır(Chen ve diğ., 1996). GA ile çözülen akış tipi problemlerde daha küçük akış zamanına ulaşılmıştır.

Jam ve Bagchi, Akış tipi çizelgeleme problemlerinin GA ile çözüm etkinliğinin araştırılmasına yönelik olarak, Darwin ve Lamarck tabanlı Genetik algoritmaların karşılaştırılmasını yapmışlardır. GA'nın performansının artırılmasında, öğrenen temelli GA modellerini önermişler ve 15-makine x 49-iş problemini, %70 çaprazlama oranı ile GA yardımı ile çözmüşlerdir. Hesaplanan C_{max} değerini klasik yöntemler(NEH,CDS) ile karşılaştırarak daha küçük değerlere ulaşmışlardır(Jam ve Bagchi, 2000).

2 . 5 Genetik Algoritmalar da Parametre Optimizasyonu

Genetik algoritmalar, çözüm uzayında arama yaparken bir takım parametreleri kullanırlar. Bunlar; üreme, çaprazlama, ve mutasyon yöntemi ile çaprazlama-mutasyon oranları ve başlangıç popülasyonundan oluşur. Kısa sürede çözüme ulaşmak için bu parametrelerin seçimi ile ilgili herhangi bir kural mevcut değildir(Cicirello ve Smith 2000). Herhangi bir problemin çözümünde kullanılan GA için optimum veya optimuma yakın çözüm veren kontrol parametresi seti, başka bir GA uygulaması için genelleştirilemez. GA'nın uygulandığı problemlerde bu parametreler, deneme-yanılma yöntemi ile seçilir(Cicirello ve Smith, 2000).

Minimum beş farklı başlangıç popülasyonunun, beş üreme yönteminin, altı çaprazlama ve beş mutasyon yönteminin kullanıldığı; (0-100) aralığında çaprazlama ve mutasyon oranının seçildiği basit bir GA probleminde en az 75000 alternatif arasından deneme-yanılma yöntemi ile uygun parametrelerin seçiminin oldukça zor olduğu görülmektedir. Bu amaçla akış tipi çizelgeleme problemlerinin GA ile çözümünde uygun parametrelerin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalar bu tezin kapsamını oluşturmaktadır.

Kontrol parametrelerinin belirlenmesi ile ilgili yapılan çalışmalar; De Jong(1975,1980). Grefenstette(1986); Schaffer ve arkadaşları(1989); Bramlette(1991);Wu ve Chow(1995); tarafından yapılmışlardır. De Jong'un fonksiyonlar üzerinde, 1975 yılında yapmış olduğu çalışmasında, kontrol parametreleri; Popülasyon sayısı 30, çaprazlama oranı %95 ve mutasyon oranı, %1 olarak belirlenmiştir(Cicirello ve Smith, 2000).

Kontrol parametrelerinin optimizasyonu ile ilgili iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Birincisi problemler için faktörlerin ayrı ayrı ve/veya deney tasarımı yardımı ile test edilmesi; ikinci yöntem ise Meta seviyeli GA yardımı ile test edilmesidir. Meta seviyeli GA'da, yapay sinir ağları gibi farklı sezgiseller kullanılabilmektedir.



3. BAŞLANGIÇ POPÜLASYONU OPTİMİZASYONU

3 . 1 GA Modelinin Kurulması

Genetik Algoritmanın , iş çizelgelemede kullanılmasında temel iki yaklaşım benimsenmektedir(Cheng ve diğ., 1999).

1. Genetik algoritma kullanılarak uygun permütasyonların geliştirilmesi,
2. Geliştirilen permütasyonlara uygun çözüm elde etmek için sezgisel metotların oluşturulması.

Farklı parametre seçiminin, akış tipi çizelgeleme problemlerinin GA ile çözüm kalitesini etkileyeceği, GA'nın diğer uygulamalarında belirlenmiştir(Reeves, 1995a). GA'nın bir çok kontrol parametresi mevcuttur, burada, GA'nın kontrol parametrelerinden olan; başlangıç popülasyonu, üreme yöntemi, çaprazlama ve mutasyon yöntemi ile çaprazlama ve mutasyon oranının belirlenmesine yönelik bir model oluşturulmuştur. Bu modele ilişkin olarak GA'nın basit çalışma yöntemi Şekil3.1'de verilmiştir.

İki ve çok makine problemleri için kontrol parametrelerinin test edilmesinde performans kriteri olarak, en son işin son makinedeki tamamlanma zamanı (makespan- C_{max}) seçilmiştir (Chen ve diğ., 1995). Uygulamada kullanılan problemlerde n -iş, m -makine olmak üzere, $n/2/P/C_{max}$ ve $n/m/P/C_{max}$ notasyonları ile gösterilmektedir ve C_{max} ,(3.1) ifadesindeki gibi hesaplanır(Reeves, 1995b). Buna göre; i .işin, j . makinedeki işlem zamanı $P(i,j)$ ve iş sırası $(J_1, J_2, \dots, J_n)$ ise

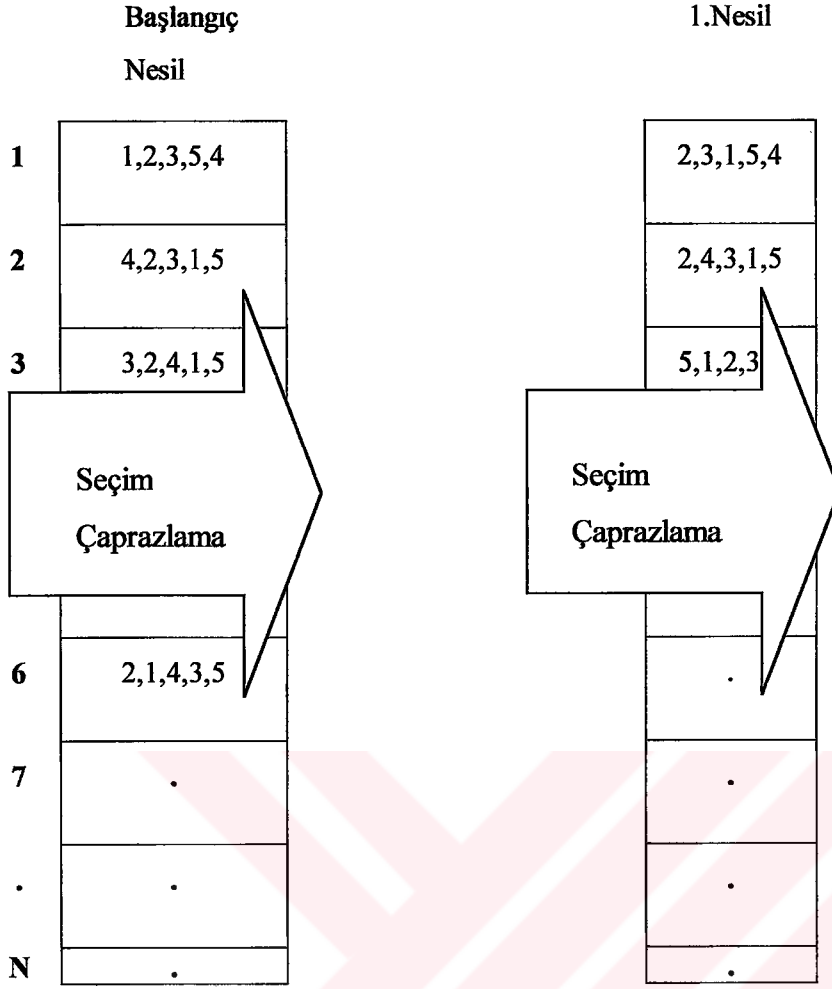
$$C(J_1,1) = P(J_1,1)$$

$$C(J_i,1) = C(J_{i-1},1) + P(J_i,1) \quad \text{ve } i=2, \dots, n$$

$$C(J_1,j) = C(J_1, j-1) + P(J_1, j) \quad j=2, \dots, m$$

$$C(J_i, j) = \max (C(J_{i-1}, j), C(J_i, j-1)) + P(J_i, j) \quad i=2, \dots, n ; j= 2, \dots, m$$

$$C_{max} = C (J_n, m) \quad (3.1)$$



Şekil 3.1 Temel Genetik Algoritma

3.2 Optimal Çözüm Koşulları Analizi

Akış tipi çizelgeleme problemlerinin çözümünde genel olarak aşağıdaki kabuller yapılmaktadır(Jam veBagcı 2000);

1. Tezgah hazırlık süreleri bilinmektedir ve işlem sürelerinin içerisinde yer almaktadır,
2. Bütün n adet iş sıfıncı zamanda işlenmeye hazır durumda beklemektedir,
3. Her iş m operasyona ve her operasyon da farklı makinalara ihtiyaç duymaktadır.
4. Makinaların,önceden rezervasyon yapılmasına izin verilmez. Her işin ilk operasyonu önce başlar, ikinci operasyonun başlayabilmesi için, birincinin tamamlanması gerekir,
5. Çizelgeleme periyodu boyunca makineler sabittir, mevcut yerinde ve kapasiteleri aynıdır,

6. Bir iş aynı anda birden fazla makinada işlenemez,
7. Makina bir anda bir tek işi işleyebilir, birden fazla iş işleyemez,
8. Bir işe ait operasyon bölünemez, bir makinada tamamlanması gerekir.

3 . 3 Modelin Kodlanması

Kodlama biçiminin genetik operatörlerin uygulanması üzerinde önemli etkisi vardır. Permütasyon türü çizelgeleme problemleri için, temel kod yapısının, iş dizilişini basitleştirici etkisi bulunmaktadır(Chen ve diğ. 1996).

Uygulamada iş çizelgeleme problemi için temel kodlama kullanılmıştır. Kromozom dizisi üzerinde bulunan her bir rakam, bir işi temsil etmektedir. Örneğin, 8 işe sahip bir akış tipi probleminde, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 rakamları sıra ile işleri temsil etmektedir(Cleveland ve Smith 1989).

Temel kodlamanın bir diğer adı, permütasyon tipi temsildir. Literatürde en çok kullanılan yöntemlerden biridir(Poon ve Carter,1995).

Deneylerde kullanılan çizelgeleme problemlerinin işlem süreleri literatüre paralel biçimde, üniform dağılıma göre [1-25] dakika aralığında rassal olarak oluşturulmuştur(Chou ve Lee 1999). Deneylerde kullanılan problemlerin işlem süreleri EK-A da ve deney sonuçları EK-B,C,D,E,F,G,H da verilmektedir.

3 . 4 Başlangıç Popülasyonu Oluşturma

Genel olarak, ilk popülasyon, birkaç yolla oluşturulabilir. GA'nın birçok uygulamalarında rassal olarak oluşturulduğu görülmektedir. İlk popülasyonun, farklı çözüm kümelerinden oluşturulması, aramanın etkinleşmesini sağlar. İlk popülasyonun uygun oluşturulması, ortalama uygunluk değerini yükseltir ve hesaplama zamanını(nesil sayısını) düşürür. Bu nedenlerden dolayı farklı prosedürlerle ilk popülasyonu oluşturmak, popülasyon ortalama uygunluk değerini yükseltecek ve çözüme ulaşma süresini kısaltacaktır. Sonuçlardaki üniform yapının korunması için deneylerde başlangıç popülasyonundaki bireylerin tamamı rassal olarak oluşturulmuştur(Chen ve diğ. 1996).

Populasyon büyüklüğü, literatürdeki çalışmalara benzer şekilde, 10, 20, 30, 40 ve 50 kromozom şeklinde üretilmiştir (Ghedjati, 1999). Başlangıç popülasyonu ile ilgili deney sonuçları EK-B’de detaylı olarak verilmektedir.

3.5 İki Makine Çok İş problemi ($n/2/P/C_{max}$)

Akış tipi iki makine çizelgeleme problemlerinin, GA ile çözüm kalitesinin artırılmasında, altı ayrı parametre kullanılarak deneyler yapılmıştır. Farklı ölçeklerde altı adet test problemi ele alınıp çözülmeye çalışılmıştır. Bu problemler sırası ile 2x10, 2x15, 2x20 (makine x iş) ölçeklidir. Test problemleri öncelikli olarak Johnson algoritması ile çözümlenip, optimum çözüm değerleri (C_{max}) ve iş sıraları bulunmuştur. Optimum çözümleri bulunan bu örnekler, Turbo pascal programlama dilinde hazırlanan genetik algoritma programı ile her problem için 25 ayrı deneme yapılmıştır. Altı ayrı problem için GA’nın optimum çözüme ulaşma performansını görmek amacıyla Poon ve Carter’ın da önerdiği biçimde optimum çözüme ulaşma süresi (nesil sayısı)’nin aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri bulunmuştur (Poon ve Carter 1995).

İki makine on iş den oluşan problem 5’in işlem süreleri Tablo 3.1’de verilmiştir. Bu işlem süreleri rassal olarak, 1-25 dakika arasında üretilmiştir.

Tablo 3.1. Problem 5’in İşlem Süreleri

	İş									
Makine	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
M_1	8	24	8	21	14	18	10	11	2	18
M_2	15	17	4	10	11	7	9	25	2	16

Başlangıç popülasyonunu değiştirerek GA modelinin çözümü ile ilgili kullanılan diğer parametreler Tablo 3.2’de verilmiştir.

Başlangıç popülasyonu büyüklüğünün değişmesi, optimum çözüme ulaşma süresini etkilemektedir. Başlangıç popülasyonunun artması her zaman iyi sonuç vermeyebilir.

Tablo 3.2. Problem 5'in GA Çözüm Koşulları

Çözüm Koşulları	
Başlangıç Popülasyonu	Değişken
Çözüme Giren Sabit Sıra	0
Üreme Yöntemi	M.V.R.Ç
Çaprazlama Yöntemi	Pozisyon tabanlı
Çaprazlama Oranı	%90
Mutasyon Yöntemi	Ters mutasyon
Mutasyon Oranı	%90
Nesil Sayısı	300

Başlangıç popülasyonu 10,20,30,40 ve 50 seçilerek, akış tipi çizelgeleme için problem ölçeğine uygun başlangıç popülasyonun seçilmesi ile ilgili 750 adet örnek çözülmüştür. Problem 5 için 25 deneme sonucunda elde edilen veriler Tablo 3.3'de verilmiştir. Diğer deneme sonuçları EK A'da yer almaktadır.

Altı ayrı problemde 25 deneme sonucunda elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması ve standart sapma sonuçları Tablo 3.4 ve Tablo 3.5'de verilmiştir.

Tablo 3.3. Problem 5'in GA Çözüm Sonuçları

Deneme Sayısı	Başlangıç popülasyonu				
	10	20	30	40	50
1	29	20	9	33	23
2	176	12	1	10	35
3	39	5	51	38	14
4	121	128	1	25	16
5	45	31	1	4	5
6	165	23	89	6	5
7	73	49	2	1	23
8	73	51	34	19	24
9	27	25	62	2	4
10	75	66	25	1	1
11	64	69	3	4	1
12	235	3	46	5	25
13	62	19	11	53	67
14	29	1	48	43	63
15	2	29	23	23	3
16	30	37	31	1	48
17	213	16	88	6	1
18	44	139	2	94	28
19	32	96	1	12	64
20	31	81	1	8	14
21	105	1	3	15	13
22	199	10	13	1	13
23	52	130	41	21	3
24	48	1	26	21	5
25	69	1	6	5	29
Ortalama	81,52	41,72	24,72	18,04	21,08
S. sapma	65,41	43,113	26,86	21,39	20,36

Tablo 3.4. Başlangıç Popülasyonu Deney Sonuçları : 1

Başlangıç Popülasyonu	Problem 5 2x10 ($C_{max}=138$)				Problem 6 2x10 ($C_{max}=162$)				Problem 7 2x15 ($C_{max}=233$)			
	$\bar{x}$	σ	hata	oran	$\bar{x}$	σ	hata	oran	$\bar{x}$	σ	hata	oran
10	81,52	65,41	0,021	0,6044	18,16	23,44	—	—	26,04	42,56	—	—
20	41,72	43,11	—	—	4,92	4,57	—	—	15,96	28,08	—	—
30	24,72	26,86	—	—	3,52	3,83	—	—	4,64	7,74	—	—
40	18,04	21,39	—	—	2,84	5,19	—	—	2,52	3,73	—	—
50	21,08	20,36	0,0072	0,058	2,32	2,32	—	—	1,60	1,75	0,0042	0,006

Tablo 3.4'deki problem 5 de en iyi çözüm, 40 başlangıç çözümü için elde edilmiştir. Başlangıç çözümünde % 400 'lük artış , nesil sayısında % 451' lik bir iyileştirme sağlamıştır. Bu değişim kabul edilebilir. Problem 6'da en iyi çözüm 50 başlangıç çözümünde elde edilmiştir. Başlangıç popülasyonu, % 500 arttığında , nesil sayısında % 782' lik bir iyileşme sağlanmıştır. Problem 7'de en iyi çözüm 40 nesil için elde edilmiştir. Başlangıç Popülasyonunda; %400 lük artış ile çözümde % 1033 iyileştirme sağlanmıştır.

Tablo 3.5. Başlangıç Popülasyonu Deney Sonuçları:2

Başlangıç Popülasyonu	Problem 8 2x15 ($C_{max}=211$)				Problem 9 2x20 ($C_{max}=296$)				Problem 10 2x20 ($C_{max}=313$)			
	$\bar{x}$	σ	hata	oran	$\bar{x}$	σ	hata	oran	$\bar{x}$	σ	hata	oran
10	37,60	47,30	—	—	6,44	13,68	—	—	26,94	51,74	—	—
20	15,72	30,55	—	—	1,48	1,44	—	—	12,20	25,52	—	—
30	8,20	13,00	—	—	2,12	3,11	—	—	9,08	17,92	—	—
40	9,12	15,02	—	—	1,68	2,83	—	—	6,60	14,89	—	—
50	2,40	5,24	0,0047	0,005	1,24	0,879	0,0067	0,005	6,04	11,61	—	—

Tablo 3.5'deki problem 8' de en iyi sonuç, 30 başlangıç popülasyonu için bulunmuştur, 50 için nesil sayısı küçük olmasına rağmen bağlı hata değeri olduğu için tercih edilen bir sonuç değildir. Nesil sayısındaki iyileşme değeri % 412 dir.

Problem 9' da en iyi sonuç yine 40 başlangıç popülasyonu için elde edilmiştir. Problem 10 için en iyi çözüm 50 başlangıç popülasyonu için elde edilmiştir.

Başlangıç popülasyonu sayısının yüksek seçilmesi her zaman iyi sonuç vermemektedir(Rubin ve Ragatz 1995).Farklı ölçekteki iki makine çizelgeleme programları için Ghedjati'nın çalışmalarına benzer şekilde en iyi değer, 40 başlangıç popülasyonu için elde edilmiştir(Ghedjati, 1999).

3 . 6 Çok Makina Çok İş problemleri ($n/m/P/C_{max}$)

İki makina çok iş probleminde başlangıç popülasyonu 40 için uygun sonuçlar elde edilmiştir. Aynı durumun çok makine problemlerinde de geçerliliğinin araştırılması için üç makine on iş, dört makine on iş, beş makine on iş ve yedi makine onbeş iş problemleri üzerinde en uygun başlangıç popülasyonu değerleri bulunmaya çalışılmıştır.

Bütün makinaların işlem zamanları rassal olarak oluşturulmuştur. Üç makine on iş probleminin işlem zamanları Tablo 3.6'de verilmiştir.

Tablo 3.6. Üç Makine On İş Problemi İşlem Süreleri

	İş									
Makine	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
M_1	4	16	12	20	23	18	20	24	19	11
M_2	11	12	22	14	5	2	24	13	4	21
M_3	15	20	5	22	14	2	18	17	13	1

Çok makine problemlerinde kullanılan işlem zamanları rassal olarak 1-25 dakika arasında üretilmiştir. GA modelinin çözüm parametreleri, 3x10 problemi için Tablo 3.7’de verilmiştir.

Tablo 3.7. Problem 3x10 İçin GA Çözüm Parametreleri

Çözüm Koşulları	
Başlangıç Popülasyonu	Değişken
Çözüme Giren Sabit Sıra	0
Üreme Yöntemi	M.V.R.Ç
Çaprazlama Yöntemi	Pozisyon tabanlı
Çaprazlama Oranı	%90
Mutasyon Yöntemi	Ters mutasyon
Mutasyon Oranı	%90
Nesil Sayısı	250

Prblem 3x10 için 25 denemede elde edilen C_{max} değerleri ve aritmetik ortalama ile standart sapma oranları Tablo 3.8’de verilmiştir.

Tablo 3.8. Problem 3x10 İçin C_{max} Değerleri

No	Başlangıç Popülasyonu Sayısı				
	10	20	30	40	50
1	174	171	171	171	171
2	174	171	171	172	171
3	174	171	171	171	171
4	171	171	171	171	171
5	172	171	171	171	171
6	171	171	171	171	171
7	171	171	172	172	171
8	171	171	171	172	171
9	171	171	171	171	171
10	171	171	171	171	171
11	174	171	171	171	171
12	171	171	171	171	171
13	171	171	171	172	171
14	173	171	171	171	172
15	172	173	171	171	171
16	172	171	171	171	171
17	174	171	171	171	171
18	171	171	171	171	171
19	174	171	171	171	171
20	174	172	171	171	171
21	174	171	171	171	171
22	171	171	171	171	171
23	172	171	171	171	171
24	171	173	171	171	171
25	173	171	171	171	171
Ortalama	172,28	171,2	171,04	171,16	171,04
S.Sapma	1,33	0,57	0,20	0,37	0,20

Problem 3x10 için elde edilen en iyi C_{max} değeri 171 çıkmıştır. C_{max} değerlerinin kaçınıcı nesillerde elde edildiği, bu problem için Tablo 3.9'da verilmiştir.

Tablo 3.9. Problem 3x10 İçin Nesil Sayıları

Deneme No	Başlangıç Popülasyonu Sayısı				
	10	20	30	40	50
1	10	21	106	43	22
2	344	154	19	1	103
3	2	185	213	59	49
4	152	239	111	60	74
5	116	25	92	89	66
6	326	3	73	158	21
7	168	76	231	73	61
8	223	123	59	103	91
9	75	76	95	13	71
10	40	11	67	42	36
11	100	95	8	5	95
12	335	217	32	63	16
13	325	31	145	193	33
14	18	37	39	58	76
15	63	226	188	1	131
16	327	177	75	51	89
17	4	102	4	38	56
18	75	47	178	63	14
19	31	40	38	90	148
20	83	84	161	19	20
21	231	39	63	2	115
22	266	238	25	30	46
23	280	26	32	35	37
24	331	279	156	47	9
25	4	101	79	93	49
Ortalama	157,16	106,08	91,56	57,16	61,12
S.Sapma	128,06	84,31	65,73	46,58	38,06

Başlangıç popülasyonunun değişmesi , optimum çözümü etkilemektedir. Başlangıç popülasyonunun artması her zaman iyi sonuç vermeyebilir.

Başlangıç popülasyonu 10,20,30,40 ve 50 seçilerek, akış tipi çizelgeleme için problem ölçeğine uygun başlangıç popülasyonun seçilmesi ile ilgili 500 adet örnek çözülmüştür. Deney sonuçları Tablo 3.10 ve Tablo 3.11’de sunulmuştur.

Tablo 3.10. Başlangıç Popülasyonu Deney Sonuçları : 1

Başlangıç Popülasy.	Problem 11 3x10				Problem 12 4x10				Problem 13 5x10			
	C_{max}		Nesil sayısı		C_{max}		Nesil sayısı		C_{max}		Nesil sayısı	
	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ
10	172,28	1,33	157,16	128,06	170,48	1,91	164,52	100,9	201,20	2,51	556,84	277,13
20	171,20	0,57	106,08	84,31	169,24	2,08	150,68	87,69	200,00	3,14	204,76	147,74
30	171,04	0,20	91,56	65,73	168,76	2,25	125,84	84,81	199,64	1,84	292,80	171,44
40	171,16	0,37	57,16	46,58	168,20	2,38	88,88	72,59	199,92	1,84	172,56	111,54
50	171,04	0,20	61,12	38,06	168,88	1,78	57,24	55,23	199,04	1,719	277,64	187,63

Tablo 3.11. Başlangıç Popülasyonu Deney Sonuçları : 2

Başlangıç Popülasyonu	Problem 14 7x15			
	C_{max}		Nesil sayısı	
	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ
10	282,84	4,57	413,52	268,45
20	280,84	3,24	304,56	244,75
30	278,68	3,79	299,00	155,83
40	279,92	3,37	281,12	168,75
50	278,32	3,13	294,28	149,11

3.7 Uygun Başlangıç Popülasyonu Seçimi

Tablo 3.10 ve Tablo 3.11’deki sonuçlara göre, en son işin en son makinadaki tamamlanma süresini gösteren C_{max} değerlerinin aritmetik ortalama değerleri ve standart sapmaları, 10,20,30,40 ve 50 başlangıç çözümleri için, birbirlerine oldukça

yakın değerler çıkmıştır fakat aynı tablodaki nesil sayılarının aritmetik ortalamaları ile standart sapmaları incelendiğinde, 4x10 probleminin dışındaki bütün örneklerde en iyi sonuç değerleri, 40 başlangıç popülasyonu için elde edilmiştir. Benzer sonuçlar iki makine probleminde de daha önce bulunmuştur.

Gen ve Cheng tarafından, parametre optimizasyonu ile ilgili olarak, proje planlama problemi konusunda yapılan çalışmada, başlangıç popülasyonu 10,20,30.....,90 aralığında seçilerek projenin tamamlanma süresi hesaplandığında, en iyi değer, 40 başlangıç popülasyonu için elde edilmiştir(Gen ve Cheng,2000). Başlangıç popülasyonunun 40 seçilmesi ile diğer problemlerde olduğu gibi akış tipi çizelgeleme problemlerinde de iyi sonuçların elde edilebileceği belirlenmiştir.



4 . ÜREME OPERATÖRÜ OPTİMİZASYONU

Bu bölümde akış tipi çizelgeleme problemlerinin çözümünde en iyi performansı gösteren üreme operatörünün belirlenmesine çalışılacaktır.

4 . 1 GA Modelinde Kullanılan Üreme Operatörleri

GA'nın yürütülmesinde düşünülecek diğer önemli bir faktör gen havuzunda yer alacak kromozomların seçim olasılığıdır. Bireyin seçim olasılığı, popülasyondaki performans ölçütüne göre belirlenir; gelecek nesilde daha iyi döl verebilecek bireyler seçilir (Goldberg, 1989). Uygulama probleminde, literatürde kullanılan üç ayrı üreme yöntemi ile yeni geliştirilen iki üreme yöntemi olmak üzere toplam beş ayrı üreme yöntemi kullanılmıştır bunlar ;

4.1.1. Makine Verimlerine Bağlı Rulet Çemberi Yöntemi

Bu yöntemde, gen havuzunda yer alacak kromozomlar, ortalama makine verimlerine göre belirlenir(Goldberg, 1989). Bu yöntem, örnek 4.1'de izah edilmiştir.

Örnek 4.1 $f(x) = x^2$ öyle ki $[0 \leq x \leq 31]$, x belirlenen tamsayı aralığında değişiyor ise, $f(x)$ 'i maksimize edecek en uygun değeri GA modeli belirleyiniz (Goldberg, 1989).

Geleneksel yöntemler kullanıldığında, böyle bir problem için, x yerine değerler denenerek maksimum $f(x)$ bulunmaya çalışılır.

GA da ise başlangıçta x parametresini uygun bir uzunlukta kodlamak gerekir. x parametresi ikili sisteme göre kodlanmış yapısı Tablo 4.1'de sunulmuştur.

Tablo 4.1. İkili Sistemde Dizi Kodlama

Dizi	Amaç Değeri
00000	0
11111	31

Beş genden oluşan bir yapı şeklinde tanımlanır. Bu problemin çözümü için toplam 32 adet kromozom mevcuttur. Bu kromozomlardan rassal olarak Tablo4.2'dekilerin seçildiği ve amaç denklemlerinin belirlendiği varsayılın,

Tablo 4.2. Örnek 4.1 İçin Başlangıç Popülasyonu

No	Dizi	Amaç Değeri	Oranı (%)
1	01101	169	14,40
2	11000	576	49,20
3	01000	64	5,50
4	10011	361	30,90
TOPLAM		1170	100,0

Tablo 4.2'de bulunan değerlerin ortalama ve maksimum değerleri alınarak, Rulet çemberine göre bir sonraki nesilde yer alacak kromozom sayılarının beklenen değeri Tablo 4.3 de verilmiştir.

Tablo 4.3. Örnek 4.1 İçin Manuel Rulet Çemberi Yöntemi

Dizi No	Başlangıç Popülasyonu	x Değeri	$f(x)=x^2$	Seçim oranı	Beklenen sayı ($f_i/ort.$)	Rulet çmb. beklenen
1	0 1 1 0 1	13	169	0,14	0,58	1
2	1 1 0 0 0	24	576	0,49	1,97	2
3	0 1 0 0 0	8	64	0,06	0,22	0
4	1 0 0 1 1	19	361	0,31	1,23	1
Toplam			1170	1,00	4,00	4
Ortalama			293	0,25	1,00	1
Maksimum			576	0,49	1,97	2

Tablo 4.3'deki sonuçlara göre rulet çemberi yöntemi kullanıldığında, başlangıç popülasyonunda bulunan 1. ve 4. dizilerden birer tanesi fakat 2. diziden iki tanesi, yeni oluşturulan popülasyonun içinde yer alır ve yeni oluşturulan popülasyonda 3. diziden hiç kromozom yer almaz.

4.1.2. Toplam Akış Zamanına (makespan) Göre Rulet Çemberi Yöntemi

Bu yöntem rulet çemberinin özel halidir. Amaç değeri yerine, toplam akış zamanı kullanılır. Maksimizasyon problemlerinin tersine, C_{max} değeri küçük olanların bir sonraki popülasyona geçmelerine öncelik tanınır. Popülasyondaki her bireyin seçim olasılığı aşağıdaki prosedüre göre hesaplanır;

- a) Popülasyonda her birey için toplam akış zamanı hesaplanır,
- b) Popülasyondaki toplam maksimum akış zamanı (F_{max}) bulunur,
- c) Her bireyin toplam akış zamanı ve (F_{max})arasındaki farka eşit olan her bireyin uygunluk değeri hesaplanır,
- d) Uygunluk değerine dayanan her bireyin seçim olasılığı hesaplanır.

Bu değer, bireylerin uygunluk değerlerinin, popülasyondaki her bir bireyin uygunluk değerinin toplamına bölünmesine eşit olan her bireyin seçim olasılığıdır(Cheng ve diğ. 1996).

4.1.3. Yapay Seçim Yöntemi

Bu yöntemde, son iki nesilden elde edilen kromozomlar, amaç fonksiyonuna göre büyükten küçüğe sıralanır. Bu sıralama içinde en iyi ve en kötü çözüm kromozomlarından, değişik oranlarda alınır. Bir sonraki nesilde alınacak kromozomların ne kadarının iyi ve ne kadarının kötü olacağı GA modelinde başlangıçta belirlenir. Bu oran bütün model boyunca sabit kalır.

4.1.4 Kısmi Yapay Seçim yöntemi

Yapay seçim yöntemine benzer çalışır. Ondan tek farkı, en kötü sonuca sahip(en büyük akış zamanı değeri olan) kromozomlar tamamen ters çevrilerek(en son sırada

yapılan iş ilk sıraya alınarak) gen havuzuna atılır. Bütün model boyunca bu seçim prosedürü sabit kalır. Yapay seçim yönteminde olduğu gibi, oran başlangıçta girilir.

4.1.5. Ters Yapay Seçim Yöntemi

Bu yöntemde, son iki nesilde, toplam akış zamanları en yüksek olan işlerin kromozomları, popülasyon sayısı kadar, tamamen ters çevrilerek gen havuzuna atılır.

4.2 İki Makine Çok İş Problemi İçin Uygun Üreme Yöntemi ($n/2/P/C_{max}$)

Akış tipi çizelgeleme problemine uygun üreme yönteminin belirlenmesine yönelik olarak altı ayrı problem üzerinde beş ayrı üreme yöntemi test edilmiştir. Bütün problemlerin işlem zamanları 1-25 dakika arasında rassal üretilmiştir. Problem 7'nin (2x15) işlem süreleri Tablo 4.4'de verilmiştir.

Tablo 4.4. Problem 7'nin İşlem Süreleri

	İş														
Makine	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
M1	20	14	2	23	9	15	25	16	15	3	1	20	2	16	8
M2	5	20	18	1	19	10	12	24	17	15	24	12	19	14	22

Üreme yöntemlerinin test edilmesinde, GA modelinin çalıştırılmasında kullanılan parametreler Tablo 4.5'de verilmiştir.

Tablo 4.5. Üreme Yöntemi İçin GA Parametreleri

Çözüm Koşulları	
Başlangıç Popülasyonu	10
Çözüme Giren Sabit Sıra	0
Üreme Yöntemi	Değişken
Çaprazlama Yöntemi	Pozisyon tabanlı
Çaprazlama Oranı	%90
Mutasyon Yöntemi	Ters mutasyon
Mutasyon Oranı	%90
Nesil Sayısı	450

Altı ayrı problem için 25 deneme yapılmıştır. Bu denemelerden, problem 7 için elde edilen sonuçlar Tablo 4.6’de verilmiştir

Tablo 4.6. Problem 7 İçin Nesil Sayısı Deney Sonuçları

Deneme Sayısı	Makine verimli Rulet çemberi	Akış zamanlı Rulet çemberi	Yapay seçim Yöntemi(50/50)	Kısmi Yapay Seçim Yöntemi (50/50)	Ters Yapay Seçim Yöntemi
1	1	12	1	2	35
2	22	28	49	66	131
3	16	118	1	2	42
4	15	7	65	1	187
5	2	118	119	83	26
6	15	2	102	18	89
7	46	77	1	66	1
8	30	1	1	110	143
9	19	87	26	5	1
10	80	209	3	88	46
11	1	1	16	44	117
12	107	2	40	182	2
13	1	1	128	1	49
14	1	1	16	44	32
15	58	2	139	1	11
16	1	36	1	3	2
17	79	218	49	58	331
18	1	36	1	3	86
19	1	1	1	2	25
20	1	14	15	72	1
21	21	13	168	1	1
22	2	18	62	69	1
23	5	1	116	1	2
24	1	43	183	1	106
25	1	41	141	1	24
Ortalama	21,08	41,84	57,76	36,96	59,64
S. sapma	29,85	63,61	60,84	46,54	77,46

Bütün problemler için elde edilen nesil sayılarının aritmetik ortalamaları ile standart sapmaları Tablo 4.7 ve Tablo 4.8’ de verilmiştir.

Tablo 4.7 ve Tablo 4.8'deki sonuçlara göre altı ayrı problemten üç tanesinde(problem 4,5 ve 6) kısmi yapay seçim yöntemi ile en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Diğer problemlerdeki çözüm performansında ikinci sırada yer almaktadır.

Tablo 4.7. Üreme Yöntemi Deney Sonuçları : 1

Üreme yöntemi	Problem 3 2x10 ($C_{max}=167$)				Problem 4 2x10 ($C_{max}=140$)				Problem 7 2x15 ($C_{max}=233$)			
	$\bar{x}$	σ	hata	oran	$\bar{x}$	σ	Hata	Oran	$\bar{x}$	σ	hata	oran
Makine verimli Rulet Çemberi	2,12	3,97	–	–	92,24	79,16	0,084	1,029	21,08	29,85	–	–
Akış zamanı Rulet Çemberi	3,12	7,35	–	–	43,32	38,40	–	–	41,84	63,61	–	–
Yapay seçim (50/50)	4,52	8,63	–	–	145,28	89,49	0,161	2,030	57,76	60,84	–	–
Kısmi yapay seçim (50/50)	1,20	0,81	–	–	93,68	82,61	–	–	36,96	46,54	–	–
Ters yapay seçim	1,00	0,00	–	–	125,56	90,99	0,126	3,059	59,64	77,46	–	–

Tablo 4.8. Üreme Yöntemi Deney Sonuçları : 2

Üreme yöntemi	Problem 8 2x15 ($C_{max}=211$)				Problem 9 2x20 ($C_{max}=296$)				Problem 10 2x20 ($C_{max}=313$)			
	$\bar{x}$	σ	hata	oran	$\bar{x}$	σ	hata	oran	$\bar{x}$	σ	hata	oran
Makine verimli Rulet Çemberi	38,76	57,29	–	–	40,48	52,89	–	–	75,02	110,5	–	–
Akış zamanlı Rulet Çemberi	68,76	93,43	–	–	58,64	83,41	–	–	44,88	113,2	–	–
Yapay seçim (50/50)	106,2	112,4	–	–	18,28	34,55	–	–	70,56	114,6	0,006	0,40
Kısmi yapay seçim (50/50)	37,16	45,28	–	–	12,16	25,97	–	–	44,68	64,87	–	–
Ters yapay seçim	91,96	106,1	–	–	51,72	79,19	–	–	84,00	97,10	–	–

Tüm problemlere genel olarak bakıldığında kısmi yapay seçim yönteminin iki makine problemleri için, üreme yöntemi olarak tercih edilebilir olduğu görülmektedir.

4.3 Çok Makine Çok İş problemleri için uygun üreme yöntemi ($n/m/P/C_{max}$)

Çok makine problemi için uygun üreme yönteminin belirlenmesi amacıyla yönelik olarak farklı ölçeklerde dört ayrı problem (3x10,4x10,5x10 ve 7x15) test edilmiştir. Bu problemlerin işlem zamanları 1-25 dakika aralığında rassal olarak belirlenmiştir. Problem 12'nin(4x10) işlem zamanları Tablo 4.9'de sunulmaktadır.

Tablo 4.9. Problem 12'nin İşlem Süreleri (4-makine x 10-iş)

Makine	İş									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
M_1	4	22	12	20	10	17	2	19	14	13
M_2	9	3	20	6	6	8	8	20	15	15
M_3	15	1	4	6	9	24	9	2	20	13
M_4	7	14	20	9	23	17	11	20	3	20

Çok makine problemi için modelin çözüm aşamasında, kullanılan parametreler, Problem 12 için, Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.10. GA'nın Problem 12 İçin Parametreleri

Çözüm Koşulları	
Başlangıç Popülasyonu	30
Çözüme Giren Sabit Sıra	0
Üreme Yöntemi	Değişken
Çaprazlama Yöntemi	Pozisyon tabanlı çap.
Çaprazlama Oranı	%90
Mutasyon Yöntemi	Ters mutasyon
Mutasyon Oranı	%90
Nesil Sayısı	300

Dört ayrı problem için 500 adet deneme yapılmıştır. Bu denemelerden problem 12' için elde edilen 125 adet denemenin, tamamlanma zamanları, C_{max} , Tablo 4.11 de ve diğer deney sonuçları EK-C'de verilmektedir. Problem 12'nin, Nesil sayısı deney sonuçları, Tablo 4.12'de verilmiştir.

Tablo 4.11. Problem 12'nin, C_{max} deney sonuçları

Dene. No	Makine verimli R.Ç.	Akış zamanlı R.Ç.	Yapay Seçim (50/50)	Kısmi yapay seçim (50/50)	Ters yapay seçim
1	166	163	171	171	173
2	169	169	174	171	175
3	171	166	171	171	175
4	169	169	174	169	173
5	167	163	167	169	175
6	166	163	171	167	173
7	170	169	171	171	173
8	171	169	169	163	169
9	167	169	169	174	173
10	169	169	169	169	170
11	171	166	171	166	174
12	169	164	169	167	171
13	164	163	171	171	177
14	169	169	174	172	172
15	171	169	174	169	172
16	169	163	169	171	177
17	169	169	171	171	173
18	163	163	171	171	171
19	171	163	172	166	171
20	169	166	166	169	163
21	167	164	171	168	172
22	171	163	174	171	176
23	171	164	169	174	172
24	169	167	171	172	169
25	171	163	169	171	169
Ortalama	168,76	165,8	170,72	169,76	172,32
S.Sapma	2,25	2,69	2,17	2,55	2,99

Problem 12'nin, Nesil sayısı deney sonuçları, Tablo 4.12'de verilmiştir.

Tablo 4.12. Problem 12'nin(4x10) Nesil Sayısı Deney Sonuçları

Deney No	Makine verimli R.Ç	Akış zamanlı R.Ç	Yapay Seçim (50/50)	Kısmi yapay seçim (50/50)	Ters yapay seçim
1	163	225	234	90	19
2	63	251	29	66	1
3	84	200	43	22	5
4	182	10	58	1	130
5	244	100	33	169	1
6	59	110	85	46	131
7	30	187	290	46	145
8	51	24	219	251	66
9	173	32	257	85	229
10	8	140	16	192	75
11	11	181	246	66	104
12	285	274	117	16	57
13	274	42	162	86	1
14	185	59	27	271	85
15	21	16	166	77	185
16	198	69	109	94	213
17	166	5	84	258	180
18	119	236	72	37	11
19	43	251	197	292	1
20	216	22	202	136	25
21	98	196	22	126	85
22	87	154	115	64	187
23	156	139	56	74	203
24	60	93	239	66	120
25	200	135	52	247	240
Ortalama	127,04	126,04	125,2	115,12	99,96
S. Sapma	84.00	86.71	87.73	87.61	81.01

Dört ayrı problem için, toplam 500 deneme sonucunda elde edilen, tamamlanma zamanı ve nesil sayısının aritmetik ortalama ve standart sapma sonuçları Tablo 4.13 ve Tablo 4.14'de verilmiştir.

Tablo 4.13 Üreme Yöntemi Deney Sonuçları :1

Üreme yöntemi	Problem 11 3x10				Problem 12 4x10				Problem 13 5x10			
	Cmax		Nesil sayısı		Cmax		Nesil sayısı		Cmax		Nesil sayısı	
	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ
Makine verimli Rulet Çemberi	171,04	0,20	91,56	65,73	168,76	2,25	127,0	84,00	199,40	1,95	251,80	186,69
Akış zamanlı Rulet Çemberi	171,00	0,00	22,96	17,30	165,80	2,69	126,0	86,71	195,64	1,41	246,64	195,69
Yapay seçim (50/50)	173,84	2,47	119,92	81,33	170,72	2,17	125,2	87,73	203,12	3,20	295,00	186,35
Kısmi yapay seçim (50/50)	172,96	1,61	104,28	68,08	169,76	2,55	115,1	87,61	203,36	3,03	218,24	143,69
Ters yapay seçim	175,76	3,87	95,08	73,07	172,32	2,99	99,96	81,01	205,44	4,06	275,84	181,02

Tablo 4.14 Üreme Yöntemi Deney Sonuçları : 2

Üreme yöntemi	Problem 14 7x15			
	Cmax		Nesil sayısı	
	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ
Makine verimli R.Ç	278,68	3,79	299,00	155,83
Akış zamanlı R.Ç	265,48	2,16	382,68	174,70
Yapay seçim (50/50)	285,60	4,14	331,76	189,99
Kısmi yapay seçim (50/50)	282,88	3,20	372,00	232,29
Ters yapay seçim	289,48	6,04	310,76	208,38

4.4. Uygun Üreme Yönteminin Seçimi

İki makine çok iş probleminde en uygun üreme yöntemi, kısmi yapay seçim olarak belirlenmiştir. Çok makinalı çizelgeleme problemleri ile ilgili test edilen dört ayrı problemin tamamında, akış zamanlı üreme yöntemi en iyi sonucu vermiştir.

Literatürde kullanılan üreme yöntemlerinin temeli, rulet çemberi yöntemine dayanmaktadır. Bu yöntemin kullanımı esnasında, amaç fonksiyonu üzerinde dönüşüm yapılarak uygunluk fonksiyonu elde edilir, uygunluk fonksiyonuna göre bir sonraki nesilde yer alacak kromozomlar belirlenir (Min ve Cheng 1999). Seçim prosedüründe tercih edilen bir diğer yöntem, en iyi amaç değerine sahip kromozomların bir sonraki nesile geçmesini sağlamaktır. Bu yöntem en iyi strateji (Elitizm) olarak adlandırılır. Başlangıç popülasyonu da rassal yerine en iyi strateji yöntemine göre seçilebilir (Rubin ve Ragatz 1995).

Üreme yöntemlerinin test edilmesi sonucunda, akış tipi çizelgeleme problemlerinde, iki makina çok iş için kısmı yapay seçim ve çok makine çok iş problemleri için de akış zamanlı rulet çemberine dayalı üreme yönteminin seçilmesinin iyi performans vereceği belirlenmiştir.



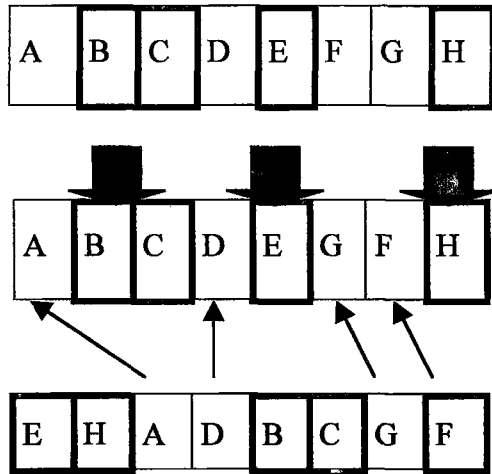
5 . ÇAPRAZLAMA OPERATÖRÜ SEÇİMİ

5 . 1 Akış Tipi Çizelgelemede Kullanılan Çaprazlama Operatörleri

Çaprazlama operatörü, GA'nın temel işlemcisi olup, genetik algoritmanın performansını büyük ölçüde etkiler. Akış tipi çizelgelemede genellikle bir ve iki noktalı çaprazlama yöntemi kullanılır (Cheng ve diğ., 1999a). Bu bölümde Çizelgeleme problemlerinde kullanılan çaprazlama yöntemleri açıklanmış ve akış tipi çizelgeleme problemlerine uygun çaprazlama yönteminin belirlenmesi için çok sayıda deneme yapılarak elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

5.1.1. Pozisyona Dayalı Çaprazlama

Şekil 5.1de görüldüğü gibi, rassal olarak seçilmiş pozisyonundaki işler, bir ebeveynden çocuğa kalıtsallaştırılır. Diğer ebeveyndeki sıradaki işlerin görünümündeki sırada diğer işler yerleştirilir. Pozisyonundaki sayılar, $[1, n]$ rassal tamsayılar olarak ilk olarak düzenlenir, daha sonra bu pozisyonlar rassal olarak seçilir, her pozisyonun çaprazlama olasılığı %50 dir (Murata ve diğ., 1996a).



Şekil 5.1 Pozisyona dayalı çaprazlama

5.1.2. Sıraya Dayalı Çaprazlama

İlk olarak Davis tarafından önerilmiştir (Cheng ve diğ., 1999b). Bu yöntemde bir grup nokta rasgele seçilir. Birinci kromozomun seçilen noktalara karşılık gelen karakterleri aynen yerlerini korur. İkinci kromozomun seçilen noktalara ait karakterleri birinci kromozomun aynı noktalarındaki karakterlerin önüne getirilir. Geriye kalan boş pozisyonlara ikinci kromozomdan aktarılan yeni karakterler de göz önünde bulundurularak ilk kromozomun kullanılmayan karakterleri tarafından sıra ile (soldan sağa) yerleştirilerek yeni bir kromozom elde edilir. Bu tür çaprazlama kromozomu oluşturan karakterlerin sayısı ve sıralarının önem taşıdığı durumlarda kullanılır. Bu çaprazlama işlemine ait birer çaprazlama örneği Şekil 5.2’de verilmiştir.

Çaprazlamadan		
	Önce	Sonra
Sıraya Dayılı Çaprazlama	A B C D E F G = = = =	A G C D E F B
	G F E D C B A = = = =	G A E D C B F

Şekil 5.2 Sıraya Dayalı Çaprazlama

5.1.3. Kısmi Planlı Çaprazlama (PMX)

Goldberg tarafından geliştirilen bu çaprazlama ilk olarak gezgin satıcı probleminde (TSP) kullanılmıştır (Goldberg, 1989). Bu yöntem Örnek 5.1’de gösterilmiştir.

Örnek 5.1 Kısmi planlı çaprazlama operatörünün prosedürünü göstermek için 8 iş problemi oluşturulmuştur. Çaprazlama için seçilen ebeveyn yapılar, A ve B olarak adlandırılmıştır. Yapıdaki elementler (5.1) ifadesinde verilmiştir.

$$\begin{aligned} A &= 2 \ 8 \ 6 \ 4 \ 5 \ 7 \ 1 \ 3 \\ B &= 8 \ 7 \ 2 \ 1 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \end{aligned} \quad (5.1)$$

A ve B’ ye PMX operatörü uygulanır ise, A ve B’den ortak bir aralık ilk olarak rassal bir şekilde seçilir, daha sonra, seçilmiş iki aralıktaki elementlerin planları belirlenir. Bu örnekte, seçilmiş aralıklar arasındaki plan 6’ya 2; 4’e 1 ve 5’e 3’tür. İkinci olarak, A ve B’ deki iki aralıkları değiştirilir. (5.2) ifadesindeki yapılar geçici sonuçlar gösterir.

Bir dizide aynı işten birden fazla olduğundan her iki yapının da uygun olmadığı belirlenir.

$$A = \begin{array}{cc|cc|cc} 2 & 8 & 2 & 1 & 3 & 7 & 1 & 3 \\ 8 & 7 & 6 & 4 & 5 & 4 & 6 & 5 \end{array} \quad (5.2)$$

Bundan dolayı, yeni yapılar uygun olmayan A ve B' de, seçilmiş aralıkların da, yerleştirilemeyen daha önceki adımda belirlenen elementlerin planının değiştirilmesi gerekir. Bu örnekte, A yapısının 1, 7 ve 8 pozisyonlarında; 2, 1 ve 3 ile sırasıyla 6, 4 ve 5 ile değiştirilir. Yeni yapı (5.3) ifadesinde gösterildiği gibi oluşturulur.

$$\begin{array}{l} A' = \begin{array}{cc|cc|cc} 6 & 8 & 2 & 1 & 3 & 7 & 4 & 5 \\ 8 & 7 & 6 & 4 & 5 & 1 & 2 & 3 \end{array} \\ B' = \end{array} \quad (5.3)$$

5.1.4. Dairesel Çaprazlama(CX)

Dairesel çaprazlama yöntemi de, Davis,Goldberg Ve Lingle tarafından geliştirilmiş bir yöntemdir. İşlem adımları örnek üzerinde gösterilmiştir(Goldberg, 1989).

Örnek 5.2 İki ayrı ebeveyn(kromozom) C ve D olarak kodlanmış ve (5.4) ifadesinde verilmiştir,

$$C = 9 \ 8 \ 2 \ 1 \ 7 \ 4 \ 5 \ 10 \ 6 \ 3 \quad (5.4)$$

$$D = 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 7 \ 8 \ 9 \ 10$$

Çaprazlama haritası yerine C kromozomundan(ilk bireyden) en sondaki değer seçilir,(5.5) ifadesindeki gibi,

$$C' = 9 \text{ -----} \quad (5.5)$$

C bireyinden ,9 değeri seçildiğinde, 9'un karşılığı ,D bireyinde 1 olmaktadır; C de 1 geni yerine yazılır, 1'in karşılığı D' de 4 olmaktadır, 4 geni yerine yazılır, (5.6)'daki ifade elde edilir.

$$C' = 9 \text{ -- } 1 \text{ -- } 4 \text{ -- } 6 \text{ --} \quad (5.6)$$

Kalan boşluklara diğer genler yazılır. Bu durumda yeni kromozomlar (5.7) ifadesindeki gibi olur,

$$C^I = 9\ 2\ 3\ 1\ 5\ 4\ 7\ 8\ 6\ 10 \quad (5.7)$$

$$D^I = 1\ 8\ 2\ 4\ 7\ 6\ 5\ 10\ 9\ 3$$

5.1.5. Doğrusal Sıralı Çaprazlama(LOX)

Falkenauer ve Bouffouix tarafından geliştirilmiştir. Dairesel çaprazlamanın bir varyantıdır. İşlem adımları Cheng ve diğ. (1999b),

1. Mevcut popülasyon içerisinde rassal olarak iki ebeveyn seç,
2. Seçilen bu iki dizi(kromozom) üzerinde rassal olarak iki alt dizi seç,
3. P₁ dizisinden seçilen alt diziyi kromozomdan kopar boş kalan yerlere H yaz, benzer şekilde P₂ dizisinde de aynı işlemleri gerçekleştir,
4. Birinci alt diziyi P₁'e ve ikinci alt diziyi P₂'e yerleştir.

5.1.6. Sıralı Çaprazlama (OX)

Bu yöntem, Davis, Goldberg ve Lingle tarafından geliştirilmiştir. İşlem adımları örnek 5.3'de gösterilmiştir (Goldberg, 1989).

Örnek 5.3 A ve B olarak kodlanmış iki kromozom, (5.8) ifadesinde verilmiştir.

$$\begin{array}{l} A = 9\ 8\ 4\ 5\ 6\ 7\ |\ 1\ 3\ 2\ 10 \\ B = 8\ 7\ 1\ 2\ 3\ 10\ |\ 9\ 5\ 4\ 6 \end{array} \quad (5.8)$$

Sıralı çaprazlama yöntemine göre, 5,6,7 genleri yerine; 2,3,10 genleri atanır ve A kromozomunda daha önce 2,3 ve 10 bulunan yerlere H yazılır, buna göre,(5.9) ifadesi elde edilir.

$$B = 8\ H\ 1\ |\ 2\ 3\ 10\ |\ 9\ H\ 4\ H \quad (5.9)$$

H yerine dizide olmayan işler eklendiğinde (5.10) ifadesindeki yeni kromozomlar bulunur,

$$\begin{array}{l} A^I = 5\ 6\ 7\ |\ 2\ 3\ 10\ |\ 1\ 9\ 8\ 4 \\ B^I = 2\ 3\ 10\ |\ 5\ 6\ 7\ |\ 9\ 4\ 8\ 1 \end{array} \quad (5.10)$$

5.1.7. Alt Değişimli Çaprazlama (SXX)

Kobayashi, Brady ve Mühlenbeim tarafından farklı zamanlarda yapılan çalışmalar ile gezgin satıcı problemi için geliştirilmiş bir çaprazlama yöntemidir. Bir iş sırası matrisinde, n iş, m makine probleminde $n \times m$ matris kodu yazılabilir, bu koddaki her bir gen bir iş operasyonuna karşılık gelmektedir. Operasyon şeklinde kodlanan çizelgeleme problemlerinde iki işlem adımı ile, SXX çaprazlama metodu kullanılır (Cheng ve diğ., 1999b). Önerilen çaprazlama yönteminin işlem adımları;

1. Her bir dizideki genleri makine bazında tanımlanır,
2. Dizideki her bir geni makine olarak değiştirip yeni nesiller oluşturulur.

5.1.8. İş Tabanlı Sıralı Çaprazlama

One ve arkadaşları tarafından geliştirilen bu yöntem, alt değişimli çaprazlama metodunun bir varyantıdır. Bu metodun geliştirilmesinin nedeni, iş çizelgelemede, bütün işlerin mutlaka çizelgede yer alması zorunluluğundan kaynaklanmaktadır. İş tabanlı sıralı çaprazlama, iş sıra matrisinin kodlanması şeklindedir. Aşağıdaki işlem adımlarından oluşur (Cheng ve diğ., 1999b);

1. Her bir makineden geçen iş kümeleri, kromozomlar üzerinde belirlenir,
2. Belirlenen işler, ilk çocuk için makine bağlı olarak ebeveynlerden kopyalanır, aynı işlemler ikinci çocuk için gerçekleştirilir.
3. Seçilmeyen işleri de dikkate alarak ilk çocuğun kromozomu, bütün genleri ile oluşturulur, benzer şekilde diğer çocuklar için de aynı işlemler gerçekleştirilir.

5.2 İki Makina Çok İş Problemi Analizi

Yukarıda tanımlanan çaprazlama operatörlerinden aşağıda sıralanan altı tanesi test problemlerinde kullanılarak akış tipi çizelgeleme problemlerinde hangi yöntemin daha iyi sonuç vereceği araştırılmıştır.

1. Pozisyona Dayalı Çaprazlama,
2. Sıraya Dayalı Çaprazlama,
3. Kısmi Planlı Çaprazlama(PMX),
4. Dairesel Çaprazlama(CX),

5. Doğrusal Sıralı Çaprazlama(LOX),

6. Sıralı Çaprazlama(OX)

Alt değişimli ve iş tabanlı çaprazlama yöntemleri, atölye tipi çizelgeleme problemlerinde kullanılmakta olup, akış tipi çizelgelemeye uygun değildir.

İki makine çok iş probleminde, birbirinden farklı 6 problem için toplam 900 adet deneme yapılmıştır. Denemelerde kullanılan işlem zamanları, 1-25 dakika aralığında rassal üretilmiştir. Problem 10'nun(2x20) işlem süreleri Tablo 5.1'de ve diğer problemlerin işlem süreleri EK-A'da verilmiştir.

Tablo 5.1. Problem 10'nun (2x20) İşlem Süreleri

	İşler																			
Makine	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
M ₁	8	14	11	10	6	8	20	9	4	2	8	15	23	2	19	1	17	11	6	18
M ₂	23	15	9	15	24	17	9	20	14	21	1	16	14	13	25	23	10	22	2	19

İki makine çok iş probleminde çaprazlama yöntemlerinin denenmesi sırasında sabit tutulan parametreler, Problem 10 için Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2 Problem 10 için parametreler

Çözüm Koşulları	
Başlangıç Populasyonu	10
Çözüme Giren Sabit Sıra	0
Üreme Yöntemi	Makine verimli Rulet çemberi
Çaprazlama Yöntemi	Değişken
Çaprazlama Oranı	%90
Mutasyon Yöntemi	Ters Mutasyon
Mutasyon Oranı	%90
Nesil Sayısı	600

İki makine ile ilgili elde edilen deney sonuçlarının detayları EK-D'de ve aritmetik ortalaması ile standart sapmaları, Tablo 5.3 de verilmektedir.

Tablo 5.3. Çaprazlama Yöntemleri Deney Sonuçları

Çaprazlama yöntemi	Problem 5 2x10		Problem 6 2x10		Problem 10 2x20		Problem 9 2x20		Problem 7 2x15		Problem 8 2x15	
	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ
PBX	72,70	65,22	12,48	16,26	59,36	68,14	16,32	27,96	48,64	61,35	37,96	38,74
OBX	74,88	60,40	8,84	8,79	10,48	13,82	6,76	10,66	16,16	21,33	12,00	11,62
PMX	78,56	71,31	28,96	40,57	72,64	74,02	19,48	30,79	39,2	56,09	15,88	21,20
CX	84,40	78,09	14,56	22,19	67,36	97,95	14,64	18,58	34,48	46,16	33,12	33,39
LOX	55,28	45,77	15,36	17,23	26,92	25,93	8,24	9,67	27,16	24,18	14,00	13,51
OX	28,68	27,79	8,12	6,57	5,12	5,11	3,72	4,730	7,36	8,21	7,56	6,46

Tablo 5.3’de de görüleceği gibi altı farklı ölçekteki problem için, en iyi çözüm değerini, sıralı çaprazlama(OX) yöntemi vermiştir. Bütün problemlerde sıralı çaprazlama yöntemi ile optimum çözüme ulaşılan nesil sayısının aritmetik ortalaması, ortalama on misli daha iyi sonuç vermiştir.

5.3 Çok Makine Çok İş Problemleri

Çok makine problemlerinde en uygun sonucu verecek çaprazlama yönteminin araştırılması için farklı ölçeklerde dört ayrı problem test edilmiştir. Deneme problemlerinden olan, Problem13’ün(5x10) işlem süreleri, 1-25 aralığında rassal üretilerek Tablo 5.4’de verilmiştir .

Tablo 5.4. Problem 13’ün İşlem Süreleri

	İşler									
Makine	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
M ₁	19	21	22	3	17	10	8	11	19	10
M ₂	10	7	14	9	16	14	9	14	15	14
M ₃	14	21	24	20	23	10	23	18	14	5
M ₄	6	10	23	7	24	11	18	5	8	22
M ₅	23	11	12	10	13	13	16	2	24	3

Çok makina problemlerinin çözümüne ilişkin parametreler problem 13 için Tablo 5.5’de verilmiştir.

Tablo 5.5. Problem 13 için çözüm parametreleri

Çözüm Koşulları	
Başlangıç Popülasyonu	40
Çözüme Giren Sabit Sıra	0
Üreme Yöntemi	Makine verimli rulet çemberi
Çaprazlama Yöntemi	Değişken
Çaprazlama Oranı	%90
Mutasyon Yöntemi	Ters Mutasyon
Mutasyon Oranı	%90
Nesil Sayısı	600

Problem 13 için 150 adet deneme sonucunda bulunan, En son işin en son makinadaki tamamlanma süresi, C_{max} değerleri, Tablo 5.6'da verilmiştir.

Tablo 5.6. Problem 13 İçin C_{max} Değerleri

No	Çaprazlama Yöntemi					
	PBX	OBX	PMX	CX	LOX	OX
1	197	201	202	197	200	197
2	203	199	204	205	201	200
3	198	202	199	197	200	199
4	200	201	200	197	198	194
5	200	202	198	203	203	197
6	197	201	199	197	197	200
7	200	198	199	200	200	197
8	194	196	199	197	203	200
9	200	202	198	197	199	200
10	197	202	198	199	194	199
11	200	199	200	202	203	201
12	200	203	202	201	199	202
13	195	199	199	197	197	200
14	202	200	198	199	204	200
15	197	201	204	198	197	200
16	199	202	202	199	202	202
17	199	201	200	202	200	199
18	200	197	196	197	199	198
19	199	200	197	200	197	200
20	198	200	199	201	201	199
21	199	199	200	198	200	204
22	198	200	197	200	197	197
23	198	199	198	198	200	200
24	202	197	199	196	203	197
25	198	202	202	199	202	199
Ortalama	198,8	200,1	199,5	199,04	199,84	199,24
S.Sapma	2,06	1,83	2,08	2,28	2,49	2,04

Tablo 5.6'daki değerlere göre bütün çaprazlama yöntemlerinin aritmetik ortalamaları birbirlerine çok yakın çıkmıştır. Aynı problem için bulunan nesil sayıları da Tablo 5.7'de verilmiştir.

Tablo 5.7. Problem 13 İçin Nesil sayıları

No	Çaprazlama Yöntemi					
	PBX	OBX	PMX	CX	LOX	OX
1	381	586	325	339	334	2
2	519	57	128	483	175	199
3	338	288	9	459	570	22
4	184	407	1	288	409	474
5	483	141	265	500	436	12
6	381	364	494	72	165	413
7	207	525	70	32	88	535
8	410	371	416	396	346	190
9	557	352	292	568	355	146
10	231	319	508	103	409	209
11	84	484	104	222	59	2
12	341	87	48	8	219	504
13	538	374	454	36	328	482
14	494	79	222	523	69	433
15	261	99	302	114	515	382
16	199	118	125	64	226	458
17	329	84	490	585	8	169
18	213	363	202	589	507	99
19	242	142	100	537	385	57
20	415	151	493	440	537	135
21	60	363	217	284	547	3
22	542	369	305	385	328	184
23	550	30	373	597	162	480
24	342	420	187	580	557	557
25	298	432	415	558	9	195
Ortalama	343,9	280,2	261,8	350,4	309,2	253,6
S.Sapma	146,1	164,4	163,2	181,5	181,5	195,3

Tablo 5.7'deki nesil sayıları dikkate alındığında, C_{max} değerleri farklı olduğundan karar vermek güçtür. dört ayrı problem için bulunan detaylı sonuçları EK-D'de ve C_{max} değerleri, nesil sayılarının aritmetik ortalamaları ile standart sapma değerleri de Tablo 5.8 ve Tablo5.9'da verilmiştir.

Tablo 5.8. Çaprazlama Yöntemleri Deney Sonuçları : 1

Çapraz yöntemi	Problem 11 3x10				Problem 12 4x10				Problem 13 5x10			
	C_{max}		Nesil sayısı		C_{max}		Nesil sayısı		C_{max}		Nesil sayısı	
	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ
PBX	171,04	0,2	91,56	65,73	168,76	2,259	118,64	85,88	198,80	2,06	343,96	146,12
OBX	171,00	0,0	70,60	62,49	168,28	2,150	93,52	73,32	200,12	1,83	280,20	164,45
PMX	171,04	0,2	60,76	46,94	168,84	2,303	115,04	97,99	199,56	2,08	261,80	163,28
CX	171,36	0,86	85,56	65,68	167,40	2,645	141,04	82,48	199,04	2,28	350,48	181,59
LOX	171,00	0,0	52,56	41,50	169,00	1,258	108,76	85,69	199,84	2,49	309,27	181,59
OX	171,24	0,83	77,24	57,84	168,60	1,443	97,80	82,77	199,24	2,04	253,68	195,34

Tablo 5.9. Çaprazlama Yöntemi Deney Sonuçları:2

Çaprazlama yöntemi	Problem 14 7x15			
	C_{max}		Nesil sayısı	
	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ
PBX	278,68	3,793	299,00	155,83
OBX	281,36	2,721	288,64	217,52
PMX	279,76	2,817	380,56	224,20
CX	280,52	3,595	316,68	200,62
LOX	278,96	3,246	283,20	173,23
OX	279,40	3,862	381,80	178,77

Tablo 5.8 ve Tablo 5.9'daki C_{max} değerlerinin ortalamaları ve nesil sayılarına bakılarak tüm problem ölçekleri için genelleştirilebilecek ve en iyi çözümü veren bir çaprazlama yöntemi önerilememektedir.

5.4 Uygun Çaprazlama Yönteminin Seçimi

Genetik Algoritmalarda kullanılan bir çok çaprazlama yöntemi olmasına rağmen, literatürde akış tipi çizelgeleme problemlerinde etkin olan çaprazlama yöntemine ilişkin herhangi bir öneri yapılmamıştır. Poon ve Carter gezgin satıcı(TSP) problemi üzerinde, çaprazlama yöntemlerinin denenmesine ilişkin bir çalışma yapmışlardır (Poon ve Carter, 1995).

Akış tipi çizelgeleme problemleri için çok makine denemelerinde elde edilen test sonuçları en iyi, C_{max} ve en kötü(en büyük) C_{max} değerlerine göre Tablo 5.10'da verilmiştir.

Tablo 5.10. En İyi ve En Kötü C_{max} Değerleri

Çaprazlama Yöntemi	Prob.11 3x10		Prob.12 4x10		Prob.13 5x10		Prob.14 7x15	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
PBX	171	172	163	171	194	203	271	287
OBX	171	171	163	171	196	203	274	285
PMX	171	172	163	172	196	204	274	284
CX	171	174	163	171	196	205	272	287
LOX	171	171	166	171	194	204	269	283
OX	171	174	166	171	194	204	266	285

Akış tipi çizelgeleme problemleri için test edilen altı adet iki makine ve dört adet çok makine probleminde oluşan en iyi çaprazlama yöntemi, Gen ve Cheng'in önerdikleri biçimde Gen ve Cheng (2000) elde edilen en iyi çözümler göz önüne alındığında, sıralı çaprazlama(OX) olarak bulunmuştur. Poon ve Carter'ın, çaprazlama yöntemlerinin test edilmesi konusunda, 1995 yılında yapmış oldukları dört farklı problem üzerindeki denemelerinde de, geliştirdikleri Birleşim Çaprazlama(UX) Yönteminden sonra en uygun çaprazlama yöntemi, Sıralı çaprazlama yöntemi(OX) olarak elde edilmiştir (Poon ve Carter, 1995).

Poon ve Carter'ın üzerinde çalıştığı Problemler;

1. Hamilton'un, 20 şehirli gezgin satıcı problemi,
2. Oliver'in 30 şehirli gezgin satıcı problemleri,
3. Dağıtım Çizelgeleme Problemi,
4. Fabrika Tasarım Problemi.

Akış tipi çizelgeleme problemi için hem iki makine çok iş, hem çok makine çok iş için yapılmış olan deneyler sonucu Poon ve Carter'ın çalışmalarına da paralellik gösterecek şekilde Sıralı çaprazlama yöntemi önerilmektedir.

6. MUTASYON OPERATÖRÜ SEÇİMİ

6.1 Mutasyon Operatörlerinin Belirlenmesi

Genetik algoritmalarda önemli rol oynayan faktörlerden biri de mutasyon operatörüdür. Mutasyon sıklığının belirlenmesi önemli bir faktördür. Doğal popülasyonlarda mutasyon oranı çok düşük olduğundan GA'da da genelde düşük seçilir (Goldberg, 1989).

Son on yılda çok çeşitli mutasyon yöntemleri geliştirilmiştir. İş çizelgeleme ile ilgili geliştirilen yöntemler Murata ve diğ. (1996b);

1) Ters Mutasyon:

Bir kromozomda rassal olarak iki pozisyon seçilir, bu iki pozisyondaki alt diziler ters çevrilir.

2) Komşu İki İş Değiştirme :

Şekil 6.1.(a)'da gösterildiği gibi rassal olarak seçilen iki komşu iş değiştirilebilir.

3) Keyfi İki İş Değiştirme :

Şekil 6.1(b)'de gösterildiği gibi rassal seçilen iki iş değiştirilebilir. Özel bir durum olarak, değiştirilebilen iki komşu işi bu mutasyon içerir.

4) Keyfi Üç İş Değiştirme :

Şekil 6.1(c)'de gösterildiği gibi rassal olarak seçilen üç iş keyfi olarak değiştirilir.

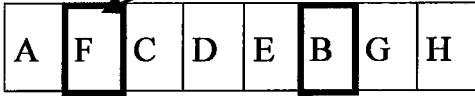
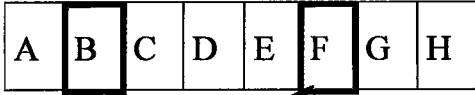
5. Araya İş Ekleyerek (Shift) Değiştirme :

Bu mutasyonda, Şekil 6.1(d)'de gösterildiği gibi bir operasyondaki bir iş kaydırılır ve diğer bir pozisyona konulur. Kaydırma noktası rassal olarak seçilir. Komşu iki iş değiştirmenin özel bir durumudur. Keyfi üç iş değiştirmeye bir kesişime sahiptir.

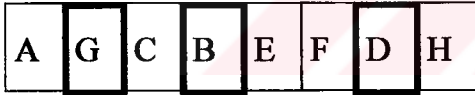
Bu bölümde akış tipi çizelgeleme problemlerinde en iyi performansı gösteren mutasyon yönteminin belirlenmesine çalışılacaktır.



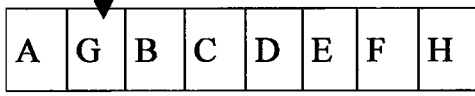
a. Komşu iki iş değiştirme



b. Keyfi iki iş değiştirme



c. Keyfi üç iş değiştirme



d. Araya iş ekleyerek değiştirme

Şekil 6.1 Farklı Mutasyon Operatörleri

6 . 2 İki Makina Çok İş Problemi için Uygun Mutasyon Yöntemi

Akış tipi çizelgeleme problemine uygun beş ayrı mutasyon yöntemi için 750 deneme yapılmıştır. Test edilen problemlerin işlem zamanları, 1-25 dakika aralığında rassal seçilmiştir. Problem 8'in işlem süreleri Tablo 6.1'de verilmiştir.

Tablo 6.1. Problem 8'in İşlem Süreleri

	işler														
Makine	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
M ₁	3	6	12	2	1	14	23	5	18	24	6	13	6	17	20
M ₂	1	25	2	13	19	21	22	2	16	7	25	14	6	23	14

Problem 8'in ve çözülen diğer problemlerin GA ile çözümünde kullanılan parametreler Tablo 6.2'de verilmiştir.

Tablo 6.2. Problem 8'in GA İle Çözüm Parametreleri

Çözüm Koşulları	
Başlangıç Populasyonu	10
Çözüme Giren Sabit Sıra	0
Üreme Yöntemi	Makine verimli Rulet Çemberi
Çaprazlama Yöntemi	Pozisyon Tabanlı Çap.
Çaprazlama Oranı	%90
Mutasyon Yöntemi	Değişken
Mutasyon Oranı	%90
Nesil Sayısı	450

Problem 8 için uygun mutasyon oranının bulunmasına yönelik, 25 denemenin sonuçları, aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 6.3'de ve hesaplanan diğer deney sonuçları EK-E'de verilmektedir.

Altı ayrı problemin, beş mutasyon yöntemi için test edilmesi sonucunda elde edilen aritmetik ortalama , standart sapma, bağıl hata ile çözüm oranı değerleri tablo 6.4' ve 6.5 de verilmiştir. Denemelerin bir kısmında optimum çözüme ulaşılammış, sadece optimuma yakın tamamlama süreleri(makespan) bulunmuştur. Bu tip denemeler için bağıl hata değeri ve çözüme ulaşma oranı hesaplanmıştır.

Tablo 6.3. Problem 8'in GA Nesil Sayıları Deney Sonuçları

Deneme Sayısı	Ters Mutasyon	Komşu iki işi değiştirme	Keyfi iki işi değiştirme	Keyfi üç iş değiştirme	Araya iş ekleme
1	36	155	123	1	29
2	31	1	188	15	21
3	1	145	1	1	37
4	1	175	61	2	53
5	1	256	2	23	1
6	111	287	1	22	50
7	26	67	127	8	48
8	69	33	1	41	1
9	1	2	1	2	46
10	1	89	1	64	1
11	4	1	55	67	4
12	7	1	1	38	54
13	14	34	1	23	1
14	7	298	161	83	13
15	26	35	1	5	4
16	6	1	33	1	26
17	1	310	1	6	1
18	5	108	50	3	1
19	6	393	34	35	1
20	56	1	36	26	3
21	56	33	9	37	70
22	19	232	33	9	45
23	1	19	157	28	2
24	10	1	136	6	39
25	1	196	38	6	19
Ortalama	19,88	114,92	50,08	22,08	22,80
S. sapma	27,35	121,45	60,68	22,84	23,64

$$\text{Bağıl Hata} = (\text{Kötü değer} - \text{İyi değer}) / \text{iyi değer} \quad (6.1)$$

Bağıl hata sıfır olduğunda elde edilen sonuçlar optimum 1'in altında olduğunda optimuma yakın, %1'i geçtiğinde optimum çözümden uzaklaşıldığını göstermektedir (Wang ve diğ., 1999).

Tablo 6.4' de, problem 5 için en iyi çözümü, beşinci mutasyon (araya iş ekleme) yöntemi vermesine rağmen optimum çözüme ulaşamamış ve bağıl hata değeri, 0,0140 çıkmıştır. Oysa problem 5'deki dördüncü mutasyon yönteminin optimum nesil sayısı 74,44 çıkmasına optimum çözüme ulaşılmıştır.

Tablo 6.4. Mutasyon Yöntemi Nesil Sayısı Deney Sonuçları : 1

Mutasyon yöntemi	Problem 5 2x10 ($C_{max}=138$)				Problem 6 2x10 ($C_{max}=162$)				Problem 7 2x15 ($C_{max}=233$)			
	$\bar{x}$	σ	hata	oran	$\bar{x}$	σ	hata	oran	$\bar{x}$	σ	hata	oran
Ters mutasyon	73,56	83,32	0,021	0,6132	13,00	14,34	—	—	35,00	54,78	0,004	0,0044
Komşu iki işi değiştir	95,44	98,28	0,195	—	54,60	74,94	—	—	41,04	93,83	0,0728	0,6950
Keyfi iki iş değiştir	93,80	83,30	0,007	0,1911	19,44	24,09	—	—	79,60	79,25	0,0042	0,17
Keyfi üç işi değiştir	74,44	73,77	—	—	7,76	7,17	—	—	15,24	18,34	—	—
Araya iş ekle	72,20	67,52	0,014	0,120	22,40	22,71	—	—	48,00	44,44	—	—

Tablo 6.5. Mutasyon Yöntemi Nesil Sayısı Deney Sonuçları : 2

Mutasyon yöntemi	Problem 8 2x15 ($C_{max}=211$)				Problem 10 2x20 ($C_{max}=313$)				Problem 9 2x20 ($C_{max}=296$)			
	$\bar{x}$	σ	hata	oran	$\bar{x}$	σ	hata	oran	$\bar{x}$	σ	hata	oran
Ters mutasyon	19,88	27,35	—	—	60,52	71,84	—	—	31,68	53,49	—	—
Komşu iki işi değiştir	114,92	121,4	0,023	1,577	18,12	54,09	0,0605	0,8041	42,04	74,92	0,057	0,61
Keyfi iki iş değiştir	50,08	60,68	—	—	57,16	82,39	—	—	31,88	42,54	—	—
Keyfi üç işi değiştir	22,08	22,84	—	—	29,92	36,43	—	—	16,48	20,94	—	—
Araya iş ekle	22,80	23,64	—	—	72,44	85,61	—	—	15,76	25,54	—	—

Bu nedenle problem 5 için en iyi çözümün dördüncü mutasyon yöntemi(keyfi üç iş değiştirme) olduğu kabul edilebilir. Tablo 6.4 ve 6.5’ deki beşinci, altıncı, yedinci ve onuncu problemlerde, en iyi sonucu, dördüncü mutasyon yönteminin verdiği görülmektedir.

Tablo 6.5’ de ikinci mutasyon yönteminin(komşu iki işi değiştirme) iyi sonuç verdiği görünse de bağıl hata değeri olduğundan, optimum çözüm veren dördüncü mutasyon yöntemi ikinci yönteme tercih edilecektir.

Problem 8’de beşinci yöntemin optimum çözüm değeri dördüncü yönteme çok yakın değerde olmasına rağmen, beşinci yöntemin standart sapması dördüncü yöntemden büyük olduğundan, dördüncü yöntem tercih edilir.

Sonuç olarak iki makine çok iş problemlerinde, keyfi üç iş değiştirme yöntemi, iyi performans göstermiştir.

6.3 Çok Makine Çok İş Problemi İçin Uygun Mutasyon Yöntemi

Çok makine ve çok iş problemleri için geçerli olan mutasyon yönteminin araştırılması için farklı ölçeklerde dört ayrı problem test edilmiştir. Her bir problem için 125 adet deneme yapılmıştır. Problemlerin işlem zamanları, 1-25 dakika arasında rassal seçilmiştir. Problem 14'ün işlem süreleri, Tablo 6.6'da verilmektedir.

Tablo 6.6. Problem 14'ün İşlem Süreleri

Makine	İş														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
M ₁	2	8	4	15	6	9	8	11	14	9	16	22	14	14	1
M ₂	16	16	20	15	8	14	24	18	3	1	1	17	8	17	9
M ₃	6	19	14	15	2	13	5	21	5	12	10	6	16	24	24
M ₄	18	22	2	21	22	3	24	8	22	6	17	21	5	1	5
M ₅	10	24	21	5	18	16	8	15	19	17	4	10	2	20	1
M ₆	5	11	5	17	19	6	2	12	12	20	15	1	17	22	20
M ₇	15	12	18	13	21	7	1	4	19	14	19	14	5	24	3

GA modelinde kullanılan çözüm parametreleri, problem 14 için Tablo 6.7'de gösterilmiştir.

Tablo 6.7. Problem 14'ün GA Çözüm Parametreleri

Çözüm Koşulları	
Başlangıç Popülasyonu	30
Çözüme Giren Sabit Sıra	0
Üreme Yöntemi	Makine verim.R.Ç.
Çaprazlama Yöntemi	Pozisyon Tabanlı Çap
Çaprazlama Oranı	%90
Mutasyon Yöntemi	değişken
Mutasyon Oranı	%90
Nesil Sayısı	700

Problem 14 için, 25 deneme sonucunda elde edilen C_{max} değerleri, aritmetik ortalama ile standart sapma değerleri Tablo 6.8'de verilmiştir. Problem 14 için bulunan nesil sayıları Tablo 6.9'da verilmiştir.

Tablo 6 . 8. Problem 14 için C_{max} Değerleri

No	Mutasyon Yöntemi				
	Ters Mutasyon	Komşu iki işi değiştirme	Keyfi iki işi değiştirme	Keyfi üç iş değiştirme	Araya iş ekleme
1	274	279	277	283	277
2	277	285	282	283	284
3	282	286	277	279	279
4	279	282	277	284	276
5	277	273	283	277	281
6	280	276	283	281	282
7	276	284	277	279	275
8	287	281	278	277	274
9	283	277	273	281	281
10	276	284	284	277	279
11	271	285	283	284	284
12	281	275	286	277	279
13	279	282	277	281	281
14	275	273	276	280	281
15	286	283	283	279	275
16	275	285	286	278	278
17	280	286	278	280	273
18	276	284	282	282	281
19	279	288	274	282	281
20	280	285	273	282	284
21	274	277	280	281	277
22	283	292	280	280	285
23	278	286	281	275	281
24	281	282	274	281	282
25	278	283	284	278	282
Ortalama	278,68	282,12	279,52	280,04	279,68
S.Sapma	3,79	4,74	3,99	2,40	3,32

Tablo 6.9. Problem 14 için nesil sayıları deney sonuçları

No	Mutasyon Yöntemi				
	Ters Mutasyon	Komşu iki işi değiştirme	Keyfi iki işi değiştirme	Keyfi üç iş değiştirme	Araya iş ekleme
1	258	501	24	172	23
2	441	329	423	462	134
3	175	674	206	499	530
4	332	43	592	188	295
5	541	655	228	401	533
6	281	147	52	61	662
7	41	501	691	272	584
8	289	21	202	433	392
9	652	81	552	152	194
10	574	205	319	110	20
11	45	149	552	99	536
12	391	6	661	58	469
13	405	258	444	532	8
14	134	386	643	501	281
15	128	432	481	162	162
16	280	621	404	377	142
17	178	545	109	402	347
18	328	432	250	440	255
19	177	1	396	581	29
20	219	464	562	596	386
21	454	533	337	149	263
22	257	483	335	130	402
23	259	2	382	205	290
24	238	582	164	641	413
25	398	684	35	27	124
Orta.	299	349,4	361,76	306	298,93
St.Sap.	155,83	236,90	201,42	194,07	191,03

Akış tipi çizelgeleme çok makine problemine uygun beş ayrı mutasyon yöntemi için 600 deneme sonucunda elde edilen aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri tablo 6.10 ve 6.11’de ve detaylı sonuçlar EK-E’de verilmiştir.

Tablo 6.10. Çok Makine Mutasyon Yöntemi Deney Sonuçları :1

Mutasyon yöntemi	Problem 11(3x10)				Problem 12 (4x10)				Problem 13(5x10)			
	Cmax		Nesil sayısı		Cmax		Nesil sayısı		Cmax		Nesil sayısı	
	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ
Ters mutasyon	171,04	0,2	91,56	65,73	168,76	2,25	118,64	85,88	198,80	2,06	343,96	146,12
Komşu iki iş değiştirme	171,00	0,0	62,44	54,11	169,04	1,83	117,88	91,92	200,72	1,64	304,76	168,88
Keyfi iki iş değiştirme	171,04	0,20	83,88	73,97	169,36	1,31	108,72	84,32	199,68	2,11	239,80	168,31
Keyfi üç işi değiştirme	171,08	0,27	80,52	74,86	168,12	1,92	114,92	63,51	199,04	1,90	247,68	181,35
Araya iş ekleme	171,12	0,33	77,88	65,74	168,16	2,13	127,24	94,72	199,04	1,36	279,28	175,67

Tablo 6.11. Çok Makine Mutasyon Yöntemi Deney Sonuçları : 2

Mutasyon yöntemi	Problem 14 7x15			
	Cmax		Nesil sayısı	
	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ
Ters mutasyon	278,60	3,79	299,0	155,80
Komşu iki iş değiştirme	282,12	4,74	349,4	236,90
Keyfi iki iş değiştirme	279,52	3,99	361,76	201,42
Keyfi üç işi değiştirme	280,04	2,40	306,00	194,07
Araya iş ekleme	279,68	3,32	298,93	191,03

6 . 4 Uygun Parametre Seçimi

Tablo 6.10 ve 6.11’deki sonuçlara göre, yalnızca C_{max} değerlerinin ortalamalarına bakıldığında problemlerin tümü için geliştirilebilecek bir mutasyon yöntemi belirlenememektedir. Problem 13 ve 14’de en iyi sonuç ters mutasyon yöntemi ile elde edilmiştir. Diğer yöntemlerin aritmetik ortalamaları birbirlerine çok yakın

çıkıştır. Problem 11 için komşu iki iş değıştirmenin, problem 12 için ise keyfi üç iş değıştirmenin iyi sonuçlar verdiği görölmektedir. Ancak her problem için her bir mutasyon yöntemiyle yapılan 25 denemeden elde edilen en iyi değörlere bakıldığında Gen ve Cheng (2000) bir genellemeye varmak mümkün olmuştur. Akış tipi çizelgeleme problemleri için çok makine denemelerinde elde edilen test sonuçları en iyi, C_{max} ve en kötü(en büyük) C_{max} değörlarına göre, Tablo 6.12’de verilmiştir.

Tablo 6.12. En İyi ve En Kötü C_{max} Değörlari

Mutas. Yöntemi	Prob.11 3x10		Prob.12 4x10		Prob.13 5x10		Prob.14 7x15	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Ters mutasyon	171	172	163	171	194	203	271	287
Komşu iki iş değıştirme	171	171	164	172	198	205	273	292
Keyfi iki iş değıştirme	171	172	166	171	197	204	273	286
Keyfi üç iş değıştirme	171	172	164	171	196	204	275	284
Araya iş ekleme	171	172	163	171	196	201	273	285

Tablo 6.12’deki, minimum değörlara göre en iyi C_{max} değörlari, ters mutasyon yönteminde elde edilmiştir. Sonuç olarak iki makine için keyfi üç iş değıştirmenin ve çok makine için de ters mutasyon yönteminin iyi performans vereceğı belirlenmiştir.

7. OPTİMUM ÇAPRAZLAMA ORANININ BELİRLENMESİ

7.1 Çaprazlama Oranının Önemi

Genetik Algoritmalarla ilgili literatürde, çaprazlama oranının yüksek olmasının, çözüme ulaşmadaki nesil sayısını azaltacağı ve performansı artıracağı bilinmektedir (Min ve Cheng, 1999).

Çaprazlama operatörünün tasarımında iki temel düşünce hakimdir (Cheng ve diğ., 1999a);

1. Çaprazlama işlemleri ile ebeveynler üzerinde çok az değişiklik yapmak.
2. Çaprazlama işlemleri ile diziler üzerinde büyük değişiklikler yapmak.

Bu bölümde akış tipi çizelgeleme problemleri için en iyi performansı gösteren çaprazlama oranının belirlenmesine çalışılmıştır.

7.2 İki Makine İçin Çaprazlama Oranı ($N/2/P/C_{max}$)

Akış tipi çizelgelemede iki makina problemlerinde etkin çaprazlama oranının belirlenmesine ilişkin, 2x5, 2x10 ve 2x20 ölçeğinde toplam altı adet problem üzerinde deneyler yapılmıştır. Her bir problemin işlem zamanları rassal olarak, 1-25 dakika arasında üretilmiştir. Problem 2'nin işlem zamanları Tablo 7.1'de verilmektedir.

Tablo 7.1. Problem 2'nin İşlem Süreleri

Makine	1	2	3	4	5
M ₁	9	7	24	22	5
M ₂	11	24	18	19	2

Problem 2'nin GA ile çözümünde kullanılan parametreler, Tablo 7.2'de verilmektedir.

Tablo 7.1'deki işlem süreleri ve 7.2'deki parametreler kullanılarak problem2 ile ilgili 25 adet deney sonucu Tablo 7.3'de ve diğer sonuçlarda EK-F'de verilmektedir.

Tablo 7.2. Problem 2 için Çözüm Parametreleri

Çözüm Koşulları	
Başlangıç Popülasyonu	10
Çözüme Giren Sabit Sıra	0
Üreme Yöntemi	Makine verimli rulet çemberi
Çaprazlama Yöntemi	Pozisyon tabanlı
Çaprazlama Oranı	Değişken
Mutasyon Yöntemi	Ters mutasyon
Mutasyon Oranı	%90
Nesil Sayısı	300

Tablo 7.3. Problem 2'nin Nesil Sayıları Deney Sonuçları

Deneme Sayısı	Çaprazlama Oranı									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
1	16	1	42	10	8	17	4	11	4	54
2	30	20	12	40	66	32	4	1	1	1
3	5	9	1	34	12	1	22	2	21	116
4	11	1	1	23	16	1	65	1	3	114
5	1	10	14	1	14	1	12	1	31	17
6	2	16	10	26	18	43	13	61	14	29
7	11	52	12	10	15	34	34	56	35	4
8	16	11	5	37	74	29	6	88	22	14
9	11	15	5	12	6	54	4	85	1	17
10	29	3	6	12	5	2	61	27	12	42
11	3	15	4	38	46	31	1	34	1	1
12	11	20	39	8	11	102	13	43	48	1
13	3	27	12	7	2	23	4	10	12	12
14	9	53	20	30	1	8	1	3	15	4
15	7	12	11	10	114	1	39	12	10	13
16	75	1	13	58	20	2	12	17	1	67
17	10	18	6	3	93	6	8	1	13	29
18	8	9	37	2	4	41	1	11	25	11
19	8	13	27	7	5	66	32	16	62	8
20	2	6	4	1	13	27	39	1	5	10
21	11	10	8	7	5	12	3	30	46	17
22	1	2	14	104	25	12	24	2	14	2
23	39	1	10	11	82	10	74	3	44	1
24	8	23	9	23	17	37	19	99	34	94
25	3	1	20	19	1	9	38	1	1	5
Ortalama	13,20	13,96	13,68	21,32	26,92	24,04	21,32	24,64	19	27,32
S. sapma	15,98	13,81	11,40	22,65	32,36	24,35	21,35	30,37	17,43	34,88

Çaprazlama oranının belirlenmesine ilişkin,, 2x5, 2x10 ve 2x20 ölçeğinde toplam altı adet problemin test edilmesi ile Tablo 7.4'deki değerler elde edilmiştir.

Tablo 7.4. Çaprazlama Oranı Nesil Sayıları Deney Sonuçları

Çapraz. oranı	Problem 1 2x5	Problem 2 2x5	Problem 3 2x10	Problem 4 2x10	Problem 9 2x20	Problem 10 2x20
	$\bar{x}$ σ	$\bar{x}$ σ	$\bar{x}$ σ	$\bar{x}$ σ	$\bar{x}$ σ	$\bar{x}$ σ
100	5,16 6,64	13,20 15,98	66,08 54,08	15,76 21,18	26,44 43,25	71,52 108,3
90	4,32 4,38	13,96 13,81	80,20 72,47	13,88 15,97	29,60 47,49	68,76 76,56
80	4,40 4,51	13,68 11,40	89,80 71,14	14,12 17,00	37,76 58,74	59,00 85,69
70	8,80 10,34	21,32 22,65	100,9 73,23	17,04 18,66	31,88 60,22	73,72 97,41
60	4,96 6,76	26,92 32,36	89,20 71,76	19,68 31,87	28,36 60,22	99,36 133,8
50	9,04 11,54	24,04 24,35	78,20 57,13	15,40 23,20	33,96 49,02	70,6 91,10
40	5,84 7,02	21,32 21,35	72,92 63,69	18,24 20,08	25,88 29,73	76,16 91,09
30	5,40 5,46	24,64 30,37	95,52 84,77	25,40 38,93	24,80 44,90	80,48 121,3
20	8,56 9,83	19,00 17,43	118,6 86,10	31,04 38,22	23,24 59,34	73,36 111,0
10	8,64 10,28	27,32 34,88	94,76 77,69	43,88 53,24	41,88 55,74	88,00 93,12

Tablodaki değerlerde, iki ayrı problemde(Prob2, Prob3) çaprazlama oranı 100 için en iyi çözüm elde edilmiştir. Problem 1 ve Problem 4' de ise en iyi çözüm, %90 çaprazlama oranında elde edilmiştir. Problem 10 da ise en iyi çözüm %80 çaprazlama oranında elde edilmiştir.

Farklı ölçeklerdeki altı farklı iki makine problemi için yapılan 1500 deneme sonucunda tüm problemlerde iyi performans gösteren tek bir çaprazlama oranı belirlenememiştir. Ancak akış tipi çizelgeleme problemlerinin GA ile çözümünde çaprazlama oranının yüksek(%80-%100) seçilmesi çözüm performansını artıracaktır.

7.3 Çok Makine İçin Çaprazlama Oranı

Çok makina problemlerinde çaprazlama oranının araştırılması için, dört ayrı problem üzerinde, toplam 1000 adet deneme yapılmıştır. Çıkan sonuçlar Tablo 7.5 ve Tablo 7.6'da verilmektedir.

Tablodaki değerlerde, Problem 11 için, % 90 ; Problem 12 için, %80 ; Problem 13 için % 70; Problem 14 için , %60 çaprazlama oranı ile en iyi çözüm elde edilmiştir.

Tablo 7.5. Çok Makine Çaprazlama Oranı Deney Sonuçları :1

Çapraz. oranı	Problem 11 3x10				Problem 12 4x10				Problem 13 5x10			
	Cmax		Nesil sayısı		Cmax		Nesil sayısı		Cmax		Nesil sayısı	
	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ
100	171,60	0,3741	80,44	67,62	168,68	1,819	100,12	75,72	200,00	1,471	192,60	140,00
90	171,04	0,2000	91,68	65,86	168,76	2,259	125,84	84,81	198,80	2,061	343,96	146,12
80	171,08	0,2768	83,64	61,78	168,40	1,607	138,28	95,79	199,72	1,720	234,88	196,39
70	171,20	0,5000	85,92	79,23	169,12	0,927	127,92	89,43	198,76	1,786	282,20	204,47
60	171,20	0,5000	69,00	49,76	169,04	1,925	133,68	93,22	199,28	1,904	260,68	160,40
50	171,68	0,9882	101,56	75,74	169,12	2,166	101,04	82,42	199,80	1,870	350,88	157,07
40	171,44	1,0033	103,88	79,73	169,24	1,614	100,76	81,09	199,96	1,925	296,24	196,32
30	171,72	1,1733	106,44	70,28	169,24	1,942	127,36	97,38	199,96	1,859	287,88	204,93
20	171,76	1,2342	118,40	68,83	168,16	2,838	127,96	97,83	200,48	2,678	256,48	192,01
10	172,44	1,6852	91,72	83,62	169,72	1,458	116,52	95,20	201,20	2,140	246,76	172,01

Tablo 7.6. Çok Makine Çaprazlama Oranı Deney Sonuçları :2

Çapraz. oranı	Problem 14 7x15			
	Cmax		Nesil sayısı	
	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ
100	279,52	4,537	331,84	211,66
90	280,24	3,443	311,32	185,09
80	279,72	3,758	347,56	199,20
70	279,52	4,243	296,20	202,05
60	279,32	3,363	402,64	185,58
50	280,52	3,938	248,80	204,38
40	279,68	3,826	261,32	219,45
30	279,60	4,898	284,32	186,45
20	279,56	4,744	340,08	219,20
10	282,16	2,838	343,96	222,41

Farklı ölçeklerde 1000 problem üzerinde yapılan testler sonucunda, akış tipi çok makine çizelgeleme problemlerinin GA ile çözümünde çaprazlama oranının yüksek(%60-%90) seçilmesi çözüm performansını artıracaktır.

7 . 4 Optimum Çaprazlama Oranının Belirlenmesi

İki makina çok iş problemleri için, 1500 ve çok makine çok iş problemi için 1000 adet deneme sonucunda , toplam 2500 adet test ile, çizelgeleme problemleri için çaprazlama oranının, %60-%100 arasında seçilmesinin uygun olacağı belirlenmiştir.Cheng,Gen ve Tsujimura tarafından önerilen düşüncelerden olan, çaprazlama işlemleri ile diziler üzerinde büyük değişiklikler yapılmasının Akış tipi çizelgeleme problemlerine uygun olacağı belirlenmiştir(Cheng ve diğ., 1999a).

Gen ve Cheng tarafından proje planlama konusunda yapılan, çaprazlama oranının test edilmesi çalışmasında, çaprazlama oranının artmasının, proje tamamlama süresini azalttığı belirlenmiştir. Akış tipi çizelgeleme problemlerin de de benzer sonuçlar çıkmıştır(Gen ve Cheng, 2000).

Chen, Vempati ve Aljaber'in, "Akış Tipi Çizelgeleme Problemleri İçin Bir Genetik Algoritma Uygulaması" çalışmalarında (7,10,15,25-iş; 4,5,8,10,15-makine problemlerinde) çaprazlama oranı, %100 , %95 ve %90 seçilerek deneyler yapılmış ve en iyi çözüm, %100 çaprazlama oranında elde edilmiştir (Chen ve diğ., 1995). Jain ve Bagchi'nin çalışmalarında, 15-makine, 49-iş probleminde, uygun çaprazlama oranı %70 elde edilmiştir (Jain ve Bagchi, 2000). Uygulama problemlerimizde, farklı ölçekteki problemler için çaprazlama oranının yüksek yani, %60-100 arasında seçilmesinin uygun olacağı belirlenmiştir.

8 . OPTİMUM MUTASYON ORANININ BELİRLENMESİ

Bu bölümde akış tipi çizelgeleme problemlerinin Genetik Algoritma ile çözümünde en iyi performansı gösteren mutasyon oranı araştırılmıştır.

8 . 1 İki Makine İçin Mutasyon Oranı ($n/2/P/C_{max}$)

Genetik algoritma uygulamalarında, mutasyon oranı genelde küçük seçilir (Wang ve diğ., 1999). Akış tipi iki makine çizelgeleme problemlerinde, mutasyon oranının optimum çözüme etkilerinin araştırılması için toplam 1500 adet örnek üzerinde yapılan deneyler sonucunda Tablo 8.1’ deki değerler elde edilmiştir.

Tablo 8.1. Mutasyon Oranı Deney Sonuçları :1

Mutasyon oranı	Problem 3 2x10 ($C_{max}=149$)				Problem 4 2x10 ($C_{max}=140$)				Problem 7 2x15 ($C_{max}=233$)			
	$\bar{x}$	σ	hata	oran	$\bar{x}$	σ	hata	oran	$\bar{x}$	σ	hata	oran
100	1,60	2,44	—	—	113,68	79,39	0,021	0,822	59,24	75,91	—	—
90	1,88	2,53	—	—	112,68	81,10	0,035	1,222	54,44	74,43	—	—
80	4,76	9,52	—	—	102,96	85,60	0,021	0,708	48,92	67,68	—	—
70	1,24	1,20	—	—	109,60	94,12	0,028	0,857	42,68	61,72	—	—
60	2,04	2,96	—	—	100,76	66,57	0,042	1,200	46,76	64,94	—	—
50	1,40	1,15	—	—	82,32	70,89	0,099	0,748	84,68	93,67	—	—
40	1,60	2,02	—	—	123,96	80,28	0,049	1,237	22,80	33,39	—	—
30	4,20	12,35	—	—	111,12	94,07	0,203	2,680	59,16	79,79	0,004	0,19
20	8,92	23,37	—	—	110,68	110,54	0,315	4,631	70,96	97,66	0,004	0,52
10	3,16	7,32	—	—	87,88	91,60	0,238	1,948	89,80	118,62	—	—

Tablo 8.2. Mutasyon Oranı Deney Sonuçları :2

Mutasyon oranı	Problem 8 2x15 ($C_{max}=211$)				Problem 9 2x20 ($C_{max}=296$)				Problem 10 2x20 ($C_{max}=313$)			
	$\bar{x}$	σ	hata	oran	$\bar{x}$	σ	hata	oran	$\bar{x}$	σ	hata	oran
100	27,04	45,38	—	—	29,96	51,62	—	—	70,64	73,35	—	—
90	26,40	28,04	—	—	17,60	33,09	—	—	30,32	49,16	—	—
80	90,12	100,55	—	—	24,60	38,92	—	—	39,56	47,73	—	—
70	41,80	43,21	—	—	19,24	39,04	—	—	24,44	30,50	—	—
60	62,08	78,33	—	—	14,92	22,46	—	—	60,48	95,33	—	—
50	94,24	96,01	—	—	38,76	56,78	—	—	90,40	133,04	—	—
40	99,84	127,77	—	—	36,12	52,94	—	—	67,28	132,40	—	—
30	77,48	115,80	0,0047	0,682	84,12	145,23	—	—	99,16	146,28	—	—
20	61,76	71,71	0,0094	0,408	23,36	59,87	0,0202	0,03	67,04	102,52	0,0031	0,0016
10	112,48	126,91	0,0047	0,560	37,52	56,45	—	—	139,44	166,54	0,0031	0,250

Tablo 8.1’de , Problem 3 için en iyi çözüm %70 mutasyon oranında elde edilmiştir. Ayrıca % 50 mutasyon oranında da iyi sonuç elde edilmiştir. Problem 4 için, en iyi çözüm, %50 mutasyon oranında elde edilmiştir. Problem 7’de en iyi çözüm %40 mutasyon oranında elde edilmiştir.

Tablo 8.2’de Problem 8’ de en iyi çözüm, %90 mutasyon oranında elde edilmiştir. Problem 9’da %60 oranında ve Problem 10’da %70 mutasyon oranında elde edilmiştir. Toplam 1500 deneme sonucunda elde edilen verilere göre akış tipi çizelgeleme problemlerinde çözüm kalitesini artıracak belirgin bir mutasyon oranı bulunamamıştır. Genel olarak mutasyon oranı %40- %70 arasında seçildiğinde optimum çözüme daha küçük nesillerde ulaşılacağı söylenebilir.

8.2 Çok Makine İçin Mutasyon Oranı ($n/m/P/C_{max}$)

Toplam 1000 adet örnek üzerinde yapılan testler sonucunda Tablo 8.3’ ve Tablo 8.4’deki değerler elde edilmiştir

Problem 11 için, % 60 Mutasyon oranı,

Problem 12 için, % 80 Mutasyon oranı,

Problem 13 için,% 90 Mutasyon oranı,

Problem 14 için, % 80 Mutasyon oranı iyi sonuç vermiştir.

Tablo 8.3. Çok Makine Mutasyon Oranı Deney Sonuçları :1

Mutasyon oranı	Problem 11 3x10				Problem 12 4x10				Problem 13 5x10			
	Cmax		Nesil sayısı		Cmax		Nesil sayısı		Cmax		Nesil sayısı	
	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ
100	171,04	0,20	81,92	69,39	168,96	1,306	152,28	89,78	199,2	2,06	268,70	158,99
90	171,04	0,20	91,56	65,73	168,76	2,259	118,64	85,88	198,8	2,06	343,96	146,12
80	171,08	0,27	87,60	72,70	168,48	2,501	146,52	101,45	199,16	1,49	364,56	199,33
70	171,04	0,20	98,00	67,26	169,96	2,244	116,96	94,00	199,36	1,28	277,00	184,32
60	171,00	0,00	83,08	74,51	169,04	1,593	103,72	91,17	199,40	1,50	281,32	197,57
50	171,04	0,20	67,00	64,07	169,04	1,767	105,88	88,19	199,20	1,75	261,48	185,78
40	171,28	0,73	80,96	75,45	169,24	2,165	143,04	92,00	199,60	1,60	231,84	167,58
30	171,32	0,85	88,28	73,22	169,40	1,825	131,56	91,19	199,76	2,52	321,16	154,16
20	171,32	0,80	69,32	63,67	169,92	2,119	129,88	85,99	199,24	1,58	335,24	178,82
10	171,24	0,80	88,88	77,14	170,24	2,570	145,64	109,31	199,12	1,90	266,92	174,31

Tablo 8.4. Çok Makine Mutasyon Oranı Test Sonuçları:2

Mutasyon oranı	Problem 14 7x15			
	Cmax		Nesil sayısı	
	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ
100	279,12	3,12	326,64	240,38
90	278,80	4,36	294,08	228,39
80	278,68	3,52	394,48	184,80
70	279,72	3,63	358,92	190,82
60	279,84	3,65	340,64	216,68
50	280,40	3,16	317,28	210,76
40	280,44	3,72	294,28	234,87
30	280,20	3,61	395,72	189,35
20	280,44	4,75	373,56	256,86
10	279,76	4,07	296,12	216,49

8.3 Uygun Oranın Belirlenmesi

Mutasyon oranı, doğal popülasyonlarda düşük olduğundan GA'da da düşük seçilmesi önerilmektedir. Ancak akış tipi çizelgeleme problemlerinde, mutasyon oranının çok düşük ve yüksek seçilmesi, iyi performans vermemektedir. Bu amaç için mutasyon oranı %1 seçilerek iki ve çok makine için Tablo 8.5'de verilen parametreler ile deneyler yapılmıştır.

Tablo 8.5. Mutasyon Oranı %1 için çözüm parametreleri

Çözüm Koşulları	
Başlangıç Popülasyonu	Problem ölçeğine Bağlı olarak Değişken
Çözüme Giren Sabit Sıra	0
Üreme Yöntemi	Makine verimli rulet çemberi
Çaprazlama Yöntemi	Pozisyon tabanlı
Çaprazlama Oranı	% 90
Mutasyon Yöntemi	Ters mutasyon
Mutasyon Oranı	% 1
Nesil Sayısı	Probleme bağlı olarak seçilir.

Tablo 8.5'deki çözüm parametreleri ile, 2-makine10-iş, 2x15, 2x20, 3x10, 4x10 ve 5x10 problemleri üzerinde toplam 40 adet deney yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar Tablo 8.6'da, detaylı sonuçlarda EK-G'de verilmektedir.

Tablo 8.6. Mutasyon Oranı %1 İçin C_{max} Deney Sonuçları

Problem No	Problem 2x10	Problem 2x15	Problem 2x20	Problem 3x10	Problem 4x10	Problem 5x10
Ortalama	140,825	234,525	315,1	173,775	174,3	209,725
S.Sapma	1,75	2,72	2,33	2,62	2,60	5,82

Tablo 8.6'daki veriler incelendiğinde, 2-mak, 10-iş probleminde, C_{max} değeri 138 olduğu halde; %1 mutasyon oranı için ortalama 140,82 hesaplanmıştır. Benzer şekilde, 2x15 probleminde $C_{max} = 233$ yerine 234,525 ve 2x20 problemlerinde de $C_{max} = 313$ yerine 315,1 hesaplanmıştır. Çok makine problemleri Tablo 8.3'deki ortalama değerler ile karşılaştırıldığında Tablo 8.7'deki veriler elde edilmektedir.

Tablo 8.7. Mutasyon Oranları Karşılaştırması

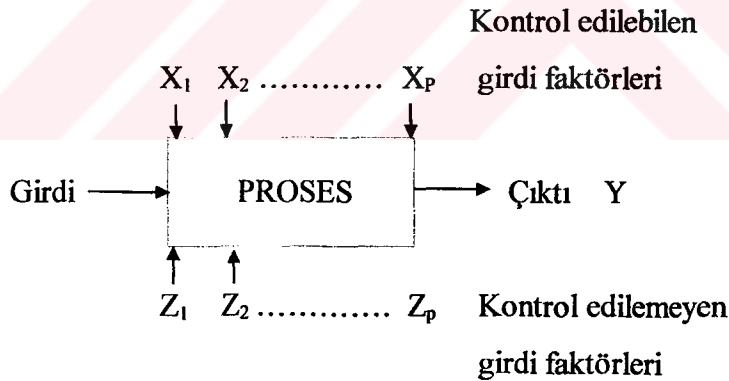
Mutasyon Oranı	Problem 3x10	Problem 4x10	Problem 5x10
%90	171,04	168,76	198,80
%80	171,08	168,48	199,16
%60	171,00	169,04	199,40
%01	173,77	174,30	209,72

Çok makine problemleri için Tablo 8.7'deki veriler incelendiğinde, mutasyon oranının %1 seçilmesi, büyük ölçekli problemlerde optimuma yakın sonuç vermemektedir. Çözüm uzayı büyüdüğünde düşük mutasyon oranı optimuma yaklaşma şansını azaltmaktadır.

9. GENETİK ALGORİTMALARDA PARAMETRE OPTİMİZASYONU İÇİN DENEY TASARIMI

9.1 Deney Tasarımı

Deney tasarımı bir deney serisi olup, bir prosesin girdi değişkenlerinin amaçlar doğrultusunda değiştirilip, prosesin gözlenmesi ve sistem çıktısındaki değişkenliklerin belirlenmesidir. Proses, insan, makine ve metot kombinasyonundan oluşan ve girdi bileşenlerini çıktı ürününe çeviren bir sistemdir. Genel bir proses modeli, şekil 9.1 de görülmektedir Taguchi ve Phadke(1989). Proses değişkenlerinin bir kısmı $X_1, X_2, \dots, X_p$ gibi kontrol edilebilen, bir kısmı da $Z_1, Z_2, \dots, Z_p$ gibi kontrol edilemeyen girdi faktörleri olabilir. Bu kontrol edilemeyenlere gürültü faktörleri denilmektedir.



Şekil 9.1 Genel Bir Proses Modeli

Bir deney tasarımının amaçları genel olarak şunlardır;

- 1) Çıktı üzerinde hangi faktörlerin en etkin olduğunu belirlemektir.
- 2) Çıktı değeri Y 'nin nominal değerine yakın olabilmesi için, önemli olan X kontrol edilebilen girdi faktörlerinin seviyelerini belirlemektir.
- 3) Kontrol edilemeyen değişkenlerin (Z) etkilerini en aza indirmek için, X faktörlerinin seviyelerini belirlemektir.

Deney tasarım metotları, bir prosesin istatistiksel olarak kontrol altında tutulması için de kullanılabilir. Örneğin, kontrol şeması, prosesin kontrol dışı olduğunu gösterdiğinde, prosesin tekrar kontrol altına alınması için hangi girdi değişkenlerinin önemli olduğunun belirlenmesi gerekir. Deney tasarımı ile proses üzerinde en etkili olan, kontrol edilebilir girdi faktörleri tespit edilebilir.

Deney tasarımı, imalat proseslerinin iyileştirilmesinde kullanılan kritik bir mühendislik aracıdır. Yeni proseslerin geliştirilmesinde de çok yaygın olarak kullanılır. Bu tekniklerin uygulanması proses geliştirmede aşağıdaki yararları sağlar,

- 1) Prosesin üretkenliğini artırır,
- 2) Nominal değerlere yakın sonuçlar verir,
- 3)Geliştirme zamanlarını kısaltır,
- 4) Maliyetlerde bir azalmaya neden olur.

9.1.1. Deney Tasarımı İle İlgili Kavramlar

1) Faktör :

Deney sonucunu etkileyen, kontrol edilebilen veya kontrol edilemeyen değişkenlere denir. Faktör belirli bir ölçü değerini, sıcaklık derecesini, zamanı gösterebilir veya kalitatif değeri farklı makine, farklı operasyon veya bir kumanda düğmesinin kapalı ya da açık olmasını gösterebilir.

2) Seviye (Versiyon):

Seviye, bir faktörün deney esnasındaki değerini gösterir. Ölçülebilen faktörlerin, seçilen bir değeri seviye olarak kabul edilir. Örneğin deney için seçilen faktörlerden biri sıcaklık ise ve deney için dört ayrı sıcaklık değeri kullanılıyorsa bu faktör dört seviyeli demektir. Eğer faktör kumanda düğmesi ise bu faktör açık ve kapalı olmak üzere iki seviyelidir.

3) Tek Seviye (Treatment):

Deney boyunca kullanılan tek faktörü ve tek seviyeyi göstermektedir. Örneğin 800 °C de deney yapılması, bir kumanda düğmesinin sürekli kapalı tutulması gibi.

4) Deney Malzemeleri :

Deney için kullanılan cisimler, malzeme veya düzenekler olabilir. Bunlar biyolojik girdi, doğal malzeme olabilir.

5) Deney Çevresi :

Deney koşullarını çevreleyen ve deney sonuçları üzerinde bilinen veya bilinmeyen bir etkiye sahip olan çevredir.

6) Blok (Block):

Bir deney programında, değişken kaynakları tarafından etkilenen faktörlerdir, ilk olarak tarımsal deneylerde kullanılmıştır.

7) Deney Tasarımı :

Belirli bir plana göre deney yapılması işlemidir. Deney tasarımında, deney sonuçları, faktörler, seviyeler, bloklar, deney için kullanılacak araçlar, deney planı ve rassallık belirlenir (Hunter ve Natrella, 1988).

9.1.2. Deney Tasarımının Adımları

A- Problemin genel durumu

- 1- Problemin genel durumu ile tanımlanması,
- 2- Ölçülebilir sonuçların belirlenmesi, değişken, sabit ve kontrol edilemeyen faktörlerin belirlenmesi,
- 3- Deney faktörlerine ait limit ölçü değerlerinin belirlenmesi,

B- Geçmiş bilgilere dayanarak veri toplanması,

C- Deney programının tasarlanması,

- 1- Faktörlerin seçimi ,
- 2- Faktörler için seviye sayısının seçimi,
- 3- Ölçüm metotlarının seçilmesi,
- 4- Örneklemme değişkenliğinin etkilerinin belirlenmesi,
- 5- Faktörler arasındaki etkileşimlerin belirlenmesi,
- 6- Zamanın, maliyetin, malzemenin, işgücünün, cihazların vb. ile hava gibi dış koşulların etkilerinin belirlenmesi,
- 7- Deney tasarımının ilk aşamasında, sistematik bir çizelge hazırlanması,
- 8- Deneyde kullanılan sabit nesnelerin minimize edilmesi,
- 9- İstatistiksel analiz metodunun seçilmesi,
- 10- Elde edilen verilerin düzenlenmesi,
- 11- Rapor hazırlanması.

9 . 2 Akış Tipi Çizelgelemede Kullanılacak Faktör ve Seviyeler

Akış tipi çizelgeleme problemlerinin GA' ile çözümünde, oluşturulan program yardımı ile, literatürde, GA'nın performansını etkilediği belirlenen altı ayrı faktör, 10250 adet örnek üzerinde test edilmiştir. Bu deneyler esnasında, GA'yı etkileyen bu faktörlerden beş tanesi sabit tutulup diğerleri değiştirilerek deneyler yapılmıştır. Bu bölümde, önceden bulunan sonuçların test edilmesi için, altı faktörün deney tasarımı metotları ile analizi yapılmıştır. Deney tasarımında kullanılacak faktör ve seviyeleri Tablo 9.1'de sunulmaktadır.

Tablo 9.1. Deney Tasarımı İçin Kullanılacak Faktör ve Seviyeler

Faktör no	Faktör	SEVİYE				
		1	2	3	4	5
1	Başlangıç popülasyonu	10	20	30	40	50
2	Üreme Yöntemi	Makine Verimli R.Ç.	Akış zamanlı R.Ç.	Yapay seçim	Kısmi yapay seçim	Ters Yapay Seçim
3	Çaprazlama Yöntemi	PBX	PMX	CX	LOX	OX
4	Mutasyon Yöntemi	Ters mutasyon	Komşu iki iş değiş.	Keyfi iki iş Değiş.	Keyfi üç iş Değiş.	Araya İş ekleme
5	Çaprazlama Oranı	15	35	55	75	95
6	Mutasyon Oranı	15	35	55	75	95

Programda kullanılan altı faktör, seviye sayısında homojenliği sağlamak amacıyla beş seviyeye indirilmiştir. Bu nedenle altı ayrı çaprazlama yöntemi olmasına rağmen en verimsiz olan, OBX yöntemi elenmiştir. Çaprazlama ve mutasyon oranı, seviyeleri 10 olmasına rağmen, ortalamaları alınarak beş seviyeye düşürülmüştür.

Bu altı faktörün etkileşimlerinin olmadığı kabul edilecektir. Her biri bağımsız faktörlerdir. Belirlenen faktörler arasında, kontrol edilemeyecek nitelikte(gürültü) faktörü bulunmadığından ikinci bir diziye ihtiyaç yoktur.

Deney tasarımı ile ilgili yapılan literatür araştırmasında, hazırlanmış ve test edilmiş ortogonal düzenlerin, çok faktör fakat maksimum dört seviye için olduğu belirlenmiştir.

Problemimiz, altı faktör beş seviyeli olduğundan uygun ortogonal düzen bulunamamıştır. Bu durumda, 2-makine x n-iş ve m-makine x n-iş problemleri için daha önceden bulunan en iyi iki seviyenin her bir deneyde kullanılmasına karar verilmiştir. 2xn Problemi için belirlenen seviyeler Tablo 9.2’de verilmektedir.

Tablo 9.2. Problem 2xn için Kullanılacak Faktörler ve Seviyeleri

Faktör no	Faktör	SEVİYE	
		1	2
A	Başlangıç popülasyonu	30	40
B	Üreme Yöntemi	Akış zamanlı(2) R.Ç.	Kısmi Yapay Seçim (4)
C	Çaprazlama Yöntemi	Sıralı Çaprazlama (OX-6)	Sıra Tabanlı Çap.(OBX-2)
D	Mutasyon Yöntemi	Keyfi üç iş değiş. (4)	Ters Mutasyon (1)
E	Çaprazlama Oranı	% 60	% 90
F	Mutasyon Oranı	% 40	% 70

Çok makine problemlerinde bulunan parametrelerin bir kısmı, iki makine problemlerinden farklı olduğu için, Çok makine problemleri için seçilen seviyeler Tablo 9.3’deki gibi farklı alınmıştır.

Tablo 9.3. Problem mxn için Kullanılacak Faktörler ve Seviyeleri

Faktör no	Faktör	SEVİYE	
		1	2
A	Başlangıç popülasyonu	40	50
B	Üreme Yöntemi	Makine Verimli (1) R.Ç	Akış zamanlı(2) R.Ç.
C	Çaprazlama Yöntemi	Kısmi Tabanlı Çap. (PBX-1)	Dairesel Çap.(CX-4)
D	Mutasyon Yöntemi	Ters Mutasyon (1)	Keyfi üç iş değiş. (4)
E	Çaprazlama Oranı	% 70	% 90
F	Mutasyon Oranı	% 60	% 80

9.3 Uygun Ortogonal Düzenin Seçimi

9.3.1.Serbestlik Derecesi

Ortogonal düzenin seçimi aşağıdaki iki esasa bağlıdır.

- 1- İlgilenilen faktör sayısı (seçilen) ve etkileşim sayısı,
- 2- İlgilenilen faktör sayısı için seviye sayısının belirlenmesi.

Bu iki esas deney için gerekli olan toplam serbestlik derecesini belirler. Her bir faktörün seviye sayısı,

$$V_A = k_A - 1 \quad \text{den bulunur,} \quad (9.1)$$

etkileşim için serbestlik derecesi,

$$V_{AxB} = (V_A)(V_B) \quad (9.2)$$

İki seviyeli faktörler için dizinin toplam serbestlik derecesi belirlenir. Faktörler arasında etkileşim olmadığı kabul edilir.

A.Faktör : $k_A - 1 = 2 - 1 = 1$

B.Faktör : $k_B - 1 = 2 - 1 = 1$

C.Faktör : $k_C - 1 = 2 - 1 = 1$

D.Faktör : $k_D - 1 = 2 - 1 = 1$

E.Faktör : $k_E - 1 = 2 - 1 = 1$

F.Faktör : $k_F - 1 = 2 - 1 = 1$

Toplam : 6

Toplam serbestlik derecesi altı olarak hesaplanmıştır. İki seviyeli ve altı serbestlik derecesine uygun Ortogonal Dizi L8 dir. Minimum deney sayısı 6 (serbestlik derecesi) ve iki seviyeli olan ortogonal dizi, L8 Tablo 9.4'de verilmiştir (Ross, 1989).

Tablo 9.4. L8 Ortogonal Dizi

Deney No	SÜTUN NO						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

9 . 4 İki Makine n İş Problemi İçin Deneyler

İki makine problemlerinden farklı ölçeklerde, 2x10, 2x15 ve 2x20 problemleri olmak üzere, daha önceden çözülen problemler deneye tabi tutulmuştur. L8 ortogonal diziye göre her üç problem için deney şartları Tablo 9.5’ deki gibi düzenlenmiştir. Tablo 9.5’deki deney şartları ile çözülen, 2x10 probleminin, optimum çözüme ulaşan nesil sayıları, aritmetik ortalama ve varyansları, Tablo 9.6’da ve diğer deney sonuçları EK-H’de verilmiştir.

Tablo 9.5. L8 Bağlı Deney Koşulları

Deney No	SÜTUN NO					
	A	B	C	D	E	F
1	30	Akış zam.	Ox	Keyfi üç iş	60	40
2	30	Akış zam.	Ox	Ters muta.	90	70
3	30	Kısmi yap.seç	OBX	Keyfi üç iş	60	70
4	30	Kısmi yap.seç	OBX	Ters muta.	90	40
5	40	Akış zam.	OBX	Keyfi üç iş	90	40
6	40	Akış zam.	OBX	Ters muta.	60	70
7	40	Kısmi yap.seç	ox	Keyfi üç iş	90	70
8	40	Kısmi yap.seç	ox	Ters muta.	60	40

Tablo 9.6. Problem 2x10 deney sonuçları

Deneme Sayısı	DENEY NO							
	1.deney	2.deney	3.deney	4.deney	5.deney	6.deney	7.deney	8.deney
1	2	20	23	35	3	11	18	52
2	72	16	33	124	5	19	25	44
3	3	10	73	22	15	1	5	7
4	11	6	38	38	1	3	19	81
5	1	3	48	70	10	2	37	1
6	16	1	81	29	7	13	1	52
7	14	2	3	69	29	5	2	3
8	9	17	1	10	12	6	12	1
9	12	8	63	2	2	26	1	149
10	7	13	117	42	6	18	3	72
11	18	2	18	1	2	1	26	30
12	1	1	216	29	9	14	52	6
13	2	1	1	28	1	9	43	151
14	14	1	91	1	13	24	70	14
15	5	11	3	1	4	6	14	11
16	18	29	2	35	1	4	13	6
17	2	2	147	14	21	32	14	41
18	1	12	59	1	5	7	4	1
19	43	2	2	128	8	1	2	9
20	3	4	3	29	14	5	1	5
21	1	19	60	37	6	1	5	38
22	1	10	1	1	8	10	36	100
23	12	1	29	144	38	3	24	16
24	21	6	55	1	21	6	1	1
25	11	1	1	29	6	15	8	18
Ortalama	12	7,92	46,72	36,8	9,88	9,68	17,44	36,36
S. sapma	15,665	7,6262	53,307	40,96	9,1575	8,5621	18,179	43,876
Toplam	300	198	1168	920	247	242	436	909

Tablo 9.6'daki verilere göre, 2. deneyde en küçük nesil sayısı, ortalama, 7,92 değeri bulunmuştur. En kötü sonuçlar da, üçüncü, dördüncü ve sekizinci deneylerde elde edilmiştir. 2x10 problemi için önceden yapılan deneyler sonucunda elde edilen aritmetik ortalama ve bağıl hata değerleri Tablo 9.7'de verilmektedir.

Tablo 9.7. Problem 2x10 İçin Diğer Deney Sonuçları

Deney no	Ortalama Nesil sayısı	Bağıl Hata
1	81,52	0,02
2	41,72	-
3	18,04	-
4	21,08	-
5	72,70	0,0072
6	74,88	-
7	78,56	-
8	84,40	-
9	55,28	-
10	28,68	-
11	73,56	0,021
12	95,44	0,195
13	93,80	0,007
14	74,44	-
15	72,20	0,014
16		

Tablo 9.7'deki veriler incelendiğinde 16 ortalama değerden en küçük nesil sayısı 18,04 bulunmuştur. Deney tasarımı örneğinde ise, Tablo 9.6'a göre, 7,92 değeri bulunmuştur. Nesil sayısında %44'lük iyileşme sağlanmıştır.

İki makine problemlerinde çözüm süresi, problem ölçeğine bağlı olarak, ortalama 36 sn dir. Deney tasarımı sonucunda ortalama işlem süresinin 16 sn olduğu gözlenmiştir. Tablo 9.5'deki deney şartlarına göre, 2x15 problemi için yapılan 200 adet deneme sonucunda elde edilen nesil sayısının aritmetik ortalaması ile standart sapması, Tablo 9.8'de verilmektedir.

Tablo 9.8. Problem 2x15 Deney Tasarımı Sonuçları

Deney no	1	2	3	4	5	6	7	8
Ortalama	2,96	2,24	3,00	4,60	1,72	1,96	2,00	2,28
Sapma	3,57	2,25	5,64	5,42	1,24	2,00	2,17	3,39

Tablo 9.8’deki sonuçlara göre, 5. deneyde en küçük nesil sayısına ulaşılmıştır. 2x15 problemi için daha önce yapılan 31 denemeden elde edilen aritmetik ortalama ve hata değerleri Tablo 9.9’da verilmektedir.

Tablo 9.9. Problem 2x15 İçin Diğer Sonuçlar

Deney no	Ortalama Nesil sayısı	Bağlı Hata	Deney no	Ortalama Nesil sayısı	Bağlı Hata
1	26,04	-	17	35,00	0,0042
2	15,96	-	18	41,04	0,072
3	4,64	-	19	79,60	0,004
4	2,52	-	20	15,24	-
5	1,60	0,0042	21	48,00	-
6	21,08	-	22	59,24	-
7	41,84	-	23	54,44	-
8	57,76	-	24	48,92	-
9	36,96	-	25	42,68	-
10	56,64	-	26	46,76	-
11	48,64	-	27	84,68	-
12	16,16	-	28	22,80	-
13	39,20	-	29	59,16	0,004
14	34,48	-	30	70,96	0,004
15	27,16	-	31	89,80	-
16	7,36	0,0042			

Tablo 9.9’daki verilere göre, 31 adet sonuçtan, 2 tanesi 5,00 değerinin altında çıkmıştır. Deney tasarımı ile yapılan çalışmada ise, 8 deneyden tamamı 4,60 değerinin altında çıkmıştır. 31 denemede 1,60 değeri elde edilmiş ancak bağlı hata değeri olduğu için, dikkate alınmamıştır.

Benzer şekilde, 2x20 problemi için de deney tasarımı yardımı ile elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması ve varyansı, Tablo 9.10’da verilmiştir.

Tablo 9.10. Problem 2x20 Deney Tasarımı Sonuçları

Deney no	1	2	3	4	5	6	7	8
Ortalama	1,88	1,16	4,04	6,72	1,72	2,32	2,00	1,32
S.sapma	1,90	0,37	6,51	11,72	1,74	6,39	2,46	1,21

Tablo 9.10’deki sonuçlara göre, en küçük nesil sayısı, 2. Deneyde 1,16 bulunmuştur. 2x20 problemleri için daha önce yapılan 41 denemenin aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri, tablo 9.11’de verilmiştir.

Tablo 9.11. Problem 2x20 İçin Diğer Sonuçlar

Deney no	Ort. Nesil sayısı	Bağlı Hata	Deney no	Ort. Nesil sayısı	Bağlı Hata
1	26,94	-	22	71,52	-
2	12,20	-	23	68,76	-
3	9,08	-	24	59,00	-
4	6,60	-	25	73,72	-
5	6,04	-	26	99,36	-
6	75,02	-	27	70,60	-
7	44,88	-	28	76,16	-
8	70,56	0,0062	29	80,48	-
9	44,68	-	30	73,36	-
10	84,00	-	31	88,00	-
11	59,36	-	32	70,64	-
12	10,48	-	33	30,32	-
13	72,64	-	34	39,56	-
14	67,36	-	35	24,44	-
15	26,92	-	36	60,48	-
16	5,12	-	37	90,40	-
17	60,52	-	38	67,28	-
18	18,12	0,060	39	99,16	-
19	57,16	-	40	67,04	0,0031
20	29,92	-	41	139,44	0,0031
21	72,44	-			

Tablo 9.11’deki verilere göre , 41 denemeden, 2 tanesinde 6,40 değeri elde edilmiştir. Deney tasarımı örneklerinde ise, 8 deneyin tamamında 6,72’ değerin den daha küçük nesil sayılarına ulaşılmıştır.

İki makine problemlerinde, performans kriteri olarak nesil sayısı seçilmiştir. Örneklerin büyük bir kısmında optimum çözüm elde edildiğinden tamamlanma zamanı (C_{max})

dikkate alınmamıştır. Nesil sayısı sonuçlarında, standart sapma miktarı büyük olduğunda, varyans analizine tabii tutulduğunda, F testine göre bütün faktörler önemli çıkmaktadır. Bu nedenden dolayı iki makine problemleri için varyans analizi yapılmamıştır.

9 . 5 Çok Makine Çok İş Problemi İçin Deneyler

Çok makine problemlerinden, daha önceden çözülen, 5x10 problemi deneye tabi tutulmuştur. L8 ortogonal diziye göre deney koşulları Tablo 9.12’ deki gibi düzenlenmiştir.

Tablo 9.12. L8 Bağlı Çok Makine Deney Koşulları

Deney No	SÜTUN NO					
	A	B	C	D	E	F
1	40	Makine verimli R.Ç	PBX	Ters mutasyon	70	60
2	40	Makine verimli R.Ç	PBX	Keyfi üç iş değiştirme	90	80
3	40	Akış zamanlı R.Ç	CX	Ters mutasyon	70	80
4	40	Akış zamanlı R.Ç	CX	Keyfi üç iş değiştirme	90	60
5	50	Makine verimli R.Ç	CX	Ters mutasyon	90	60
6	50	Makine verimli R.Ç	CX	Keyfi üç iş değiştirme	70	80
7	50	Akış zamanlı R.Ç	PBX	Ters mutasyon	90	80
8	50	Akış zamanlı R.Ç	PBX	Keyfi üç iş değiştirme	70	60

Tablo 9.12’deki deney koşullarına göre, 5x10 problemi için çözülen 200 adet denemenin sonuçları Tablo 9.13’de verilmiştir.

Tablo 9.13. Problem5x10 Deney Tasarımı Sonuçları

Deneme Sayısı	DENEY NO							
	C_{max}							
	1.deney	2.deney	3.deney	4.deney	5.deney	6.deney	7.deney	8.deney
1	198	197	204	202	198	197	199	202
2	199	197	200	203	197	197	203	197
3	200	194	204	205	198	194	201	203
4	197	197	203	206	199	197	202	198
5	200	197	199	204	198	198	199	199
6	197	197	205	203	200	198	204	203
7	197	198	204	200	200	198	202	201
8	201	197	206	206	199	200	203	203
9	194	197	203	201	202	195	199	205
10	197	197	203	206	202	194	194	203
11	197	197	199	202	198	194	202	201
12	201	199	201	200	198	194	198	198
13	197	199	202	203	200	195	201	202
14	196	196	203	195	198	194	199	204
15	196	199	204	204	197	197	200	200
16	194	197	207	206	199	197	200	201
17	194	197	202	204	197	197	200	200
18	194	196	200	203	197	197	200	203
19	197	197	203	198	199	199	199	200
20	196	197	206	204	199	198	200	204
21	198	197	200	200	198	201	197	202
22	194	197	202	200	198	196	204	197
23	194	197	205	203	199	197	200	200
24	201	197	205	206	201	194	199	202
25	195	198	197	202	199	198	200	200
Σ	4924	4928	5067	5066	4970	4916	5005	5028
Ortalama	196,96	197,12	202,68	202,64	198,8	196,64	200,2	201,12
sapma	2,3537	1,0132	2,4953	2,75196	1,41421	1,97652	2,21735	2,204541

5x10 problemi için elde edilen nesil sayıları Tablo 9.14’de verilmektedir.

Tablo 9.14. Problem5x10 Deney Tasarımı Nesil Sayıları

Deneme Sayısı	DENEY NO							
	1.deney	2.deney	3.deney	4.deney	5.deney	6.deney	7.deney	8.deney
1	572	41	120	130	106	232	299	551
2	44	414	253	458	77	86	242	312
3	129	21	51	73	599	154	338	381
4	21	561	97	253	412	520	563	545
5	319	3	338	491	301	88	282	179
6	584	231	19	4	3	217	387	419
7	239	329	311	23	38	515	285	262
8	323	236	58	357	104	407	184	80
9	541	106	181	368	584	493	396	401
10	515	315	167	422	572	129	462	291
11	259	137	253	456	593	531	198	424
12	165	472	583	281	280	592	599	411
13	10	410	57	338	338	93	135	268
14	302	137	596	257	478	502	39	207
15	501	149	109	72	226	103	280	427
16	439	373	344	76	255	510	35	18
17	418	194	576	568	512	224	284	21
18	149	447	46	186	236	404	275	334
19	33	255	531	132	505	162	51	354
20	546	385	487	86	551	231	414	405
21	155	297	380	131	135	106	157	86
22	362	491	452	527	15	402	338	583
23	576	526	388	459	57	107	284	445
24	536	506	580	230	125	38	53	228
25	142	161	297	253	14	557	1	209
Ortalama	315,2	287,88	290,96	265,24	284,64	296,12	263,24	313,64
S.sapma	198,36	167,39	195,65	171,080	213,520	189,442	159,614	158,1592

Problem5x10 için daha önce yapılan 41 denemeden sadece bir tanesinde, ortalama tamamlanma zamanı, 198 değerinin altında, 195,64 bulunmuştur. Deney tasarımı ile yapılan testler sonucunda, Tablo 9.13'deki C_{max} değerlerine göre 8 deneyden üç

tanesinde, 198 değerinden daha düşük $C_{\max}$ değeri bulunmuştur. En küçük $C_{\max}$ değeri, 196,64 hesaplanmıştır.

Problem 5x10'nun 200 adet denemesi için varyans analizi yapılmıştır. Faktörlere göre hesaplama yapıldığında, A faktörünün birinci kademe değeri, Tablo 9.13'den yararlanılarak (9.3) deki gibi hesaplanır:

$$A(1.kademe) = \sum C_{\max}(1.deney) + \sum C_{\max}(2.deney) + \sum C_{\max}(3.deney) + \sum C_{\max}(4.deney) \quad (9.3)$$

$$A(1.kademe) = 4924 + 4928 + 5067 + 5066 = 19985$$

A faktörünün ilk dört deneyi birinci kademede gerçekleştirildiğinden, ilk dört deneyin 25 deneme için $C_{\max}$ değerleri toplanarak kademe değeri bulunmuştur. Diğer faktörlerin kademe değerleri benzer şekilde hesaplanarak, Tablo 9.15'de sunulmuştur (Ross,1989).

Tablo 9.15. Faktör Kademeleri

Faktör		A	B	C	D	E	F	Toplam
Kademe	1	19985	19738	19885	19966	19935	19988	39904
	2	19919	20166	20019	19938	19969	19916	
	Σ	39904						

$$SS_A = \frac{(A_1 - A_2)^2}{N} = \frac{(19985 - 19919)^2}{200} = 21,78 \quad (9.4)$$

(9.4) ifadesine göre bütün faktörlerin birinci ve ikinci kademelerinin toplamalarının farklarının karesi hesaplanarak Tablo 9.16'da sunulmuştur.

Tablo 9.16. Faktörlerin Kareleri Toplamı

SS_A	SS_B	SS_C	SS_D	SS_E	SS_F	Toplam
21,78	915,92	89,78	3,92	5,78	25,92	1063,1

(9.4) ifadesine göre hesaplanan her bir faktörün kareleri toplamı Tablo 9.16'de verilmiştir. (9.4) ifadesi ile SS_T değeri (9.5) deki gibi hesaplanır.

$$SS_T = \sum_{i=0}^{200} y_i^2 - (T^2 / N)$$

(9.5)

$$SS_T = 7963608 - (39904^2 / 200) = 7963608 - 7961646 = 1962$$

$$S_0 = SS_T - (SS_A + SS_B + SS_C + SS_D + SS_E + SS_F)$$

$$SS_0 = 1962 - 1063 = 899$$

$$V_0 = v_T - (v_A + v_B + v_C + v_D + v_E + v_F) = 200 - 6 = 194$$

Varyans analizi sonuçları Tablo 9.17’de verilmiştir.

Tablo 9.17. Varyans Analizi Sonuçları

Faktörler	SS	v	V	$F_{10,1,6}$	$F_{05,1,6}$
A	21,78	1	21,78	3,78	5,99
B	915,92	1	915,92		
C	89,78	1	89,78		
D	3,92	1	3,92		
E	5,78	1	5,78		
F	25,92	1	25,92		
e	899	194	4,63		
T	1962	200			

Tablo 9.17’ye göre, $SS_A > F_{10,1,6}$ ($21,78 > 3,78$), %10 güven aralığında bütün hata faktörlerinin, tablo değerinden ($F_{10,1,6}$) büyük olduğu gözlenmektedir. Tablo 9.17’deki varyans analizi sonuçlarına göre, %90 güven aralığında, altı faktör de GA’nın performansını etkilemektedir.

Güven aralığı %95 olduğunda ise $SS_D < F_{05,1,6}$ ($3,92 < 5,99$), $SS_E < F_{05,1,6}$ ($3,92 < 5,78$) ve D(mutasyon operatörü) ve E(çaprazlama oranı) faktörleri hariç bütün faktörler etkilidir.

Tablodaki verilere göre GA'nın performansını en çok etkileyen faktörler sırası ile, üreme operatörü (tablo değerinden en büyük olan faktör olduğu için), çaprazlama operatörü, mutasyon oranı ve başlangıç popülasyonudur.

9.6 Parametre Optimizasyonunda Deney Tasarımı Sonuçları

Önceki bölümlerde yapılan deneylerde, faktörlerden beş tanesi sabit tutularak, sürekli bir tanesi değiştirilip uygun parametre bulunmaya çalışılmıştır. Altı faktörün de birbirinden bağımsız olduğu kabul edilmiştir. Deney tasarımı ile yapılan testlerde önceki deneylerden daha iyi sonuçlara ulaşılması, bu altı faktörün birbirlerini etkiledikleri sonucunu çıkartmıştır. Buna benzer bir sonuç, Cicerello Ve Smith'in Meta Seviyeli Genetik Algoritma yardımı ile parametre optimizasyonu çalışmalarında bulunmuştur (Cicerello ve Smith 2000). İki ve çok makineli problemlerde, 6. deney koşullarının genelde iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. Bu durumda akış tipi çizelgeleme problemlerinin genetik algoritma ile çözümünde Tablo 9.18 ve Tablo 9.19'daki sonuçlar önerilebilir.

Tablo 9.18. 2 Makine Problemleri İçin Önerilen Parametre Değerleri

Parametre	Değeri
Başlangıç Popülasyonu	30
Üreme Yöntemi	Akış Zamanlı Rulet Çemberi
Çaprazlama Yöntemi	Sıralı Çaprazlama
Mutasyon Yöntemi	Ters Mutasyon
Çaprazlama Oranı	%90
Mutasyon Oranı	%70

Tablo 9.19 Çok Makine Problemleri İçin Önerilen Parametre Değerleri

Parametre	Değeri
Başlangıç Popülasyonu	50
Üreme Yöntemi	Makine Verimli Rulet Çemberi
Çaprazlama Yöntemi	Dairesel Çaprazlama
Mutasyon Yöntemi	Keyfi Üç İş Değiştirme
Çaprazlama Oranı	%70
Mutasyon Oranı	%80

10 . SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Akış tipi çizelgelemede, iki makine, n iş problemleri için Johnson algoritması kullanarak optimum çözüme ulaşmak mümkündür. Makine sayısı 3 olduğunda, Johnson algoritması özel şartlarda optimuma ulaşmaktadır. Üçten fazla makine problemleri için optimum çözüme ulaşmayı garanti eden bir algoritma henüz geliştirilememiştir. Bu nedenle akış tipi çok makine problemlerinin çizelgelenmesinde çeşitli sezgisel yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin etkinliğini; optimuma yaklaşma derecesi ve çözüme ulaşma süresi belirlemektedir.

NP problemlerinin çözümü için, literatürde üç grup yöntem kullanılmaktadır (Goldberg,1989). Bunlar:

1. Hesaplama Tabanlı(Matematiksel) yöntemler,
2. Sayısal yöntemler(sayısal analiz),
3. Rassal arama metotlarıdır.

Akış tipi çizelgeleme problemleri için, hesaplama tabanlı çözüm metotları henüz mevcut değildir. Sayısal yöntemlerin kullanılması da çok zor ve zaman almaktadır. Örneğin, 10 iş probleminde $10!$ farklı iş sırası mevcuttur ve bunlardan biri veya birkaçı optimum çözüm vermektedir. Akış tipi çizelgeleme problemleri için en uygun metot rassal arama yöntemidir.

Genetik algoritma rastsal arama tekniklerini kullanarak çözüm bulmaya çalışan, parametre kottlama esaslı bir arama tekniğidir. Akış tipi çizelgeleme problemlerinde başarı ile uygulanan bir yöntemdir.

GA'nın akış tipi çizelgelemedeki performansının artırılması için,

- Başlangıç popülasyonu,
- Üreme yöntemi,
- Çaprazlama yöntemi,
- mutasyon yöntemi,
- Çaprazlama oranı,

-Mutasyon oranı parametreleri ile ilgili bir dizi deney yapılmıştır.

İki ve çok makine problemleri üzerinde yapılan denemelerde, Literatürdeki çalışmalara benzer şekilde, başlangıç popülasyonunun 40 seçilmesinin iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. Başlangıç popülasyonunun artırılmasının, arama uzayını büyüteceği kabul edilse de belirli bir değerden fazla büyümesi, optimum çözümden uzaklaşılmasına neden olmaktadır. Ayrıca başlangıç popülasyonunun büyümesinin, problemin çözüm süresini artırmasına rağmen sağladığı faydanın daha az olduğu gözlenmiştir.

GA da kullanılan üreme yöntemleri, rulet çemberi tabanlı metotlardır. “Kısmi yapay seçim” ve “ters yapay seçim” olmak üzere iki ayrı üreme yöntemi geliştirilmiştir. Bunlardan, “kısmi yapay seçim”, iki makine problemleri için iyi sonuç vermiştir. Çok makine problemleri için de “akış zamanlı rulet çemberi” yöntemi iyi sonuç vermiştir. Performans ölçütü olarak, tamamlanma zamanı(C_{max}) kullanıldığından, “akış zamanlı rulet çemberi” yönteminin iyi sonuç vermesi beklenen bir durumdur.

Çaprazlama yöntemi olarak, literatürdeki çalışmalara benzer şekilde, sıralı çaprazlama yöntemi iyi performans göstermiştir.

Mutasyon yöntemi olarak, iki makine problemleri için, “keyfi üç iş değiştirme” ve çok makine problemleri için “ters mutasyon” yöntemi iyi sonuç vermiştir. Bütün problemler için tavsiye edilebilecek bir mutasyon yöntemi belirlenememiştir.

GA modellerinde çaprazlama oranının yüksek olması genelde istenen bir durumdur. Akış tipi çizelgeleme problemlerinde, çaprazlama oranının yüksek olması, daha kısa sürede sonuca ulaştırmaktadır. Arama uzayı büyütüldüğünden, yüksek çaprazlama oranı, hızlı taramayı sağlamaktadır.

Mutasyon oranı, doğal popülasyonlar da düşük olduğundan GA’da da düşük seçilmesi önerilmektedir. Ancak akış tipi çizelgeleme problemlerinde, mutasyon oranının çok düşük ve yüksek seçilmesi, iyi performans vermemektedir.

İki makine problemleri için, GA modelleri alternatifli(birden fazla iş sıralı) optimum çözüm verdiği için Johnson algoritmasına tercih edilmelidir. Çözülen İki makinalı problemlerin tamamında optimum çözüm elde edilmiştir.

Akış tipi çizelgeleme problemleri, önerilen parametre kümesi ile iki seviyeli deney tasarımı yardımıyla çözüldüğünde önceki deneme problemlerinde bulunan sonuçlardan daha iyi değerlere ulaşılmıştır. Akış tipi çizelgeleme problemlerinde optimum veya optimuma yakın çözümler elde edebilmek için parametre setlerinin kullanılmasının daha yararlı olacağı belirlenmiştir.

Parametre optimizasyonu için yapılan deney tasarımında, GA'da kullanılan parametrelerin birbirlerinden bağımsız olmadıkları gözlenmiştir. Bundan sonra yapılacak olan çalışmalarda, işlem süreleri farklı aralıklarda seçilerek aynı parametreler test edilebilir. GA da parametre optimizasyonu, Atölye tipi çizelgeleme problemleri içinde gerçekleştirilebilir. Deney tasarımının, tabu araştırmaları ve markov geçiş olasılıkları(karınca sistemleri) yardımı ile gerçekleştirilmesinin, GA'nın çözüm performansını artıracığı beklenir.



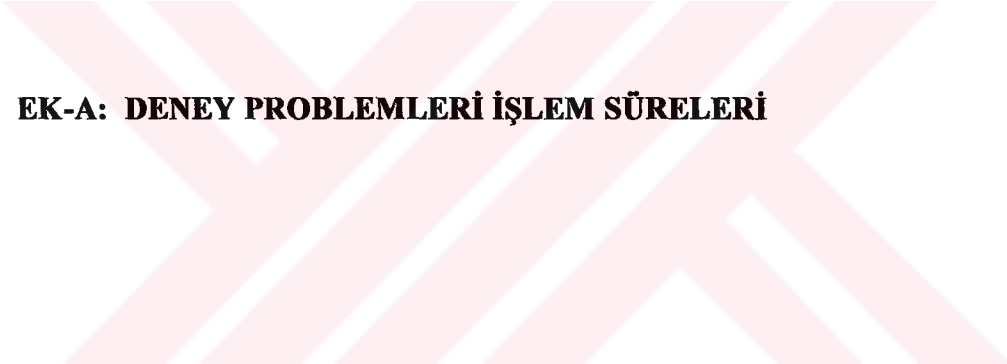
KAYNAKLAR

- ANONYMOUS**, 2000, Simulated Annealing Techniques, <http://informatics.org>.
- CHAN, L.M.A., MURIEL, A., LEVI, D.S.**, 1998. Parallel Machine Scheduling, Linear Programming And Parameter List Scheduling Heuristics, Operations Research, Vol.46, No.5
- CHEN, C.L., NEPPALLI, R.V., ALJABER, N.**, 1996, Genetic Algorithms Applied to the Continuous Flow Shop Problem, Computers and Industrial Engineering, vol 30, no:4, 919-929
- CHEN, C.L., VEMPATI, V.S., ALJABER, N.**, 1995, An Application of Genetic Algorithms for Flowshop Problems, European Journal of Operational Research 80, 389-396
- CHENG, R., GEN, M., TSUJIMURA, Y.**, 1999a, A Tutorial Survey of Job Shop Scheduling Problems Using Genetic Algorithms: Part I. Hybrid Genetic Search Strategies, Computers and Industrial Engineering 37, 51-55
- CHENG, R., GEN, M., TSUJIMURA, Y.**, 1999b, A Tutorial Survey of Job Shop Scheduling Problems Using Genetic Algorithms, Part II: Hybrid Genetic Search Strategies, Computers and Industrial Engineering 36, 343-364
- CHENG, R., GEN, M., TSUJIMURA, Y.**, 1996, A tutorial Survey of Job Shop Scheduling Problems Using Genetic Algorithms-I, Representation, Computers and Industrial Engineering Vol:30, No:4, 983-997
- CHOU, F.D., LEE, C.E.**, 1999, Two Machine Flowshop Scheduling with Bicriteria Problem, Computers and Industrial Engineering, 36, 549-564
- CICIRELLO, V.A., SMITH, S.F.**, 2000, Modeling GA Performance for Control Parameter Optimization, Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO 2000), July 8-12, 2000, Las Vegas, Nevada, USA
- CLEVELAND, G.A., SMITH, F.S.**, 1989, Using Genetic Algorithm to Schedule Flow Shop Release, Proc. 3rd Int. Conf. On Genetic Algorithms Applications, 160-169
- COLORNI, A., DORIGO, M., MANIEZZO, V., TRUBIAN, M.**, 1994, Ant System for Job Shop Scheduling, Belgian Journal of Operations Research Statistics and Computer Science

- CORREA,R.C.,FERREIRA,A.,REBREYEND,P.,1999,Scheduling Multiprocessor Tasks with Genetic Algorithms, IEEE Transactions on Parallel and Distrubuted Systems Vol. 10, No.8**
- CROCE,F.D.,TADEL,R.,VOLTA,G.,1995. A Genetic Algorithm for the Job Shop Problem, Computers and Operations.Research. Vol.22,No.1**
- DAĞLI,C., SITTISATHANCHAI,S.,1993, Genetic Neuro-Scheduler for Job Shop Scheduling, Computers and Industrial Engineering, Vol:25, NO 1-4, Pergamon**
- DASGUPTA,D.,FORREST,S.,1997,Artificial Immune systems in Industrial Applications, Department of Computer science Universty of Mexico**
- DAVIS,L.,1985, Job Shop Scheduling with Genetic Algorithm, In :Proceeding of the First International Conference on Genetic Algorithms, Hilsade, NJ, Lawrance Erlbaum, p 36-40**
- DEMİRSOY,A.,1988, Kalıtım ve Evrim, Hacettepe Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji BL.,Meteksan, ANKARA**
- DORNDORF,U.,PESCH,E.,1994,Evolution Based Learning in a Job Shop Scheduling Environment, Computers and Ops. Res.**
- FORREST,S.HOFMEYR,S.A.,2000, John Holland's Invisible Hand: An Artificial Immune System, Department of Computer Science, Universty of Mexico**
- FORREST,S.,JAVORNIK,B.,SMITH,R.,PERELSON,A.S.,1993, Using Genetic Algorithm to Explore Pattern Recognition in the Immune System, Department of Computer Science Universty of Mexico**
- FRENCH,S.1981, Sequencing and Scheduling, An Introduction to the Mathematics of the Job Shop, Ellis Horwood Pres,ENGLAND**
- GEN,M.,1996. Genetic Algorithms and Industrial Engineering, Computers and Industrial. Enginering, Vol.30, N.4, pp 835-837**
- GEN,M.,CHENG,R.,2000,Genetic Algorithms and Engineering Optimization , JOHN WILEY SONS, INC,USA**
- GHEDJATI,F.,1999,Genetic Algorithms for the Job-Shop Scheduling Problem with Unrelated Parallel Constraints: Heuristic Mixing Method Machines and Precedence, Computers and Industrial Engineering 37, 39-42**
- GILKINSON,J.C.,RABELO,L.C.,BUSH,B.O.,1995, A Real-Word Scheduling Problem Using Genetic Algorithms, Computer and Language , vol 29,No 1-4,177-181**
- GLOVER,F.,1989, Tabu Search Part 1, Orsa Journal On Computing**
- GOLDBERG,D.E.,1989.Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning, Addison Wesley Publishing Company,USA**

- GU,P.F.M,NAUMANN,D.H.N.,1997,** Object- Oriented Job Shop Scheduling Using Genetic Algorithms, Computers in Industry 32, 281-294
- HOU,E.S.H.,ANSARI,N.,1994,** A Genetic Algorithms for Multiprocessor Scheduling, IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, vol 15,no :2
- HUNTER,J.S.,NATRELLA,G.,1988,**Design and Analysis of Experiments, Juran's Quality Control Handbook, Section 26 , McGraw-Hill Book Company, Newyork,USA
- JAIN,N.,BAGCHI,T.P.,2000,**Hybridized Gas: Some New Results in Flowshop Scheduling , Modelling and Simulation (MS2000) International
- KUMAR,N.S.H.,SRINIVASAN,G.,1996,** A Genetic Algorithm for Job Shop Scheduling- A Case Study, Computers In Industry 32, 281-294
Conference at Pittsburg in May 2000, [http:// citeseer.nj.nec.com](http://citeseer.nj.nec.com)
- KURU,M.,1987,**Moleküler Biyoloji, Atatürk Üniversitesi Eğitim Fakültesi, Biyoloji Eğitimi Ders notları, ERZURUM
- LAW,A.M.,KELTON.,1991,** Simulation Modeling and Analysis, Mc Graw-Hill International Editions, USA
- MATURANA,F.,GU,P.,NAUMANN,A.,NORRIE,D.H.,1997,** Object-Oriented Job Shop Scheduling Using Genetic Algorithm, Computers In Industry,32
- MIN,L.,CHENG,W.,1999,** A Genetic Algorithm for Minimizing the Makespan in the Case of Scheduling Identical Parallel Machines, Artificial Intelligence in Engineering 13, 399-403
- MONMA,C.L., POTTS,C.N.,1993,** Analysis of Heuristics for Preemptive Parallel Machine Scheduling with Batch Setup Times, Operation Research, Vol.41, No.5
- MURATA,T., ISHIBUCHI,H., TANAKA,H.,1996a,** Genetic Algorithms for Flow Shop Scheduling Problems,Computers and Industrial Engineering vol.30, No.4, pp 1061-1071
- MURATA,T., ISHIBUCHI,H., TANAKA,H.,1996b,** Multi-Objective Genetic Algorithms and Its Applications to Flow shop Scheduling Computers and Industrial Engineering ,vol 30, No 4, pp 957-968
- MÜHLENBIEN,H.,SCHOMISCH,M.,BORN,J., 1991,** The Parallel Genetic Algorithm as Function Optimizer,Proceedings of the Fourth International Conference on Genetic Algorithm, Morgan Kaufmann Publishers, California, USA
- ORALER,G.,1990,** Genetik 1, İ.Ü, Fen Fakültesi, İstanbul
- ÖZTEMEL,E.,DÜĞENCİ,M.,1996,** Genetik Algoritmalarla Permütasyon Tipi İş Sıralama, Proceedings of The First Turkish Symposium on Intelligent Manufacturing Systems, 30-31 May : 428-437 Sakarya Universty, SAKARYA

- POON,P.W.,CARTER,J.N.,1995,** Genetic Algorithm Crossover for Ordering Applications, Computers Ops,vol,22, no:1
- REEVES,C.R.,1995a,** Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems, Mc Graw-Hill Book Company, UK
- REEVES,C.R.,1995b,**A Genetic Algorithms for Flowshop Sequencing, Computers Ops.Res., Vol.22, No.1, 5-13, Pergamon pres GREAT BRITIAN
- ROSS,P.J.,1989,**Taguchi Techniques for Quality Engineerig,McGraw-Hill Book Company, Newyork,USA
- RUBIN,P.A.,RAGATZ,G.L.,1995,** Scheduling in a Sequence Dependent Setup Environment with Genetic Search, , Computers Ops. Res., vol 22, no:1,85-99
- SİVRİKAYA, F.,1997,** A New Uniform Order-Based Crossover Operator For Genetic Algorithm Applications To Multi-Component Combinatorial Optimization Problems, Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İSTANBUL
- TAGUCHI,G.,PHADKE,M.S.,1989,**Quality Engineering Through Design Optimization, Quality Control, Robust Design and the Taguchi Method ,Edited by Khosrow Dehnad, Wadsworth and Brooks/Cole Advanced Books and Software Pasific Grove, California, ,USA
- WANG,D.,GEN,M.,CHENG,R.,1999,** Scheduling Grouped Jobs on Single Machine with Genetic Algorithm, Computers and Industrial Engineering 36, 309-324



EK-A: DENEY PROBLEMLERİ İŞLEM SÜRELERİ

Deneylerde kullanılan bütün problemlerin işlem süreleri, literatüre paralel biçimde üniform dağılıma göre [1-25] dakika aralığında rassal olarak seçilmiştir. İki makina, n-iş problemlerinin tamamlanma zamanları paskal programlama dilinde hazırlanan Johnson algoritması yardımı ile hesaplanmıştır.

Tablo A.1. Problem 1'in işlem süreleri, 2-makine; 5-iş

	İş				
Makine	1	2	3	4	5
M ₁	5	20	4	9	19
M ₂	8	11	16	3	5

Tamamlanma zamanı(C_{max}), Johnson algoritması ile 60 dakika hesaplanmıştır.

Tablo A.2. Problem 2'nin işlem süreleri, 2-makine; 5-iş

	İş				
Makine	1	2	3	4	5
M ₁	9	7	24	22	5
M ₂	11	24	18	19	2

Tamamlanma zamanı(C_{max}), Johnson algoritması ile 82 dakika hesaplanmıştır.

Tablo A.3. Problem 3'ün işlem süreleri, 2-makine; 10-iş

	İş									
Makine	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
M ₁	11	2	10	21	1	25	2	11	22	9
M ₂	12	24	14	22	8	2	25	22	13	24

Tamamlanma zamanı(C_{max}), Johnson algoritması ile 167 dakika hesaplanmıştır.

Tablo A.4. Problem 4'ün işlem süreleri, 2-makine; 10-iş

	İş									
Makine	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
M ₁	20	15	15	14	17	8	6	19	1	23
M ₂	16	4	18	3	2	19	18	18	23	17

Tamamlanma zamanı(C_{max}), Johnson algoritması ile 140 dakika hesaplanmıştır.

Tablo A.5. Problem 5'in işlem süreleri, 2-makine; 10-iş

	İş									
Makine	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
M ₁	8	24	8	21	14	18	10	11	2	18
M ₂	15	17	4	10	11	7	9	25	2	16

Tamamlanma zamanı(C_{max}), Johnson algoritması ile 138 dakika hesaplanmıştır.

Tablo A.6. Problem 6'nın işlem süreleri, 2-makine; 10-iş

	İş									
Makine	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
M ₁	16	24	16	17	21	5	19	10	12	22
M ₂	6	25	19	10	1	19	13	7	15	22

Tamamlanma zamanı(C_{max}), Johnson algoritması ile 162 dakika hesaplanmıştır.

Tablo A.7. Problem 7'nin işlem süreleri, 2-makine; 15-iş

	İş														
Makine	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
M ₁	20	14	2	23	9	15	25	16	15	3	1	20	2	16	8
M ₂	5	20	18	1	19	10	12	24	17	15	24	12	19	14	22

Tamamlanma zamanı(C_{max}), Johnson algoritması ile 233 dakika hesaplanmıştır.

Tablo A.8. Problem 8'in işlem süreleri, 2-makine; 15-iş

	İş														
Makine	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
M ₁	3	6	12	2	1	14	23	5	18	24	6	13	6	17	20
M ₂	1	25	2	13	19	21	22	2	16	7	25	14	6	23	14

Tamamlanma zamanı(C_{max}), Johnson algoritması ile 211 dakika hesaplanmıştır.

Tablo A.9. Problem 9'un işlem süreleri, 2-makine; 20-iş

	İş																			
Makine	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
M ₁	20	14	7	13	17	17	1	16	10	11	1	1	8	23	3	14	19	21	15	21
M ₂	6	24	11	2	19	2	17	10	14	24	24	25	4	2	22	7	16	16	25	25

Tamamlanma zamanı(C_{max}), Johnson algoritması ile 296 dakika hesaplanmıştır.

Tablo A.10. Problem 10'nun işlem süreleri, 2-makine; 20-iş

	İş																			
Makine	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
M ₁	8	14	11	10	6	8	20	9	4	2	8	15	23	2	19	1	17	11	6	18
M ₂	23	15	9	15	24	17	9	20	14	21	1	16	14	13	25	23	10	22	2	19

Tamamlanma zamanı(C_{max}), Johnson algoritması ile 313 dakika hesaplanmıştır.

Tablo A.11. Problem 11'in işlem süreleri, 3-makine; 10-iş

	İş									
Makine	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
M ₁	4	16	12	20	23	18	20	24	19	11
M ₂	11	12	22	14	5	2	24	13	4	21
M ₃	15	20	5	22	14	2	18	17	13	1

Minimum tamamlanma zamanı (C_{max}), genetik algoritma ile 171 dakika hesaplanmıştır.

Tablo A.12. Problem 12'nin işlem süreleri, 4-makine; 10-iş

	İş									
Makine	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
M ₁	4	22	12	20	10	17	2	19	14	13
M ₂	9	3	20	6	6	8	8	20	15	15
M ₃	15	1	4	6	9	24	9	2	20	13
M ₄	7	14	20	9	23	17	11	20	3	20

Minimum tamamlanma zamanı (C_{max}), genetik algoritma ile 163 dakika hesaplanmıştır.

Tablo A.13. Problem 13'ün işlem süreleri, 5-makine; 10-iş

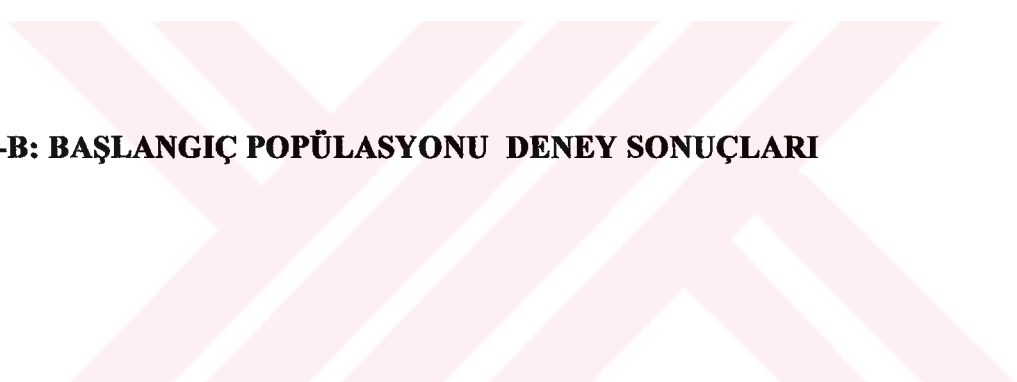
	İş									
Makine	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
M ₁	19	21	22	3	17	10	8	11	19	10
M ₂	10	7	14	9	16	14	9	14	15	14
M ₃	14	21	24	20	23	10	23	18	14	5
M ₄	6	10	23	7	24	11	18	5	8	22
M ₅	23	11	12	10	13	13	16	2	24	3

Minimum tamamlanma zamanı (C_{max}), genetik algoritma ile 194 dakika hesaplanmıştır.

Tablo A.14. Problem 14'ün işlem süreleri, 7-makine; 15-iş

	İş														
Makine	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
M ₁	2	8	4	15	6	9	8	11	14	9	16	22	14	14	1
M ₂	16	16	20	15	8	14	24	18	3	1	1	17	8	17	9
M ₃	6	19	14	15	2	13	5	21	5	12	10	6	16	24	24
M ₄	18	22	2	21	22	3	24	8	22	6	17	21	5	1	5
M ₅	10	24	21	5	18	16	8	15	19	17	4	10	2	20	1
M ₆	5	11	5	17	19	6	2	12	12	20	15	1	17	22	20
M ₇	15	12	18	13	21	7	1	4	19	14	19	14	5	24	3

Minimum tamamlanma zamanı (C_{max}), genetik algoritma ile 271 dakika hesaplanmıştır.



EK-B: BAŞLANGIÇ POPÜLASYONU DENEY SONUÇLARI

Tablo B.1. Problem 5'in Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Başlangıç popülasyonu				
	10	20	30	40	50
1	29	20	9	33	23
2	176	12	1	10	35
3	39	5	51	38	14
4	121	128	1	25	16
5	45	31	1	4	5
6	165	23	89	6	5
7	73	49	2	1	23
8	73	51	34	19	24
9	27	25	62	2	4
10	75	66	25	1	1
11	64	69	3	4	1
12	235	3	46	5	25
13	62	19	11	53	67
14	29	1	48	43	63
15	2	29	23	23	3
16	30	37	31	1	48
17	213	16	88	6	1
18	44	139	2	94	28
19	32	96	1	12	64
20	31	81	1	8	14
21	105	1	3	15	13
22	199	10	13	1	13
23	52	130	41	21	3
24	48	1	26	21	5
25	69	1	6	5	29
Ortalama	81,52	41,72	24,72	18,04	21,08
S. sapma	65,41	43,113	26,86	21,39	20,36

Tablo B.2. Problem 6'nın Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

	Başlangıç popülasyonu				
Deneme Sayısı	10	20	30	40	50
1	1	10	6	25	1
2	72	1	2	1	1
3	19	5	2	10	1
4	52	4	1	1	1
5	1	2	4	1	6
6	19	2	9	1	2
7	6	2	6	1	1
8	5	1	18	1	2
9	3	1	2	1	3
10	1	3	2	1	1
11	14	6	1	1	10
12	16	5	1	1	1
13	40	3	1	1	5
14	1	18	4	1	1
15	4	1	1	2	1
16	46	10	2	1	3
17	1	6	3	1	6
18	2	1	4	1	5
19	86	4	7	1	1
20	1	2	1	1	1
21	24	5	1	1	1
22	19	17	7	6	1
23	14	6	1	1	1
24	6	2	1	1	1
25	1	6	1	8	1
Ortalama	18,16	4,92	3,52	2,84	2,32
S.sapma	23,44	4,57	3,83	5,19	2,32

Tablo B.3. Problem 7'nin Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Başlangıç popülasyonu				
	10	20	30	40	50
1	1	1	31	3	1
2	58	16	1	1	1
3	125	1	1	1	1
4	2	14	1	1	1
5	1	24	23	1	1
6	1	1	1	1	1
7	1	43	3	3	1
8	6	67	1	1	1
9	51	22	3	1	1
10	69	1	1	1	1
11	25	124	1	2	1
12	1	6	1	1	1
13	1	1	1	1	4
14	1	3	1	1	1
15	18	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1
17	18	25	1	1	1
18	67	4	4	2	1
19	1	1	4	1	1
20	12	1	18	1	1
21	1	1	1	12	1
22	2	1	7	7	8
23	167	37	1	1	1
24	9	1	1	1	1
25	12	2	7	16	6
Ortalama	26,04	15,96	4,64	2,52	1,6
S.sapma	42,56	28,08	7,74	3,73	1,75

Tablo B.4. Problem 8'in Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Başlangıç popülasyonu				
	10	20	30	40	50
1	15	1	1	1	1
2	3	1	2	3	1
3	21	1	1	1	1
4	1	3	8	41	3
5	1	1	1	1	6
6	57	41	31	24	1
7	65	141	6	3	1
8	30	1	1	1	1
9	1	10	6	1	1
10	19	4	1	1	3
11	1	1	50	1	1
12	1	21	1	2	1
13	42	61	1	1	1
14	1	5	1	1	1
15	4	1	13	48	27
16	68	1	19	1	1
17	116	23	1	37	1
18	5	2	1	1	1
19	29	36	21	1	1
20	145	5	1	1	1
21	7	29	34	1	1
22	16	1	1	33	1
23	153	1	1	21	1
24	117	1	1	1	1
25	22	1	1	1	1
Ortalama	37,6	15,72	8,2	9,12	2,4
S. sapma	47,30	30,55	13,00	15,02	5,24

Tablo B.5. Problem 9'un Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Başlangıç popülasyonu				
	10	20	30	40	50
1	1	2	1	1	1
2	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1
4	61	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1
6	16	8	1	1	5
7	1	1	1	1	1
8	2	1	1	1	1
9	1	1	4	4	1
10	1	1	1	1	1
11	2	2	1	1	1
12	2	1	1	1	1
13	2	1	2	1	1
14	31	3	1	1	3
15	1	1	1	1	1
16	1	1	8	15	1
17	26	1	1	1	1
18	2	1	15	1	1
19	1	2	1	1	1
20	1	1	1	1	1
21	2	1	4	1	1
22	1	1	1	1	1
23	1	1	1	1	1
24	1	1	1	1	1
25	1	1	1	1	1
Ortalama	6,44	1,48	2,12	1,68	1,24
S.sapma	13,68	1,44	3,11	2,83	0,879

Tablo B.6. Problem 10'nun Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Başlangıç popülasyonu				
	10	20	30	40	50
1	97	41	1	1	1
2	2	1	1	1	28
3	26	1	1	1	1
4	89	105	1	1	1
5	1	1	37	1	1
6	1	10	1	1	1
7	1	1	1	1	1
8	1	5	49	1	1
9	3	2	1	1	1
10	17	1	1	16	1
11	1	67	1	1	1
12	1	1	1	1	1
13	95	1	1	1	4
14	1	1	1	56	1
15	1	42	66	1	1
16	111	1	20	1	1
17	8	1	1	2	38
18	1	1	1	1	1
19	201	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1
21	1	1	1	1	27
22	1	1	1	20	1
23	1	1	1	51	34
24	1	16	35	1	1
25	78	1	1	1	1
Ortalama	29,64	12,20	9,08	6,60	6,04
S. sapma	51,74	25,52	17,92	14,89	11,61

Tablo B.7.1. Problem 11'in Tamamlanma Zamanı(C_{max}) Deney Sonuçları

Deneme Sayısı	Başlangıç popülasyonu				
	10	20	30	40	50
1	174	171	171	171	171
2	174	171	171	172	171
3	174	171	171	171	171
4	171	171	171	171	171
5	172	171	171	171	171
6	171	171	171	171	171
7	171	171	172	172	171
8	171	171	171	172	171
9	171	171	171	171	171
10	171	171	171	171	171
11	174	171	171	171	171
12	171	171	171	171	171
13	171	171	171	172	171
14	173	171	171	171	172
15	172	173	171	171	171
16	172	171	171	171	171
17	174	171	171	171	171
18	171	171	171	171	171
19	174	171	171	171	171
20	174	172	171	171	171
21	174	171	171	171	171
22	171	171	171	171	171
23	172	171	171	171	171
24	171	173	171	171	171
25	173	171	171	171	171
Ortalama	172,28	171,2	171,04	171,16	171,04
S.sapma	1,33	0,57	0,20	0,37	0,20

Tablo B.7.2. Problem 11'in Deney Sonuçları(Nesil Sayısı)

Deneme Sayısı	Başlangıç popülasyonu				
	10	20	30	40	50
1	10	21	106	43	22
2	344	154	19	1	103
3	2	185	213	59	49
4	152	239	111	60	74
5	116	25	92	89	66
6	326	3	73	158	21
7	168	76	231	73	61
8	223	123	59	103	91
9	75	76	95	13	71
10	40	11	67	42	36
11	100	95	8	5	95
12	335	217	32	63	16
13	325	31	145	193	33
14	18	37	39	58	76
15	63	226	188	1	131
16	327	177	75	51	89
17	4	102	4	38	56
18	75	47	178	63	14
19	31	40	38	90	148
20	83	84	161	19	20
21	231	39	63	2	115
22	266	238	25	30	46
23	280	26	32	35	37
24	331	279	156	47	9
25	4	101	79	93	49
Ortalama	157,16	106,08	91,56	57,16	61,12
S.sapma	128,06	84,31	65,73	46,58	38,06

Tablo B.8.1. Problem 12'nin Tamamlanma Zamanı(C_{max}) Deney Sonuçları

Deney No	Başlangıç Popülasyonu				
	10	20	30	40	50
1	169	171	166	169	169
2	169	168	169	171	169
3	171	169	171	169	170
4	169	171	169	171	169
5	170	171	167	169	163
6	166	171	166	171	169
7	172	169	170	169	171
8	169	171	171	166	169
9	171	171	167	166	169
10	171	169	169	166	169
11	171	169	171	169	169
12	171	166	169	164	169
13	171	170	164	169	170
14	170	171	169	169	169
15	171	169	171	167	169
16	167	171	169	168	171
17	174	169	169	163	169
18	169	169	163	171	166
19	171	171	171	171	169
20	171	163	169	169	171
21	171	166	167	164	171
22	169	170	171	168	167
23	171	171	171	166	169
24	174	169	169	171	170
25	174	166	171	169	166
Ortalama	170,48	169,24	168,76	168,2	168,88
S.Sapma	1,91	2,08	2,25	2,38	1,78

Tablo B.8.2. Problem 12'nin Deney Sonuçları(Nesil Sayısı)

Deney No	Başlangıç Popülasyonu				
	10	20	30	40	50
1	297	202	163	79	50
2	131	171	63	14	16
3	30	137	84	21	40
4	75	120	182	4	190
5	148	115	244	29	124
6	392	174	59	10	102
7	188	35	30	78	17
8	168	8	51	37	1
9	272	235	173	128	21
10	114	288	8	181	45
11	25	147	11	32	1
12	314	171	285	66	1
13	88	102	274	151	125
14	2	50	185	237	98
15	54	146	21	12	120
16	286	83	198	40	22
17	69	226	166	35	1
18	165	11	119	36	35
19	65	116	43	51	102
20	249	322	216	238	52
21	201	240	98	146	7
22	183	139	57	144	60
23	210	48	156	142	165
24	204	314	60	132	27
25	183	167	200	179	9
Ortalama	164,52	150,68	125,84	88,88	57,24
S.Sapma	100,89	87,69	84,81	72,59	55,23

Tablo B.9.1. Problem 13'ün Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları

Deney No	Başlangıç Popülasyonu				
	10	20	30	40	50
1	200	205	197	202	199
2	199	200	198	198	199
3	200	201	200	201	198
4	207	197	202	200	197
5	197	202	199	201	198
6	202	201	203	204	199
7	204	199	200	197	200
8	202	203	199	201	196
9	201	202	200	200	202
10	202	199	199	197	196
11	199	202	197	202	199
12	206	200	197	200	201
13	198	203	202	200	199
14	200	201	200	198	195
15	204	200	199	202	199
16	204	197	200	202	198
17	200	194	201	198	200
18	204	199	197	199	200
19	201	200	200	201	201
20	200	204	202	201	200
21	201	195	201	200	200
22	199	194	197	197	201
23	198	197	201	199	199
24	202	199	198	200	199
25	200	206	202	198	201
Ortalama	201,2	200	199,64	199,92	199,04
S.Sapma	2,51	3,14	1,84	1,84	1,719

Tablo B.9.2. Problem 13'ün Deney Sonuçları(Nesil Sayısı)

Deney No	Başlangıç Popülasyonu				
	10	20	30	40	50
1	524	439	220	112	13
2	152	233	397	203	543
3	911	26	99	138	407
4	802	113	85	3	405
5	993	100	323	116	36
6	632	92	465	241	41
7	897	106	349	282	350
8	638	147	392	210	434
9	581	47	448	287	154
10	886	154	56	335	583
11	194	550	545	203	565
12	377	83	554	255	325
13	854	223	204	5	439
14	492	64	240	49	321
15	453	199	475	9	99
16	311	425	129	111	64
17	183	470	275	106	177
18	339	107	425	151	126
19	596	324	82	392	475
20	174	229	93	299	82
21	91	220	9	10	150
22	863	361	331	226	261
23	750	130	516	79	367
24	459	255	149	202	46
25	769	22	459	290	478
Ortalama	556,84	204,76	292,8	172,56	277,64
S.Sapma	277,13	147,74	171,44	111,54	187,63

Tablo B.10.1 Problem 14'ün Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları

Deney No	Başlangıç popülasyonu				
	10	20	30	40	50
1	282	283	274	282	276
2	279	283	277	283	278
3	282	280	282	276	275
4	278	280	279	287	281
5	286	277	277	276	279
6	288	272	280	272	276
7	281	277	276	279	275
8	287	284	287	281	282
9	277	278	283	279	278
10	272	281	276	283	278
11	286	279	271	279	281
12	282	284	281	280	281
13	280	274	279	284	273
14	283	284	275	280	275
15	288	280	286	281	279
16	279	282	275	277	280
17	284	284	280	273	281
18	289	280	276	278	283
19	288	282	279	282	270
20	288	283	280	281	281
21	287	283	274	282	279
22	281	282	283	279	281
23	287	281	278	282	280
24	282	283	281	283	280
25	275	285	278	279	276
Ortalama	282,84	280,84	278,68	279,92	278,32
S.Sapma	4,57	3,24	3,79	3,37	3,13

Tablo B.10.2. Problem 14'ün Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deney No	Başlangıç popülasyonu				
	10	20	30	40	50
1	325	104	258	525	200
2	787	95	441	331	56
3	77	38	175	437	407
4	479	663	332	321	240
5	119	1	541	569	244
6	820	343	281	545	129
7	72	628	41	184	483
8	772	692	289	212	373
9	892	242	652	132	415
10	110	318	574	45	449
11	514	270	45	256	439
12	756	44	391	355	481
13	437	66	405	510	290
14	162	158	134	505	357
15	465	90	128	136	228
16	219	299	280	25	34
17	3	681	178	284	323
18	323	319	328	258	423
19	317	72	177	315	400
20	461	597	219	17	105
21	598	295	454	50	411
22	715	112	257	312	436
23	104	594	259	112	25
24	459	734	238	276	313
25	352	159	398	316	96
Ortalama	413,52	304,56	299	281,12	294,28
S.Sapma	268,45	244,75	155,83	168,75	149,11



EK-C: ÜREME OPERATÖRÜ DENEY SONUÇLARI

Tablo C.1. Problem 3'ün Deneç Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Makine verimli Rulet emberi	Akış zamanlı Rulet emberi	Yapay seçim Yöntemi (50/50)	Kısmi Yapay Seçim Yöntemi (50/50)	Ters Yapay Seçim Yöntemi
1	1	37	1	1	1
2	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1
6	12	1	1	1	1
7	1	1	14	1	1
8	1	1	32	1	1
9	1	5	1	1	1
10	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1
12	1	1	24	1	1
13	1	10	1	1	1
14	1	1	1	1	1
15	18	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1
19	1	1	1	5	1
20	1	5	1	1	1
21	1	1	1	1	1
22	1	1	1	1	1
23	1	1	1	2	1
24	1	1	1	1	1
25	1	1	22	1	1
Ortalama	2,12	3,12	4,52	1,2	1,0
S.sapma	3,971	7,350	8,636	0,816	0

Tablo C.2. Problem 4'ün Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Makine verimli Rulet çemberi	Akış zamanlı Rulet çemberi	Yapay seçim Yöntemi (50/50)	Kısmi Yapay Seçim Yöntemi (50/50)	Ters Yapay Seçim Yöntemi
1	30	64	281	205	157
2	229	2	276	31	2
3	21	60	268	41	114
4	128	171	164	86	248
5	27	7	170	52	81
6	12	27	111	91	246
7	82	69	252	45	84
8	184	1	146	17	267
9	9	6	58	3	167
10	6	47	40	137	291
11	215	33	64	5	1
12	134	7	129	67	110
13	213	1	97	299	36
14	27	47	42	28	209
15	5	57	92	44	63
16	231	87	171	64	1
17	141	28	161	39	81
18	123	60	157	76	12
19	11	53	235	234	281
20	12	25	13	293	160
21	171	57	1	131	111
22	102	25	94	84	95
23	80	50	74	125	43
24	58	96	241	66	114
25	55	3	295	79	165
Ortalama	92,24	43,32	145,28	93,68	125,56
S.sapma	79,163	38,402	89,49	82,61	90,99

Tablo C.3. Problem 7'nin Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Makine verimli Rulet çemberi	Akış zamanlı Rulet çemberi	Yapay seçim Yöntemi (50/50)	Kısmi Yapay Seçim Yöntemi (50/50)	Ters Yapay Seçim Yöntemi
1	1	12	1	2	35
2	22	28	49	66	131
3	16	118	1	2	42
4	15	7	65	1	187
5	2	118	119	83	26
6	15	2	102	18	89
7	46	77	1	66	1
8	30	1	1	110	143
9	19	87	26	5	1
10	80	209	3	88	46
11	1	1	16	44	117
12	107	2	40	182	2
13	1	1	128	1	49
14	1	1	16	44	32
15	58	2	139	1	11
16	1	36	1	3	2
17	79	218	49	58	331
18	1	36	1	3	86
19	1	1	1	2	25
20	1	14	15	72	1
21	21	13	168	1	1
22	2	18	62	69	1
23	5	1	116	1	2
24	1	43	183	1	106
25	1	41	141	1	24
Ortalama	21,08	41,84	57,76	36,96	59,64
S.sapma	29,85	63,61	60,84	46,54	77,46

Tablo C.4. Problem 8'in Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Makine verimli Rulet çemberi	Akış zamanlı Rulet çemberi	Yapay seçim Yöntemi (50/50)	Kısmi Yapay Seçim Yöntemi (50/50)	Ters Yapay Seçim Yöntemi
1	1	5	163	1	25
2	20	44	13	26	3
3	69	258	1	121	125
4	87	232	266	19	304
5	1	4	53	1	39
6	1	73	50	13	13
7	3	47	331	5	143
8	2	110	1	28	73
9	141	4	154	1	8
10	16	325	65	152	2
11	1	35	62	11	181
12	2	5	3	1	169
13	56	2	137	24	6
14	1	18	377	61	37
15	1	1	95	154	258
16	22	15	210	64	44
17	34	71	1	6	1
18	165	17	237	21	311
19	101	10	51	47	1
20	2	59	28	20	1
21	1	1	126	56	1
22	1	221	227	1	83
23	201	142	1	70	1
24	24	1	1	25	230
25	16	19	1	1	240
Ortalama	38,76	68,76	106,16	37,16	91,96
S.sapma	57,29	93,436	112,43	45,28	106,092

Tablo C.5. Problem 9'un Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Makine verimli Rulet çemberi	Akış zamanlı Rulet çemberi	Yapay seçim Yöntemi (50/50)	Kısmi Yapay Seçim Yöntemi (50/50)	Ters Yapay Seçim Yöntemi
1	1	30	4	2	1
2	104	3	1	11	1
3	1	1	10	1	1
4	6	35	1	1	60
5	24	74	1	1	176
6	74	175	1	6	115
7	194	84	1	1	86
8	26	25	1	1	1
9	1	133	3	10	1
10	26	1	73	77	251
11	139	42	1	11	1
12	48	111	50	1	1
13	93	15	76	1	11
14	121	4	3	19	268
15	1	1	70	1	8
16	22	1	1	1	2
17	1	21	1	22	79
18	58	1	4	1	1
19	58	181	10	9	47
20	1	1	4	1	127
21	9	1	2	1	1
22	1	177	135	13	1
23	1	332	2	110	51
24	1	16	1	1	1
25	1	1	1	1	1
Ortalama	40,48	58,64	18,28	12,16	51,72
S.sapma	52,89	83,41	34,55	25,67	79,196

Tablo C.6. Problem 10'nun Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Makine verimli Rulet çemberi	Akış zamanlı Rulet çemberi	Yapay seçim Yöntemi (50/50)	Kısmi Yapay Seçim Yöntemi (50/50)	Ters Yapay Seçim Yöntemi
1	1	4	73	67	14
2	1	1	413	1	19
3	267	1	74	1	257
4	1	1	1	164	51
5	1	1	81	1	42
6	310	38	1	1	1
7	1	1	16	35	29
8	336	207	169	38	84
9	1	1	48	7	41
10	1	14	417	27	147
11	85	46	10	55	1
12	145	45	30	38	1
13	21	2	1	84	229
14	1	1	89	172	287
15	33	2	1	2	9
16	1	38	26	16	135
17	9	65	1	14	326
18	24	548	98	29	63
19	1	32	1	1	144
20	1	1	17	12	90
21	94	2	1	254	52
22	222	5	1	1	1
23	251	1	20	1	75
24	35	39	163	1	1
25	37	26	12	95	1
Ortalama	75,02	44,88	70,56	44,68	84,00
S.sapma	110,50	113,198	114,58	64,87	97,101

Tablo C.7.1. Problem 11'in Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları

Deneme Sayısı	Makine verimli Rulet çemberi	Akış zamanlı Rulet çemberi	Yapay seçim Yöntemi (50/50)	Kısmi Yapay Seçim Yöntemi (50/50)	Ters Yapay Seçim Yöntemi
1	171	171	173	175	174
2	171	171	178	174	174
3	171	171	173	172	176
4	171	171	174	174	174
5	171	171	177	174	172
6	171	171	180	171	171
7	172	171	171	171	171
8	171	171	174	175	171
9	171	171	174	175	183
10	171	171	173	171	174
11	171	171	175	173	178
12	171	171	172	172	180
13	171	171	178	172	174
14	171	171	174	173	181
15	171	171	175	174	181
16	171	171	174	174	174
17	171	171	171	175	171
18	171	171	174	171	174
19	171	171	171	171	183
20	171	171	174	171	181
21	171	171	171	173	178
22	171	171	172	172	174
23	171	171	171	176	174
24	171	171	171	171	173
25	171	171	176	174	178
Ortalama	171,04	171	173,84	172,96	175,76
S.sapma	0,2	0	2,47	1,61	3,87

Tablo C.7.2. Problem 11'in Deney Sonuçları(Nesil Sayısı)

Deneme Sayısı	Makine verimli Rulet çemberi	Akış zamanlı Rulet çemberi	Yapay seçim Yöntemi (50/50)	Kısmi Yapay Seçim Yöntemi (50/50)	Ters Yapay Seçim Yöntemi
1	106	21	226	126	207
2	19	1	26	159	148
3	213	30	157	128	23
4	111	29	44	209	88
5	92	9	93	165	176
6	73	8	1	100	190
7	231	46	54	76	196
8	59	24	236	46	222
9	95	8	137	183	103
10	67	35	189	3	14
11	8	18	14	1	80
12	32	20	122	42	1
13	145	7	141	33	55
14	39	18	210	20	200
15	188	22	207	58	84
16	75	4	37	219	43
17	4	59	176	145	90
18	178	11	30	33	99
19	38	17	5	184	90
20	161	32	89	15	1
21	63	42	227	185	152
22	25	72	45	107	23
23	32	14	113	145	87
24	156	9	232	128	1
25	79	18	187	97	4
Ortalama	91,56	22,96	119,92	104,28	95,08
S.sapma	65,73	17,30	81,33	68,08	73,07

Tablo C.8.1. Problem 12'nin Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları

Deneme Sayısı	Makine verimli Rulet çemberi	Akış zamanlı Rulet çemberi	Yapay seçim Yöntemi (50/50)	Kısmi Yapay Seçim Yöntemi (50/50)	Ters Yapay Seçim Yöntemi
1	166	163	171	171	173
2	169	169	174	171	175
3	171	166	171	171	175
4	169	169	174	169	173
5	167	163	167	169	175
6	166	163	171	167	173
7	170	169	171	171	173
8	171	169	169	163	169
9	167	169	169	174	173
10	169	169	169	169	170
11	171	166	171	166	174
12	169	164	169	167	171
13	164	163	171	171	177
14	169	169	174	172	172
15	171	169	174	169	172
16	169	163	169	171	177
17	169	169	171	171	173
18	163	163	171	171	171
19	171	163	172	166	171
20	169	166	166	169	163
21	167	164	171	168	172
22	171	163	174	171	176
23	171	164	169	174	172
24	169	167	171	172	169
25	171	163	169	171	169
Ortalama	168,76	165,8	170,72	169,76	172,32
S.sapma	2,25	2,69	2,17	2,55	2,99

Tablo C. 8.2. Problem 12'nin Deney Sonuçları(Nesil Sayısı)

Deneme Sayısı	Makine verimli Rulet çemberi	Akış zamanlı Rulet çemberi	Yapay seçim Yöntemi (50/50)	Kısmi Yapay Seçim Yöntemi (50/50)	Ters Yapay Seçim Yöntemi
1	163	225	234	90	19
2	63	251	29	66	1
3	84	200	43	22	5
4	182	10	58	1	130
5	244	100	33	169	1
6	59	110	85	46	131
7	30	187	290	46	145
8	51	24	219	251	66
9	173	32	257	85	229
10	8	140	16	192	75
11	11	181	246	66	104
12	285	274	117	16	57
13	274	42	162	86	1
14	185	59	27	271	85
15	21	16	166	77	185
16	198	69	109	94	213
17	166	5	84	258	180
18	119	236	72	37	11
19	43	251	197	292	1
20	216	22	202	136	25
21	98	196	22	126	85
22	87	154	115	64	187
23	156	139	56	74	203
24	60	93	239	66	120
25	200	135	52	247	240
Ortalama	127,04	126,04	125,2	115,12	99,96
S.sapma	84,00	86,71	87,73	87,61	81,01

Tablo C.9.1. Problem 13'ün Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları

Deneme Sayısı	Makine verimli Rulet çemberi	Akış zamanlı Rulet çemberi	Yapay seçim Yöntemi (50/50)	Kısmi Yapay Seçim Yöntemi (50/50)	Ters Yapay Seçim Yöntemi
1	199	197	202	203	204
2	201	194	200	203	208
3	201	197	198	203	200
4	199	194	201	207	209
5	198	195	205	202	209
6	201	197	205	209	204
7	201	197	197	207	212
8	195	194	207	203	198
9	196	195	208	200	208
10	198	197	203	201	206
11	202	194	203	197	207
12	197	194	204	206	210
13	202	196	204	203	207
14	199	194	198	202	201
15	200	197	207	204	207
16	203	197	206	206	205
17	199	197	202	206	198
18	202	197	206	204	207
19	199	197	206	205	210
20	199	194	200	199	201
21	199	197	205	203	202
22	199	197	202	209	207
23	197	195	208	199	207
24	200	194	201	202	199
25	199	194	200	201	210
Ortalama	199,4	195,64	203,12	203,36	205,44
S.sapma	1,95	1,41	3,20	3,03	4,06

Tablo C.9.2. Problem 13'ün Deney Sonuçları(Nesil Sayısı)

Deneme Sayısı	Makine verimli Rulet çemberi	Akış zamanlı Rulet çemberi	Yapay seçim Yöntemi (50/50)	Kısmi Yapay Seçim Yöntemi (50/50)	Ters Yapay Seçim Yöntemi
1	30	130	584	160	1
2	94	100	322	148	298
3	490	44	32	188	1
4	348	49	560	95	238
5	219	180	1	86	242
6	440	331	130	189	575
7	78	28	325	225	204
8	581	457	542	468	400
9	94	81	448	49	532
10	540	396	90	126	525
11	252	248	149	165	254
12	28	578	169	497	193
13	441	97	529	325	585
14	384	525	199	188	73
15	434	188	103	384	1
16	381	487	433	75	239
17	360	59	121	55	215
18	13	207	374	332	296
19	5	38	532	431	10
20	114	502	399	60	214
21	132	88	332	111	301
22	451	46	53	463	348
23	164	472	231	353	557
24	40	245	493	165	229
25	182	590	224	118	365
Ortalama	251,8	246,64	295	218,24	275,84
S.sapma	186,69	195,69	186,35	143,69	181,02

Tablo C.10.1. Problem 14'ün Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları

Deneme Sayısı	Makine verimli Rulet çemberi	Akış zamanlı Rulet çemberi	Yapay seçim Yöntemi (50/50)	Kısmi Yapay Seçim Yöntemi (50/50)	Ters Yapay Seçim Yöntemi
1	274	264	284	285	294
2	277	264	286	281	298
3	282	266	288	284	282
4	279	264	295	286	286
5	277	269	284	289	291
6	280	262	288	280	284
7	276	264	283	284	286
8	287	263	287	285	292
9	283	270	290	277	282
10	276	266	288	287	300
11	271	264	288	282	294
12	281	270	287	286	286
13	279	266	286	280	284
14	275	265	284	286	288
15	286	265	281	286	290
16	275	265	278	279	275
17	280	266	283	280	282
18	276	264	292	284	295
19	279	267	287	280	287
20	280	265	284	286	292
21	274	269	288	281	297
22	283	264	280	285	296
23	278	265	287	280	290
24	281	263	276	281	293
25	278	267	286	278	293
Ortalama	278,68	265,48	285,6	282,88	289,48
S.sapma	3,79	2,16	4,14	3,20	6,04

Tablo C.10.2. Problem 14'ün Deney Sonuçları (Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Makine verimli Rulet çemberi	Akış zamanlı Rulet çemberi	Yapay seçim Yöntemi (50/50)	Kısmi Yapay Seçim Yöntemi (50/50)	Ters Yapay Seçim Yöntemi
1	258	162	473	643	391
2	441	441	67	17	199
3	175	568	457	588	639
4	332	651	325	413	439
5	541	126	380	429	71
6	281	553	259	331	1
7	41	276	620	74	537
8	289	414	527	676	202
9	652	379	644	395	1
10	574	476	49	500	130
11	45	377	382	631	562
12	391	542	39	513	277
13	405	538	237	519	551
14	134	147	131	68	404
15	128	171	336	91	569
16	280	387	130	161	219
17	178	536	497	636	166
18	328	341	276	456	253
19	177	692	167	575	49
20	219	267	612	663	394
21	454	532	305	57	669
22	257	251	164	240	389
23	259	75	613	145	456
24	238	464	425	478	148
25	398	201	179	1	53
Ortalama	299	382,68	331,76	372	310,76
S.sapma	155,83	174,70	189,99	232,29	208,38

EK-D: ÇAPRAZLAMA OPERATÖRÜ DENEY SONUÇLARI

Tablo D.1 Problem 5'in Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Pozisyona dayalı	Sıra Tabanlı	Kısmi Çaprazlama	Dairesel Çaprazlama	Doğrusal Sıralı	Sıralı Çaprazlama
1	75	136	7	93	89	50
2	1	25	21	8	116	42
3	2	51	36	23	48	9
4	1	34	216	189	21	3
5	4	71	46	25	43	17
6	2	19	119	170	10	15
7	110	226	138	218	38	19
8	228	88	26	4	16	2
9	84	163	22	5	60	103
10	40	38	217	33	62	26
11	105	100	27	103	16	46
12	1	33	83	1	8	20
13	68	127	120	51	45	7
14	65	1	147	46	30	64
15	74	174	1	75	1	14
16	98	53	102	120	5	9
17	2	14	126	172	88	6
18	64	43	1	142	181	36
19	130	15	26	54	56	75
20	132	131	200	41	36	61
21	74	10	29	46	22	13
22	79	116	172	1	100	69
23	250	8	24	133	67	2
24	67	104	52	297	152	5
25	62	92	6	60	72	4
Ortalama	72,7	74,88	78,56	84,40	55,28	28,68
S. sapma	65,228	60,40	71,31	78,09	45,77	27,79

Tablo D.2. Problem 6'nın Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Pozisyona dayalı	Sıra Tabanlı	Kısmi Çaprazlama	Dairesel Çaprazlama	Doğrusal Sıralı	Sıralı Çaprazlama
1	46	3	12	17	35	8
2	3	4	63	38	25	2
3	1	1	1	2	3	15
4	24	12	5	1	11	4
5	6	6	28	8	1	1
6	29	9	26	14	2	1
7	10	5	1	1	13	10
8	2	2	2	2	49	7
9	1	20	21	8	34	4
10	37	2	30	4	6	3
11	1	4	24	87	13	7
12	1	4	1	51	17	14
13	19	1	12	1	20	12
14	1	12	3	1	1	21
15	4	11	2	2	1	8
16	3	1	8	1	1	5
17	1	20	1	1	23	23
18	7	30	14	49	1	8
19	5	20	79	1	67	10
20	2	1	1	5	5	1
21	4	6	1	1	1	11
22	1	6	117	5	1	21
23	61	31	28	17	13	1
24	27	3	90	1	7	5
25	16	7	154	46	34	1
Ortalama	12,48	8,84	28,96	14,56	15,36	8,12
S. sapma	16,26	8,79	40,57	22,19	17,23	6,57

Tablo D.3. Problem 10'nun Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Pozisyona dayalı	Sıra Tabanlı	Kısmi Çaprazlama	Dairesel Çaprazlama	Doğrusal Sıralı	Sıralı Çaprazlama
1	1	1	1	1	7	7
2	1	1	257	1	22	3
3	1	1	104	239	21	4
4	163	1	1	66	68	2
5	149	7	1	1	39	1
6	77	1	52	14	1	4
7	1	1	84	1	60	5
8	42	4	59	29	1	5
9	79	1	18	73	18	3
10	1	5	168	1	10	13
11	1	5	5	139	86	1
12	83	1	1	1	1	1
13	27	1	61	393	33	8
14	1	29	73	98	91	3
15	1	13	122	98	13	8
16	87	1	86	1	1	4
17	25	29	1	1	24	3
18	1	14	240	1	32	10
19	12	1	60	130	48	1
20	124	38	39	76	30	1
21	171	16	100	1	9	1
22	1	50	16	234	3	1
23	210	30	15	11	16	17
24	171	6	191	1	31	20
25	54	5	61	73	8	2
Ortalama	59,36	10,48	72,64	67,36	26,92	5,12
S. sapma	68,14	13,82	74,02	97,95	25,93	5,117

Tablo D.4. Problem 9'un Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Pozisyona dayalı	Sıra Tabanlı	Kısmi Çaprazlama	Dairesel Çaprazlama	Doğrusal Sıralı	Sıralı Çaprazlama
1	3	3	2	2	2	1
2	2	6	17	1	15	2
3	53	12	3	6	4	1
4	21	14	46	1	1	1
5	8	8	10	1	6	1
6	1	1	4	7	14	4
7	34	1	1	51	6	2
8	1	25	7	1	1	4
9	1	2	1	2	1	1
10	1	14	23	43	37	1
11	41	2	6	47	1	1
12	3	7	1	14	3	17
13	1	1	1	38	1	1
14	1	1	10	1	1	1
15	121	49	1	1	1	9
16	7	1	35	9	1	6
17	1	1	59	47	1	5
18	2	1	2	49	6	13
19	1	1	143	1	21	1
20	60	3	1	9	1	1
21	27	11	34	19	18	15
22	1	2	1	4	4	1
23	15	1	40	1	16	1
24	1	1	32	1	21	2
25	1	1	7	10	23	1
Ortalama	16,32	6,76	19,48	14,64	8,24	3,72
S. sapma	27,96	10,66	30,79	18,58	9,67	4,730

Tablo D.5. Problem 7'nin Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Pozisyona dayalı	Sıra Tabanlı	Kısmi Çaprazlama	Dairesel Çaprazlama	Doğrusal Sıralı	Sıralı Çaprazlama
1	23	15	12	72	3	3
2	1	3	4	5	10	2
3	20	1	24	1	56	4
4	212	6	37	73	24	3
5	39	6	1	1	56	7
6	59	44	78	78	29	1
7	29	1	75	22	46	3
8	1	9	1	14	1	2
9	6	2	88	1	79	11
10	27	27	246	1	8	8
11	171	15	19	1	49	4
12	45	1	14	1	6	1
13	1	27	75	138	21	1
14	1	84	1	2	50	7
15	1	23	3	1	71	14
16	64	1	135	6	1	3
17	58	28	15	27	16	1
18	22	67	15	45	41	38
19	22	5	4	22	55	3
20	1	21	1	46	1	14
21	9	6	13	185	21	13
22	1	9	8	63	17	9
23	123	1	13	31	8	21
24	102	1	21	25	9	3
25	178	1	77	1	1	8
Ortalama	48,64	16,16	39,2	34,48	27,16	7,36
S.sapma	61,35	21,33	56,09	46,16	24,18	8,210

Tablo D.6. Problem 8'in Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Pozisyona dayalı	Sıra Tabanlı	Kısmi Çaprazlama	Dairesel Çaprazlama	Doğrusal Sıralı	Sıralı Çaprazlama
1	1	22	17	2	1	1
2	1	22	42	1	1	5
3	37	22	1	1	1	20
4	25	15	4	41	7	2
5	22	2	8	1	2	1
6	17	21	12	109	33	6
7	44	15	63	56	26	15
8	25	1	7	1	6	13
9	38	3	15	76	37	2
10	107	15	1	1	1	14
11	54	11	1	41	1	1
12	1	53	1	59	20	5
13	67	2	1	38	37	13
14	96	10	7	2	10	3
15	1	4	74	12	26	7
16	38	8	7	1	30	6
17	12	1	19	46	1	1
18	23	1	6	36	27	12
19	1	18	5	82	1	17
20	142	5	15	35	13	2
21	2	8	62	95	35	1
22	1	17	22	61	7	14
23	99	1	1	1	1	4
24	65	21	1	29	20	22
25	30	2	5	1	6	2
Ortalama	37,96	12,00	15,88	33,12	14,00	7,56
S. sapma	38,74	11,62	21,20	33,39	13,51	6,646

Tablo D.7.1. Problem 11'in Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları

Deneme Sayısı	Pozisyona dayalı	Sıra Tabanlı	Kısmi Çaprazlama	Dairesel Çaprazlama	Doğrusal Sıralı	Sıralı Çaprazlama
1	171	171	171	172	171	171
2	171	171	171	171	171	171
3	171	171	172	171	171	171
4	171	171	171	171	171	171
5	171	171	171	171	171	171
6	171	171	171	171	171	171
7	172	171	171	171	171	171
8	171	171	171	172	171	174
9	171	171	171	171	171	171
10	171	171	171	171	171	171
11	171	171	171	171	171	171
12	171	171	171	171	171	171
13	171	171	171	171	171	171
14	171	171	171	171	171	171
15	171	171	171	171	171	171
16	171	171	171	172	171	171
17	171	171	171	174	171	174
18	171	171	171	171	171	171
19	171	171	171	171	171	171
20	171	171	171	171	171	171
21	171	171	171	171	171	171
22	171	171	171	174	171	171
23	171	171	171	171	171	171
24	171	171	171	171	171	171
25	171	171	171	171	171	171
Ortalama	171,04	171	171,04	171,36	171	171,24
S. sapma	0,2	0	0,2	0,86	0	0,83

Tablo D.7.2. Problem 11'in Deney Sonuçları(Nesil Sayısı)

Deneme Sayısı	Pozisyona dayalı	Sıra Tabanlı	Kısmi Çaprazlama	Dairesel Çaprazlama	Doğrusal Sıralı	Sıralı Çaprazlama
1	106	33	113	61	92	92
2	19	231	81	115	99	123
3	213	33	66	90	24	66
4	111	66	27	61	5	48
5	92	8	208	140	23	9
6	73	191	19	122	97	17
7	231	148	51	6	7	150
8	59	38	154	188	34	139
9	95	62	94	29	38	53
10	67	68	26	179	12	29
11	8	190	76	143	67	99
12	32	30	61	6	28	71
13	145	119	52	66	49	12
14	39	97	23	27	6	225
15	188	21	51	70	76	1
16	75	109	13	83	48	73
17	4	3	63	6	137	106
18	178	41	8	1	61	154
19	38	52	41	234	21	46
20	161	15	31	1	77	157
21	63	72	73	169	148	41
22	25	61	15	93	59	127
23	32	12	58	71	11	27
24	156	6	15	40	2	33
25	79	59	100	138	93	33
Ortalama	91,56	70,6	60,76	85,56	52,56	77,24
S. sapma	65,73	62,49	46,94	65,68	41,50	57,84

Tablo D.8.1 Problem 12'nin Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları

Deneme Sayısı	Pozisyona dayalı	Sıra Tabanlı	Kısmi Çaprazlama	Dairesel Çaprazlama	Doğrusal Sıralı	Sıralı Çaprazlama
1	166	169	169	169	169	169
2	169	164	171	166	169	171
3	171	163	169	167	171	169
4	169	169	167	169	170	169
5	167	169	172	169	169	171
6	166	169	170	169	169	166
7	170	166	169	164	169	169
8	171	171	169	163	169	166
9	167	169	169	163	171	169
10	169	164	171	167	170	169
11	171	170	169	169	167	169
12	169	166	171	169	169	169
13	164	166	169	169	166	166
14	169	169	167	171	168	170
15	171	169	169	167	169	169
16	169	169	171	163	166	169
17	169	169	163	163	169	167
18	163	170	163	169	170	169
19	171	169	167	170	169	169
20	169	169	170	169	169	170
21	167	169	169	170	169	169
22	171	171	171	169	169	169
23	171	169	169	163	169	166
24	169	169	171	169	169	169
25	171	170	166	169	171	167
Ortalama	168,76	168,28	168,84	167,4	169	168,6
S. sapma	2,25	2,15	2,30	2,64	1,25	1,44

Tablo D.8.2 Problem 12'nin Deney Sonuçları(Nesil Sayısı)

Deneme Sayısı	Pozisyona dayalı	Sıra Tabanlı	Kısmi Çaprazlama	Dairesel Çaprazlama	Doğrusal Sıralı	Sıralı Çaprazlama
1	163	202	45	112	163	24
2	63	283	29	261	35	98
3	84	105	1	174	193	56
4	182	15	1	57	121	51
5	244	4	87	61	118	13
6	59	81	205	118	46	217
7	30	32	181	87	47	2
8	51	123	8	70	136	265
9	173	68	270	279	8	24
10	8	194	149	159	247	31
11	11	92	20	139	158	95
12	285	71	51	96	124	39
13	274	9	23	123	165	85
14	185	74	136	85	285	61
15	21	188	188	3	9	43
16	198	139	168	81	71	115
17	166	116	1	31	81	159
18	119	89	255	193	1	142
19	43	203	271	195	6	64
20	216	52	140	275	264	39
21	98	31	109	300	1	9
22	57	4	34	102	156	197
23	156	35	259	250	33	107
24	60	40	6	98	186	231
25	20	88	239	177	65	278
Ortalama	118,64	93,52	115,04	141,04	108,76	97,8
S. sapma	85,88	73,32	97,99	82,48	85,69	82,77

Tablo D.9.1. Problem 13'ün Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları

Deneme Sayısı	Pozisyona dayalı	Sıra Tabanlı	Kısmi Çaprazlama	Dairesel Çaprazlama	Doğrusal Sıralı	Sıralı Çaprazlama
1	197	201	202	197	200	197
2	203	199	204	205	201	200
3	198	202	199	197	200	199
4	200	201	200	197	198	194
5	200	202	198	203	203	197
6	197	201	199	197	197	200
7	200	198	199	200	200	197
8	194	196	199	197	203	200
9	200	202	198	197	199	200
10	197	202	198	199	194	199
11	200	199	200	202	203	201
12	200	203	202	201	199	202
13	195	199	199	197	197	200
14	202	200	198	199	204	200
15	197	201	204	198	197	200
16	199	202	202	199	202	202
17	199	201	200	202	200	199
18	200	197	196	197	199	198
19	199	200	197	200	197	200
20	198	200	199	201	201	199
21	199	199	200	198	200	204
22	198	200	197	200	197	197
23	198	199	198	198	200	200
24	202	197	199	196	203	197
25	198	202	202	199	202	199
Ortalama	198,8	200,12	199,56	199,04	199,84	199,24
S. sapma	2,061	1,833	2,083	2,281	2,494	2,046

Tablo D.9.2 Problem 13'ün Deney Sonuçları(Nesil Sayısı)

Deneme Sayısı	Pozisyona dayalı	Sıra Tabanlı	Kısmi Çaprazlama	Dairesel Çaprazlama	Doğrusal Sıralı	Sıralı Çaprazlama
1	381	586	325	339	334	2
2	519	57	128	483	175	199
3	338	288	9	459	570	22
4	184	407	1	288	409	474
5	483	141	265	500	436	12
6	381	364	494	72	165	413
7	207	525	70	32	88	535
8	410	371	416	396	346	190
9	557	352	292	568	355	146
10	231	319	508	103	409	209
11	84	484	104	222	59	2
12	341	87	48	8	219	504
13	538	374	454	36	328	482
14	494	79	222	523	69	433
15	261	99	302	114	515	382
16	199	118	125	64	226	458
17	329	84	490	585	8	169
18	213	363	202	589	507	99
19	242	142	100	537	385	57
20	415	151	493	440	537	135
21	60	363	217	284	547	3
22	542	369	305	385	328	184
23	550	30	373	597	162	480
24	342	420	187	580	557	557
25	298	432	415	558	9	195
Ortalama	343,96	280,20	261,80	350,48	309,27	253,68
S. sapma	146,12	164,45	163,28	181,59	181,59	195,34

Tablo D.10.1 Problem 14'ün Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları

Deneme Sayısı	Pozisyona dayalı	Sıra Tabanlı	Kısmi Çaprazlama	Dairesel Çaprazlama	Doğrusal Sıralı	Sıralı Çaprazlama
1	274	282	275	283	278	280
2	277	284	283	281	283	281
3	282	282	283	287	279	275
4	279	284	281	275	276	279
5	277	283	278	280	280	282
6	280	283	281	287	279	282
7	276	282	279	281	283	281
8	287	281	276	278	280	277
9	283	278	279	283	279	280
10	276	281	280	279	283	280
11	271	284	278	284	269	282
12	281	278	278	284	277	276
13	279	283	284	276	276	282
14	275	277	274	283	280	278
15	286	278	276	281	280	277
16	275	282	281	281	280	282
17	280	285	283	279	281	278
18	276	285	280	272	281	280
19	279	283	283	279	282	279
20	280	283	280	278	282	285
21	274	274	281	277	278	275
22	283	282	282	279	273	266
23	278	280	283	282	276	282
24	281	279	276	279	281	285
25	278	281	280	285	278	281
Ortalama	278,68	281,36	279,76	280,52	278,96	279,4
S. sapma	3,79	2,72	2,81	3,59	3,24	3,86

Tablo D.10.2 Problem 14'ün Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Pozisyona dayalı	Sıra Tabanlı	Kısmi Çaprazlama	Dairesel Çaprazlama	Doğrusal Sıralı	Sıralı Çaprazlama
1	258	1	529	384	138	237
2	441	138	115	373	217	400
3	175	250	64	14	448	521
4	332	94	525	44	218	177
5	541	125	647	293	142	488
6	281	114	27	594	395	33
7	41	287	231	459	188	655
8	289	112	226	94	534	681
9	652	526	672	663	376	346
10	574	316	549	361	49	494
11	45	386	556	438	18	365
12	391	599	4	222	587	330
13	405	665	372	470	246	678
14	134	76	28	449	493	310
15	128	471	270	159	320	199
16	280	689	512	368	253	581
17	178	221	465	146	68	325
18	328	71	211	15	587	259
19	177	667	213	539	476	483
20	219	57	624	316	285	85
21	454	541	667	362	293	342
22	257	266	648	371	293	449
23	259	104	347	666	347	229
24	238	256	532	36	38	278
25	398	184	480	81	71	600
Ortalama	299	288,64	380,56	316,68	283,2	381,8
S. sapma	155,83	217,52	224,20	200,62	173,23	178,77



EK-E: MUTASYON OPERATÖRÜ DENEY SONUÇLARI

Tablo E.1. Problem 5'in Dency Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Ters Mutasyon	Komşu iki işi değiştirme	Keyfi iki işi değiştirme	Keyfi üç iş değiştirme	Araya iş ekleme
1	233	161	77	20	36
2	51	280	146	49	33
3	71	216	112	30	46
4	2	198	248	43	187
5	1	4	22	1	25
6	49	33	71	25	123
7	1	7	67	239	173
8	113	1	61	28	59
9	2	289	219	153	29
10	145	51	34	130	34
11	274	14	34	41	1
12	8	2	31	8	22
13	16	9	19	54	161
14	6	212	38	152	181
15	154	1	122	233	40
16	135	82	32	204	102
17	6	18	155	3	30
18	257	23	261	56	8
19	50	88	19	7	107
20	19	228	1	17	109
21	49	159	64	143	11
22	102	136	45	61	40
23	3	13	294	73	227
24	60	1	51	1	1
25	32	160	122	90	20
Ortalama	73,56	95,44	93,80	74,44	72,20
S. sapma	83,32	98,28	83,30	73,77	67,52

Tablo E.2 Problem 6'nın Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Ters Mutasyon	Komşu iki işi değiştirme	Keyfi iki işi değiştirme	Keyfi üç iş değiştirme	Araya iş ekleme
1	1	242	1	1	1
2	3	4	27	23	17
3	30	39	1	4	14
4	8	4	1	25	9
5	2	1	20	1	2
6	6	108	7	1	42
7	36	123	1	2	1
8	13	53	6	19	13
9	17	73	1	1	89
10	3	1	2	9	34
11	2	43	6	9	7
12	6	30	37	14	22
13	1	7	42	11	1
14	10	22	3	1	20
15	9	5	1	13	1
16	4	11	27	2	22
17	51	40	33	1	50
18	41	8	1	8	8
19	27	93	58	7	65
20	14	120	30	6	26
21	1	45	9	16	34
22	2	1	10	1	1
23	3	1	43	10	49
24	30	290	16	5	30
25	5	1	103	4	2
Ortalama	13,00	54,60	19,44	7,76	22,4
S. sapma	14,34	74,94	24,09	7,17	22,71

Tablo E.3 Problem 7'nin Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Ters Mutasyon	Komşu iki işi değiştirme	Keyfi iki işi değiştirme	Keyfi üç iş değiştirme	Araya iş ekleme
1	15	374	12	36	145
2	221	1	32	1	119
3	4	1	72	20	122
4	60	1	4	2	18
5	39	1	135	1	101
6	1	1	3	1	4
7	2	1	1	1	44
8	1	40	232	36	1
9	1	1	1	5	73
10	7	32	1	4	43
11	53	2	229	1	52
12	1	2	3	37	50
13	106	24	93	1	40
14	1	3	96	19	29
15	2	11	80	1	2
16	101	1	236	26	15
17	103	193	1	10	21
18	3	267	138	47	1
19	114	10	74	1	112
20	1	2	48	22	9
21	4	3	3	1	102
22	1	1	110	56	46
23	18	37	85	1	42
24	2	14	209	50	1
25	14	3	92	1	8
Ortalama	35	41,04	79,60	15,24	48
S. sapma	54,78	93,83	79,25	18,34	44,44

Tablo E.4. Problem 8'in Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Ters Mutasyon	Komşu iki işi değiştirme	Keyfi iki işi değiştirme	Keyfi üç iş değiştirme	Araya iş ekleme
1	36	155	123	1	29
2	31	1	188	15	21
3	1	145	1	1	37
4	1	175	61	2	53
5	1	256	2	23	1
6	111	287	1	22	50
7	26	67	127	8	48
8	69	33	1	41	1
9	1	2	1	2	46
10	1	89	1	64	1
11	4	1	55	67	4
12	7	1	1	38	54
13	14	34	1	23	1
14	7	298	161	83	13
15	26	35	1	5	4
16	6	1	33	1	26
17	1	310	1	6	1
18	5	108	50	3	1
19	6	393	34	35	1
20	56	1	36	26	3
21	56	33	9	37	70
22	19	232	33	9	45
23	1	19	157	28	2
24	10	1	136	6	39
25	1	196	38	6	19
Ortalama	19,88	114,92	50,08	22,08	22,80
S. sapma	27,35	121,45	60,68	22,84	23,64

Tablo E.5. Problem 10'nun Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Ters Mutasyon	Komşu iki işi değiştirme	Keyfi iki işi değiştirme	Keyfi üç iş değiştirme	Araya iş ekleme
1	241	2	218	11	162
2	153	1	1	2	15
3	2	1	184	14	1
4	106	1	19	81	184
5	22	1	135	40	263
6	31	1	1	1	2
7	29	1	52	4	221
8	1	1	1	1	77
9	53	1	16	119	18
10	1	1	1	44	18
11	1	38	37	41	194
12	42	93	1	42	98
13	11	1	1	1	60
14	1	1	194	126	126
15	1	1	21	4	14
16	1	1	1	32	1
17	175	1	170	1	98
18	1	1	1	7	16
19	142	1	1	36	1
20	85	1	25	1	1
21	77	1	1	1	208

Tablo E.6. Problem 9'un Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Ters Mutasyon	Komşu iki işi değiştirme	Keyfi iki işi değiştirme	Keyfi üç iş değiştirme	Araya iş ekleme
1	16	1	39	47	1
2	52	230	21	2	7
3	6	14	10	22	1
4	55	1	1	7	1
5	20	1	8	15	44
6	1	21	46	81	7
7	16	58	34	19	25
8	1	202	90	66	1
9	14	1	24	19	24
10	18	5	1	18	16
11	12	101	58	1	1
12	1	25	65	12	1
13	1	27	8	5	82
14	1	1	4	4	2
15	9	1	180	1	3
16	1	1	1	2	3
17	24	1	1	34	1
18	134	1	1	4	1
19	21	1	2	2	1
20	1	236	29	12	1
21	183	118	1	1	3

Tablo E.7.1 Problem 11'in Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları

Deneme Sayısı	Ters Mutasyon	Komşu iki işi değiştirme	Keyfi iki işi değiştirme	Keyfi üç iş değiştirme	Araya iş ekleme
1	171	171	171	171	171
2	171	171	171	171	171
3	171	171	171	171	171
4	171	171	171	171	171
5	171	171	171	171	171
6	171	171	171	171	172
7	172	171	171	171	171
8	171	171	171	171	171
9	171	171	171	171	171
10	171	171	171	171	171
11	171	171	171	171	171
12	171	171	171	171	171
13	171	171	171	171	171
14	171	171	171	171	171
15	171	171	171	171	171
16	171	171	171	171	171
17	171	171	171	171	171
18	171	171	171	172	171
19	171	171	171	171	172
20	171	171	171	171	171
21	171	171	171	171	171

Tablo E.7.2 Problem 11'in Deney Sonuçları (Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Ters Mutasyon	Komşu iki işi değiştirme	Keyfi iki işi değiştirme	Keyfi üç işi değiştirme	Araya iş ekleme
1	106	29	27	33	233
2	19	121	190	189	53
3	213	93	44	85	25
4	111	166	22	76	24
5	92	15	113	40	62
6	73	81	16	4	125
7	231	127	106	117	15
8	59	1	30	10	15
9	95	39	10	1	119
10	67	17	34	153	5
11	8	6	22	3	50
12	32	12	23	24	70
13	145	69	235	56	15
14	39	37	206	89	226
15	188	32	65	220	36
16	75	109	27	158	110
17	4	59	152	87	101
18	178	79	69	33	144
19	38	160	205	61	53
20	161	8	73	38	40
21	63	157	9	248	39
22	25	32	47	53	29
23	32	105	37	8	140
24	156	5	129	211	179
25	79	2	206	16	39
Ortalama	91,56	62,44	83,88	80,52	77,88
S. sapma	65,73	54,11	73,97	74,86	65,74

Tablo E.8.1. Problem 12'nin Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları

Deneme Sayısı	Ters Mutasyon	Komşu iki işi değiştirme	Keyfi iki işi değiştirme	Keyfi üç iş değiştirme	Araya iş ekleme
1	166	169	169	169	166
2	169	171	169	169	166
3	171	170	169	169	169
4	169	166	169	164	169
5	167	172	170	169	169
6	166	171	169	169	169
7	170	172	170	170	169
8	171	170	167	167	170
9	167	169	169	168	169
10	169	169	171	167	169
11	171	169	171	166	171
12	169	169	170	164	170
13	164	169	169	167	169
14	169	169	171	169	164
15	171	170	167	169	169
16	169	169	169	171	163
17	169	166	171	169	167
18	163	169	166	170	169
19	171	167	171	167	164
20	169	168	171	169	169
21	167	169	169	170	171
22	171	171	169	169	169
23	171	169	170	164	169
24	169	169	169	169	169
25	171	164	169	169	166
Ortalama	168,76	169,04	169,36	168,12	168,16
S. sapma	2,25	1,83	1,31	1,92	2,13

Tablo E.8.2. Problem 12'nin Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Ters Mutasyon	Komşu iki işi değiştirme	Keyfi iki işi değiştirme	Keyfi üç iş değiştirme	Araya iş ekleme
1	163	41	195	54	231
2	63	2	200	224	34
3	84	268	179	169	266
4	182	40	174	104	234
5	244	10	61	51	47
6	59	51	72	92	16
7	30	11	207	106	278
8	51	247	125	192	145
9	173	104	79	66	73
10	8	142	73	26	6
11	11	242	1	114	27
12	285	34	59	5	42
13	274	136	41	215	1
14	185	181	16	16	136
15	21	1	24	171	220
16	198	49	77	10	168
17	166	203	145	125	204
18	119	220	13	195	78
19	43	185	87	116	190
20	216	14	1	123	145
21	98	102	269	160	16
22	57	189	127	160	270
23	156	278	246	125	13
24	60	103	8	136	167
25	20	94	239	118	174
Ortalama	118,64	117,88	108,72	114,92	127,24
S. sapma	85,88	91,92	84,32	63,51	94,72

Tablo E.9.1 Problem 13'ün Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları

Deneme Sayısı	Ters Mutasyon	Komşu iki işi değiştirme	Keyfi iki işi değiştirme	Keyfi üç iş değiştirme	Araya iş ekleme
1	197	200	204	200	199
2	203	200	201	199	199
3	198	202	203	198	198
4	200	202	200	198	197
5	200	201	201	199	201
6	197	201	198	199	199
7	200	201	197	198	200
8	194	200	198	197	197
9	200	200	201	199	199
10	197	202	198	200	201
11	200	200	197	198	199
12	200	205	197	199	199
13	195	200	200	196	200
14	202	203	199	203	200
15	197	202	198	197	201
16	199	202	197	198	200
17	199	198	199	204	196
18	200	200	202	202	198
19	199	202	201	198	198
20	198	200	198	197	198
21	199	199	202	200	200
22	198	202	199	201	200
23	198	200	198	198	197
24	202	198	201	200	200
25	198	198	203	198	200
Ortalama	198,8	200,72	199,68	199,04	199,04
S. sapma	2,06	1,64	2,11	1,90	1,36

Tablo E.9.2 Problem 13'ün Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Ters Mutasyon	Komşu iki işi değiştirme	Keyfi iki işi değiştirme	Keyfi üç iş değiştirme	Araya iş ekleme
1	381	389	122	383	395
2	519	283	584	139	314
3	338	83	281	533	64
4	184	512	277	501	163
5	483	359	179	50	100
6	381	2	97	245	253
7	207	461	216	135	499
8	410	234	8	333	517
9	557	473	175	58	392
10	231	546	395	347	197
11	84	465	195	419	212
12	341	49	8	141	237
13	538	421	558	493	1
14	494	268	526	234	110
15	261	289	102	129	596
16	199	257	141	37	301
17	329	448	232	82	221
18	213	295	158	2	88
19	242	7	495	76	583
20	415	216	282	124	342
21	60	217	264	557	577
22	542	381	48	456	364
23	550	355	100	66	223
24	342	562	140	453	54
25	298	47	412	199	179
Ortalama	343,96	304,76	239,8	247,68	279,28
S. sapma	146,12	168,88	168,31	181,35	175,67

Tablo E.10.1 Problem 14'ün Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları

Deneme Sayısı	Ters Mutasyon	Komşu iki işi değiştirme	Keyfi iki işi değiştirme	Keyfi üç iş değiştirme	Araya iş ekleme
1	274	279	277	283	277
2	277	285	282	283	284
3	282	286	277	279	279
4	279	282	277	284	276
5	277	273	283	277	281
6	280	276	283	281	282
7	276	284	277	279	275
8	287	281	278	277	274
9	283	277	273	281	281
10	276	284	284	277	279
11	271	285	283	284	284
12	281	275	286	277	279
13	279	282	277	281	281
14	275	273	276	280	281
15	286	283	283	279	275
16	275	285	286	278	278
17	280	286	278	280	273
18	276	284	282	282	281
19	279	288	274	282	281
20	280	285	273	282	284
21	274	277	280	281	277
22	283	292	280	280	285
23	278	286	281	275	281
24	281	282	274	281	282
25	278	283	284	278	282
Ortalama	278,68	282,12	279,52	280,04	279,68
S. sapma	3,79	4,74	3,99	2,40	3,325

Tablo E.10.2 Problem 14'ün (Nesil Sayıları) Deney Sonuçları

Deneme Sayısı	Ters Mutasyon	Komşu iki işi değiştirme	Keyfi iki işi değiştirme	Keyfi üç iş değiştirme	Araya iş ekleme
1	258	501	24	172	23
2	441	329	423	462	134
3	175	674	206	499	530
4	332	43	592	188	295
5	541	655	228	401	533
6	281	147	52	61	662
7	41	501	691	272	584
8	289	21	202	433	392
9	652	81	552	152	194
10	574	205	319	110	20
11	45	149	552	99	536
12	391	6	661	58	469
13	405	258	444	532	8
14	134	386	643	501	281
15	128	432	481	162	162
16	280	621	404	377	142
17	178	545	109	402	347
18	328	432	250	440	255
19	177	1	396	581	29
20	219	464	562	596	386
21	454	533	337	149	263
22	257	483	335	130	402
23	259	2	382	205	290
24	238	582	164	641	413
25	398	684	35	27	124
Ortalama	299	349,4	361,76	306	298,93
S. sapma	155,83	236,90	201,42	194,07	191,03



EK-F: ÇAPRAZLAMA ORANI DENEY SONUÇLARI

Tablo F.1. Problem 1'in Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Çaprazlama Oranı									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
1	6	17	1	3	1	10	1	1	6	14
2	1	2	1	5	17	10	1	1	1	30
3	1	1	1	1	1	16	1	2	27	34
4	1	4	4	3	4	4	11	19	1	1
5	9	10	1	1	1	1	3	1	2	1
6	18	1	5	5	6	1	15	4	18	1
7	1	1	1	3	2	52	10	6	1	1
8	1	1	4	1	1	1	5	11	2	4
9	2	1	20	6	1	1	26	7	2	28
10	6	5	4	27	1	10	3	2	1	12
11	2	5	1	38	11	5	2	1	9	1
12	8	2	3	1	5	1	2	1	2	1
13	1	1	5	2	1	1	1	7	1	2
14	8	1	14	28	2	10	1	1	1	1
15	1	7	5	2	1	25	2	10	30	8
16	13	1	3	11	8	3	1	4	9	1
17	7	2	2	18	1	9	2	6	18	16
18	2	6	1	7	12	10	1	5	1	1
19	30	1	4	23	1	1	11	11	10	11
20	1	15	11	7	1	2	24	4	26	9
21	1	6	1	21	4	1	1	1	2	2
22	4	1	3	1	2	3	10	1	1	1
23	3	3	7	1	1	3	1	5	3	6
24	1	10	7	2	8	17	10	2	11	27
25	1	4	1	3	31	29	1	22	29	3
Ortalama	5,16	4,32	4,4	8,8	4,96	9,04	5,84	5,4	8,56	8,64
S. sapma	6,64	4,38	4,51	10,34	6,76	11,54	7,02	5,46	9,83	10,28

Tablo F.2 Problem 5'in Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Çaprazlama Oranı									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
1	66	23	123	155	227	121	166	2	16	229
2	55	51	112	191	51	91	65	200	282	79
3	35	98	128	47	84	257	167	143	59	52
4	130	148	29	133	103	99	144	80	84	261
5	20	54	111	17	27	2	87	117	183	81
6	37	209	60	150	127	1	24	41	160	148
7	144	22	12	4	3	55	47	8	171	78
8	22	149	55	87	85	44	16	51	1	26
9	112	248	200	5	114	21	92	7	169	34
10	1	3	37	12	1	75	86	187	37	61
11	68	133	26	121	188	40	94	135	293	85
12	45	79	75	105	132	58	74	102	193	9
13	128	25	77	29	125	92	55	58	61	21
14	1	30	32	5	39	165	46	269	64	23
15	116	45	68	110	141	84	11	7	22	214
16	2	10	2	137	32	103	15	99	238	43
17	172	87	75	48	271	71	124	4	78	7
18	18	59	243	277	105	31	265	98	56	101
19	151	12	155	230	42	140	137	170	1	282
20	1	14	82	170	1	20	1	28	85	127
21	136	247	92	151	1	30	27	65	144	45
22	31	15	36	75	53	137	23	9	126	135
23	9	103	97	160	81	125	10	281	263	30
24	98	16	18	46	18	27	3	1	57	59
25	54	125	300	58	179	66	44	226	122	139
Ortalama	66,0	80,2	89,8	100,9	89,20	78,20	72,92	95,52	118,6	94,76
S. sapma	54,0	72,4	71,1	73,23	71,76	57,13	63,69	84,77	86,10	77,69
Hata	25/2	25/2	25/2	25/28	25/29	25/28	25/28	25/30	25/29	25/31

Tablo F.3. Problem 9'un Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Çaprazlama Oranı									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
1	2	49	1	1	1	1	72	29	1	63
2	42	25	115	1	1	101	48	46	1	223
3	1	118	1	1	1	1	74	47	1	1
4	2	1	1	1	1	1	3	47	5	1
5	1	7	105	1	1	36	6	12	20	41
6	4	14	1	8	29	6	1	17	1	1
7	84	1	1	10	1	4	34	1	2	1
8	10	1	1	1	42	12	1	215	1	183
9	154	12	1	4	77	80	1	9	1	25
10	30	1	1	1	2	15	65	1	36	32
11	3	23	1	131	1	1	3	1	1	3
12	9	2	3	1	101	102	48	1	1	7
13	1	2	77	127	1	1	10	1	31	48
14	3	38	201	1	11	2	1	94	1	1
15	9	35	23	1	1	1	1	20	1	57
16	1	23	87	1	210	6	116	14	9	10
17	2	1	1	1	22	103	13	2	1	21
18	1	8	1	16	6	2	1	1	279	24
19	84	1	159	141	29	50	19	46	1	131
20	2	34	1	42	1	110	24	1	142	1
21	128	158	28	1	5	186	21	1	9	56
22	1	176	1	240	1	1	1	1	1	40
23	2	1	1	54	162	1	47	1	10	21
24	1	7	1	1	1	13	10	1	24	14
25	84	2	131	8	1	13	27	11	1	42
Ortalama	26,4	29,6	37,7	31,80	28,36	33,96	25,88	24,80	23,24	41,88
S. sapma	43,2	47,4	58,7	60,22	60,22	49,02	29,73	44,90	59,34	55,74
Hata Oranı	25/25	25/25	25/25	25/25	25/25	25/25	25/25	25/25	25/25	25/25

Tablo F.4. Problem 2'nin Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Çaprazlama Oranı									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
1	16	1	42	10	8	17	4	11	4	54
2	30	20	12	40	66	32	4	1	1	1
3	5	9	1	34	12	1	22	2	21	116
4	11	1	1	23	16	1	65	1	3	114
5	1	10	14	1	14	1	12	1	31	17
6	2	16	10	26	18	43	13	61	14	29
7	11	52	12	10	15	34	34	56	35	4
8	16	11	5	37	74	29	6	88	22	14
9	11	15	5	12	6	54	4	85	1	17
10	29	3	6	12	5	2	61	27	12	42
11	3	15	4	38	46	31	1	34	1	1
12	11	20	39	8	11	102	13	43	48	1
13	3	27	12	7	2	23	4	10	12	12
14	9	53	20	30	1	8	1	3	15	4
15	7	12	11	10	114	1	39	12	10	13
16	75	1	13	58	20	2	12	17	1	67
17	10	18	6	3	93	6	8	1	13	29
18	8	9	37	2	4	41	1	11	25	11
19	8	13	27	7	5	66	32	16	62	8
20	2	6	4	1	13	27	39	1	5	10
21	11	10	8	7	5	12	3	30	46	17
22	1	2	14	104	25	12	24	2	14	2
23	39	1	10	11	82	10	74	3	44	1
24	8	23	9	23	17	37	19	99	34	94
25	3	1	20	19	1	9	38	1	1	5

Tablo F.5. Problem 6'nın Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Çaprazlama Oranı									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
1	23	54	5	31	5	1	17	5	1	191
2	1	39	1	1	5	1	12	10	11	96
3	1	10	15	50	1	30	42	15	1	79
4	2	16	23	24	56	3	34	1	1	4
5	16	1	1	19	30	1	16	1	1	75
6	1	4	5	1	13	36	1	36	33	1
7	23	12	23	60	144	32	9	1	64	132
8	32	3	5	1	6	3	39	5	121	16
9	1	1	3	2	1	18	2	17	114	4
10	1	6	19	59	7	1	15	43	43	5
11	4	1	4	37	51	37	31	122	26	6
12	9	8	4	5	54	6	1	1	63	41
13	4	7	3	1	2	13	37	8	41	1
14	4	50	48	27	32	2	38	4	5	98
15	68	27	34	1	1	2	13	1	34	9
16	11	1	2	7	1	1	6	62	4	30
17	1	1	5	1	1	16	2	8	13	32
18	51	7	12	1	1	1	32	73	1	1
19	7	33	14	7	1	1	1	148	2	10
20	1	4	69	1	2	103	1	47	7	1
21	46	5	1	4	6	1	10	1	42	138
22	69	34	1	19	23	49	5	1	7	88
23	15	15	37	20	1	6	1	1	120	1
24	1	5	7	20	5	1	86	5	20	20
25	2	3	12	27	43	20	5	19	1	18
Ortalama	15,7	13,8	14,1	17,04	19,68	15,40	18,24	25,40	31,04	43,88
S. sapma	21,1	15,9	17,0	18,66	31,87	23,20	20,08	38,93	38,22	53,27

Tablo F.6. Problem 10'nun Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Çaprazlama Oranı									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
1	14	176	1	1	1	75	3	131	289	1
2	56	1	117	49	161	1	19	188	172	55
3	1	320	1	1	37	363	24	60	155	1
4	55	1	17	307	1	82	1	359	1	20
5	1	1	1	1	319	110	1	253	4	1
6	133	74	7	1	65	71	1	1	22	33
7	1	1	1	29	1	1	1	1	77	34
8	69	69	17	198	14	21	153	1	1	30
9	32	87	1	209	1	1	1	98	4	1
10	120	62	181	1	370	1	85	44	1	85
11	26	59	74	1	151	1	1	1	81	65
12	319	68	221	71	85	231	170	12	2	140
13	25	100	65	10	1	43	114	4	1	249
14	103	70	89	203	42	122	198	1	1	1
15	1	79	1	1	27	219	121	19	1	86
16	447	1	3	177	48	1	11	471	286	1
17	73	111	109	1	62	1	67	16	1	1
18	1	69	41	1	1	1	274	1	5	180
19	13	1	350	37	1	40	118	1	1	243
20	3	1	103	5	304	3	1	109	391	247
21	34	206	1	1	125	1	46	110	91	205
22	1	1	1	204	497	76	313	71	61	104
23	50	5	1	107	89	42	31	1	1	170
24	207	40	51	1	65	94	1	58	184	246
25	3	116	21	226	16	164	149	1	1	1
Ortalama	71,5	68,7	59,0	73,72	99,36	70,6	76,16	80,48	73,36	88,00
S. sapma	108	76,5	85,6	97,41	133,8	91,29	91,09	121,3	111,0	93,12

Tablo F.7.1. Problem 11'in Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları

Deneme Sayısı	Çaprazlama Oranı									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
1	171	171	171	171	172	172	171	171	171	175
2	172	171	171	172	171	171	171	171	174	176
3	171	171	171	171	171	172	171	174	171	174
4	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171
5	171	171	171	171	171	171	171	174	171	174
6	171	171	172	171	171	171	171	171	171	175
7	171	172	171	171	171	171	171	171	174	171
8	171	171	171	171	171	171	171	171	171	174
9	171	171	171	171	171	173	171	171	171	172
10	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171
11	172	171	171	171	171	172	175	172	171	174
12	171	171	171	171	171	171	171	171	174	171
13	171	171	171	172	172	171	172	171	171	171
14	171	171	171	171	171	174	171	174	171	172
15	172	171	172	171	171	174	171	173	173	171
16	172	171	171	171	171	171	171	173	171	171
17	171	171	171	171	171	172	172	172	172	171
18	171	171	171	171	171	171	171	174	171	173
19	171	171	171	171	171	172	172	171	171	171
20	171	171	171	171	171	171	171	171	172	173
21	171	171	171	173	173	173	171	171	172	175
22	171	171	171	171	171	171	171	171	172	171
23	171	171	171	172	172	171	172	171	171	172
24	171	171	171	171	171	171	174	171	171	171
25	171	171	171	171	171	173	171	171	175	171
Ortalama	171	171	171	171,2	171,2	171,6	171,4	171,7	171,7	172,4
S. sapma	0,37	0,20	0,27	0,50	0,50	0,98	1,003	1,17	1,23	1,68

Tablo F.7.2 Problem 11'in Deney Sonuçları(Nesil Sayısı)

Deneme Sayısı	Çaprazlama Oranı									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
1	38	106	88	41	88	1	23	193	146	14
2	250	19	11	221	102	46	1	113	152	64
3	82	213	52	174	129	7	16	101	64	17
4	239	111	124	17	123	5	65	226	40	236
5	32	92	53	211	57	158	198	156	239	25
6	95	73	194	69	18	39	10	194	96	12
7	13	231	29	223	67	241	53	178	16	14
8	92	59	206	243	55	148	30	88	102	201
9	118	95	4	28	36	217	199	73	129	123
10	41	67	93	15	92	136	40	111	53	229
11	102	8	40	22	145	151	22	132	129	1
12	36	32	157	102	120	29	113	85	91	71
13	98	145	231	57	35	95	72	46	187	23
14	21	39	71	57	106	128	87	199	144	217
15	44	188	98	132	209	108	21	199	88	87
16	12	75	65	3	33	217	122	104	246	108
17	55	4	51	13	1	112	229	136	57	120
18	39	178	23	190	50	179	183	7	124	1
19	93	38	98	116	54	39	224	37	118	80
20	8	161	31	14	57	139	59	1	208	230
21	58	63	57	33	1	16	164	5	204	173
22	214	25	41	21	63	92	228	126	67	14
23	108	32	90	50	34	28	169	6	1	15
24	106	159	37	19	26	12	69	137	48	177
25	17	79	147	77	24	196	200	8	211	41
Ortalama	80,4	91,6	83,6	85,92	69,00	101,5	103,8	106,4	118,4	91,72
S. sapma	67,6	65,8	61,7	79,23	49,76	75,74	79,73	70,28	68,83	83,62

Tablo F.8.1. Problem 12'nin Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları

Deneme Sayısı	Çaprazlama Oranı									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
1	169	166	169	169	171	169	171	169	171	169
2	169	169	169	169	171	171	169	171	170	170
3	169	171	169	166	169	169	169	169	171	169
4	166	169	167	169	169	170	169	169	169	171
5	169	167	170	170	171	169	169	169	169	171
6	170	166	167	170	166	171	169	170	171	169
7	169	170	169	169	171	170	170	169	163	169
8	163	171	169	169	169	166	171	169	169	169
9	169	167	169	169	169	169	169	169	167	167
10	169	169	167	169	169	171	171	171	164	171
11	169	171	169	169	171	171	169	169	168	169
12	169	169	163	169	169	169	168	169	169	169
13	171	164	169	169	169	163	171	171	165	171
14	169	169	165	169	169	169	171	163	167	169
15	169	171	169	171	166	170	168	169	169	169
16	169	169	169	170	170	171	171	171	168	169
17	169	169	169	169	171	171	169	169	171	171
18	171	163	167	169	171	169	169	171	166	171
19	167	171	169	169	163	171	169	169	169	170
20	166	169	170	169	169	170	170	171	170	166
21	170	167	169	168	169	169	170	169	163	169
22	170	171	169	169	167	166	166	171	169	173
23	169	171	169	169	170	170	169	164	169	171
24	171	169	170	171	168	170	164	170	163	170
25	166	171	169	169	169	164	170	170	174	171
Ortalama	168	168	168	169,1	169,0	169,1	169,2	169,2	168,1	169,7
S. sapma	1,81	2,25	1,60	0,927	1,925	2,166	1,614	1,942	2,838	1,458

Tablo F.8.2 Problem 12'nin Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Çaprazlama Oranı									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
1	177	163	32	106	12	126	44	269	47	235
2	236	63	277	110	25	154	120	41	258	30
3	60	84	67	265	8	277	6	79	82	268
4	11	182	240	5	116	162	280	42	6	77
5	138	244	44	76	31	79	158	47	65	4
6	75	59	169	83	54	143	1	172	44	290
7	2	30	181	137	271	9	186	118	30	12
8	89	51	58	166	181	16	63	273	20	62
9	115	173	1	19	231	31	23	100	109	54
10	213	8	128	4	175	3	3	108	124	70
11	10	11	4	3	140	6	161	272	48	22
12	157	285	265	77	11	252	115	249	124	48
13	5	274	13	262	205	32	65	149	274	179
14	143	185	67	153	48	50	59	26	166	295
15	56	21	253	110	218	98	141	79	281	190
16	115	198	112	206	87	17	273	1	196	10
17	47	166	33	44	74	95	93	250	10	70
18	108	119	291	275	151	140	29	155	28	172
19	131	43	74	288	65	128	15	101	188	168
20	135	216	150	94	81	171	197	9	200	114
21	89	98	256	262	285	40	7	26	289	52
22	109	57	220	137	243	66	59	26	269	145
23	275	156	215	51	119	21	129	253	27	38
24	1	60	115	109	212	150	156	59	224	52
25	6	200	192	156	299	260	136	280	90	256
Ortalama	100	125	138	127,9	133,6	101,0	100,7	127,3	127,9	116,5
S. sapma	75,7	84,8	95,7	89,43	93,22	82,42	81,09	97,38	97,83	95,20

Tablo F.9.1. Problem 13'ün Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları

Deneme Sayısı	Çaprazlama Oranı									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
1	201	197	202	197	199	201	203	197	203	200
2	199	203	199	202	197	202	201	203	204	203
3	201	198	198	197	201	198	198	199	202	202
4	200	200	202	200	200	197	198	200	203	200
5	199	200	199	199	201	200	203	200	198	200
6	198	197	200	197	196	202	203	200	204	199
7	200	200	199	202	202	199	198	202	197	204
8	200	194	197	198	197	200	198	199	203	202
9	200	200	197	197	197	199	198	200	201	202
10	201	197	200	197	199	199	203	200	194	197
11	201	200	201	200	200	200	199	199	201	203
12	199	200	198	200	199	200	201	201	201	204
13	200	195	200	200	196	199	198	200	201	205
14	198	202	200	197	198	201	199	202	200	202
15	200	197	199	200	203	199	200	198	198	203
16	201	199	197	195	199	197	200	199	198	202
17	202	199	200	199	201	201	202	199	202	202
18	203	200	202	201	199	199	197	200	201	201
19	202	199	201	199	201	201	199	204	199	198
20	202	198	197	197	200	195	200	197	197	201
21	197	199	200	200	197	204	199	199	198	202
22	199	198	203	200	200	201	200	199	203	198
23	198	198	200	199	199	201	200	198	205	199
24	200	202	201	199	199	199	199	204	200	203
25	199	198	201	197	202	201	203	200	199	198
Ortalama	200	198,	199,	198,7	199,2	199,8	199,9	199,9	200,4	201,2
S. sapma	1,47	2,06	1,72	1,786	1,904	1,870	1,925	1,859	2,678	2,140

Tablo F.9.2 Problem 13'ün Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Çaprazlama Oranı									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
1	511	381	107	247	215	492	58	212	460	388
2	116	519	525	167	119	317	489	505	63	433
3	78	338	55	245	22	126	209	407	13	1
4	205	184	479	420	103	332	213	182	200	75
5	165	483	550	239	111	584	79	582	568	227
6	417	381	39	459	423	229	145	74	453	340
7	258	207	325	140	175	583	36	73	84	240
8	202	410	139	91	237	446	477	504	65	77
9	144	557	127	28	240	529	333	505	214	539
10	49	231	52	79	599	152	505	313	227	596
11	483	84	360	593	171	72	173	143	286	69
12	80	341	11	457	75	338	93	125	437	285
13	385	538	459	45	427	510	545	92	73	254
14	1	494	73	590	151	381	387	230	431	95
15	136	261	53	591	457	142	191	23	117	83
16	74	199	452	8	480	385	8	5	544	361
17	123	329	112	575	530	207	174	454	26	129
18	230	213	255	62	234	598	466	170	46	306
19	85	242	127	566	378	487	488	15	530	148
20	72	415	192	444	5	228	566	402	271	524
21	377	60	63	147	321	224	303	442	149	1
22	187	542	581	40	210	456	361	523	579	343
23	62	550	119	225	260	197	597	71	38	41
24	188	342	541	333	206	376	509	583	230	330
25	187	298	76	264	368	381	1	562	308	284
Ortalama	192	343	234	282,2	260,6	350,8	296,2	287,8	256,4	246,7
S. sapma	140	146	196	204,4	160,4	157	196,3	204,9	192	172

Tablo F.10.1 Problem 14'ün Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları

Deneme Sayısı	Çaprazlama Oranı									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
1	281	280	283	278	280	283	283	282	284	276
2	279	285	279	285	277	284	279	283	287	281
3	284	276	279	282	282	284	283	277	282	277
4	282	280	283	282	283	278	284	274	279	282
5	283	280	273	280	282	284	279	275	270	279
6	282	278	269	280	277	286	271	277	281	281
7	284	272	276	273	274	270	278	286	281	281
8	274	282	280	276	275	281	278	281	283	285
9	269	281	281	271	279	279	283	266	283	287
10	284	287	279	270	282	277	276	278	277	284
11	281	280	280	280	285	280	279	269	278	287
12	283	282	283	285	279	283	284	280	281	286
13	280	285	281	282	278	281	281	281	275	282
14	276	275	279	284	275	280	277	285	272	283
15	285	283	278	277	277	270	271	286	283	280
16	282	281	287	281	277	278	280	286	272	286
17	287	279	281	277	274	281	279	278	280	283
18	277	281	278	278	279	281	278	282	282	285
19	272	282	283	279	279	277	280	282	279	280
20	275	277	278	281	281	282	284	280	283	281
21	273	277	286	276	284	284	276	279	280	280
22	279	277	279	278	282	283	279	279	276	283
23	278	283	277	286	283	283	283	284	288	281
24	282	279	279	285	275	282	280	279	271	282
25	276	284	282	282	284	282	287	281	282	282
Ortalama	279	280	279	279,5	279,3	280,5	279,6	279,6	279,5	282,1
S. sapma	4,53	3,44	3,75	4,243	3,363	3,938	3,826	4,898	4,744	2,838

Tablo F.10.2 Problem 14'ün Dency Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	ÇAPRAZLAMA ORANI									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
1	314	43	153	466	206	209	540	40	400	230
2	639	76	32	147	313	401	43	332	346	625
3	505	463	607	86	650	134	77	296	469	606
4	694	119	359	284	635	37	15	105	197	338
5	621	217	286	271	81	145	5	120	127	220
6	373	488	665	68	390	101	127	506	581	656
7	90	248	669	275	542	237	284	92	61	8
8	476	378	641	114	453	355	488	70	136	164
9	472	86	231	515	614	671	191	235	599	168
10	360	91	427	282	691	557	115	198	38	682
11	233	568	584	592	14	411	219	533	552	148
12	347	369	109	35	453	627	591	31	559	375
13	122	660	290	593	323	238	663	299	542	129
14	30	226	441	509	431	356	172	458	437	356
15	293	589	468	103	541	87	270	213	688	248
16	330	417	88	600	429	566	572	247	41	317
17	9	134	36	233	191	73	156	204	506	614
18	151	495	426	423	599	13	39	342	74	131
19	256	563	268	8	341	22	464	562	419	684
20	619	145	592	100	153	272	367	652	272	625
21	30	367	309	546	344	375	683	468	34	500
22	640	256	210	143	221	27	176	606	389	54
23	324	312	210	90	512	23	185	97	509	462
24	56	120	215	402	579	49	63	206	6	114
25	312	353	373	520	360	234	28	196	520	145
Ortalama	331	311	347	296,2	402,6	248,8	261,3	284,3	340	343,9
S. sapma	211	185	199	202	185,5	204,3	219,4	186,4	219,2	222,4

EK-G: MUTASYON ORANI DENEY SONUÇLARI

Tablo G.1 Problem 3'ün Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Mutasyon Oranı									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
1	1	11	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	6	1	1	1
5	1	8	11	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	109	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	40	1	1	1	1	1	41	27
9	4	1	3	1	1	1	10	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1	22	35	1
12	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1
13	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	7	1	1	1	1	1
15	13	1	1	1	1	5	1	1	1	1
16	1	1	27	1	12	1	1	1	1	1
17	1	6	1	1	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	10	1	1	1	1	1
19	1	1	16	1	1	3	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1	1	1	60	17	1

Tablo G.2 Problem 4'ün Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Mutasyon Oranı									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
1	198	276	108	5	150	2	193	72	4	45
2	53	4	48	136	156	11	268	202	225	136
3	129	114	1	105	164	131	132	6	1	141
4	6	1	56	37	216	70	187	57	1	108
5	141	232	6	39	93	1	135	48	225	290
6	6	111	167	26	103	57	49	227	178	21
7	90	104	73	120	30	46	9	1	23	17
8	164	191	171	1	28	4	20	237	162	57
9	259	82	17	254	219	92	130	161	13	113
10	72	193	40	64	78	109	120	251	157	212
11	283	12	185	43	200	50	23	113	281	20
12	14	153	69	34	160	86	151	9	20	15
13	87	245	57	7	74	144	283	66	154	52
14	23	112	293	83	117	86	16	18	11	29
15	32	102	169	254	66	1	193	238	277	47
16	99	12	111	6	186	123	147	157	293	31
17	182	84	64	143	74	65	21	50	133	3
18	79	87	107	217	8	189	47	266	18	22
19	111	24	242	104	32	46	114	62	223	91
20	67	17	105	279	1	282	153	9	3	1

Tablo G.3 Problem 7'nin Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Mutasyon Oranı									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
1	31	15	1	30	1	341	2	32	217	224
2	289	3	72	291	37	128	1	1	3	429
3	40	1	1	1	115	11	66	94	5	46
4	25	1	86	85	70	5	1	128	3	2
5	2	45	125	1	18	4	1	1	1	100
6	29	29	1	48	40	30	62	15	73	71
7	52	231	120	1	1	4	1	5	2	61
8	1	23	2	2	8	13	1	1	111	31
9	254	109	1	46	256	1	40	279	1	240
10	32	27	124	85	52	3	1	1	191	63
11	69	38	1	41	4	95	1	220	1	1
12	1	44	1	16	1	147	5	34	286	5
13	57	15	6	69	3	210	39	12	1	217
14	1	23	282	48	1	1	4	76	14	84
15	36	1	1	15	1	1	20	95	9	379
16	126	242	83	132	1	1	6	131	83	1
17	122	1	77	35	86	246	133	29	1	101
18	34	132	1	1	1	133	8	1	1	9
19	6	1	83	8	4	119	9	7	1	7
20	54	13	1	12	133	89	1	89	170	1

Tablo G.4. Problem 8'in Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Mutasyon Oranı									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
1	1	1	138	1	81	250	1	28	2	415
2	110	6	103	4	45	33	13	64	2	148
3	47	1	33	1	153	1	42	1	130	96
4	4	32	1	68	4	36	402	16	2	1
5	1	1	1	13	2	51	109	4	1	245
6	77	20	121	32	1	96	4	51	184	2
7	8	134	56	3	137	5	258	1	77	110
8	1	40	2	108	265	56	142	178	187	127
9	6	1	50	115	1	66	260	1	3	1
10	19	37	90	94	163	49	5	71	9	22
11	12	41	5	3	4	29	64	8	2	12
12	1	5	51	3	1	1	148	307	1	1
13	7	42	47	1	7	7	271	191	1	17
14	1	50	148	105	2	150	49	1	72	71
15	54	3	231	128	12	8	27	1	60	168
16	1	30	27	21	14	119	17	2	115	279
17	1	1	397	5	25	291	1	444	54	31
18	31	9	122	26	1	255	51	9	59	3
19	10	26	221	56	2	134	1	10	245	40
20	198	30	1	77	44	338	1	155	132	400
21	13	18	5	80	56	81	388	22	1	1
22	1	23	255	1	184	114	1	51	124	252
23	1	23	8	64	22	108	5	3	4	134
24	14	55	1	27	198	77	235	55	76	235
25	57	31	139	9	128	1	1	263	1	1
Ortalama	27,0	26,4	90,1	41,8	62,08	94,24	99,84	77,48	61,67	112,4
S. sapma	45,3	28,0	100	43,21	78,33	96,01	127,7	115,8	71,71	126,9

Tablo G.5. Problem 9'un Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Mutasyon Oranı									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
1	1	101	1	1	4	133	5	387	5	225
2	1	1	21	1	2	2	1	1	3	1
3	84	6	1	26	5	1	126	203	1	122
4	36	1	6	2	10	1	1	1	1	1
5	1	3	16	1	33	26	1	1	55	1
6	1	1	1	6	1	6	98	4	1	1
7	1	3	1	10	2	2	1	561	18	3
8	1	135	10	14	1	1	111	21	1	18
9	1	1	1	70	2	1	1	8	4	22
10	1	3	96	12	82	1	13	2	1	1
11	36	4	2	1	1	193	1	3	1	89
12	1	1	1	5	27	2	6	1	1	4
13	146	1	1	1	1	1	147	129	1	3
14	2	1	1	1	1	1	1	3	289	81
15	35	4	37	24	21	6	1	1	58	57
16	1	33	142	1	1	144	1	1	1	106
17	1	49	3	2	1	47	66	1	1	5
18	1	19	1	46	54	42	34	1	3	1
19	35	33	43	6	7	67	6	2	91	1
20	105	1	1	1	1	2	55	1	1	1
21	24	1	8	16	35	1	174	151	8	57
22	31	4	48	2	9	77	1	90	4	2
23	201	1	65	14	6	144	19	54	32	1
24	1	15	1	29	1	57	1	319	2	23
25	1	18	107	189	65	11	32	157	1	112
Ortalama	29,9	17,6	24,6	19,24	14,92	38,76	36,12	84,12	23,36	37,52
S. sapma	51,6	33,0	38,9	39,04	22,46	56,78	52,94	145,2	59,87	56,45

Tablo G.6. Problem 10'nun Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Mutasyon Oranı									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
1	136	2	59	1	121	7	1	169	1	35
2	2	1	1	13	1	76	120	34	94	1
3	209	18	2	68	1	518	1	79	1	1
4	1	38	1	1	1	162	3	1	385	1
5	88	114	130	36	4	36	1	169	1	1
6	108	1	1	1	31	1	33	361	1	208
7	206	24	1	1	201	3	1	535	259	68
8	1	1	1	1	1	196	1	1	132	194
9	78	16	53	1	1	119	191	1	1	436
10	97	99	61	50	226	20	1	20	2	1
11	1	1	1	8	1	97	1	1	98	150
12	26	1	94	1	1	1	1	1	1	1
13	106	1	16	1	25	1	107	1	1	1
14	4	164	126	1	1	53	155	1	1	1
15	1	5	8	24	24	1	1	86	23	225
16	201	1	122	5	1	15	1	1	200	296
17	34	16	134	67	33	209	1	31	1	366
18	1	1	1	1	1	1	350	1	148	89
19	129	1	63	1	258	1	49	197	1	501
20	1	57	36	38	67	1	21	186	1	58
21	185	38	1	63	21	1	45	1	1	273
22	59	1	4	55	1	73	1	391	3	20
23	1	154	60	98	164	16	1	2	168	488
24	80	2	1	1	7	336	31	208	1	1
25	11	1	12	74	319	316	564	1	151	70
Ortalama	70,6	30,3	39,5	24,44	60,48	90,4	67,28	99,16	67,04	139,4
S. sapma	73,3	49,1	47,7	30,50	95,33	133,0	132,4	146,2	102,5	166,5

Tablo G.7.1 Problem 11'in Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları

Deneme Sayısı	Mutasyon Oranı									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
1	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171
2	172	171	171	171	171	171	171	172	171	174
3	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171
4	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171
5	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171
6	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171
7	171	172	171	172	171	171	171	171	171	171
8	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171
9	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171
10	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171
11	171	171	171	171	171	171	171	171	173	171
12	171	171	171	171	171	172	172	171	171	171
13	171	171	171	171	171	171	171	171	173	171
14	171	171	171	171	171	171	171	174	171	171
15	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171
16	171	171	172	171	171	171	171	172	172	171
17	171	171	172	171	171	171	174	174	171	171
18	171	171	171	171	171	171	171	171	171	174
19	171	171	171	171	171	171	173	171	171	171
20	171	171	171	171	171	171	171	171	174	171
21	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171
22	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171
23	171	171	171	171	171	171	172	171	171	171
24	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171
25	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171
Ortalama	171	171	171	171	171	171	171,2	171,3	171,3	171,2
S. sapma	0,2	0,2	0,27	0,2	0	0,2	0,737	0,852	0,802	0,830

Tablo G.7.2. Problem 11'in Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Mutasyon Oranı									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
1	75	106	51	8	28	16	169	43	18	195
2	18	19	128	23	34	7	8	137	19	8
3	64	213	39	13	236	79	174	102	58	8
4	16	111	156	167	24	16	19	200	29	217
5	121	92	3	1	9	65	74	142	74	80
6	32	73	50	98	99	7	167	116	41	30
7	167	231	34	94	59	113	154	23	239	70
8	37	59	70	161	11	16	9	83	81	130
9	5	95	207	53	26	73	117	16	83	95
10	62	67	216	117	121	121	19	16	38	3
11	108	8	71	224	38	42	239	69	186	149
12	2	32	215	83	25	67	57	249	1	58
13	67	145	122	3	3	41	90	65	122	4
14	7	39	119	115	186	106	7	40	6	234
15	9	188	3	104	146	32	210	102	69	180
16	95	75	145	109	30	242	9	7	36	112
17	161	4	4	6	114	1	141	54	55	14
18	199	178	5	93	40	55	8	141	85	4
19	36	38	98	16	15	104	155	53	7	150
20	149	161	114	181	37	18	28	45	5	10
21	60	63	11	159	112	226	11	226	221	107
22	217	25	212	196	89	136	29	62	84	22
23	46	32	65	129	211	34	24	1	56	176
24	230	156	2	144	142	3	1	2	35	5
25	65	79	50	153	242	55	105	213	85	161
Ortalama	81,9	91,5	87,6	98,0	83,08	67,0	80,96	88,28	69,32	88,88
S. sapma	69,3	65,7	72,7	67,26	74,51	64,07	75,45	73,22	63,67	77,14

Tablo G.8.1. Problem 12'nin Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları

Deneme Sayısı	Mutasyon Oranı									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
1	170	166	171	170	167	171	173	169	169	174
2	169	169	171	169	169	169	169	169	171	174
3	166	171	169	171	171	169	169	171	163	169
4	169	169	166	169	169	169	168	171	169	171
5	169	167	170	169	169	169	169	167	170	174
6	169	166	171	171	169	171	171	166	170	171
7	169	170	164	171	170	171	169	171	171	172
8	169	171	169	169	169	169	169	171	169	169
9	169	167	171	163	169	164	163	169	171	169
10	169	169	169	166	171	169	169	171	171	164
11	166	171	169	171	169	171	169	171	172	169
12	169	169	169	169	171	169	171	169	169	169
13	169	164	166	169	168	169	171	164	169	169
14	169	169	171	163	169	169	169	170	169	169
15	166	171	167	169	169	170	169	169	169	171
16	169	169	166	169	169	165	164	171	173	171
17	169	169	163	169	169	171	169	171	171	169
18	169	163	164	170	169	169	169	169	166	170
19	171	171	171	169	171	169	171	171	171	169
20	169	169	169	171	169	169	173	169	169	171
21	171	167	170	170	170	169	169	169	169	164
22	169	171	169	169	166	169	169	171	171	174
23	171	171	171	166	171	169	169	167	172	171
24	170	169	166	171	164	166	169	169	171	171
25	169	171	170	171	169	171	171	170	173	172
Ortalama	168,96	168,76	168,4	168,96	169,04	169,04	169,24	169,4	169,92	170,24
S. sapma	1,3063	2,2597	2,501	2,2449	1,5937	1,7672	2,1656	1,8257	2,1197	2,5703

Tablo G.8.2. Problem 12'nin Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Mutasyon Oranı									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
1	260	163	51	202	75	83	115	84	14	190
2	106	63	36	292	248	8	148	169	17	13
3	238	84	47	23	8	239	231	195	197	223
4	42	182	283	17	284	201	20	28	75	300
5	192	244	68	96	73	57	260	252	299	172
6	106	59	37	6	1	6	20	294	202	298
7	162	30	1	15	7	15	84	68	193	18
8	261	51	269	148	221	105	173	290	109	36
9	157	173	11	123	83	179	276	158	160	269
10	181	8	254	250	17	81	74	38	159	275
11	292	11	183	54	135	35	157	59	128	114
12	95	285	79	282	180	182	258	163	101	229
13	40	274	268	58	73	34	51	23	173	103
14	129	185	131	138	109	36	132	138	197	287
15	24	21	271	264	77	237	236	148	20	197
16	234	198	120	7	62	75	163	14	88	2
17	215	166	262	135	283	16	247	11	250	161
18	62	119	179	37	1	20	74	243	203	26
19	249	43	45	85	57	166	31	145	90	184
20	32	216	242	105	42	14	1	108	279	9
21	109	98	219	247	157	156	255	147	145	273
22	125	57	59	25	234	48	294	272	35	6
23	1	156	64	52	125	218	119	71	13	46
24	298	60	287	73	38	299	90	169	8	14
25	197	20	197	190	3	137	67	2	92	196
Ortalama	152,2	118,6	146,5	116,96	103,72	105,88	143,04	131,56	129,88	145,64
S. sapma	89,78	85,88	101,4	94,009	91,171	88,195	92,009	91,190	85,993	109,31

Tablo G.9.1 Problem 13'ün Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları

Deneme Sayısı	Mutasyon Oranı									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
1	202	197	199	199	197	196	200	200	198	200
2	197	203	198	202	199	197	198	198	199	203
3	198	198	199	198	201	199	198	198	197	199
4	202	200	197	199	202	199	199	200	201	194
5	201	200	199	200	199	199	201	203	199	199
6	197	197	200	199	202	197	200	199	199	198
7	202	200	197	202	200	199	199	197	197	197
8	201	194	200	198	200	202	202	197	202	201
9	202	200	200	201	199	200	201	201	203	200
10	198	197	203	199	203	199	199	199	199	199
11	202	200	198	198	199	197	200	204	198	202
12	198	200	199	198	199	199	197	203	197	200
13	197	195	200	199	200	202	201	198	198	198
14	198	202	202	199	199	200	198	194	198	201
15	199	197	199	200	199	203	201	202	199	198
16	197	199	200	198	200	199	198	197	199	199
17	200	199	200	200	197	199	202	200	200	200
18	197	200	200	199	198	199	199	201	201	199
19	202	199	200	200	200	201	197	198	198	199
20	197	198	198	201	199	197	203	202	201	197
21	199	199	197	201	199	197	198	203	199	201
22	199	198	200	198	197	201	201	197	198	197
23	197	198	197	198	199	200	199	201	200	198
24	201	202	198	200	198	200	200	199	200	198
25	197	198	199	198	200	199	199	203	201	201
Ortalama	199,2	198,8	199,1	199,36	199,4	199,2	199,6	199,76	199,24	199,12
S. sapma	2,061	2,061	1,491	1,2871	1,5	1,7559	1,6072	2,5212	1,5885	1,9

Tablo G.9.2. Problem 13'tin Nesil Sayısı Deney Sonuçları

Deneme Sayısı	Mutasyon Oranı									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
1	105	381	594	75	322	366	133	70	313	510
2	138	519	501	66	103	150	203	223	410	13
3	118	338	556	153	159	348	254	531	455	448
4	91	184	583	383	552	86	33	239	335	153
5	500	483	549	52	13	55	134	199	444	53
6	330	381	106	585	567	81	538	323	441	85
7	593	207	19	545	193	36	158	230	29	300
8	282	410	402	296	201	397	282	530	381	220
9	349	557	267	269	301	207	40	339	394	491
10	309	231	45	93	16	51	475	518	196	445
11	128	84	336	164	543	415	222	506	545	128
12	434	341	236	431	13	304	430	262	508	210
13	264	538	49	7	479	395	534	538	458	169
14	146	494	219	202	452	2	334	314	27	256
15	112	261	597	190	514	98	38	530	521	139
16	414	199	460	435	160	242	428	333	292	147
17	325	329	565	545	186	84	38	49	92	594
18	330	213	180	325	127	469	78	324	21	190
19	112	242	582	510	340	542	283	96	590	293
20	576	415	496	99	4	16	48	443	87	529
21	193	60	490	340	570	518	366	180	194	60
22	214	542	514	85	72	477	44	386	463	233
23	428	550	271	592	245	275	411	240	305	352
24	9	342	408	270	456	336	121	458	296	113
25	218	298	89	213	445	587	171	168	584	542
Ortalama	268,7	343,9	364,5	277	281,32	261,48	231,84	321,16	335,24	266,92
S. sapma	158,9	146,1	199,3	184,32	197,57	185,78	167,58	154,16	178,82	174,31

Tablo G.10.1. Problem 14'ün Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları

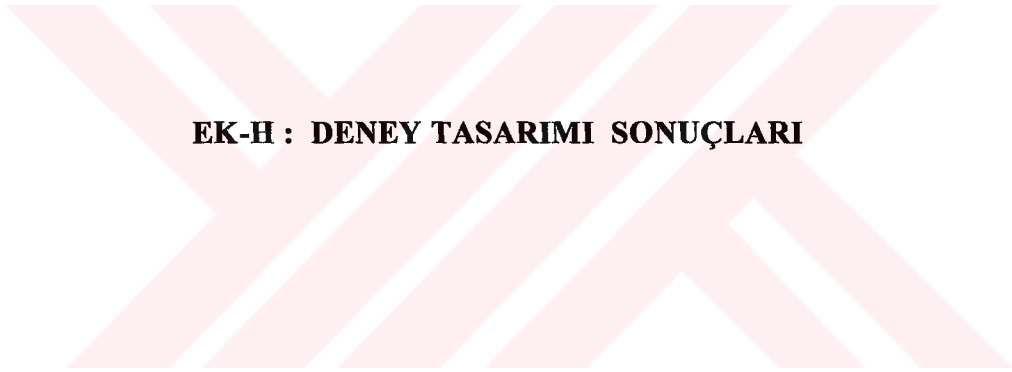
Deneme Sayısı	Mutasyon Oranı									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
1	277	275	277	275	284	279	283	280	286	278
2	280	284	274	279	283	278	281	273	283	269
3	282	279	285	276	281	285	279	276	281	283
4	282	281	277	281	274	283	282	281	285	279
5	274	285	281	285	273	280	281	279	271	281
6	279	267	279	281	279	281	283	280	277	279
7	275	282	279	281	278	285	279	285	281	285
8	274	278	280	271	275	287	282	284	283	280
9	282	284	275	279	276	284	276	283	281	283
10	277	284	280	278	277	274	284	279	279	284
11	283	274	281	283	282	276	286	275	270	280
12	277	276	272	283	283	279	275	277	288	274
13	279	273	277	278	279	281	276	282	279	271
14	279	278	277	282	287	278	285	287	281	278
15	274	281	277	277	276	280	278	283	277	279
16	278	273	271	284	283	283	284	287	284	283
17	277	278	282	278	284	284	278	279	273	284
18	281	280	276	281	280	282	285	278	284	284
19	280	280	281	280	281	278	272	276	276	276
20	279	278	282	272	277	281	282	280	284	282
21	284	276	283	278	286	277	278	280	283	283
22	283	282	279	283	281	278	285	277	284	278
23	285	285	284	281	278	278	277	283	275	282
24	278	277	281	282	279	278	277	278	286	282
25	279	280	277	285	280	281	283	283	280	277
Ortalama	279,1	278,8	278,6	279,72	279,84	280,4	280,44	280,2	280,44	279,76
S. sapma	3,126	4,368	3,520	3,6345	3,6592	3,1622	3,7202	3,6170	4,7528	4,0751

Tablo G.10.2 Problem 14'ün Nesil Sayıları Deney Sonuçları

Deneme Sayısı	Mutasyon Oranı									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
1	687	400	597	149	304	112	16	655	566	233
2	9	338	327	527	597	472	84	567	23	137
3	204	520	530	579	317	228	75	271	85	520
4	474	396	363	515	132	480	232	328	677	593
5	14	81	306	409	543	16	484	339	668	206
6	105	630	315	456	669	277	620	287	619	240
7	658	260	548	450	69	308	223	243	194	403
8	334	659	427	617	401	116	63	312	231	38
9	346	38	668	666	95	367	59	328	38	678
10	7	361	108	526	334	41	524	407	678	475
11	386	19	179	596	216	127	293	321	6	509
12	651	337	267	411	25	555	466	639	679	574
13	254	629	325	185	333	542	539	91	600	475
14	308	126	697	186	577	577	34	170	625	128
15	600	10	378	28	106	287	94	181	194	153
16	11	140	419	145	56	283	17	593	181	339
17	15	22	252	259	63	4	272	4	658	235
18	312	458	101	310	448	152	351	586	375	545
19	387	97	595	250	143	668	699	500	458	8
20	603	624	577	230	590	664	42	675	47	92
21	91	192	248	88	482	9	582	622	492	33
22	683	241	558	257	277	471	292	436	526	29
23	600	118	464	212	694	528	553	251	551	196
24	288	14	581	263	615	392	76	498	76	14
25	139	642	32	659	430	256	667	589	92	550
Ortalama	326,6	294,1	394,4	358,92	340,64	317,28	294,28	395,72	373,56	296,12
S. sapma	240,4	228,4	184,8	190,82	216,68	210,76	234,87	189,35	256,86	216,49

Tablo G. 11 Mutasyon oranı %1 için Deney Sonuçları

Deney no	Problem 5 2x10		Problem 7 2x15		Problem 10 2x20		Problem 11 3x10		Problem 12 4x10		Problem 13 5x10	
	C _{max}	Nesil	C _{max}	Nesil	C _{max}	Nesil	C _{max}	Nesil	C _{max}	Nesil	C _{max}	Nesil
1	141	1	233	2	314	1	172	2	171	13	208	39
2	140	1	240	2	314	1	176	3	174	1	212	6
3	141	1	240	1	318	1	181	3	172	29	216	1
4	140	9	234	1	313	1	176	28	174	38	200	3
5	141	1	233	1	313	1	171	2	177	2	212	6
6	141	2	234	4	314	1	171	53	175	12	207	1
7	141	2	233	1	314	1	172	7	177	23	217	14
8	141	1	233	1	316	1	176	3	174	2	209	2
9	141	1	233	1	314	1	176	3	179	2	213	8
10	145	2	234	1	314	2	174	2	169	34	214	8
11	141	1	234	1	313	1	174	7	174	5	207	7
12	141	17	233	1	313	3	171	9	175	1	210	8
13	141	5	233	11	313	1	171	32	175	3	213	10
14	140	6	233	1	313	1	174	10	174	3	199	45
15	143	2	233	1	313	1	181	34	178	244	220	1
16	140	1	233	1	316	1	177	9	175	3	205	13
17	147	1	234	1	314	1	174	58	172	8	198	19
18	143	1	233	3	318	1	176	17	171	4	217	20
19	141	3	246	2	314	1	174	39	174	35	208	23
20	143	1	234	2	314	1	175	9	177	9	208	42
21	141	1	234	2	320	1	176	16	176	7	212	1
22	143	2	233	1	313	1	173	44	172	9	203	20
23	140	1	234	1	314	1	174	20	171	1	214	12
24	138	1	233	1	313	1	174	5	176	12	206	36
25	141	1	234	1	314	1	177	18	172	8	218	20
26	139	1	234	1	316	1	171	36	179	1	213	1
27	141	2	233	1	313	1	171	23	171	6	220	3
28	138	16	235	1	318	1	177	35	180	1	210	3
29	141	1	233	3	320	1	174	14	177	1	200	3
30	139	4	233	1	313	1	172	5	177	1	210	26
31	140	10	235	1	314	1	173	17	175	8	207	57
32	139	1	240	1	314	1	175	7	175	10	200	3
33	138	4	234	1	313	1	172	7	174	8	212	2
34	141	1	234	3	320	1	174	52	174	1	214	22
35	141	1	234	2	318	1	171	45	176	4	208	16
36	142	1	233	1	318	1	171	45	172	4	206	70
37	138	10	233	1	314	1	171	6	172	14	210	1
38	140	9	240	1	319	1	171	24	173	14	205	13
39	140	1	235	1	319	1	171	8	169	17	207	20
40	141	1	234	1	316	1	171	23	174	28	221	5
Ortalama	140,8	3,2	234,5	1,625	315,1	1,075	173,7	19,5	174,3	15,65	209,7	15,25
S.sapma	1,75	4,0	2,72	1,66	2,33	0,34	2,62	16,41	2,60	37,94	5,82	16,22



EK-H : DENEY TASARIMI SONUÇLARI

Tablo H.1. Problem 5'in Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Deney No							
	1.deney	2.deney	3.deney	4.deney	5.deney	6.deney	7.deney	8.deney
1	2	20	23	35	3	11	18	52
2	72	16	33	124	5	19	25	44
3	3	10	73	22	15	1	5	7
4	11	6	38	38	1	3	19	81
5	1	3	48	70	10	2	37	1
6	16	1	81	29	7	13	1	52
7	14	2	3	69	29	5	2	3
8	9	17	1	10	12	6	12	1
9	12	8	63	2	2	26	1	149
10	7	13	117	42	6	18	3	72
11	18	2	18	1	2	1	26	30
12	1	1	216	29	9	14	52	6
13	2	1	1	28	1	9	43	151
14	14	1	91	1	13	24	70	14
15	5	11	3	1	4	6	14	11
16	18	29	2	35	1	4	13	6
17	2	2	147	14	21	32	14	41
18	1	12	59	1	5	7	4	1
19	43	2	2	128	8	1	2	9
20	3	4	3	29	14	5	1	5
21	1	19	60	37	6	1	5	38
22	1	10	1	1	8	10	36	100
23	12	1	29	144	38	3	24	16
24	21	6	55	1	21	6	1	1
25	11	1	1	29	6	15	8	18
Ortalama	12	7,92	46,72	36,8	9,88	9,68	17,44	36,36
S. sapma	15,665	7,6262	53,31	40,96	9,1575	8,5621	18,179	43,875
Toplam	300	198	1168	920	247	242	436	909

Tablo H.2. Problem 10'nun Deney Sonuçları(Nesil Sayıları)

Deneme Sayısı	Deney No							
	1.deney	2.deney	3.deney	4.deney	5.deney	6.deney	7.deney	8.deney
1	1	1	1	20	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	3	1	1	1
4	1	2	1	1	3	33	1	2
5	3	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	26	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	11	1
8	4	1	1	1	1	1	1	7
9	1	2	1	1	3	1	1	1
10	1	1	1	33	1	1	1	1
11	1	1	1	1	9	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1	1	2
13	1	1	4	1	1	1	1	1
14	3	1	1	1	2	1	4	1
15	1	1	1	6	4	1	1	1
16	1	1	13	10	1	2	3	1
17	1	1	13	9	1	1	8	1
18	1	1	1	2	1	1	1	1
19	1	1	5	1	1	1	1	1
20	1	1	3	1	1	1	1	1
21	4	2	2	1	1	1	1	1
22	5	2	1	1	1	1	1	1
23	1	1	27	1	1	1	1	1
24	1	1	17	45	1	1	4	1
25	9	1	1	1	1	1	1	1
Ortalama	1,88	1,16	4,04	6,72	1,72	2,32	2,00	1,32
S. sapma	1,9	0,374	6,515	11,724	1,7445	6,3947	2,4664	1,2151

Tablo H.3.1 Problem 5x10'nun Tamamlanma Zamanı Deney Sonuçları

Deneme Sayısı	Deney No C_{max}							
	1.deney	2.deney	3.deney	4.deney	5.deney	6.deney	7.deney	8.deney
1	198	197	204	202	198	197	199	202
2	199	197	200	203	197	197	203	197
3	200	194	204	205	198	194	201	203
4	197	197	203	206	199	197	202	198
5	200	197	199	204	198	198	199	199
6	197	197	205	203	200	198	204	203
7	197	198	204	200	200	198	202	201
8	201	197	206	206	199	200	203	203
9	194	197	203	201	202	195	199	205
10	197	197	203	206	202	194	194	203
11	197	197	199	202	198	194	202	201
12	201	199	201	200	198	194	198	198
13	197	199	202	203	200	195	201	202
14	196	196	203	195	198	194	199	204
15	196	199	204	204	197	197	200	200
16	194	197	207	206	199	197	200	201
17	194	197	202	204	197	197	200	200
18	194	196	200	203	197	197	200	203
19	197	197	203	198	199	199	199	200
20	196	197	206	204	199	198	200	204
21	198	197	200	200	198	201	197	202
22	194	197	202	200	198	196	204	197
23	194	197	205	203	199	197	200	200
24	201	197	205	206	201	194	199	202
25	195	198	197	202	199	198	200	200
Ortalama	196,96	197,12	202,68	202,64	198,8	196,64	200,2	201,12
S. sapma	2,3537	1,0132	2,4953	2,75196	1,41421	1,97652	2,21735	2,204541

Tablo H.3.2. Problem 5x10'nun Nesil Sayısı Deney Sonuçları

Deneme Sayısı	Deney No							
	1.deney	2.deney	3.deney	4.deney	5.deney	6.deney	7.deney	8.deney
1	572	41	120	130	106	232	299	551
2	44	414	253	458	77	86	242	312
3	129	21	51	73	599	154	338	381
4	21	561	97	253	412	520	563	545
5	319	3	338	491	301	88	282	179
6	584	231	19	4	3	217	387	419
7	239	329	311	23	38	515	285	262
8	323	236	58	357	104	407	184	80
9	541	106	181	368	584	493	396	401
10	515	315	167	422	572	129	462	291
11	259	137	253	456	593	531	198	424
12	165	472	583	281	280	592	599	411
13	10	410	57	338	338	93	135	268
14	302	137	596	257	478	502	39	207
15	501	149	109	72	226	103	280	427
16	439	373	344	76	255	510	35	18
17	418	194	576	568	512	224	284	21
18	149	447	46	186	236	404	275	334
19	33	255	531	132	505	162	51	354
20	546	385	487	86	551	231	414	405
21	155	297	380	131	135	106	157	86
22	362	491	452	527	15	402	338	583
23	576	526	388	459	57	107	284	445
24	536	506	580	230	125	38	53	228
25	142	161	297	253	14	557	1	209
Ortalama	315,2	287,88	290,96	265,24	284,64	296,12	263,24	313,64
S. sapma	198,36	167,39	195,65	171,080	213,520	189,442	159,614	158,1592

Tablo H.4 Problem 5x10 için ikinci Deney Sonuçları(C_{max})

Deneme Sayısı	Deney No							
	C_{max}							
	1.deney	2.deney	3.deney	4.deney	5.deney	6.deney	7.deney	8.deney
1	200	198	195	194	197	199	198	194
2	198	200	194	197	197	198	197	194
3	197	197	196	194	194	198	196	194
4	203	200	194	194	198	199	195	197
5	199	200	194	194	202	198	197	198
6	202	199	194	196	198	200	197	195
7	197	202	194	197	197	199	194	197
8	197	198	194	194	206	197	195	195
9	199	198	194	194	198	202	194	194
10	204	200	194	195	199	200	196	197
11	198	199	194	194	203	200	198	197
12	199	200	196	196	199	198	197	195
13	202	200	194	194	197	197	196	197
14	198	200	194	194	196	197	196	194
15	202	199	196	195	200	194	194	197
16	197	198	194	194	197	197	198	194
17	200	199	194	194	199	197	195	197
18	198	199	197	197	206	197	197	195
19	201	198	198	194	197	199	196	194
20	198	200	194	194	199	196	197	194
21	199	199	194	197	198	200	197	194
22	200	202	194	194	200	203	194	194
23	200	194	194	194	200	200	197	194
24	200	197	194	194	197	199	198	197
25	199	199	194	196	197	198	194	197
Ortalama	199,48	199	194,56	194,8	198,84	198,48	196,12	195,4
S. sapma	1,9604	1,6329	1,1210	1,19023	2,85306	1,89560	1,39403	1,47196

ÖZGEÇMİŞ

Malatya’da 1969 yılında doğdu. İlk, orta ve lise tahsilini aynı yerde tamamladı. 1986 yılında Endüstri mühendisliği bölümüne girdi ve 1990 yılında İ.T.Ü. İşletme Fakültesi Endüstri mühendisliği bölümünden iyi derece ile mezun oldu. 1990-1991 yıllarında Adana’da bir özel sektör kuruluşunda planlamacı olarak çalıştı. Askerlik yükümlülüğünü 1207. Ağır Bakım ve Tamir Fabrikasında Endüstri Mühendisi (asteğmen) olarak yerine getirdi.

1993 yılında bir yıl süre ile motor silindir gömleği imalatı yapan ve mamullerinin tamamını ihraç eden bir firmada verimlilik ve kalite ile ilgili departmanlıklarında çalıştı.

Selçuk Üniversitesi Müh. Mim. Fak. End. müh. bölümüne 1994 yılında Araştırma Görevlisi olarak başladı. Aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü End. müh. bölümünde yüksek lisans programına girdi, 1997 yılında pekiyi derece ile yüksek Lisans programını tamamladı. Aynı yıl, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsünde, Endüstri Mühendisliği A.B.D da Doktora Programına başladı. Halen Selçuk Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümünde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.