



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**KUADRATİK ATAMA PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜNDE
AYRIK BİREY-KOLONİ OPTİMİZASYONU MODELİ**

Metin ŞATIR

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Endüstri Mühendisliği Programı**

Danışman

Prof. Dr. Ekrem MANİSALI

Temmuz, 2008

İSTANBUL



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**KUADRATİK ATAMA PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜNDE
AYRIK BİREY-KOLONİ OPTİMİZASYONU MODELİ**

Metin ŞATIR

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Endüstri Mühendisliği Programı**

Danışman

Prof. Dr. Ekrem MANİSALI

Temmuz, 2008

İSTANBUL

Bu çalışma/....../ 2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Endüstri Mühendisliğı Anabilim Dalı Endüstri Mühendisliğı programında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof. Dr. Ekrem MANİSALI (Danışman)
İstanbul Üniversitesi

Prof. Dr. Hüseyin BAŞLIGİL
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Necmettin AKTEN
İstanbul Üniversitesi

Prof. Dr. Cengiz KAHRAMAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Şakir ESNAF
İstanbul Üniversitesi

ÖNSÖZ

Tez çalışmalarım boyunca her türlü destek ve yardımlarından dolayı danışmanım Prof. Dr. Ekrem MANİSALI'ya, tez çalışmalarım sürecinde değerli fikirlerini aldığım Prof. Dr. Hüseyin BAŞLIGİL, Doç Dr. Şakir ESNAF, Prof. Dr. Necmettin AKTEN ve Prof. Dr. Cengiz KAHRAMAN'a teşekkürü borç bilirim.

Tezin oluşması ve hazırlanması sürecinde manevi destekleri ve yardımlarını esirgemeyen dostlarım ve çalışma arkadaşlarım Mehmet ŞEVKLİ ve Ali TÜRKYILMAZ'a, ayrıca katkılarından dolayı Sn. M. Fatih TAŞGETİREN'e teşekkür ederim.

Hayat boyu bütün imkanlarını çocukları için seferber eden, **Anneme ve Babama** şükranlarımı sunarım.

Manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili eşim Gülmisal'e sonsuz teşekkürler...

Temmuz, 2008

Metin ŞATIR

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ	ix
SEMBOL LİSTESİ	xiv
ÖZET	xv
SUMMARY	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1. SEZGİSEL OPTİMİZASYON	2
1.2. SEZGİSEL YÖNTEMLER.....	3
1.2.1. Koloni Temelli Yöntemler	4
1.2.1.1. Genetik Algoritma	4
1.2.1.2. Birey-Koloni Optimizasyonu	4
1.2.1.3. Karınca Kolonileri	5
1.2.2. Tek Nokta Aramalı Yöntemler	5
1.2.2.1. Yerel Arama Algoritmaları	5
1.2.2.2. Benzetim Tavlaması	5
1.2.2.3. Tabu Arama	6
1.3. ATAMA PROBLEMLERİNİN KARAR SÜREÇLERİNDEKİ YERİ	7
1.4. TEZİN AMACI VE KAPSAMI.....	7
1.5. TEZİN DÜZENİ.....	8
2. KUADRATİK ATAMA PROBLEMİ.....	10
2.1. PROBLEM TANIMI	10

2.2. PROBLEMİN MATEMATİKSEL İFADESİ	10
2.3. PROBLEMİN ZORLUĞU	11
2.4. PROBLEMİN GÖRSEL TEMSİLİ	12
2.5. LİTERATÜRDEKİ KUADRATİK ARAMA TEST PROBLEMLERİ	14
2.5.1. R.E. Burkard ve J. Offermann Problemleri	15
2.5.2. N. Christofides ve E. Benavent Problemleri	16
2.5.3. A.N. Elshafei Problemleri	16
2.5.4. B. Eschermann ve H.J. Wunderlich Problemleri	17
2.5.5. S.W. Hadley, F. Rendl ve H. Wolkowicz Problemleri	18
2.5.6. J. Krarup ve P.M. Pruzan Problemleri	18
2.5.7. Y. Li ve P.M. Pardalos Problemleri	18
2.5.8. C.E. Nugent, T.E. Vollmann ve J. Ruml Problemleri	19
2.5.9. C. Roucairol Problemleri	20
2.5.10. M. Scriabin ve R.C. Vegin Problemleri	20
2.5.11. J. Skorin-Kapov Problemleri	20
2.5.12. L. Steinberg Problemleri	21
2.5.13. E.D. Taillard Problemleri	21
2.5.14. U.W. Thonemann ve A. Bölte Problemleri	22
2.5.15. M.R. Wilhem ve T.L. Ward Problemleri	23
2.6. TEST PROBLEMLERİNİN DETAYLI YAPISI	23
3. MEVCUT ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI	25
3.1. EN İYİ ÇÖZÜMLER.....	26
3.1.1. Tam Çözümlü Algoritmalar	26
3.1.2. Matematiksel Yaklaşımlar	29
3.2. YAKLAŞIK ÇÖZÜMLER.....	33
3.2.1. Yapay Zeka Uygulamaları	33
3.2.2. Sezgisel Algoritmalar	34
3.2.3. Meta Sezgisel Algoritmalar	35
4. BİREY-KOLONİ OPTİMİZASYONU	40
4.1. TANIM.....	40
4.2. KULLANILAN TEMEL PARAMETRELER	42

4.3. BİREY-KOLONİ OPTİMİZASYONU İŞLEYİŞİ	44
4.4. BİREY-KOLONİ OPTİMİZASYONUNUN GENETİK ALGORİTMAYA GÖRE AVANTAJLARI.....	45
4.4.1. Kullanılan Operatör	45
4.4.2. Parametre Seçimi	46
4.4.3. Seçim Stratejisi	46
4.5. BİREY-KOLONİ OPTİMİZASYONUNDA KULLANILAN TEMEL PARAMETRELER VE ETKİLERİ.....	46
5. KUADRATİK ATAMA PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜ	
İÇİN ÖNERİLEN AYRIK BİREY-KOLONİ OPTİMİZASYONU, SÜREKLİ BİREY-KOLONİ OPTİMİZASYONU VE GENETİK ALGORİTMA MODELLERİ	50
5.1. KUADRATİK ATAMA PROBLEMLERİ İÇİN AYRIK BİREY-KOLONİ OPTİMİZASYONU MODELİ.....	50
5.1.1. Modelin Yapısı	50
5.1.2. Modelin Gösterimi	51
5.1.3. Modelin İşleyişi	51
5.1.4. Önerilen Modelde Kullanılan Parametrelerinin Belirlenmesi	54
5.1.5. Ayrık Birey-Koloni Optimizasyonu Modeli için Örnek Problem	55
5.2. KUADRATİK ATAMA PROBLEMLERİ İÇİN SÜREKLİ BİREY-KOLONİ OPTİMİZASYONU MODELİ.....	59
5.2.1. Modelin Yapısı	59
5.2.2. Modelin Gösterimi	60
5.2.3. Modelin İşleyişi	61
5.2.4. Önerilen Modelde Kullanılan Parametrelerinin Belirlenmesi	63
5.2.5. Sürekli Birey-Koloni Optimizasyonu Modeli için Örnek Problem	64
5.3. KUADRATİK ATAMA PROBLEMLERİ İÇİN GENETİK ALGORİTMA MODELİ.....	69
5.3.1. Çaprazlama Operatörünün Seçimi	70
5.3.1.1. Kısmi Eşlemeli Çaprazlama	70
5.3.1.2. Sıralı Çaprazlama	71

5.3.1.3. Pozisyon Tabanlı Çaprazlama	71
5.3.1.4. Sıraya Dayalı Çaprazlama	72
5.3.1.5. Dairesel Çaprazlama	72
5.3.1.6. Doğrusal Sıralı Çaprazlama	73
5.3.2. Mutasyon Operatörünün Belirlenmesi	74
5.3.2.1. Ters Mutasyon	74
5.3.2.2. Ekleme Mutasyon	74
5.3.2.3. Değiştirme Mutasyon	74
5.3.3. Çaprazlama ve Mutasyon Oranının Belirlenmesi	75
5.3.4. Seçim Stratejisinin Belirlenmesi	75
5.4. ÖNERİLEN MODELLERDE KULLANILAN YAZILIM	75

6. KUADRATİK ATAMA PROBLEMLERİ İÇİN

ÖNERİLEN MODEL SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI ..77

6.1. ÖNERİLEN MODELLERİN TOPLAM MESAFE BAŞARIM

ÖLÇÜTÜNE GÖRE SONUÇLARI	77
6.1.1. R.E. Burkard ve J. Offermann Problemlerinin Sonuçları	77
6.1.2. N. Christofides ve E. Benavent Problemlerinin Sonuçları	78
6.1.3. A.N. Elshafei Problemlerinin Sonuçları	79
6.1.4. B. Eschermann ve H.J. Wunderlich Problemlerinin Sonuçları	80
6.1.5. S.W. Hadley, F. Rendl ve H. Wolkowicz Problemlerinin Sonuçları	81
6.1.6. J. Krarup ve P.M. Pruzan Problemlerinin Sonuçları	81
6.1.7. Y. Li ve P.M. Pardalos Problemlerinin Sonuçları	82
6.1.8. C.E. Nugent, T.E. Vollmann ve J. Ruml Problemlerinin Sonuçları	83
6.1.9. C. Roucairol Problemlerinin Sonuçları	84
6.1.10. M. Scriabin ve R.C. Vegin Problemlerinin Sonuçları	84
6.1.11. J. Skorin-Kapov Problemlerinin Sonuçları	85
6.1.12. L. Steinberg Problemlerinin Sonuçları	86
6.1.13. E.D. Taillard Problemlerinin Sonuçları	86
6.1.14. U.W. Thonemann ve A. Bölte Problemlerinin Sonuçları	88
6.1.15. M.R. Wilhem ve T.L. Ward Problemlerinin Sonuçları	88
6.1.16. Önerilen Modellerin Ortalama Bağlı Hata ve Minimum Bağlı Hata Değerlerinin Ortalama Değerlerine Göre Karşılaştırması	89

6.2. ÖNERİLEN ALGORİTMALARIN İSTATİSTİKSEL	
KARŞILAŞTIRMASI.....	90
6.2.1. İstatistik Test Yöntemi	90
6.2.2. Önerilen Algoritmaların T Testi Sonuçları	91
6.2.2.1. <i>Ayrık Birey-Koloni Optimizasyonu ile Genetik</i>	
<i>Algoritma Modellerinin Ortalama Bağlı Hataya Göre Karşılaştırması</i>	<i>92</i>
6.2.2.2. <i>Ayrık Birey-Koloni Optimizasyonu ile Sürekli</i>	
<i>Birey-Koloni Optimizasyonu Modellerinin Ortalama Bağlı Hataya</i>	
<i>Göre Karşılaştırması</i>	<i>92</i>
6.2.2.3. <i>Ayrık Birey-Koloni Optimizasyonu ile Genetik</i>	
<i>Algoritma Modellerinin Minimum Bağlı Hataya Göre Karşılaştırması</i>	<i>93</i>
6.2.2.4. <i>Ayrık Birey-Koloni Optimizasyonu ile Sürekli</i>	
<i>Birey-Koloni Optimizasyonu Modellerinin Minimum Bağlı Hataya</i>	
<i>Göre Karşılaştırması</i>	<i>93</i>
6.3. ÖNERİLEN MODELLERİN ÇALIŞMA ZAMANI BAŞARIM	
ÖLÇÜTÜNE GÖRE SONUÇLARI	94
6.3.1. R.E. Burkard ve J. Offermann Problemlerinin Sonuçları.....	94
6.3.2. N. Christofides ve E. Benavent Problemlerinin Sonuçları.....	95
6.3.3. A.N. Elshafei Problemlerinin Sonuçları.....	96
6.3.4. B. Eschermann ve H.J. Wunderlich Problemlerinin Sonuçları.....	96
6.3.5. S.W. Hadley, F. Rendl ve H. Wolkowicz Problemlerinin Sonuçları	97
6.3.6. J. Krarup ve P.M. Pruzan Problemlerinin Sonuçları.....	98
6.3.7. Y. Li ve P.M. Pardalos Problemlerinin Sonuçları	99
6.3.8. C.E. Nugent, T.E. Vollmann ve J. Ruml Problemlerinin Sonuçları ...	100
6.3.9. C. Roucairol Problemlerinin Sonuçları	100
6.3.10. M. Scriabin ve R.C. Vegin Problemlerinin Sonuçları	101
6.3.11. J. Skorin-Kapov Problemlerinin Sonuçları	102
6.3.12. L. Steinberg Problemlerinin Sonuçları	103
6.3.13. E.D. Taillard Problemlerinin Sonuçları.....	103
6.3.14. U.W. Thonemann ve A. Bölte Problemlerinin Sonuçları	105
6.3.15. M.R. Wilhem ve T.L. Ward Problemlerinin Sonuçları	105
6.3.16. Önerilen Modellerin Çalışma Zamanı Değerlerinin	
Ortalama Değerlerine Göre Karşılaştırması	106

7. ÖNERİLEN AYRIK BİREY-KOLONİ OPTİMİZASYONU	
MODELİ İLE BİR YERLEŞİM PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ	108
7.1. PROBLEMİN TANIMI.....	108
7.2. PROBLEMİN VERİLERİ	108
7.3. PROBLEMİN AYRIK BİREY-KOLONİ OPTİMİZASYONU	
MODELİ İLE ÇÖZÜMÜ VE SONUÇLAR.....	109
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	111
KAYNAKLAR	115
EKLER	121
EK-A ÖNERİLEN AYRIK BİREY-KOLONİ OPTİMİZASYONU	
MODELİ İLE ELDE EDİLEN SONUÇLAR	121
EK-B ÖNERİLEN SÜREKLİ BİREY-KOLONİ	
OPTİMİZASYONU MODELİ İLE ELDE EDİLEN SONUÇLAR	144
EK-C ÖNERİLEN GENETİK ALGORİTMA MODELİ İLE	
ELDE EDİLEN SONUÇLAR	167
ÖZGEÇMİŞ	190

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	:1992-2002 yıllarında yapılan çalışmalarda sezgisel yöntemler	3
Şekil 2.1	: 4x4 boyutlu bir problemin mesafe temsili.....	12
Şekil 2.2	: 4x4 boyutlu bir problemin akış temsili.....	12
Şekil 2.3	: Verilen problemin akış ve mesafe bilgileri	13
Şekil 2.4	: Verilen problemin optimum çözüm temsili.....	13
Şekil 3.1	: Literatürdeki mevcut çözüm yaklaşımları.....	25
Şekil 4.1	: Kuş kolonileri	40
Şekil 4.2	: Balık kolonileri.....	41
Şekil 4.3	: Böcek kolonileri	41
Şekil 4.4	: Birey-koloni optimizasyonunun işleyişi.....	42
Şekil 4.5	: Pozisyon vektörünün yörüngesi $w=1.0$ $c_1=c_2=2.0$	47
Şekil 4.6	: Pozisyon vektörünün yörüngesi $w=0.9$ $c_1=c_2=2.0$	47
Şekil 4.7	: Pozisyon vektörünün yörüngesi $w=0.7$ $c_1=c_2=1.4$	48
Şekil 4.8	: Pozisyon vektörünün yörüngesi $w=0.7$ $c_1=c_2=2.0$	48
Şekil 4.9	: Pozisyon vektörünün yörüngesi $w=0.001$ $c_1=c_2=2.0$	49
Şekil 5.1	: Kuadratik Atama Problemleri için Önerilen Ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinin yapısı.....	51
Şekil 5.2	: Kuadratik Atama Problemleri için Önerilen Sürekli birey-koloni optimizasyonu modelinin yapısı.....	60
Şekil 5.3	: Önerilen genetik algoritma modelinin yapısı	69

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	: Problemin çözüm ihtimalleri ve fonksiyon değerleri	14
Tablo 2.2	: BuOf:77 problemlerinin yapısı	16
Tablo 2.3	: ChBe:89 problemlerinin yapısı	16
Tablo 2.4	: Elshafei:77 problemlerinin yapısı	17
Tablo 2.5	: EsWu:90 problemlerinin yapısı.....	17
Tablo 2.6	: HaReWo:92 problemlerinin yapısı	18
Tablo 2.7	: KrPr:78 problemlerinin yapısı	18
Tablo 2.8	: LiPa:92 problemlerinin yapısı.....	19
Tablo 2.9	: NuWoRu:68 problemlerinin yapısı	19
Tablo 2.10	: Roucairol:87 problemlerinin yapısı.....	20
Tablo 2.11	: ScWe:75 problemlerinin yapısı.....	20
Tablo 2.12	: Skorin:90 problemlerinin yapısı	21
Tablo 2.13	: Steinberg:61 problemlerinin yapısı.....	21
Tablo 2.14	: Taillard:91 Taillard:94 problemlerinin yapısı.....	22
Tablo 2.15	: ThBo:94 problemlerinin yapısı	22
Tablo 2.16	: WiWa:87 problemlerinin yapısı	23
Tablo 2.17	: Test problemlerinin detaylandırılmış yapısı.....	24
Tablo 3.1	: Dal ve sınır algoritması kullanarak yapılmış çalışmalar	26
Tablo 3.2	: Dinamik programlama kullanarak yapılmış çalışmalar	28
Tablo 3.3	: Kesit düzlemi algoritması kullanarak yapılmış çalışmalar	28
Tablo 3.4	: Dallan ve kes algoritması kullanarak yapılmış çalışmalar	28
Tablo 3.5	: Tam sayılı lineer programlama kullanarak yapılmış çalışmalar	29
Tablo 3.6	: Karışık Tam sayılı programlama kullanarak yapılmış çalışmalar....	31
Tablo 3.7	: Lagrangean metodu kullanarak yapılmış çalışmalar.....	31
Tablo 3.8	: Permütasyon metodu kullanarak yapılmış çalışmalar.....	31
Tablo 3.9	: Lineer cebir metodu kullanarak yapılmış çalışmalar	32
Tablo 3.10	: Grafik formülasyonu metodu kullanarak yapılmış çalışmalar	32
Tablo 3.11	: Yapay zeka uygulamaları kullanarak yapılmış çalışmalar.....	33
Tablo 3.12	: Yapılandırılan algoritmalar kullanarak yapılmış çalışmalar	34
Tablo 3.13	: Sayan ve geliştiren algoritmalar kullanarak yapılmış çalışmalar.....	35
Tablo 3.14	: Benzetim tavlama algoritması kullanarak yapılmış çalışmalar	36
Tablo 3.15	: Genetik algoritma kullanarak yapılmış çalışmalar.....	36
Tablo 3.16	: Karınca kolonileri algoritması kullanarak yapılmış çalışmalar	37
Tablo 3.17	: Evrimsel hesaplama algoritması kullanarak yapılmış çalışmalar	37
Tablo 3.18	: Tabu arama algoritması kullanarak yapılmış çalışmalar.....	38
Tablo 3.19	: GRASP algoritması kullanarak yapılmış çalışmalar.....	38
Tablo 3.20	: Değişken komşuluk arama algoritması ile yapılmış çalışmalar	39
Tablo 3.21	: Tekrarlamalı yerel arama algoritması ile yapılmış çalışmalar	39
Tablo 3.22	: Hibrit algoritmalar kullanarak yapılmış çalışmalar.....	39
Tablo 5.1	: X_i^k birey elemanları	51
Tablo 5.2	: Önerilen modelde kullanılan başlangıç parametre değerleri.....	55

Tablo 5.3	: Tai5 probleminin akış matrisi	55
Tablo 5.4	: Tai5 probleminin mesafe matrisi	55
Tablo 5.5	: Başlangıç pozisyon vektörleri	56
Tablo 5.6	: Başlangıç yerel en iyi pozisyon vektörleri	56
Tablo 5.7	: Başlangıç küresel en iyi değerleri	57
Tablo 5.8	: Birinci birey için ekleme operatörü değerleri	57
Tablo 5.9	: Birinci birey için tek kesme operatörü değerleri	58
Tablo 5.10	: Birinci birey için tek kesme operatörü sonuç değerleri	58
Tablo 5.11	: Birinci birey için çift kesme operatörü değerleri	58
Tablo 5.12	: Birinci birey için çift kesme operatörü sonuç değerleri	59
Tablo 5.13	: X_i^k birey elemanları	60
Tablo 5.14	: Önerilen modelde kullanılan başlangıç parametre değerleri.....	64
Tablo 5.15	: Tai5 probleminin akış matrisi	64
Tablo 5.16	: Tai5 probleminin mesafe matrisi	64
Tablo 5.17	: Başlangıç pozisyon vektörleri	65
Tablo 5.18	: Başlangıç hız vektörleri.....	65
Tablo 5.19	: Başlangıç permütasyon sıraları	65
Tablo 5.20	: Başlangıç yerel en iyi pozisyon vektörleri	66
Tablo 5.21	: Başlangıç küresel en iyi değerleri	66
Tablo 5.22	: Atalet ağırlığı ile çarpılmış hız vektörü değerleri	66
Tablo 5.23	: Pozisyon vektörleri	67
Tablo 5.24	: Hız vektörleri	67
Tablo 5.25	: Permütasyon sırası	68
Tablo 5.26	: Yerel en iyi pozisyon vektörleri.....	68
Tablo 5.27	: Küresel en iyi değerleri	68
Tablo 5.28	: Genetik algoritma modelindeki gösterim yöntemi.....	69
Tablo 5.29	: Kısmi eşlemeli çaprazlama gösterimi	70
Tablo 5.30	: Sıralı çaprazlama gösterimi	71
Tablo 5.31	: Pozisyon tabanlı çaprazlama gösterimi.....	71
Tablo 5.32	: Sıraya dayalı çaprazlama gösterimi	72
Tablo 5.33	: Dairesel çaprazlama gösterimi	72
Tablo 5.34	: Doğrusal sıralı çaprazlama gösterimi.....	73
Tablo 5.35	: Ters mutasyon gösterimi.....	74
Tablo 5.36	: Ekleme mutasyon gösterimi.....	74
Tablo 5.37	: Değiştirme mutasyon gösterimi	74
Tablo 6.1	: BuOf:77 problem sonuçları	78
Tablo 6.2	: ChBe:89 problem sonuçları.....	79
Tablo 6.3	: Elshafei:77 problem sonuçları.....	79
Tablo 6.4	: EsWu:90 problem sonuçları.....	80
Tablo 6.5	: HaReWo:92 problem sonuçları.....	81
Tablo 6.6	: KrPr:78 problem sonuçları	82
Tablo 6.7	: LiPa:92 problem sonuçları	82
Tablo 6.8	: NuWoRu:68 problem sonuçları	83
Tablo 6.9	: Roucairol:87 problem sonuçları.....	84
Tablo 6.10	: ScWe:75 problem sonuçları	85
Tablo 6.11	: Skorin:90 problem sonuçları	85
Tablo 6.12	: Steinberg:61 problem sonuçları	86
Tablo 6.13	: Taillard:91 Taillard:94 problem sonuçları	87
Tablo 6.14	: ThBo:94 problem sonuçları.....	88

Tablo 6.15	: WiWa:87 problem sonuçları	88
Tablo 6.16	: Ortalama ve minimum bağıl hataların ortalama değerleri	89
Tablo 6.17	: DPSO – GA model sonuçlarının ortalama bağıl hataya göre anlamlılık düzeyinde karşılaştırılması	92
Tablo 6.18	: DPSO – CPSO model sonuçlarının ortalama bağıl hataya göre anlamlılık düzeyinde karşılaştırılması	92
Tablo 6.19	: DPSO – GA model sonuçlarının minimum bağıl hataya göre anlamlılık düzeyinde karşılaştırılması	93
Tablo 6.20	: DPSO – CPSO model sonuçlarının minimum bağıl hataya göre anlamlılık düzeyinde karşılaştırılması	93
Tablo 6.21	: BuOf:77 problemlerinin çalışma zamanına göre sonuçları	95
Tablo 6.22	: ChBe:89 problemlerinin çalışma zamanına göre sonuçları	95
Tablo 6.23	: Elshafei:77 problemlerinin çalışma zamanına göre sonuçları	96
Tablo 6.24	: EsWu:90 problemlerinin çalışma zamanına göre sonuçları	97
Tablo 6.25	: HaReWo:92 problemlerinin çalışma zamanına göre sonuçları	98
Tablo 6.26	: KrPr:78 problemlerinin çalışma zamanına göre sonuçları	98
Tablo 6.27	: LiPa:92 problemlerinin çalışma zamanına göre sonuçları	99
Tablo 6.28	: NuWoRu:68 problemlerinin çalışma zamanına göre sonuçları	100
Tablo 6.29	: Roucairol:87 problemlerinin çalışma zamanına göre sonuçları	101
Tablo 6.30	: ScWe:75 problemlerinin çalışma zamanına göre sonuçları	101
Tablo 6.31	: Skorin:90 problemlerinin çalışma zamanına göre sonuçları	102
Tablo 6.32	: Steinberg:61 problemlerinin çalışma zamanına göre sonuçları	103
Tablo 6.33	: Taillard:91:94 problemlerinin çalışma zamanına göre sonuçları	104
Tablo 6.34	: ThBo:94 problemlerinin çalışma zamanına göre sonuçları	105
Tablo 6.35	: WiWa:87 problemlerinin çalışma zamanına göre sonuçları	105
Tablo 6.36	: Çalışma zamanlarının ortalama değerleri	106
Tablo 7.1	: Makine yerleri arasındaki mesafe bilgileri	108
Tablo 7.2	: Makineler arasındaki iş akışı bilgileri	109
Tablo 7.3	: Problemin alternatif çözümleri ve fonksiyon değerleri	109
Tablo 7.4	: Problemin çözümü için çalıştırılan modelin tekrar değerleri	110
Tablo 8.1	: Ortalama ve Minimum bağıl hata değerlerine göre en iyi değer sayısı	111
Tablo 8.2	: Ayrık Birey-Koloni Optimizasyonu – Genetik Algoritma Ortalama ve minimum bağıl hata değerlerine göre t testi sonuçları	112
Tablo 8.3	: Ayrık Birey-Koloni Optimizasyonu – Sürekli Birey-Koloni Optimizasyonu Ortalama ve minimum bağıl hata değerlerine göre t testi sonuçları	112
Tablo A.1	: BuOf:77 problemlerinin DPSO modeli ile elde edilen sonuçları ..	122
Tablo A.2	: ChBe:89 problemlerinin DPSO modeli ile elde edilen sonuçları ..	123
Tablo A.3	: Elshafei:77 problemlerinin DPSO modeli ile elde edilen sonuçları	125
Tablo A.4	: EsWu:90 problemlerinin DPSO modeli ile elde edilen sonuçları	126
Tablo A.5	: HaReWo:92 problemlerinin DPSO modeli ile elde edilen sonuçları	128
Tablo A.6	: KrPr:78 problemlerinin DPSO modeli ile elde edilen sonuçları	129
Tablo A.7	: LiPa:92 problemlerinin DPSO modeli ile elde edilen sonuçları	130
Tablo A.8	: NuWoRu:68 problemlerinin DPSO modeli ile elde	

	edilen sonuçları	132
Tablo A.9	: Roucairol:87 problemlerinin DPSO modeli ile elde edilen sonuçları	134
Tablo A.10	: ScWe:75 problemlerinin DPSO modeli ile elde edilen sonuçları	135
Tablo A.11	: Skorin:90 problemlerinin DPSO modeli ile elde edilen sonuçları	136
Tablo A.12	: Steinberg:61 problemlerinin DPSO modeli ile elde edilen sonuçları	138
Tablo A.13	: Taillard:91:94 problemlerinin DPSO modeli ile elde edilen sonuçları	139
Tablo A.14	: ThBo:94 problemlerinin DPSO modeli ile elde edilen sonuçları ..	142
Tablo A.15	: WiWa:87 problemlerinin CPSO modeli ile elde edilen sonuçları ..	143
Tablo B.1	: BuOf:77 problemlerinin CPSO modeli ile elde edilen sonuçları ..	145
Tablo B.2	: ChBe:89 problemlerinin CPSO modeli ile elde edilen sonuçları...	146
Tablo B.3	: Elshafei:77 problemlerinin CPSO modeli ile elde edilen sonuçları	148
Tablo B.4	: EsWu:90 problemlerinin CPSO modeli ile elde edilen sonuçları..	149
Tablo B.5	: HaReWo:92 problemlerinin CPSO modeli ile elde edilen sonuçları	151
Tablo B.6	: KrPr:78 problemlerinin CPSO modeli ile elde edilen sonuçları	152
Tablo B.7	: LiPa:92 problemlerinin CPSO modeli ile elde edilen sonuçları	153
Tablo B.8	: NuWoRu:68 problemlerinin CPSO modeli ile elde edilen sonuçları	155
Tablo B.9	: Roucairol:87 problemlerinin CPSO modeli ile elde edilen sonuçları	157
Tablo B.10	: ScWe:75 problemlerinin CPSO modeli ile elde edilen sonuçları	158
Tablo B.11	: Skorin:90 problemlerinin CPSO modeli ile elde edilen sonuçları	159
Tablo B.12	: Steinberg:61 problemlerinin CPSO modeli ile elde edilen sonuçları	161
Tablo B.13	: Taillard:91:94 problemlerinin CPSO modeli ile elde edilen sonuçları	162
Tablo B.14	: ThBo:94 problemlerinin CPSO modeli ile elde edilen sonuçları...	165
Tablo B.15	: WiWa:87 problemlerinin CPSO modeli ile elde edilen sonuçları ..	166
Tablo C.1	: BuOf:77 problemlerinin GA modeli ile elde edilen sonuçları	168
Tablo C.2	: ChBe:89 problemlerinin GA modeli ile elde edilen sonuçları.....	169
Tablo C.3	: Elshafei:77 problemlerinin GA modeli ile elde edilen sonuçları...	171
Tablo C.4	: EsWu:90 problemlerinin GA modeli ile elde edilen sonuçları	172
Tablo C.5	: HaReWo:92 problemlerinin GA modeli ile elde edilen sonuçları	174
Tablo C.6	: KrPr:78 problemlerinin GA modeli ile elde edilen sonuçları	175
Tablo C.7	: LiPa:92 problemlerinin GA modeli ile elde edilen sonuçları	176
Tablo C.8	: NuWoRu:68 problemlerinin GA modeli ile elde edilen sonuçları	178
Tablo C.9	: Roucairol:87 problemlerinin GA modeli ile elde edilen sonuçları	180
Tablo C.10	: ScWe:75 problemlerinin GA modeli ile elde edilen sonuçları	181

Tablo C.11	: Skorin:90 problemlerinin GA modeli ile elde edilen sonuçları	182
Tablo C.12	: Steinberg:61 problemlerinin GA modeli ile elde edilen sonuçları	184
Tablo C.13	: Taillard:91:94 problemlerinin GA modeli ile elde edilen sonuçları	185
Tablo C.14	: ThBo:94 problemlerinin GA modeli ile elde edilen sonuçları.....	188
Tablo C.15	: WiWa:87 problemlerinin GA modeli ile elde edilen sonuçları	189

SEMBOL LİSTESİ

n	: Atanacak iş sayısı
m	: İş atanacak işlem merkezi sayısı
a_{ij}	: i ve j yerleşme noktaları arasındaki mesafe
b_{kl}	: k ve l işlem merkezleri arasındaki akış
$\prod_n$	: n elemanın permütasyon kümesi
LB	: Alt sınır değeri (Lower Bound)
UB	: Üst sınır değeri (Upper Bound)
X_i^k	: Koloni içerisindeki k . iterasyondaki i . bireyin pozisyon vektörü
V_i^k	: Koloni içerisindeki k . iterasyondaki i . bireyin hız vektörü
$f(P_i)$	: Yerel en iyi değer
$f(G)$	: Küresel en iyi değer
P_i	: i . bireyin yerel en iyi komşu vektörü
x_{ij}^k	: k . iterasyondaki i . bireyin j . pozisyon değeri
v_{ij}^k	: k . iterasyondaki i . bireyin j . hız değeri
$-V_{\max}$	: Hız vektörünün alacağı minimum değer
$V_{\max}$	: Hız vektörünün alacağı maksimum değer
$-d_{\max}$	: Pozisyon vektörünün alacağı minimum değer
$d_{\max}$	: Pozisyon vektörünün alacağı maksimum değer
ρ	: Kolonideki birey sayısı
w^k	: Atalet ağırlığı
c_1	: Öğrenme faktörü sosyal katsayısı
c_2	: Öğrenme faktörü kavramsal katsayı
r_1	: 0-1 arasında düzgün dağılmış rastgele sayı
r_2	: 0-1 arasında düzgün dağılmış rastgele sayı
β	: Atalet ağırlığının azaltma katsayısı
f_i^{pb}	: i . bireyin yerel en iyi değeri
f^{gb}	: Küresel en iyi amaç fonksiyonu değeri
$\bar{d}$	: Farkların ortalaması
s_D	: Farkların standart sapması
$\overline{s_D}$	: Farkların standart hatası

ÖZET

KUADRATİK ATAMA PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜNDE AYRIK BİREY-KOLONİ OPTİMİZASYONU MODELİ

Bu tezde, zor atama problemlerinden olan kuadratik atama problemlerinin çözümünde yeni bir yaklaşım ele alınmıştır. Çözüm yöntemi olarak, son yıllarda hızla gelişen koloni temelli sezgisel yöntemlerden biri olan ayrık birey-koloni optimizasyonu kullanılmıştır.

Koloni temelli bir meta sezgisel yaklaşım olan ayrık birey-koloni optimizasyonu yöntemi, kuş, balık ve böcek kolonilerinin sosyal davranışlarından esinlenerek geliştirilmiş ve optimizasyon problemlerinin çözümüne uyarlanmıştır. Ayrık birey-koloni optimizasyonunda aday çözüm, birey olarak nitelendirilir ve koloni içerisindeki bir kuş, bir balık veya bir böcek olarak düşünülebilir. Koloni ise, çözüm uzayını keşfetmek için beraberce hareket eder. Her bir bireyin bir amaç fonksiyon değeri vardır ve hız vektörü yardımıyla en iyi çözümü bulmaya çalışır. Bireyler ise, problem uzayında birbirleriyle bilgi paylaşımında bulunarak dolaşırlar. Bu yöntemde, her bir bireyin başlangıç değerleri rastgele oluşturulur ve her bir iterasyon için güncellenir.

Kuadratik atama probleminde, birbiri arasındaki iş akışları tanımlanmış n işlem merkezinin, aralarındaki mesafeleri tanımlanmış n yerleşme noktasına atanması işlemi olarak tanımlanabilir. Amaç, iş akışı ve mesafe parametrelerini kullanarak, katedilen toplam mesafeyi minimum yapacak şekilde, işlem merkezlerinin uygun yerleşme noktalarına atanmasıdır.

Bu tezde, ilk olarak kuadratik atama problemleri için ayrık birey-koloni optimizasyonu, sürekli birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma yöntemleri ile çözüm algoritmaları tasarlanmış ve “toplam mesafe” başarımlı ölçütüne göre literatürde yer alan test problemleri üzerindeki performansları incelenmiştir. İkinci olarak, ayrık birey-koloni optimizasyonu, sürekli birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma modellerinin toplam mesafe başarımlı ölçütüne göre elde edilen sonuçları % 5, % 1 ve % 0,5, % 0,1 anlamlılık düzeylerinde istatistiksel olarak karşılaştırılıp incelenmiştir. Üçüncü olarak, ayrık birey-koloni optimizasyonu, sürekli birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma modelleri “çalışma zamanı” başarımlı ölçütüne göre literatürde yer alan test problemleri üzerindeki performansları incelenmiştir. Sonuçta, ayrık birey-koloni optimizasyonunun diğer yöntemlerden daha iyi performans gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

SUMMARY

DISCRETE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION ALGORITHM FOR THE QUADRATIC ASSIGNMENT PROBLEM

In this dissertation, a new meta-heuristic technique called Discrete Particle Swarm Optimization (DPSO) is applied to Quadratic Assignment problem (QAP), which is one of the hardest combinatorial optimization problems.

Discrete Particle Swarm Optimization (DPSO) is one of the population based optimization technique inspired by social behavior of bird flocking, insect flocking and fish schooling. DPSO inventors were inspired of such natural process based scenarios to solve the optimization problems. In DPSO, each single solution, called a particle, is considered as a bird, the group becomes a swarm (population) and the search space is the area to explore. Each particle has a fitness value calculated by a fitness function, and a velocity of flying towards the optimum. All particles fly across the problem space following the particle nearest to the optimum. DPSO starts with initial population of solutions, which is updated iteration-by-iteration.

The quadratic assignment problem (QAP) is concerned with assigning a set of facilities to a set locations with given distances between the locations and the flows between the facilities. The objective is to find a placement of the facilities on locations to minimize the sum of the products between flows and distances.

First of all, a DPSO, a CPSO) and a genetic algorithm (GA) model for the QAP are developed and applied to the well-known benchmark suites in the literature with the “total distance criterion”. Secondly, DPSO, CPSO and GA model results are compared statistically at 5 %, 1 %, 5 % and 1 % significant levels. Thirdly, a DPSO, a CPSO and a GA model for the quadratic assignment problem(QAP) are developed and applied to the well-known benchmark suites in the literature with the” CPU time criterion”.

It is concluded that, DPSO results are better than CPSO and GA results over the 130 benchmark problems.

1. GİRİŞ

Son dönemde, küreselleşmenin de etkisiyle, tüketim bilincinin artması ve kaynakların kısıtlı hale gelmesi, işletmelerin devamlılığı ve büyümeleri için hem kendilerini yenilemeleri hem de rekabet edebilirliklerinin artması gerektiği gerçeği ön plana çıkmaktadır. Atama problemleri, üretim ve dağıtım ağının tasarımı, dağıtılmış veri ve iletişim tasarımı, banka, sağlık, itfaiye gibi servis operasyonları kararlarının verilmesi, elektrik iletim hatlarının tasarımı, elektronik ticarete siparişleri karşılamak için servis planlamaları, tesis yeri seçimi ve tesis içi yerleşim kararlarında önemli rol oynamaktadır. Atama problemlerinin geniş uygulama alanları göz önünde bulundurulduğunda, müşteri taleplerini karşılamak, üretim ve işletme maliyetlerini düşürmek ve işletmelerin yönetim sistemlerini geliştirmek gibi amaçlara ulaşmak için anlamlı bir etkiye sahip olduğu daha iyi anlaşılmaktadır.

Kuadratik atama problemleri genel atama problemlerinin içerisinde önemli bir yere sahiptir. Bu tip problemler, çözüm zamanının problem boyutuna bağlı olarak üssel olarak artması, katedilen toplam mesafe ve çalışma zamanı gibi performans ölçütlerine göre çözümü zor problemler sınıfına girmektedir. Bunun sebebi, atanan iş ve atanacak merkez sayısına bağlı olarak, alternatif yerleşim sayılarının yani çözüm uzayının üssel olarak artış göstermesidir. Bu tür problemler, problem boyutunun polinom fonksiyonu ile sınırlı olan hesaplama zamanı içinde çözülemezler. Bu nedenle bu tür problemlerin çözümünde, en iyi çözümü bulmayı garanti etmeyen, ancak çözüm zamanı, polinom sınırlar içinde kalan sezgisel metotlardan yararlanılır.

Bu bölümde, sezgisel optimizasyon ve sezgisel yöntemler hakkında bilgi verilip, kuadratik atama problemlerinin karar süreçlerindeki yeri açıklanmıştır. Ayrıca, tezin kapsamı, amacı ve düzeni anlatılmıştır.

1.1. SEZGİSEL OPTİMİZASYON

Sezgisel kelimesinin İngilizcesi olan “heuristic” Yunanca kökenli olup, bulmak, keşfetmek anlamına gelmektedir. Optimizasyon literatüründe ise sezgisel, aranan en iyi çözümün bulunmasını garanti etmeyen, ancak optimum değere en yakın çözümleri araştıran bir tarama metodu olarak tanımlanmaktadır.

Günümüze kadar, kombinatorial problemlere sezgisel metotları kullanarak çözüm geliştirmek için çok sayıda çalışma yapılmıştır. Zanakis ve arkadaşları, 1989 yılında yayımlanan çalışmalarında yaklaşık 375 makaleyi incelemişlerdir. Sonraki yıllarda 120 civarında yeni çalışma da literatürdeki yerine almıştır. Bu aşırı ilginin en temel nedeni, hesaplama zorluğudur. En iyi çözümü arayan bilim adamları, problem boyutunun büyümesi ile ortaya çıkan makul olmayan hesaplama zamanı ihtiyacını ortaya çıkarmış, alternatif olarak sezgisel yöntemlerin kullanılmasının daha anlamlı olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bu sonucun elde edilmesiyle birlikte, sezgisel yöntemler hızla gelişmiş ve etkinlikleri önemli ölçüde artmıştır.

Kombinatorial problemlerin çözülmesi için en temel yaklaşım, problemin mümkün bütün çözümlerinin listelenmesi ve amaç fonksiyonlarının değerlendirilerek en iyisinin seçilmesidir. Bu yöntem, belirli sayıda mümkün çözümü olan problemler için çok anlamlı olsa da, mümkün çözümleri çok fazla olan problemlerin çözülmesi için kullanılması hemen hemen imkansızdır. Bu noktayı açıklamak için seyyar satıcı problemini ele alalım. Bu problem, matematiksel olarak ifade edilmesi kolay, ancak en iyi çözümün elde edilmesi zor bir problem olduğundan, kombinatorial optimizasyon konusunda çalışan araştırmacılar tarafından üzerinde en çok durulan problemlerdendir. Bu problemde, bir seyyar satıcı N tane şehirde satış yapmak için, her birinde sadece bir kez bulunmak koşuluyla, toplam katedilen mesafeyi en aza indirecek bir rota bulmak zorundadır. Herhangi bir başlangıç noktasına göre $(N-1)!$ kadar mümkün çözüm bulunmaktadır. 20 şehirde satış yapmak isteyen bir satıcı için, mümkün tüm çözümleri 1 saatte listeleyen bir bilgisayar programı olduğunu varsayalım. Bu durumda $(N-1)!$ formülüne göre, 21 şehir için 200 saat, 22 şehir için 17,5 gün ve 25 şehir için yaklaşık 6 yüzyıl zaman alacaktır.

Bu sonuçlar göstermektedir ki, problem boyutlarının büyümesi, çözüm için gereken zamanın üssel olarak artması anlamına gelmektedir. Belirli bir noktadan sonra da makul

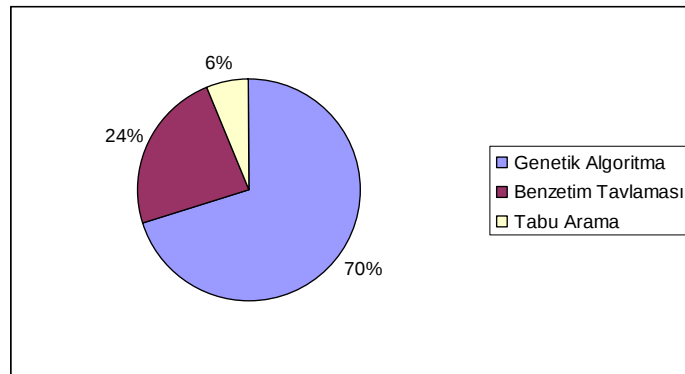
olmayan zaman ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bu noktada, sezgisel optimizasyon yöntemlerinin etkinliği anlaşılmaktadır.

1.2. SEZGİSEL YÖNTEMLER

Sezgisel algoritmalar, genel olarak probleme özel yapılara sahiptirler. Bir problem için kullanılan bir sezgisel algoritma, çoğu zaman başka bir problem için kullanılamamaktadır.

Kombinatorial problemlerin çözümünde sezgisel yöntemlerin kullanımları son yıllarda önemli oranda artış göstermektedir. Jones ve diğ. (2002)'ne göre sezgisel yöntemlerle ilgili çalışmaların oranı 1991 yılından itibaren hız kazanmıştır. Bunun birinci nedeni, hesaplama gücünün iyi olması ikincisi ise, dönüştürülebilir yönünün olmasıdır. Tek amaç fonksiyonlu bir problem için yazılmış bir sezgisel program, kolaylıkla çok amaçlı bir probleme uygulanabilmektedir.

Son yıllarda en çok kullanılan sezgisel yöntemler, genetik algoritma, benzetim tavlama ve tabu arama yöntemleridir. Şekil 1.1'de 1992-2002 yıllarında kullanılan sezgisel yöntemler ve bunların yüzdelik dilimleri yer almaktadır (Jones ve diğerleri, 2002). Bununla birlikte, son zamanlarda karınca kolonileri algoritması, birey-koloni optimizasyonu ve bu yöntemlerin birlikte kullanılmasından elde edilen melez yöntemlerin etkili sonuçları da kombinatorial problemlerin çözüm yöntemleri literatüründeki yerini almaktadır.



Şekil 1.1: 1992-2002 Yıllarında Yapılan Çalışmalarda Kullanılan Sezgisel Yöntemler (Jones ve diğerleri, 2002)

Sezgisel algoritmalar yaklaşımlara göre farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Bunlardan bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir. (Blum ve Roli, 2001).

Doğal Temelli-Doğal Olmayan Temelli: Bu sınıflandırma çeşidi, sezgisel temelli algoritmalar için temel teşkil etmektedir. Genetik algoritma, karınca kolonileri ve benzetim tavlama doğa temelli algoritmalar, tabu arama ve yenilemeli yerel arama algoritmaları da doğa olmayan temelli algoritmalar için örnek olarak verilebilir.

Koloni Temelli-Tek Nokta Aramalı: Bu sınıflandırma yöntemi, arama fonksiyonuna göre yapılır. Eğer algoritma, tek-çözüm üzerinde çalışıyorsa, tek nokta aramalı algoritmalar olarak isimlendirilir. Tabu arama, benzetim tavlama, yerel arama gibi algoritmalar bu gruba dahildir. Eğer algoritma, koloni-çözüm üzerinde çalışıyorsa, koloni temelli algoritmalar olarak isimlendirilir. Genetik algoritma ve birey-koloni optimizasyonu gibi algoritmalar da bu gruba dahildir.

Bu bölümde, en önemli sınıflandırma yöntemi olan *Koloni Temelli-Tek Nokta Aramalı* sınıflandırma yöntemi daha detaylı incelenecektir.

1.2.1. Koloni Temelli Yöntemler

1.2.1.1. Genetik Algoritma

Genetik algoritma, yapay zekanın hızla gelişen önemli ve büyük bir bölümünü teşkil etmektedir. John Holland tarafından keşfedilmiş, daha sonra çalışma arkadaşları ve öğrencileri tarafından geliştirilmiştir.

Genetik algoritmalar, Darwin'in evrim teorisinden esinlenerek ortaya çıkmıştır. Algoritma, her birine kromozom dediğimiz çözüm dizileri ile başlar. Çözüm dizileri ise koloni olarak adlandırılır. Bu koloni, oluşacak yeni koloniye bir temel oluşturur. Oluşan bu yeni koloninin bir önceki koloniden iyi olması beklenir. Oluşturulacak olan yeni koloni, bir önceki koloninin çözümlerinin amaç fonksiyonuna bakılarak oluşturulur. Bu işlem belirlenen bir durdurma ölçütüne kadar devam eder.

1.2.1.2. Birey-Koloni Optimizasyonu

Birey-koloni optimizasyonu tekniği, kuş ve balık sürülerinin iki pozisyonlu hareketlerinden esinlenerek ilk olarak 1995 ve 1996 yıllarında Kennedy ve Eberhart tarafından ortaya atılmıştır. Birey-koloni optimizasyonu, bireyler arasındaki toplumsal bilgi paylaşımını esas alır. Bu yöntemde, arama işlemi genetik algortmada olduğu gibi kolonideki bireyler tarafından ve belirlenen nesil sayısınca yapılır. Her birey kendi pozisyonunu, önceki tecrübesinden yararlanarak, önceki kolonideki en iyi pozisyona

doğru ayarlar. Her birey, önceki en iyi bireyin pozisyonuna doğru hareketini sağlamak için küresel ve yerel komşu değerlerini kullanır.

1.2.1.3. Karınca Kolonileri

1992 yılında Dorigo tarafından geliştirilen karınca kolonileri optimizasyonu karınca kolonilerinin yiyecek toplama esasına göre çalışır (Dorigo ve diğ., 1999). Colorni ve Dorigo tarafından 1991 yılında gezgin satıcı probleminin çözümünde başarı ile uygulanmıştır. Doğadaki karıncaların koloniler halinde yiyecek toplarken en kısa yolu seçme yöntemlerine göre algoritma oluşturulur. Karıncalar kör olduklarından, yiyecek toplarken, geçtikleri yollar üzerinde bir sıvı madde bırakırlar. Bu madde, uçucu özelliğinden dolayı belirli zaman sonra kaybolur. Belirli bir t zaman aralığında belirli bir yoldan ne kadar çok karınca geçerse, madde miktarı da o kadar fazla olur. Daha sonra, aynı yol üzerinde gelen karıncalar, kısa yolu bırakılan madde miktarına bağlı olarak seçerler. Yani, gidebileceği birden fazla yol olduğunda, madde miktarı fazla olan yolu tercih ederler.

1.2.2. Tek Nokta Aramalı Yöntemler

1.2.2.1. Yerel Arama Algoritmaları

Bu algoritma, aramayı iyileşmiş bir çözüme yönlendirmek için, mevcut durumu komşularına doğru bozar. Böylece, aramayı bir noktadan diğerine taşıyarak çözüm kümesindeki daha iyi çözümlerin keşfedilmesini sağlamış olmaktadır.

Yerel arama tekniklerini iki sınıfa ayırmak mümkündür. Birincisi, bir açgözlülük fonksiyonunun belirlediği adaylar içinden rastgele seçimle arama yapan bir yöntem olan açgözlü rassal uyarlamalı arama prosedürüdür. İkincisi ise, mevcut çözüm ile seçilecek komşu çözümler arasında en az belli bir eşik değeri kadar fark bulunmasını şart koşan eşik algoritmalarıdır.

1.2.2.2. Benzetim Tavlaması

Benzetim tavlama algoritması, Kirkpatrick ve diğerleri (1983) tarafından geliştirilmiştir. Tavlama, fizik literatüründeki bir terimdir. Metalin başlangıçta yüksek seviyede olan ısısının, normal seviyeye düşünceye kadar soğutulması işlemini ifade eder. Benzetim tavlama yöntemi, bu işleyişin optimizasyon modeli olarak kullanılabileceği felsefesinden yola çıkarak geliştirilmiştir. Böyle bir durumda, metalin

iç enerjisi, amaç fonksiyonunu ifade etmektedir. Isı kontrol parametresi ve sistemin zaman içindeki değişimlerden oluşan değerleri de mevcut çözümün komşularını temsil etmektedir.

Bu yöntemde, algoritmanın yerel minimuma düşmesini önlemek amacıyla ihtimalli seçim yöntemi kullanılmıştır. Bu yüzden, benzetim tavlama ihtimalli bir arama yöntemi olarak bilinmektedir. Benzetim tavlama çözüm, yerel minimuma düşünceye kadar ilerler. Sonradan yapılabilecek bir taşımaya ancak mevcut çözüm ile komşu çözüm değeri arasındaki farkın bir fonksiyonu ihtimalinde izin verilir.

1.2.2.3. Tabu Arama

Tabu Arama algoritması, Glover (1989) tarafından kombinatoriyal problemlerin çözümü için önerilmiş yüksek seviyeli bir sezgisel programlama tekniğidir. Bu algortmada komşu seçimi ihtimalli değildir. Bununla beraber, daha önce incelenmiş bir komşunun tekrar incelenmesini engellemek için incelenen komşular tabu listesi diye adlandırılan yasak listesinde bir süre bekletilir. Böylece algoritma, yerel minimumdan daha kolay kurtulur. Eğer incelenen bir komşunun amaç fonksiyonu değeri, tabu yıkma ölçütü olarak adlandırılan ölçütü sağlıyorsa, o komşu tabu listesinde olsa bile yeni bir çözüm olarak seçilir. Ayrıca, yasak listesindeki çözümler, bir süre sonra listeden düşürülerek tekrar incelenmesine imkan tanınır. Yani, stratejik bir unutma işlemi uygulanarak problem çözme yeteneğinin artırılması amaçlanır. Böylece çözüm, küresel en iyiye doğru farklı yönlerden hızlı bir şekilde ilerletilmeye çalışılır.

Tabu arama algoritmasının işleyişi oldukça basittir. İlk olarak, bir başlangıç çözüm seçilir. Sonra, bu çözümün komşuları, bir komşuluk yapısıyla belirlenir. Komşu çizelgeler bir amaç fonksiyonuna göre değerlendirilir. Daha sonra, değerlendirilen her komşunun tabu listesinde olup olmadığı kontrol edilir. Eğer en iyi komşu tabu listesinde yoksa ya da tabu yıkma ölçütünü sağlıyorsa, bu çözüme taşınmasına karar verilir. Bu çözüm tabu listesine eklenir ve sonraki arama için yeni başlangıç çözümü olarak alınır. Daha sonra, taşınılan çözüm şimdiye kadar bulunan en iyi çözümle karşılaştırılır. Eğer bu çözüm en iyi çözümden daha iyi ise, bu değer en iyi çözüm olarak saklanır. Bu işlem bir durdurma ölçütü karşılanıncaya kadar tekrarlanır.

1.3. ATAMA PROBLEMLERİNİN KARAR SÜREÇLERİNDEKİ YERİ

Genel olarak atama problemi; n elemanın, n farklı göreve veya n işin n iş merkezine atanması problemidir. i . kişinin, j . işi yapma veya i . işin j . iş merkezinde yapılmasının maliyeti C_{ij} dir. Bu durumda problem, amaç fonksiyonunu minimize edecek atama kümesinin bulunması şeklinde tanımlanabilir.

Bu tip problemlerde amaç fonksiyonunu oluşturan maliyet kavramının tanımlanan iş miktarı ve katedilen uzaklık gibi iki temel bileşeni bulunmaktadır. Bu durumda atama problemlerinin modelleri, bu iki temel bileşen çerçevesinde oluşturulmaktadır.

Bu optimizasyon modelleri, iş yaşamında karşılaşılan bir çok gerçek problemle ilgili kritik kararların verilmesi süreçlerinde kullanılabilir. Bu problemlerden bazıları aşağıda verilmiştir.

- Tesis yerleşimi problemleri
- Yer seçim problemleri
- Banka hesapları yerleşim problemi
- Kümeleme analizleri
- Kilit-Kutu yerleşimi
- Ekonomik parti hacmi
- Makine çizelgeleme ve bilgi düzeltme
- Portföy yönetimi
- İletişim ağlarının tasarımı
- Araç rotalama problemleri
- Frekans atama kararları
- Rıhtım atama kararları

1.4. TEZİN AMACI VE KAPSAMI

Bu tezin amacı, ilk olarak çözümü zor olan ve bilinen metotlarla en iyi çözüme ulaşılamayan kuadratik atama problemlerinin çözümünde yeni bir sezgisel yöntem olan

“ayrık birey-koloni optimizasyonu” metodunun uygulanabilirliği gösterip, toplam mesafe başarımlı ölçütüne göre performansını incelemektir.

Daha sonra, önerilen ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinin sonuçlarını, literatürde iyi sonuçlar veren genetik algoritma ve sürekli birey-koloni optimizasyonu yöntemlerinin sonuçlarıyla istatistiksel olarak çeşitli anlam düzeylerinde karşılaştırmak ve bu yöntemlere eşdeğer düzeyde veya daha iyi sonuçlar verdiğini göstermektir.

Tezin kapsamı ise,

- Kuadratik atama problemlerinin tanımını ve kullanılan performans ölçütünü vermek,
- Toplam mesafe performans ölçütüne göre yapılan mevcut çalışmaların genel bir sunumunu yapmak,
- Genel olarak birey-koloni optimizasyonu yaklaşımının tanımı, bilinen yöntemlerden farklılıkları ve sağladığı yenilikleri değerlendirmek,
- Ayrık birey-koloni optimizasyonu, genetik algoritma ve sürekli birey-koloni optimizasyonu yöntemlerini kullanarak, kuadratik atama problemleri için yeni çözüm algoritmaları geliştirmek,
- Önerilen modellerin sonuçların sonuçlarını istatistiksel olarak karşılaştırmak

olacaktır.

1.5. TEZİN DÜZENİ

Tezin birinci bölümünde, genel olarak sezgisel optimizasyon kavramı açıklanmış, sezgisel yöntemlerin tanımları yapılmış ve atama problemlerinin karar verme süreçlerindeki yeri ve önemi üzerinde durulmuştur. İkinci bölümünde, genel kuadratik atama problemlerinin tanımı, gösterim şekilleri ve çeşitleri hakkında bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde, kuadratik atama problemlerinde mevcut çalışmalar açıklanmıştır. Dördüncü bölümde, genel olarak birey-koloni optimizasyonunun tanımı ve işleyişi hakkında bilgi verilmiştir. Beşinci bölümde, kuadratik atama problemlerinin çözümü için önerilen ayrık birey-koloni optimizasyonu, sürekli birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma modellerin tanımı ve işleyişi hakkında bilgi verilmiştir. Altıncı bölümde ise modellerin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak

karşılaştırılmıştır. Son bölümde ise, çalışmanın sonuçları ile gelecekteki çalışma konuları ele alınmıştır.

2. KUADRATİK ATAMA PROBLEMİ

Bu bölümde kuadratik atama probleminin tanımı, zorluğu, matematik modeli, problemin görsel gösterim şekilleri ile literatürde yer alan gösterim şekilleri sunulmuştur.

2.1. PROBLEM TANIMI

Literatürde atama problemleri, problemi tanımlayan formülleri oluşturan parametrelere göre Hannan ve Kurtzberg (1972) tarafından temel olarak iki şekilde incelenmiştir.

Birincisi, lineer atama problemi olarak bilinmektedir. Lineer atama problemi, n işin n işlem merkezine minimum maliyet olacak şekilde atanması olarak ifade edilmektedir.

İkincisi, kuadratik atama problemi olarak bilinmektedir. Kuadratik atama probleminde, birbiri arasındaki iş akışları tanımlanmış n işlem merkezinin, aralarındaki mesafeleri tanımlanmış n yerleşme noktasına atanması işlemi olarak tanımlanabilir. Amaç, iş akışı ve mesafe parametrelerinin çarpımı ile oluşacak katedilen toplam mesafeyi minimum yapacak şekilde, işlem merkezlerinin uygun yerleşme noktalarına atanmasıdır. (Commander, 2005)

2.2. PROBLEMİN MATEMATİKSEL İFADESİ

Matematiksel olarak, satırı ve sütunu işlem merkezleri ve yerleşme noktaları olan $n \times n$ matrisi şeklinde ifade edilir.

Lineer atama probleminin matematiksel ifadesi şöyledir. (Commander, 2005)

C_{ij} = i ve j noktaları arasındaki atama maliyeti

$$\min f(\pi) = \sum_{i=1}^n c_{ij} X_{ij} \quad (2.1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = 1$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1$$

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

Kuadratik atama probleminin matematiksel ifadesi şöyledir. (Commander, 2005)

$D = [a_{ij}]$ i ve j yerleşme noktaları arasındaki mesafe

$F = [b_{kl}]$ k ve l işlem merkezleri arasındaki akış

$$\min f(\pi) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n b_{ij} a_{kl} x_{ik} x_{jl} \quad (2.2)$$

Kısıtlar:

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

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

$$X_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i, j=1, \dots, n.$$

2.3. PROBLEMİN ZORLUĞU

Kuadratik atama probleminde n işlem merkezi n yerleşme noktası olmak üzere mümkün atamaların sayısı $(n!)$ dir. Bu sayı, işlem merkezi ve yerleşme noktası sayısının artmasıyla ifadesi zor bir hale gelecektir. Ayrıca, problemlerin çözümünde en iyi atamanın tespiti için harcanacak zaman çok fazla olacaktır. Mesela, 30x30 boyutlarında bir kuadratik atama probleminin kesin sonuç veren algoritmalarla çözümü yedi yıldan fazla zaman gerektirmektedir.

Eğer bir optimizasyon probleminin en iyi sonucunu hesaplayacak polinomsal bir zaman algoritması yoksa, bu tip problemler NP-zor problemler olarak sınıflandırılır. Sahni ve Gonzales (1976) yaptıkları çalışmalarla kuadratik atama problemlerinin NP-zor sınıfından olduğunu ispatlamışlardır. (Ji ve diğerleri, 2006)

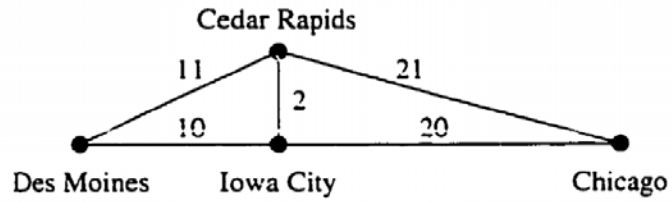
Ayrıca, kuadratik atama problemleri literatürü göstermektedir ki, bu tip problemler, çözülmesi en zor optimizasyon problemlerinden biri olarak tanımlanmaktadır. Genel olarak, $n > 30$ boyutundaki problemler için makul çalışma zamanında çözüm bulunulamamaktadır. (Loila ve diğerleri, 2007)

2.4. PROBLEMİN GÖRSEL TEMSİLİ

Kuadratik atama probleminin temel öğelerini daha etkin yapılandırabilmek için görsel temsili örnek bir problem üzerinde gösterelim.

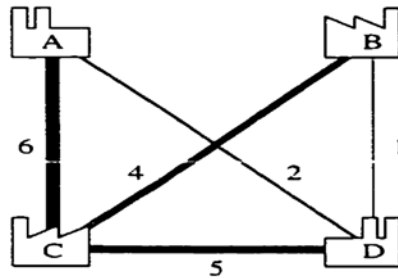
Ele alınan problem, 4 şehre kurulacak 4 işlem merkezinin hangisinin hangi şehre kurulması kararının verilmesini kapsamaktadır. Şehirlerarası mesafe bilgileri ve işlem merkezleri arasındaki iş akış bilgileri kullanılarak öyle bir atama yapılmalı ki, işler yapılırken katedilen toplam mesafe minimum olsun.

Şekil 2.1’de 4x4 boyutundaki bir kuadratik atama probleminin işlem merkezleri arasındaki mesafeler temsili olarak verilmiştir.



Şekil 2.1: 4x4 Boyutunda bir probleminin mesafe temsili

Şekil 2.2’de ise, aynı problemin işlem merkezleri arasındaki akış bilgileri temsili olarak verilmiştir. Bu şekilde, çizgilerin akış miktarlarını da temsil etmesi için çizgiler akış büyüklüğüne uygun kalınlıklarda kullanılmıştır.



Şekil 2.2: 4x4 boyutunda bir probleminin akış temsili

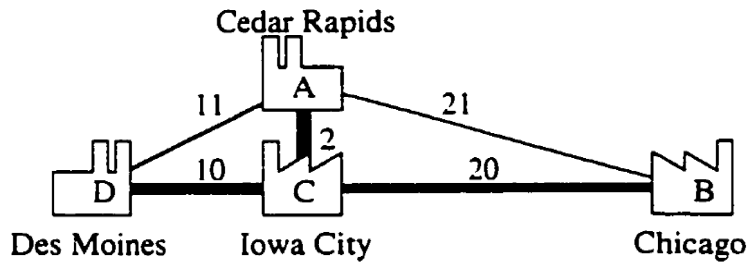
Şekil 2.3’de problemin akış ve mesafe bilgileri verilmiştir.

AKIŞ	A	B	C	D
A	0	0	6	2
B	0	0	4	1
C	6	4	0	5
D	2	1	5	0

MESAFE	Cedar Rapids	Des Moines	Iowa City	Chicago
Cedar Rapids	0	11	2	21
Des Moines	11	0	10	30
Iowa City	2	10	0	20
Chicago	21	30	20	0

Şekil 2.3: Verilen problemin Akış ve Mesafe Bilgileri

Şekil 2.4’de verilen problemin optimum çözümü görsel temsil olarak yer almaktadır.



Şekil 2.4: Verilen probleminin optimum çözüm temsili

Verilen örnek problem 4x4 boyutlu olduğundan, problem için çözüm olabilecek atama ihtimalleri $n!$ formülüne göre, $4!=24$ olarak hesaplanmaktadır. Problemin çözüm ihtimalleri ve amaç fonksiyonu değerleri Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1: Problemin çözüm ihtimalleri ve fonksiyon değerleri

Atama İhtimalleri	Cedar Rapids	Chicago	Des Moines	Iowa City	Fonksiyon değeri
1	A	B	C	D	480
2	A	B	D	C	378
3	A	C	D	B	438
4	A	C	B	D	680
5	A	D	C	B	586
6	A	D	B	C	726
7	B	A	C	D	572
8	B	A	D	C	478
9	B	C	A	D	460
10	B	C	D	A	446
11	B	D	A	C	498
12	B	D	C	A	578
13	C	B	A	D	400
14	C	B	D	A	386
15	C	A	B	D	712
16	C	A	D	B	478
17	C	D	A	B	498
18	C	D	B	A	718
19	D	B	C	A	480
20	D	B	A	C	392
21	D	C	B	A	680
22	D	C	A	B	452
23	D	A	C	B	580
24	D	A	B	C	720

Kuadratik atama problemleri için tanımlanmış formüller yardımıyla gerekli hesaplamalar yapıldığında problemin optimum çözümü ikinci ihtimal olarak Tablo 2.1’de yeralan atama şeklidir. Amaç fonksiyonu değeri de 378 olarak bulunmuştur.

2.5. LİTERATÜRDEKİ KUADRATİK ATAMA TEST PROBLEMLERİ

Literatürde problemler, problemi ortaya atan araştırmacının ismiyle anılmaktadırlar. Ayrıca problemlerin kısa adlarında, problemin ortaya atıldığı yıl bilgisi yer almaktadır. Örnek olarak, R.E. Burkard and J. Offermann’ın problemleri “Buof:77” kısa adıyla bilinmektedir. Bu isimlendirmede, problemi ortaya atan araştırmacıların isimlerinin baş harfleri ve problemin ortaya atıldığı yıl bilgisi mevcuttur.

Her problemin kendi içinde, atanacak iş sayısına, iş atanacak merkez sayısına ve problemin değişik versiyon ve senaryolarına göre sınıflandırması söz konusudur. Örnek olarak, R.E. Burkard and J. Offermann’ın problemleri 8 ayrı set halindedir. Bunlar

bur26a, bur26b,...,bur26h olarak isimlendirilmektedir. Bu isimlendirmede, 26x26 boyutlu bir problem olduğu bilgisi ve harflerle ifade edilen senaryo ve versiyon bilgisi yer almaktadır.

Literatürde araştırmacıların sunduğu çeşitli test problemleri yer almaktadır. Bu problemler, “R.E. Burkard, E. Çela, S.E. Karisch ve F. Rendl” tarafından “QAPLIB - A Quadratic Assignment Problem Library” ismiyle Şubat 2002’de hazırlanan internet sitesinde yayımlanmıştır. Halen güncellenerek bu konuda çalışan araştırmacılara hizmet vermektedir.

Bu problemler aşağıdaki gibi gruplara ayrılmaktadırlar.

- R.E. Burkard ve J. Offermann problemleri
- N. Christofides ve E. Benavent problemleri
- A.N. Elshafei problemleri
- B. Eschermann ve H.J. Wunderlich problemleri
- S.W. Hadley, F. Rendl ve H. Wolkowicz problemleri
- J. Krarup ve P.M. Pruzan problemleri
- Y. Li ve P.M. Pardalos problemleri
- C.E. Nugent, T.E. Vollmann ve J. Ruml problemleri
- C. Roucairol problemleri
- M. Scriabin ve R.C. Vergin problemleri
- J. Skorin-Kapov problemleri
- L. Steinberg problemleri
- E.D. Taillard problemleri
- U.W. Thonemann ve A. Bölte problemleri
- M.R. Wilhelm ve T.L. Ward problemleri

2.5.1. R.E. Burkard ve J. Offermann Problemleri

R.E. Burkard ve J. Offermann (1977) tarafından ortaya atılmıştır. Literatürde “**BuOf:77**” kısa adıyla bilinmektedir. Bur26a, Bur26b, Bur26c, Bur26d, Bur26e, Bur26f, Bur26g, Bur26h olarak isimlendirilen 8 tip problem seti mevcuttur. Bu problemlerin yapısı Tablo 2.2’de verilmiştir. Tablo 2.2’de yeralan alt sınır değeri, toplam mesafe performans kriterine göre problemin alması gereken alt sınır değerini, üst

sınır değeri ise şu ana kadar yapılmış çalışmalar neticesinde elde edilmiş en iyi değeri göstermektedir.

Tablo 2.2: BuOf:77 Problemlerinin Yapısı

Problem	n	m	LB	UB
Bur26a	26	26	5426670	5426670
Bur26b	26	26	3817852	3817852
Bur26c	26	26	5426795	5426795
Bur26d	26	26	3821225	3821225
Bur26e	26	26	5386879	5386879
Bur26f	26	26	3782044	3782044
Bur26g	26	26	10117172	10117172
Bur26h	26	26	7098658	7098658

n Atanacak İş Sayısı
m İş Atanan Merkez Sayısı
LB Alt Limit Değeri
UB Üst Limit Değeri

2.5.2. N. Christofides ve E. Benavent problemleri

N. Christofides ve E. Benavent (1989) tarafından ortaya atılmıştır. Literatürde “**ChBe:89**” kısa adıyla bilinmektedir. Ortaya atılan problem setinde 14 tip problem bulunmaktadır. Bu problemlerin yapısı Tablo 2.3’de verilmiştir.

Tablo 2.3: ChBe:89 Problemlerinin Yapısı

Problem	n	m	LB	UB
Chr12a	12	12	9552	9552
Chr12b	12	12	9742	9742
Chr12c	12	12	11156	11156
Chr15a	15	15	9896	9896
Chr15b	15	15	7990	7990
Chr15c	15	15	9504	9504
Chr18a	18	18	11098	11098
Chr18b	18	18	1534	1534
Chr20a	20	20	2192	2192
Chr20b	20	20	2298	2298
Chr20c	20	20	14142	14142
Chr22a	22	22	6156	6156
Chr22b	22	22	6194	6194
Chr25a	25	25	3796	3796

2.5.3. A.N. Elshafei Problemleri

A.N. Elshafei (1977) tarafından ortaya atılmıştır. Literatürde “**Elshafei:77**” kısa adıyla bilinmektedir. Bu problemin optimum çözümü, T. Mautor (1992) tarafından

bulunmuştur. Ortaya atılan problem setinde 1 tip problem bulunmaktadır. Bu problemin yapısı Tablo 2.4’de verilmiştir.

Tablo 2.4: Elshafei:77 Problemlerinin Yapısı

Problem	n	m	LB	UB
Els19	19	19	17212548	17212548

2.5.4. B. Eschermann ve H.J. Wunderlich Problemleri

B. Eschermann ve H.J. Wunderlich (1990) tarafından ortaya atılmıştır. Literatürde “**EsWu:90**” kısa adıyla bilinmektedir. Bu problem setindeki problemlerden n=16 olan problemin optimum çözümü, J. Clausen ve M. Perregaard (1994) tarafından, n=32 olan problemin optimum çözümü, 1996 yılında A. Bruengger, J. Clausen, A. Marzetta ve M. Perregaard tarafından bulunmuştur. Ayrıca, problem setinde verilen, Esc32a, Esc32b, Esc32c, Esc32d, Esc32h, Esc64a isimli problemlerin optimum çözümü hala bulunamamıştır. Ortaya atılan problem setinde 19 tip problem bulunmaktadır. Bu problemlerin yapısı Tablo 2.5’de verilmiştir.

Tablo 2.5: EsWu:90 Problemlerinin Yapısı

Problem	n	m	LB	UB
Esc16a	16	16	68	68
Esc16b	16	16	292	292
Esc16c	16	16	160	160
Esc16d	16	16	16	16
Esc16e	16	16	28	28
Esc16f	16	16	0	0
Esc16g	16	16	26	26
Esc16h	16	16	996	996
Esc16i	16	16	14	14
Esc16j	16	16	8	8
Esc32a	32	32	103	130
Esc32b	32	32	132	168
Esc32c	32	32	616	642
Esc32d	32	32	191	200
Esc32e	32	32	2	2
Esc32g	32	32	6	6
Esc32h	32	32	424	438
Esc64a	64	64	98	116
Esc128	128	128	64	64

2.5.5. S.W. Hadley, F. Rendl ve H. Wolkowicz Problemleri

S.W. Hadley, F. Rendl ve H. Wolkowicz (1992) tarafından ortaya atılmıştır. Literatürde “**HaReWo:92**” kısa adıyla bilinmektedir. Bu problem setindeki problemlerden $n=16$ olan problemin optimum çözümü, 1996 yılında Hahn, T. Grant ve N. Hall tarafından, $n=18$ ve $n=20$ olan problemlerin optimum çözümü, 1996 yılında A. Bruengger, J. Clausen, A. Marzetta ve M. Perregaard tarafından bulunmuştur. Ortaya atılan problem setinde 5 tip problem bulunmaktadır. Bu problemlerin yapısı Tablo 2.6’de verilmiştir.

Tablo 2.6:HaReWo:92 Problemlerinin Yapısı

Problem	n	m	LB	UB
Had12	12	12	1652	1652
Had14	14	14	2724	2724
Had16	16	16	3720	3720
Had18	18	18	5358	5358
Had20	20	20	6922	6922

2.5.6. J. Krarup ve P.M. Pruzan Problemleri

J. Krarup ve P.M. Pruzan (1978) tarafından ortaya atılmıştır. Literatürde “**KrPr:78**” kısa adıyla bilinmektedir. Ortaya atılan problem setinde 3 tip problem bulunmaktadır. Bu problemlerin yapısı Tablo 2.7’de verilmiştir.

Tablo 2.7: KrPr:78 Problemlerinin Yapısı

Problem	n	m	LB	UB
Kra30a	30	30	88900	88900
Kra30b	30	30	91420	91420
Kra32	32	32	88700	88700

2.5.7. Y. Li ve P.M. Pardalos Problemleri

Y. Li ve P.M. Pardalos (1992) tarafından ortaya atılmıştır. Literatürde “**LiPa:92**” kısa adıyla bilinmektedir. Ortaya atılan problem setinde 16 tip problem bulunmaktadır. Problem setinde verilen problemlerin optimum çözümleri, farklı yöntemlerle, farklı bilimadamları tarafından yapılmış çalışmalarla hesaplanmıştır. Elde edilen bu sonuçlar literatürde referans olarak kullanılmaktadır. Bu problemlerin yapısı Tablo 2.8’de verilmiştir.

Tablo 2.8: LiPa:92 Problemlerinin Yapısı

Problem	n	m	LB	UB
Lipa20a	20	20	3683	3683
Lipa20b	20	20	27076	27076
Lipa30a	30	30	13178	13178
Lipa30b	30	30	151426	151426
Lipa40a	40	40	31538	31538
Lipa40b	40	40	476581	476581
Lipa50a	50	50	62093	62093
Lipa50b	50	50	1210244	1210244
Lipa60a	60	60	107218	107218
Lipa60b	60	60	2520135	2520135
Lipa70a	70	70	169755	169755
Lipa70b	70	70	4603200	4603200
Lipa80a	80	80	253195	253195
Lipa80b	80	80	7763962	7763962
Lipa90a	90	90	360630	360630
Lipa90b	90	90	12490441	12490441

2.5.8. C.E. Nugent, T.E. Vollmann ve J. Ruml Problemleri

C.E. Nugent, T.E. Vollmann ve J. Ruml (1968) tarafından ortaya atılmıştır. Literatürde “**NuVoRu:68**” kısa adıyla bilinmektedir. Ortaya atılan problem setinde 15 tip problem bulunmaktadır. Bu problemlerin yapısı Tablo 2.9’da verilmiştir.

Tablo 2.9: NuVoRu:68 Problemlerinin Yapısı

Problem	n	m	LB	UB
Nug12	12	12	578	578
Nug14	14	14	1014	1014
Nug15	15	15	1150	1150
Nug16a	16	16	1610	1610
Nug16b	16	16	1240	1240
Nug17	17	17	1732	1732
Nug18	18	18	1930	1930
Nug20	20	20	2570	2570
Nug21	21	21	2438	2438
Nug22	22	22	3596	3596
Nug24	24	24	3488	3488
Nug25	25	25	3744	3744
Nug27	27	27	5234	5234
Nug28	28	28	5166	5166
Nug30	30	30	6124	6124

2.5.9. C. Roucairol Problemleri

C. Roucairol tarafından 1987 yılında ortaya atılmıştır. Literatürde “**Roucairol:87**” kısa adıyla bilinmektedir. Ortaya atılan problem setinde 3 tip problem bulunmaktadır. Bu problemlerin yapısı Tablo 2.10’da verilmiştir.

Tablo 2.10: Roucairol:87 Problemlerinin Yapısı

Problem	n	m	LB	UB
Rou12	12	12	235528	235528
Rou15	15	15	354210	354210
Rou20	20	20	725522	725522

2.5.10. M. Scriabin ve R.C. Vergin Problemleri

M. Scriabin ve R.C. Vergin (1975) tarafından ortaya atılmıştır. Literatürde “**ScVe:75**” kısa adıyla bilinmektedir. Bu problem setindeki problemlerden n=20 olan problemin optimum çözümü, 1992 yılında T. Mautor tarafından bulunmuştur. Ortaya atılan problem setinde 3 tip problem bulunmaktadır. Bu problemlerin yapısı Tablo 2.11’de verilmiştir.

Tablo 2.11: ScVe:75 Problemlerinin Yapısı

Problem	n	m	LB	UB
Scr12	12	12	31410	31410
Scr15	15	15	51140	51140
Scr20	20	20	110030	110030

2.5.11. J. Skorin-Kapov Problemleri

J. Skorin-Kapov (1990) tarafından ortaya atılmıştır. Literatürde “**Skorin:90**” kısa adıyla bilinmektedir. Ortaya atılan problem setinde 13 tip problem bulunmaktadır. Bu problem setindeki problemlerden hiçbiri için optimum çözüm bulunamamıştır. Yapılan çalışmalarda ancak yaklaşık çözümler elde edilmiştir. Metasezgisel çalışmalar yapan araştırmacılar tarafından bilinen yöntemler kullanılarak yeni algoritmalar geliştirilmekte veya hibrit algoritmalar geliştirilerek problemlerin optimum çözümleri için çalışmalar yapılmaktadır. Elde edilen en iyi çözüm değerleri ve problemlerin yapısı Tablo 2.12’de verilmiştir.

Tablo 2.12: Skorin:90 Problemlerinin Yapısı

Problem	n	m	LB	UB
Sko42	42	42	14934	15812
Sko49	49	49	22004	23386
Sko56	56	56	32610	34458
Sko64	64	64	45736	48498
Sko72	72	72	62691	66256
Sko81	81	81	86072	90998
Sko90	90	90	108493	115534
Sko100a	100	100	142668	152002
Sko100b	100	100	143872	153890
Sko100c	100	100	139402	147862
Sko100d	100	100	139898	149576
Sko100e	100	100	140105	149150
Sko100f	100	100	139452	149036

2.5.12. L. Steinberg Problemleri

L. Steinberg (1961) tarafından ortaya atılmıştır. Literatürde “**Steinberg:61**” kısa adıyla bilinmektedir. Ortaya atılan problem setinde 3 tip problem bulunmaktadır. Bu problemlerin yapısı Tablo 2.13’de verilmiştir.

Tablo 2.13: Steinberg:61 Problemlerinin Yapısı

Problem	n	m	LB	UB
Ste36a	36	36	9526	9526
Ste36b	36	36	15852	15852
Ste36c	36	36	8239.11	8239.11

2.5.13. E.D. Taillard Problemleri

E.D.Taillard (1991) tarafından ortaya atılmıştır. Probleme 1994 yılında ilave problemler eklenmiştir. Literatürde “**Taillard:91;Taillard:94**” kısa adıyla bilinmektedir. Problem setinde bulunan problemlerden en son 25x25 boyutunda olanlar için optimum çözüm bulunmuştur. Ancak 30x30 boyutlu problemlerden 256x256 boyutlu problemlere kadar olan problem setine henüz optimum çözüm bulunamamıştır. Ortaya atılan problem setinde 26 tip problem bulunmaktadır. Bu problemlerin yapısı Tablo 2.14’de verilmiştir.

Tablo 2.14: Taillard:91 ; Taillard:94 Problemlerinin Yapısı

Problem	n	m	LB	UB
Tai12a	12	12	224416	224416
Tai12b	12	12	39464925	39464925
Tai15a	15	15	388214	388214
Tai15b	15	15	51765268	51765268
Tai17a	17	17	491812	491812
Tai20a	20	20	703482	703482
Tai20b	20	20	122455319	122455319
Tai25a	25	25	1167256	1167256
Tai25b	25	25	344355646	344355646
Tai30a	30	30	1706855	1818146
Tai30b	30	30	589470167	637117113
Tai35a	35	35	2216627	2422002
Tai35b	35	35	248872947	283315445
Tai40a	40	40	2492850	3139370
Tai40b	40	40	534124347	637250948
Tai50a	50	50	3854359	4938796
Tai50b	50	50	374240991	458821517
Tai60a	60	60	5555095	7205962
Tai60b	60	60	473135705	608215054
Tai64c	64	64	1811366	1855928
Tai80a	80	80	10329674	13515450
Tai80b	80	80	664941973	818415043
Tai100a	100	100	15824355	21054656
Tai100b	100	100	926176921	1185996137
Tai150b	100	100	431145963	498896643
Tai256c	100	100	41291996	44759294

2.5.14. U.W. Thonemann ve A. Bölte Problemleri

U.W. Thonemann ve A. Bölte (1994) tarafından ortaya atılmıştır. Literatürde “**ThBo:94**” kısa adıyla bilinmektedir. Ortaya atılan problem setinde 3 tip problem bulunmaktadır. Problemlerden Tho30 isimli problem için optimum çözüm bulunmuştur. Ancak Tho40 ve Tho150 isimli problemler için henüz optimum çözüm bulunamamıştır. Bu problemlerin yapısı Tablo 2.15’de verilmiştir.

Tablo 2.15: ThBo:94 Problemlerinin Yapısı

Problem	n	m	LB	UB
Tho30	30	30	149936	149936
Tho40	40	40	214218	240516
Tho150	150	150	7620628	8133398

2.5.15. M.R. Wilhelm ve T.L. Ward Problemleri

M.R. Wilhelm ve T.L. Ward (1987) tarafından ortaya atılmıştır. Literatürde “**WiWa:87**” kısa adıyla bilinmektedir. Ortaya atılan problem setinde 2 tip problem bulunmaktadır. Problemler için henüz optimum çözüm bulunamamıştır. Bu problemlerin yapısı Tablo 2.16’da verilmiştir.

Tablo 2.16: WiWa:87 Problemlerinin Yapısı

Problem	n	m	LB	UB
Wil50	50	50	47098	48816
Wil100	100	100	263909	273038

2.6. TEST PROBLEMLERİNİN DETAYLI YAPISI

Bu problemlerin formatının aynı olması ve çokluğu nedeniyle örnek olarak N. Christofides and E. Benavent’ın 12x12 boyutlu problem setlerinden biri olan, “Chr12a” isimli problemin yapısı verilmiştir.

Aşağıda verilen tabloda 12 adet iş atanacak merkez bulunmaktadır. Tabloda “mesafe” olarak isimlendirilen bölüm, iş merkezlerinin arasındaki mesafeyi göstermektedir. Yine tabloda “akış” olarak isimlendirilen bölüm, iş merkezleri arasındaki akış miktarını göstermektedir.

Tanımlanan bu problemde bulunmak istenen sonuç, işlerin tamamlanması süresince katedilecek toplam mesafenin minimum olmasıdır. Minimum değer elde edilmesini etkileyen iki önemli parametre vardır. Birincisi, iş merkezleri arasındaki mesafedir. İş merkezleri arasındaki geçiş sırasında bu parametre, sonuca etki eden önemli bir unsurdur. Bu geçiş süreci, bazen taşıma, bazen yürüme, bazen de boş hareket olarak problemin sonucuna etki etmektedir. İkinci parametre ise, iş merkezleri arasındaki iş akışıdır. Bu parametre, aralarındaki geçişin çok sık olduğu iş merkezlerinin birbirine yakın veya uzak yerleştirilmesi sonucu etkileyen önemli bir faktördür. Yukarıda bahsedilen problemlerin tamamı, Tablo 2.17’de görüldüğü gibi “Chr12a” probleminin yapısında oluşturulmuştur.

Tablo 2.17: Test Problemlerinin Detaylandırılmış Yapısı

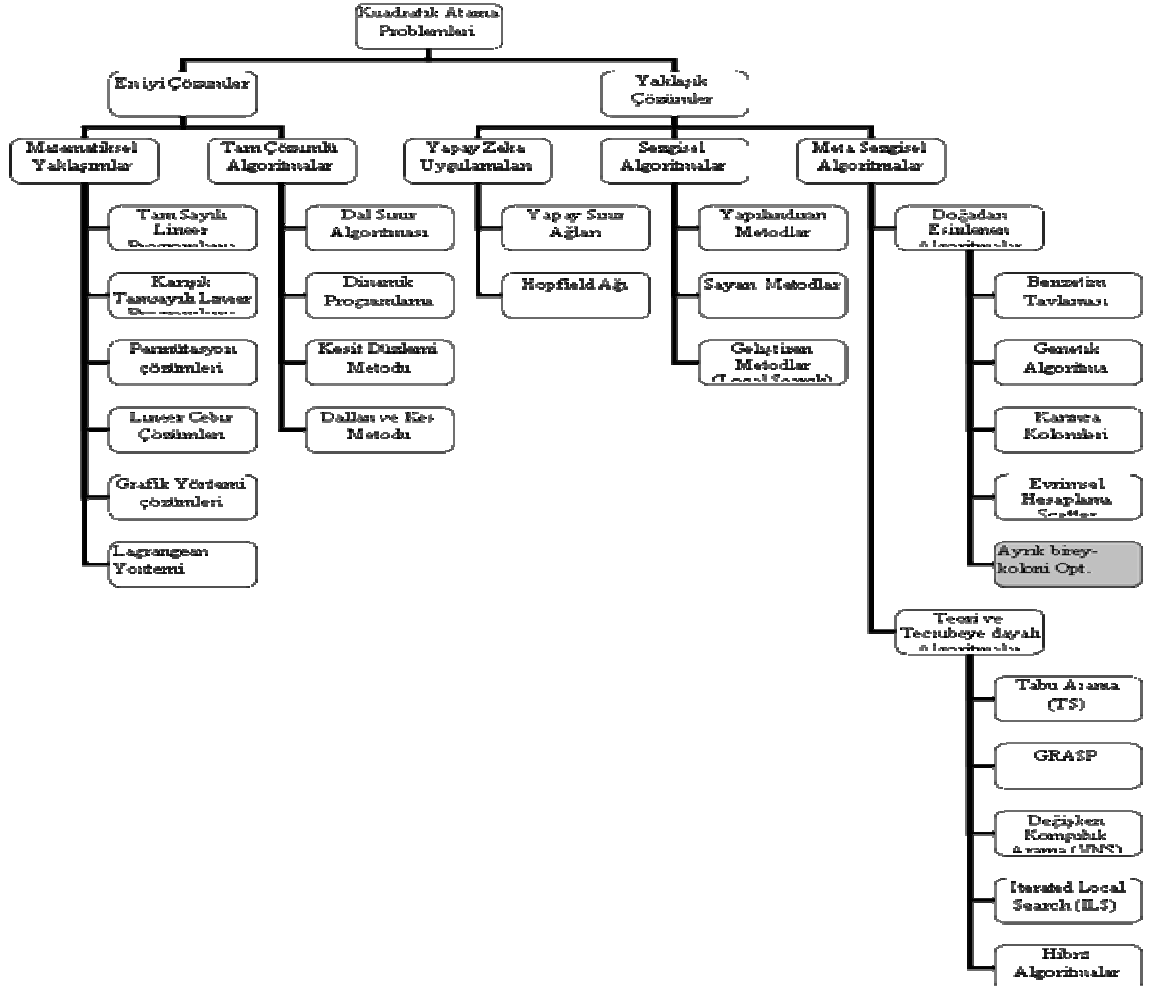
Problem Adı:	Chr12a											
Üst Limit Değeri:	9552											
Alt Limit Değeri:	9552											
İş sayısı:	12											
İş Merkezi Sayısı:	12											
	Akış											
1.İş Merkezi	0	90	10	23	43	0	0	0	0	0	0	0
2.İş Merkezi	90	0	0	0	0	88	0	0	0	0	0	0
3.İş Merkezi	10	0	0	0	0	0	26	16	0	0	0	0
4.İş Merkezi	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.İş Merkezi	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.İş Merkezi	0	88	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
7.İş Merkezi	0	0	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.İş Merkezi	0	0	16	0	0	0	0	0	0	96	0	0
9.İş Merkezi	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	29	0
10.İş Merkezi	0	0	0	0	0	0	0	96	0	0	0	37
11.iş Merkezi	0	0	0	0	0	0	0	0	29	0	0	0
12.iş Merkezi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	0	0
	Mesafe											
1.İş Merkezi	0	36	54	26	59	72	9	34	79	17	46	95
2.İş Merkezi	36	0	73	35	90	58	30	78	35	44	79	36
3.İş Merkezi	54	73	0	21	10	97	58	66	69	61	54	63
4.İş Merkezi	26	35	21	0	93	12	46	40	37	48	68	85
5.İş Merkezi	59	90	10	93	0	64	5	29	76	16	5	76
6.İş Merkezi	72	58	97	12	64	0	96	5	38	54	0	34
7.İş Merkezi	9	30	58	46	5	96	0	83	35	11	56	37
8.İş Merkezi	34	78	66	40	29	55	83	0	44	12	15	80
9.İş Merkezi	79	35	69	37	76	38	35	44	0	64	39	33
10.İş Merkezi	17	44	61	48	16	54	11	12	64	0	70	86
11.iş Merkezi	46	79	54	68	5	0	56	15	39	70	0	18
12.iş Merkezi	95	36	63	85	76	34	37	80	33	86	18	0

3. MEVCUT ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI

Bu bölümde, kuadratik atama problemlerinin literatürdeki mevcut çözüm yöntemleri sınıflandırılmış ve yapılan çalışmalar incelenmiştir.

Literatürdeki kuadratik atama problemlerine uygulanmış çözüm yaklaşımlarını şekil 3.1’de görüldüğü gibi iki temel kategoriye ayırabiliriz. (Loiola ve diğerleri, 2007)

- En İyi Çözümler
- Yaklaşık Çözümler



Şekil 3.1: Literatürdeki Mevcut Çözüm Yaklaşımları

3.1. EN İYİ ÇÖZÜMLER

Kuadratik atama problemlerinin en iyi çözümüne iki yolla erişilmektedir. Bunlar, tam çözümlü algoritmalar ve matematiksel yaklaşımların kullanıldığı yöntemlerdir. Bu yöntemler küçük boyutlu problemlerde, yavaş olmalarına rağmen, en iyi sonuçları vermektedirler. Problemin boyutları büyüdükçe çözüm süresi ve çözüm kümesinin eleman sayısı üssel olarak artmakta ve dolayısıyla hafıza kapasitesi sorunu ortaya çıkmaktadır. En iyi çözüm algoritmaları iki ana başlık altında incelenebilir. Bu başlıklar ve kullanılan yöntemler aşağıdaki gibidir.

3.1.1. Tam Çözümlü Algoritmalar

En önemli tam çözümlü algoritmalar şu şekilde sıralanabilir.

- Dal ve Sınır Algoritması
- Dinamik Programlama
- Kesit Düzlemi Metodu
- Dallar ve Kes Metodu

En iyi çözüm tekniklerinden olan tam çözümlü algoritmalar grubundaki metodlar kullanılarak yapılmış çalışmalar, önemli çalışmaların özellikleri ve çalışmalarını yapan araştırmacıların isimleri aşağıda verilmiştir. (Loiola ve diğerleri, 2007)

Tablo 3.1: Dal ve Sınır Algoritması Kullanarak Yapılmış Çalışmalar

Kullanılan Metot	Yazar	Yıl	Özellik	Uygulama
Dal ve Sınır Algoritması	Gilmore	1962	Kuadratik atama problemi için yapılmış ilk dal ve sınır algoritması çalışmasıdır. n=8 boyutlu probleme çözüm geliştirilmiştir.	+
	Lawler	1963	The Gilmore Lawler sınırı kuadratik atama problemleri için ilk defa geliştirilmiştir.	+
	Carlson ve Nemhauser	1966	Çizelgeleme için algoritma geliştirilmiştir.	+
	Nugent ve diğerleri	1968	Fabrika yeri seçimi problemleri için kullanılan bazı yöntemlerin deneysel karşılaştırılması yapılmıştır.	+
	Burkard ve Offerman	1977	Klavye yerleşim problemi için çözüm algoritması geliştirilmiştir.	+
	Brixius ve Anstreicher	2001	Steinberg'in kablolama problemi için bir çözüm algoritması geliştirilmiştir.	+
	Anstreicher ve diğerleri	2002	Nug30 isimli kuadratik atama test problemi için çözüm algoritması geliştirilmiştir.	-

Diğer	Graves veWhinston,1970
Çalışmalar	Land,1963
	Pierce ve Crowston,1971
	Burkard ve Stratman, 1978
	Bazaraa ve Elshafei,1979
	Mirchandani ve Obata,1979
	Roucairol, 1979
	Burkard ve Derigs, 1980
	Edwards, 1980
	Bazaraa ve Kirca, 1983
	Kaku ve Thompson, 1986
	Pardalos ve Crouse, 1989
	Burkard, 1991
	Laursen, 1993
	Mans ve diğerleri, 1995
	Bozer ve Suk-Chul, 1996
	Pardalos ve diğerleri,1997
	Brünger ve diğerleri,1998
	Ball ve diğerleri,1998
	Spiliopoulos ve Sofianopoulou,1998
	Hahn ve diğerleri,1998

Tam çözümlü algoritmalar içerisinde en önemlisi olan dal ve sınır algoritmasının genel işleyişi şöyledir.

Algoritmanın temsil şekli ağaç dallanma biçimindedir. Başlangıç olarak ağacın sadece bir tek düğümü vardır. Bütün mümkün çözümleri temsil eden bu düğümde henüz hiçbir atama yapılmamıştır. Verilecek atama kararları için gereken işlemlerin kombinasyonu problemin bütün mümkün çözümlerini kapsar. Düğümü takip eden dallar ilgili atama işlemlerinin yapılmasıyla belirlenir. Bundan sonra her bir dal tekrarlı olarak aynı şekilde elde edilir. Arama ağacının bir düğümünün incelenmesi sonunda, söz konusu düğüm sadece bir çözümü temsil ederse veya en iyi çözümü içermediği görülürse işlem durdurulur.

Tablo 3.1’de belirtilen çalışmalardan bazı önemli çalışmalar şu şekilde özetlenebilir.

Tam çözümlü algoritmalar ile ilgili yapılan önemli çalışmalardan biri Burkard ve Offerman (1977) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, kuadratik atama metodolojisi kullanılarak klavyenin üzerindeki tuşların klavye üzerine optimum yerleştirilmesi için dal ve sınır algoritması yöntemi ile bir algoritma geliştirilmiştir.

Dal ve sınır algoritmasının kuadratik atama problemleri için ilk uygulaması Gilmore (1962) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, 8x8 boyutlu bir kuadratik atama problemi için dal ve sınır yöntemiyle çözüm algoritması geliştirilmiştir.

Anstreicher ve diğerleri (2002) dal ve sınır algoritması kullanarak “nug30” olarak isimlendirilen 30x30 boyutlu kuadratik atama test problemi için çözüm algoritması geliştirmiştir.

Tablo 3.2: Dinamik Programlama Kullanarak Yapılmış Çalışmalar

Kullanılan Metot	Yazar ve Yıl
Dinamik Programlama	Christofides ve Benavent,1989 Urban,1998

Tablo 3.3: Kesit Düzlemi algoritması Kullanarak Yapılmış Çalışmalar

Kullanılan Metot	Yazar	Yıl	Özellik	Uygulama
Kesit Düzlemi Metodu	Miranda ve diğerleri	2005	Anakart dizaynında optimum yerleşim için algoritma geliştirilmiştir.	+
Diğer Çalışmalar	Bazaraa ve Sherali,1980, 1982 Burkard ve Bonniger,1983 Kaufman ve Broeckx,1978			

Diğer önemli bir çalışma ise, Miranda ve diğerleri (2005) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, kesit düzlemi metodu kullanılarak, bilgisayarlarda kullanılan anakartların tasarımının kuadratik atama metodolojisi ile çözümü için yeni bir algoritma geliştirilmiştir.

Tablo 3.4: Dallen ve Kes Algoritması Kullanarak Yapılmış Çalışmalar

Kullanılan Metot	Yazar ve Yıl
Dallen ve Kes Metodu	Padberg ve Rinaldi,1991 Padberg ve Rijal,1996 Kaibel,1998 Jünger ve Kaibel, 2000, 2001 Blanchard ve diğerleri , 2003

3.1.2. Matematiksel Yaklaşımlar

En önemli matematiksel yaklaşımlar ise şu şekilde sıralanabilir.

- Tamsayılı Programlama
- Karışık Tamsayılı Programlama
- Lagrangian Yöntemi
- Permütasyon Yöntemi
- Lineer Cebir
- Grafik Formülasyonu Yöntemi

En iyi çözüm tekniklerinden olan matematiksel yaklaşımlar kullanılarak yapılmış çalışmalar, önemli çalışmaların özellikleri ve çalışma yapan araştırmacıların isimleri aşağıda verilmiştir. (Loiola ve diğerleri, 2007)

Tablo 3.5: Tam Sayılı Lineer Programlama Kullanarak Yapılmış Çalışmalar

Kullanılan Metot	Yazar	Yıl	Özellik	Uygulama
Tam Sayılı lineer Programlama	Koopmans ve Beckmann	1957	Kuadratik atama probleminin matematik model olarak ilk defa ifade edildiği çalışmadır.	-
	Steinberg	1961	Bilgisayar kasasına bilgisayar parçalarının minimum kablo kullanılarak yerleştirilmesi problemi için algoritma geliştirilmiştir.	+
	Lawler	1963	The Gilmore Lawler sınırının kuadratik atama problemlerine uyarlandığı ilk çalışmadır.	+
	J. W. Dickey ve J. W. Hopkins	1972	Üniversite kampüsünde matematiksel yöntemler kullanarak optimum bina yerleşimi için çözüm geliştirilmiştir.	+
	Sahni ve Gonzalez	1976	Kuadratik atama probleminin NP-zor problem olduğunun ispatlandığı çalışmadır.	-
	Geoffrion ve Graves	1976	Paralel üretim hatlarında çizelgeleme problemi için çözüm algoritması geliştirilmiştir.	+
	Elshafei	1977	Hastanedeki birimlerin yerleşimi için algoritma geliştirilmiştir.	+
	J.Krarup ve P. M. Pruzan	1978	Arkeolojik verilerin sıralanması ile ilgili çözüm algoritması geliştirilmiştir.	+

Diğer	Gavet ve Plyter,1966
Çalışmalar	Bazaraa ve Serali,1979
	Bazaraa ve Kirca,1983
	Christofides ve Benavent,1989
	Bos,1993
	Mans ve diğerleri,1995
	Jünger ve Kaibel,2000, 2001a,b
	Liang,1996
	Torki ve diğerleri,1996
	Tsuchiya ve diğerleri,1996, 2001
	Ball ve diğerleri,1998
	Ishii ve Sato,1998
	Kaibel,1998
	Kochhar ve diğerleri,1998
	Martin,1998
	Spiliopoulos ve Sofianopoulou,1998
	Siu ve Chang,2002
	Yu ve Sarker,2003
	Fedjki ve Duffuaa,2004

Matematiksel yaklaşımlardan en dikkat çekici olan çalışmalardan birisi Steinberg (1961) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, bilgisayar kasasına 34 adet bilgisayar parçasını kasada 2625 ara bağlantıyla 36 parça yuvasına minimum kablo ihtiyacı olacak şekilde yerleştirilmesi için tamsayılı lineer programlama metodunu kullanarak çözüm algoritması geliştirilmiştir. Bu problem günümüzde de kuadratik atama test problemleri arasında ste36a-ste36c isimlendirmesiyle yerini almaktadır.

Diğer dikkat çekici çalışmalardan birisi de Elshafei (1977) tarafından yapılmıştır. Bu çalışma, Mısır'ın Kahire şehrinde kurulmuş, 17 kliniğe sahip, günlük ortalama 700 hastanın geldiği önemli bir hastanede yapılmıştır. Çalışmada, hastaneye gelen hastaların minimum yol gitmesi ve işlerinin en kısa sürede bitirilmesini sağlamak amacıyla klinikler, idari birimler ve laboratuvarlar arasındaki ilişkilere göre bina ve ofis yerleşimlerinin yeniden yapılması öngörülmüştür. Çalışmanın sonunda tam sayılı lineer algoritma metoduyla optimizasyonu sağlayacak bir model geliştirilmiştir.

Kuadratik atama problemlerinin matematiksel olarak ilk defa ifade edildiği çalışma Koopmans ve Beckmann (1957) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, bölünmez ekonomik aktivitelerin yerleşimi matematik model olarak ifade edilmiştir.

Kuadratik atama problemlerinin bir diğer uygulama çalışması da J. W. Dickey ve J. W. Hopkins (1972) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, bir üniversite kampüsünde departmanlar arasındaki ilişkilere göre öğrencilerin ve çalışanların minimum zamanda işlerini halletmelerini sağlamak için kampüs yerleşiminde optimizasyon çalışması yapılmıştır.

Kuadratik atama problemlerinin gerçek yaşamdaki bir diğer uygulaması E. J. McCormick (1970) tarafından yapılmıştır. Çalışmanın temel konusu insanların daha az yorulmasını sağlayacak ergonomik tasarımlar oluşturmaktır. Bu çalışmada, kontrol amaçlı yapılan karmaşık ekranlardaki göstergelerin insan gözünün minimum yorulmasını sağlayacak şekilde yerleştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu duruma pilotların uçakları kontrol ettiği ekranlar iyi bir örnek olmaktadır.

Tablo 3.6: Karışık Tam Sayılı Programlama Kullanarak Yapılmış Çalışmalar

Kullanılan Metot	Yazar ve Yıl
Karışık Tamsayılı Programlama	Kaufman ve Broeckx, 1978 Bazaraa ve Serali, 1980 Christofides ve diğerleri, 1980 Burkard ve Bonniger, 1983 Adams ve Serali, 1986 Christofides ve Benavent, 1989 Adams ve Johnson, 1994 Drezner, 1995 Gouveia ve VoB, 1995 Milis ve Magirou, 1995 Padberg ve Rijal, 1996 White, 1996 Ramachandran ve Pekny, 1998 Karisich ve diğerleri, 1999 Ramakrishnan ve diğerleri, 2002

Tablo 3.7: Lagrangean Metodu Kullanarak Yapılmış Çalışmalar

Kullanılan Metot	Yazar ve Yıl
Lagrangean Metodu	Karisich ve diğerleri, 1994 Zhao ve diğerleri, 1998 Wolkowicz, 2000

Tablo 3.8: Permütasyon Metodu Kullanarak Yapılmış Çalışmalar

Kullanılan Metot	Yazar	Yıl	Özellik	Uygulama
Permütasyon Metodu	Eiselt ve Laporte	1991	Dart oyunu tahtası optimizasyonu için bir algoritma geliştirilmiştir.	+
Diğer Çalışmalar	Hillier ve Michael, 1966 Graves ve Whinston, 1970 Burkard ve Stratman, 1978 Roucairol, 1979, 1987 Burkard, 1984 Bland ve Dawson, 1991, 1994 Battiti ve Tecchiolli, 1994 Bui ve Moon, 1994 Chakrapani ve Skorin-Kapov, 1994 Fleurent ve Ferland, 1994 Li ve diğerleri, 1994b Mautor ve Roucairol, 1994			

Li ve Smith, 1995
 Taillard, 1995
 Bozer ve Suk-Chul, 1996
 Colomi ve diğerleri, 1996
 Huntley ve Brown, 1996
 Peng ve diğerleri, 1996
 Tian ve diğerleri, 1996, 1999
 Cung ve diğerleri, 1997
 Mavridou ve Pardalos, 1997
 Merz ve Freisleben, 1997
 Nissen, 1997
 Pardalos ve diğerleri, 1997
 Angel ve Zissimopoulos, 1998
 Talbi ve diğerleri, 1998, 2001
 Tansel ve Bilen, 1998
 Abreu ve diğerleri, 1999
 Fleurent ve Glover, 1999
 Gambardella ve diğerleri, 1999
 Maniezzo ve Colomi, 1999
 Ahuja ve diğerleri, 2000
 Angel ve Zissimopoulos, 2000, 2001, 2002
 Stützle ve Holger, 2000
 Arkin ve diğerleri, 2001
 Pitsoulis ve diğerleri, 2001
 Abreu ve diğerleri, 2002
 Gutin ve Yeo, 2002
 Hasegawa ve diğerleri, 2002
 Boaventura-Netto, 2003
 Rangel ve Abreu, 2003
 Costa ve Boaventura-Netto, 1994

Tablo 3.9: Lineer Cebir Metodu Kullanarak Yapılmış Çalışmalar

Kullanılan Metot	Yazar ve Yıl
Lineer Cebir Metodu	Edwards, 1980 Finke ve diğerleri, 1987 Hadley ve diğerleri, 1990, 1992 Hadley, 1994 Karisch ve diğerleri, 1994 Karisch ve Rendl, 1995 Zhao ve diğerleri, 1998 Anstreicher ve diğerleri, 1999 Wolkowicz, 2000 Anstreicher ve Bixius, 2001

Tablo 3.10: Grafik Formülasyonu Metodu Kullanarak Yapılmış Çalışmalar

Kullanılan Metot	Yazar ve Yıl
Grafik Formülasyonu Metodu	Abreu ve diğerleri, 1999 Marins ve diğerleri, 2004 Kreher ve Stinson, 1998 Marins ve diğerleri, 2004

3.2. YAKLAŞIK ÇÖZÜMLER

Kuadratik atama problemlerinin yaklaşık çözümlerinin en önemli avantajı çok hızlı çalışmalarıdır. Dolayısıyla istenen çözümü kabul edilebilir bir sürede verebilmektedir.

Literatürde yer alan önemli yaklaşık çözüm yöntemleri üç ana başlık altında incelenebilir.

- Yapay zeka Uygulamaları
- Sezgisel Algoritmalar
- Meta Sezgisel Algoritmalar

3.2.1. Yapay Zeka Uygulamaları

En önemli yapay zeka uygulamaları şu şekilde sıralanabilir.

- Yapay sinir ağları
- Uzman sistemler

Yaklaşık çözüm tekniklerinden olan yapay zeka uygulamaları kullanılarak yapılmış çalışmalar ve çalışma yapan araştırmacıların isimleri aşağıda verilmiştir. (Loiola ve diğerleri, 2007)

Tablo 3.11: Yapay Zeka Uygulamaları Kullanarak Yapılmış Çalışmalar

Kullanılan Metot	Yazar ve Yıl
Hopfield Ağı	Hopfield ve Tank,1985 Mjolsness, 1987 Talavan ve Yanez, 2002, 2005
Yapay Sinir Ağları	Brandt ve diğerleri,1988 Szu,1988 Gee ve diğerleri,1993 Bousonocalzon ve Manning, 1995 Liang,1996 Obuchi ve diğerleri,1996 Tsuchiya ve diğerleri,1996 Ishii ve Sato,1998, 2001 Rossin ve diğerleri, 1999 Shin ve Niitsuma, 2000 Nishiyama ve diğerleri, 2001 Hasegawa ve diğerleri, 2002 Tatsumi ve diğerleri, 2002 Uwate ve diğerleri, 2002, 2004

3.2.2. Sezgisel Algoritmalar

En önemli sezgisel algoritmalar şu şekilde sıralanabilir.

- Yapılandırıcı metotlar
- Sayan metotlar
- Geliştiren Metotlar

Yaklaşık çözüm tekniklerinden olan sezgisel algoritmalar kullanılarak yapılmış çalışmalar ve çalışma yapan araştırmacıların isimleri aşağıda verilmiştir. (Loiola ve diğerleri, 2007)

Tablo 3.12: Yapılandırıcı Algoritmalar Kullanarak Yapılmış Çalışmalar

Kullanılan Metot	Yazar	Yıl	Özellik	Uygulama
Yapılandırıcı Metotlar	Gilmore	1962	Kuadratik atama problemi için yapılmış ilk dal ve sınır algoritması çalışmasıdır. n=8 boyutlu probleme çözüm geliştirilmiştir.	+
	Armour ve Buffa	1963	CRAFT (Computerized Relative Allocation of Facilities Technique) tekniğinin fabrika yerleşimi problemleri için ilk defa kullanıldığı çalışmadır.	+

Diğer Çalışmalar
 Burkard,1991
 Buffa ve diğerleri,1964
 Sarker ve diğerleri,1995, 1998
 Misevicius, 1997
 Tansel ve Bilen,1998
 Fleurent ve Glover,1999
 Misevicius ve Riskus,1999
 Arkin ve diğerleri, 2001
 Gutin ve Yeo, 2002
 Yu ve Sarker, 2003

Yapılandırıcı metotlar, başlangıçta atanmış iş ve karar verilmiş yer yoktur. Her adımda yeni bir atama yapılır ve çalışılan problem üzerindeki permütasyon tamamlanana kadar devam eder.

Tablo 3.13: Sayan ve Geliştiren Algoritmalar Kullanarak Yapılmış Çalışmalar

Kullanılan Metot	Yazar ve Yıl
Sayan Metotlar	Burkard ve Bonniger, 1983 West, 1983 Nissen ve Paul, 1995
Geliştiren Metotlar	Heider, 1973 Mirchandani ve Obata, 1979 Bruijs, 1984 Pardalos ve diğerleri, 1993 Burkard ve Çela, 1995 Li ve Smith, 1995 Anderson, 1996 Talbi ve diğerleri, 1998 Deineko ve Woeginger, 2000 Misevicius, 2000 Mills ve diğerleri, 2003 Arkin ve diğerleri, 2001 Arora ve diğerleri, 2002

Sayan metotlar, sayma işlemi prosesin sonuna kadar yapılırsa optimum değerin bulunması garanti olur.

Geliştiren metotlar, çalışmaya önceden bulunmuş en iyi değerden başlar ve o değeri geliştirmeye çalışır. Gelişme olmayana kadar tekrarlama devam eder.

3.2.3. Meta Sezgisel Algoritmalar

En önemli meta sezgisel algoritmalar iki ayrı grup olarak incelenmektedir.

— Doğadan Esinlenen Algoritmalar

- Benzetim tavlama
- Genetik Algoritma
- Karınca Kolonileri
- Evrimsel Hesaplama

— Teori ve Tecrübeye dayalı Algoritmalar

- Tabu Arama
- Açgözlü Rasgeleleştirilmiş Uyarlamalı Arama İşlemi
- Değişken Komşuluk Arama

- Tekrarlamalı Yerel Arama
- Hibrit Algoritmalar

Yaklaşık çözüm tekniklerinden olan meta sezgisel algoritmalar kullanılarak yapılmış çalışmalar, önemli çalışmaların özellikleri ve çalışma yapan araştırmacıların isimleri aşağıda verilmiştir. (Loiola ve diğerleri, 2007)

Tablo 3.14: Benzetim Tavlama Algoritması Kullanarak Yapılmış Çalışmalar

Kullanılan Metot	Yazar	Yıl	Özellik	Uygulama
Benzetim Tavlama	Burkard ve Rendl	1984	Benzetim tavlama metodunun kuadratik atama problemi için ilk defa uygulandığı çalışmadır.	+
	Wilhelm ve Ward	1987	Bu çalışmada, yapılan ilk çalışmaya yeni karasız bileşenler eklendi.	+
	Connolly	1990	Kuadratik atama problemleri için benzetim tavlama metoduyla yapılan çalışmaları geliştirerek en iyi sonuçları elde etmiştir.	+
	Thonemann ve Bolte	1994	Kuadratik atama problemleri için yeni bir benzetim tavlama algoritması geliştirilmiştir.	+
Diğer Çalışmalar	Bos, 1993 Yip ve Pao, 1994 Burkard ve Çela, 1995 Peng ve diğerleri, 1996 Tian ve diğerleri, 1996, 1999 Mavridou ve Pardalos, 1997 Chiang ve Chiang, 1998 Abreu ve diğerleri, 1999 Misevicius, 2000, 2003 Tsuchiya ve diğerleri, 2001 Siu ve Chang, 2002 Baykasoglu, 2004			

Tablo 3.15: Genetik Algoritma Kullanarak Yapılmış Çalışmalar

Kullanılan Metot	Yazar	Yıl	Özellik	Uygulama
Genetik Algoritma	Tate ve Smith	1995	Kuadratik atama problemleri için genetik algoritma ile geliştirilen bu çalışmadaki model ile o güne kadarki en iyi sonuçlar elde edilmiştir.	+
	Ahuja ve diğerleri	2000	Kuadratik atama problemleri için yeni geliştirilen algoritmaya açgözlü genetik algoritma adı verilmiştir.	-
	Drezner ve Marcoulides	2003	Kuadratik atama problemleri için yeni bir genetik algoritma modeli geliştirilmiştir.	-
	Drezner	2005	İki fazlı genetik algoritma uygulaması çalışılmıştır.	-
Diğer Çalışmalar	See Davis, 1987 Goldberg, 1989 Bui ve Moon, 1994 Mavridou ve Pardalos, 1997 Kochhar ve diğerleri, 1998 Tavakkoli-Moghaddain ve Shayan, 1998 Gong ve diğerleri, 1999 El-Baz, 2004 Wang ve Okazaki, 2005			

Tablo 3.16: Karınca Kolonileri Algoritması Kullanarak Yapılmış Çalışmalar

Kullanılan Metot	Yazar	Yıl	Özellik	Uygulama
Karınca Kolonileri	Demirel ve Toksari	2006	Kuadratik atama problemleri için karınca kolonileri yöntemiyle çözüm algoritması geliştirilmiştir.	-
Diğer Çalışmalar	Maniezzo ve Colomi, 1995, 1999 Colomi ve diğerleri, 1996 Dorigo ve diğerleri, 1996 Gambardella ve diğerleri, 1999 Stützle ve Dorigo, 1999 Stützle ve Holger, 2000 Talbi ve diğerleri, 2001 Middendorf ve diğerleri, 2002 Solimanpur ve diğerleri, 2004 Randall ve diğerleri, 2004 Ying ve Liao, 2004 Acan, 2005			

Kuadratik atama problemleri için kullanılan yöntemlerden olan karınca kolonileri yöntemi ile yapılan çalışmalar arasında dikkat çekenlerden biri Demirel ve Toksari (2006) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, non deterministik polinomial (NP-hard) problemlerin çözümünde kullanılan “karınca koloni optimizasyonu” algoritmasının tanımı yapılmaktadır. Söz konusu yöntem, kesin çözümü mümkün olmayan büyük ölçekli problemlere sezgisel ve yaklaşık sonuçlar üretmek için kullanılmaktadır. Bu yöntem, bu kapsama giren seyyar satıcı problemi, iş çizelgeleme problemleri, taşıma sistemlerinde rota tespiti problemleri, telekomünikasyon ağları problemlerine sezgisel çözümler üretmek üzere kullanılmıştır. Buna ilaveten, kuadratik atama problemlerine sezgisel olarak yeni bir çözüm algoritması geliştirilmiştir. Benzetim tavlama sezgisel metodu baz alınarak “lokal arama algoritması ve karınca koloni optimizasyonu algoritmasının birlikte kullanılması ile hibrit bir algoritma geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar tabu arama ve genetik hibrit metotları ile bulunan sonuçlarla karşılaştırılmış ve onlardan daha anlamlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 3.17: Evrimsel Hesaplama Algoritması Kullanarak Yapılmış Çalışmalar

Kullanılan Metot	Yazar	Yıl	Özellik	Uygulama
Evrimsel Hesaplama	Glover	1977	Bu çalışmada, tamsayılı lineer programlama problemleri için sezgisel çalışmalara giriş yapıldı.	-
	Cung ve diğerleri	1997	Bu çalışma kuadratik atama problemleri için geliştirilen ilk evrimsel hesaplama çalışmasıdır.	-

Tablo 3.18: Tabu Arama Algoritması Kullanarak Yapılmış Çalışmalar

Kullanılan Metot	Yazar	Yıl	Özellik	Uygulama
Tabu Arama	Chakrapani ve Skorin-Kapov	1992	Boltzmann makinesi tekniği ile elde edilen verilerden çözüm algoritması oluşturulmuştur.	+
	Battiti ve Tecchiolli	1994	Kuadratik atama problemleri için yeniden aktif edilmiş tabu arama (reactive tabu search) algoritması geliştirilmiştir.	+
	Taillard	1995	Genetik algoritma sonuçları ile tabu arama sonuçları karşılaştırılmıştır.	-
	Skorin-Kapov	1990 1994	Tabu arama metodunun kuadratik atama problemleri için kullanıldığı ilk çalışmadır.	+
	Taillard	1991	Değişik boyutlardaki problemler için geliştirilmiş algoritmaların performansları karşılaştırılmıştır. Çalışmada geliştirilen yeni modele sağlam tabu arama (RoTS) adı verilmiştir.	-
	Bland ve Dawson	1991	Değişik boyutlardaki problemler için geliştirilmiş algoritmaların performansları karşılaştırılmıştır.	-
Diğer Çalışmalar	Rogger ve diğerleri, 1992 Misevicius, 2003, 2005 Drezner, 2005			

Tablo 3.19: GRASP Algoritması Kullanarak Yapılmış Çalışmalar

Kullanılan Metot	Yazar	Yıl	Özellik	Uygulama
Açgözlü Rasgeleleştirilmiş Uyarlamalı Arama İşlemi (GRASP)	Li ve diğerleri	1994	GRASP metodunun kuadratik atama problemleri için kullanıldığı ilk çalışmadır.	-
	Pitsoulis ve diğerleri	2001	Türbin motorlarının dengelenmesi problemi incelenmiştir.	+
Diğer Çalışmalar	Feo ve Resende, 1995 Resende ve diğerleri, 1996 Fleurent ve Glover, 1999 Ahuja ve diğerleri, 2000 Rangel ve diğerleri, 2000 Oliveira ve diğerleri, 2004			

GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure) yöntemi kullanılarak yapılan ilk ve önemli çalışmalardan biri Li ve diğerleri (1994) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, 88 x 88 boyutlu kuadratik atama test problemleri için GRASP yöntemiyle çözüm algoritması geliştirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonunda en iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 3.20: Değişken Komşuluk Arama Algoritması Kullanarak Yapılmış Çalışmalar

Kullanılan Metot	Yazar	Yıl	Özellik	Uygulama
Değişken Komşuluk Arama	Mladenovic ve Hansen	1997	Kuadratik atama problemler için yapılmış ilk değişken komşuluk arama çalışmasıdır.	
	Taillard ve Gambardella	1999	Üç farklı VNS stratejisi geliştirilmiştir.	
Diğer Çalışmalar	Hansen ve diğerleri, 1999			

Tablo 3.21: Tekrarlamalı Yerel Arama Algoritması Kullanarak Yapılmış Çalışmalar

Kullanılan Metot	Yazar ve Yıl
Tekrarlamalı Yerel Arama	H.R. Lourenc ve diğerleri, 2002 Stützle, 2005 Johnson ve diğerleri, 2002 Balas ve diğerleri, 1998 Congram ve diğerleri, 2002

Tablo 3.22: Hibrit Algoritmalar Kullanarak Yapılmış Çalışmalar

Kullanılan Metot	Yazar	Yıl	Özellik	Uygulama
Hibrit Algoritmalar	Bölte ve Thonemann	1996	Benzetim tavlama ile genetik algoritma birlikte kullanılmıştır.	-
	Battitve Tecchiolli	1994	Tabu arama ile benzetim tavlama birlikte kullanılmıştır.	-
	Bland ve Dawson	1994	Tabu arama ile benzetim tavlama birlikte kullanılmıştır.	-
	Chiang ve Chiang	1998	Tabu arama ile benzetim tavlama birlikte kullanılmıştır.	-
	Misevicius	2001, 2004	Tabu arama ile benzetim tavlama birlikte kullanılmıştır.	-
	Talbi ve diğerleri	1998	Tabu arama ile yapay sinir ağları birlikte kullanılmıştır.	-
	Hasegawa ve diğerleri	2002	Tabu arama ile yapay sinir ağları birlikte kullanılmıştır.	-
	Youssef ve diğerleri	2003	Tabu arama, benzetim tavlama ve bulanık mantık birlikte kullanılmıştır.	-
	Fleurent ve Ferland	1994	Tabu arama ile genetik algoritma birlikte kullanılmıştır.	-
	Drezner	2003	Tabu arama ile genetik algoritma birlikte kullanılmıştır.	-
	Ahuja ve diğerleri	2000	Tabu arama, genetik algoritma ve GRASP birlikte kullanılmıştır.	-
	Lim ve diğerleri	2000, 2002	Hibrit genetik algoritma uygulaması çalışılmıştır.	-
	Misevicius	2004	Kuadratik atama problemlerine geliştirilmiş hibrit genetik prosedür ile yeni çözümler elde edilmiştir.	-
	Dunker ve diğerleri	2004	Dinamik programlama ve evrimsel hesaplama birlikte kullanılmıştır.	-

4. BİREY-KOLONİ OPTİMİZASYONU

4.1. TANIM

Birey-koloni optimizasyonu, kuş, böcek ve balık kolonilerinin iki boyutlu hareketlerinden esinlenerek ilk olarak, Kennedy ve Eberhart (1995, 1997) tarafından ortaya atılmış, Shi ve Eberhart (1998, 1999), Kennedy, Shi ve Eberhart (2001) tarafından geliştirilmiştir. Abido (2002) tarafından optimal güç akış problemlerine, Salman ve diğ. (2002) tarafından NP-zor olarak bilinen iş atama problemlerine uygulanmıştır.

Birey-koloni optimizasyonunun ana fikri, kolonideki bireyler arasındaki sosyal bilgi paylaşımını geliştirmektir. Birey-koloni optimizasyonunda arama işlemi, kolonideki bireyler tarafından ve belirlenen nesil sayısınca yapılır. Her bir birey, kendi pozisyonunu, bir önceki tecrübesinden yararlanarak, bir önceki kolonideki en iyi pozisyona doğru ayarlar. Küresel komşular, koloni içerisindeki en iyi değeri veren bireyin değerleridir. Her bir nesilde, bir tane küresel komşu değeri vardır. Yerel komşular ise, ilk iterasyonda her bir bireyin ayrı ayrı değerleridir ve her nesilde birey sayısı kadar yerel komşu vardır. Her bir birey, bir önceki en iyi bireyin pozisyonuna doğru hareket eder. Bu hareket, küresel ve yerel komşu değerleri kullanılarak gerçekleştirilir. Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de kuş, balık ve böcek sürülerinin toplu hareketi görülmektedir.



Şekil 4.1: Kuş Kolonileri (Maurice Clerc, 2004)



Şekil 4.2: Balık kolonileri (Maurice Clerc , 2004)



Şekil 4.3: Böcek kolonileri (Maurice Clerc , 2004)

Genel birey-koloni optimizasyonu algoritmasının işleyişi Şekil 4.4’de gösterilmektedir. Algoritmada ilk olarak, kullanılacak parametreler belirlenir. İkinci olarak, koloni değerleri rastgele belirlendikten sonra bu değerlere karşılık gelen amaç fonksiyon değeri hesaplanır. Amaç fonksiyon değeri en iyi olan birey, küresel en iyi olarak atanır ve bu birey değerleri küresel komşular olarak saklanır. Aynı şekilde başlangıçtaki her bir bireyin amaç fonksiyon değerleri, yerel en iyiler olarak saklanıp birey değerleri de yerel komşular olarak saklanır. Bir sonraki nesli oluştururken hız vektörü, küresel ve yerel komşu değerleri kullanılır. Bu işlem, bir durdurma kriterine kadar devam eder.

```

Parametreleri Belirle
Başlangıç Popülasyonunu Oluştur
Herbir birey İçin{
    Amaç Fonksiyon Değerlerini Bul
    Yerel En İyiyi Bul
}
Küresel En İyiyi Bul
Yap{
    Herbir birey İçin{
        Hız Vektörünü Güncelle
        Pozisyon Vektörünü Güncelle
        Amaç Fonksiyon Değerlerini Bul
        Yerel En İyiyi Güncelle
    }
    Küresel En İyiyi Güncelle
} Durdurma Kriteri

```

Şekil 4.4: Birey-Koloni Optimizasyonunun İşleyişi (Kennedy ve diğ. 2001).

4.2. KULLANILAN TEMEL PARAMETRELER

- Pozisyon Vektörü: X_i^k ile ifade edilir, problem boyutu (j) kadar eleman içerir. Pozisyon vektörü, problemi ifade etmekte kullanılır. Bireyin pozisyon vektörünün koloni içerisinde gösterimi $X_i^k = [x_{i1}^k, x_{i2}^k, \dots, x_{ij}^k]$ şeklindedir. Burada yer alan x_{i1}^k , k. iterasyonda i. bireyin pozisyon vektöründeki birinci elemanını gösterir. ρ birey sayısını ifade etmektedir. ($i=1,2,\dots,\rho$)
- Hız Vektörü: Bireyin bir sonraki konumunu belirleyen önemli parametrelerinden biri olan hız vektörü, V_i^k ile ifade edilir. Bireyin hız vektörü koloni içerisinde, $V_i^k = [v_{i1}^k, v_{i2}^k, \dots, v_{ij}^k]$ şeklinde gösterilir. Burada yer alan v_{i1}^k , k. iterasyonda i. bireyin hız vektöründeki birinci elemanını gösterir.
- Yerel En İyi Değer: i. bireyin o ana kadar elde edilmiş en iyi amaç fonksiyon değeridir. ($f(P_i)$) . Koloni içerisinde yerel en iyilerin sayısı birey sayısı kadardır.

- Yerel En İyi Komşular: Yerel en iyilere karşılık gelen vektördür. Bu vektör değerlerini pozisyon vektöründen alır. i . bireyin yerel en iyi komşuları $P_i = [p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{ij}]$ şeklinde ifade edilir. Buradaki p_{i1} i . yerel en iyi vektörünün birinci değerini göstermektedir.
- Küresel En İyi Değer: Elde edilen en iyi amaç fonksiyon değeridir. $f(G)$.
- Küresel En İyi Komşular: Küresel en iyi değerinin pozisyon değerleridir. $G = [g_1, g_2, \dots, g_j]$. Buradaki g_1 global en iyi vektörünün birinci değerini göstermektedir.
- Atalet Ağırlığı: Bir önceki hız vektörünün mevcut hız vektörü üzerindeki etkisini kontrol eden parametreye atalet ağırlığı denir. w^k şeklinde gösterilir. Atalet ağırlığının bireyde küresel ve yerel araştırma kabiliyeti arasında değişim etkisi vardır. Eğer atalet ağırlığı yüksek bir değer alınır, birey küresel bir şekilde arama gerçekleştirir, bu değer küçük alınır, yerel bir arama gerçekleştirir. (Kennedy ve diğ. 2001).

Yukarıda kullanılan X_i^k , V_i^k ifadelerinde, k = iterasyon numarası i = bireyin sırası olarak ifade edilmiştir.

Bu ifadelere göre, birey-koloni optimizasyonu formülasyonu aşağıdaki gibi kullanılmaktadır.

$$v_{ij}^{k+1} = (w^{k+1} \times v_{ij}^k) + c_1 \times r_1 \times (p_{ij} - x_{ij}^k) + c_2 \times r_2 \times (g_j - x_{ij}^k) \quad (4.1)$$

Bu formül, bireyin bir sonraki tekrar için konumunun belirlenmesini sağlayan önemli parametrelerden biri olan hız vektörünün hesaplanması için kullanılır.

$$w^{k+1} = w^k \times \beta \quad (4.2)$$

Bu formül, bireyin bir önceki hız vektörünün, mevcut hız vektörü üzerindeki etkisinin kontrol edilmesini sağlayan parametrenin hesaplanması için kullanılır.

$$x_{ij}^{k+1} = x_{ij}^k + v_{ij}^{k+1} \quad (4.3)$$

Bu formül, bireyin bir sonraki pozisyon vektörünün belirlenmesi için kullanılır. Formülde bireyin pozisyon vektörü ile bir sonraki tekrardaki hız vektörünün vektörel olarak toplanması sonucunda yeni pozisyon vektörü elde edilir.

c_1 : öğrenme faktörü sosyal katsayısı; hız vektörünü güncellerken yerel en iyinin etkisini gösteren parametredir.

c_2 : öğrenme faktörü kavramsal katsayı; küresel en iyinin yeni hız vektörüne katkısını gösteren parametredir.

r_1, r_2 : 0-1 arasında düzgün dağılmış rastgele sayı

4.3. BİREY-KOLONİ OPTİMİZASYONUNUN İŞLEYİŞİ

Pozisyon vektör sayısı, birey sayısı, atalet ağırlığı, başlangıç değeri gibi parametreleri belirlenen algoritma, ilk iterasyonda rastgele oluşturulur. Bu oluşturma işlemi pozisyon ve hız vektörünün belirlenen aralıklar çerçevesinde değer almasıdır. Örneğin başlangıç hız vektörü değerleri $[-V_{\max}, V_{\max}]$ arasında, pozisyon vektörü değerleri de $[-d_{\max}, d_{\max}]$ arasında rassal bir şekilde oluşturulur. Oluşturulan pozisyon vektör değerlerine karşılık gelen amaç fonksiyon değerleri bulunur. Daha sonra bu amaç fonksiyon değerlerine göre yerel en iyiler ile küresel en iyi değerleri bulunur. Bundan sonraki adım ise hız vektörünün güncellenmesidir. Hız vektörünün güncellenmesi şu şekilde yapılır.

Öncelikle atalet ağırlığı belli bir sabit değerlerle çarpılarak, her bir iterasyonda azaltılır. Azaltma fonksiyonu Formül 4.2’de verilmiştir.

Her bir bireyin yeni hız vektörü değerini bulmak için Formül 4.1 uygulanır. Öncelikle azaltılan atalet ağırlığı değeri, her bir bireyin hız vektörü değeri ile çarpılır. Daha sonra yerel komşu değerleri ve bireyin pozisyon değerleri ile $c_1 \times r_1 \times (p_{ij} - x_{ij}^k)$ değeri hesaplanır, bir sonraki adımda ise, küresel komşu ve pozisyon değerleri kullanılarak $c_2 \times r_2 \times (g_j - x_{ij}^k)$ değeri hesaplayıp yeni hız vektörü değerlerini bulunur. Burada yer

alan r_1 ve r_2 , 0 ile 1 arasında düzgün dağılmış rassal değerleri c_1 ve c_2 ise sosyal ve kavramsal parametre değerlerini ifade eder.

Yeni oluşan hız vektör değeri, başlangıçta belirtilen aralıklar çerçevesinde kalması için h fonksiyonu ile kısıtlanır. Bu fonksiyon Formül 4.4'de verilmiştir.

$$h(v_{ij}^k) = \begin{cases} V_{\max}, & \text{if } v_{ij}^k > V_{\max} \\ v_{ij}^k, & \text{if } |v_{ij}^k| \leq V_{\max} \\ -V_{\max}, & \text{if } v_{ij}^k < -V_{\max} \end{cases} \quad (4.4)$$

Daha sonra yeni pozisyon vektörü, elde edilen hız vektör değerleri ile bir önceki pozisyon vektörünün toplamı ile Formül 4.3'de olduğu gibi güncellenir. Yeni oluşan bu pozisyon vektörü yardımıyla amaç fonksiyon değerleri, küresel en iyi ve komşuları ile yerel en iyi ve komşuları güncellenir. Bu işlemler önceden belirlenen iterasyon sayısına ya da maksimum işlem zamanına ulaşıncaya kadar devam eder.

4.4. BİREY-KOLONİ OPTİMİZASYONUNUN GENETİK ALGORİTMAYA GÖRE AVANTAJLARI

Koloni temelli yaklaşım olan birey-koloni optimizasyonu modeli, genetik algoritmaya benzer yönlerinin yanında bazı avantajları da vardır. Her iki yöntemin de koloni temelli olması, başlangıç koloni sayısının ve uygulanacak gösterim şeklinin belirlenmesi gibi parametreleri içermesi benzer yanları olarak ifade edilebilir. Bunun yanında birey-koloni optimizasyonunun genetik algoritmaya göre avantajları aşağıdaki açıklandığı gibi üç ana başlıkta tanımlanabilir. (Kennedy ve diğ., 2001)

4.4.1. Kullanılan Operatör

Genetik algoritma kullanarak problemlere yeni çözümler üretmek için, çaprazlama ve mutasyon operatörleri uygulanır. Ancak, çaprazlama ile mutasyon operatörünün performansının problem tipine göre değişmesi, iki parametrenin seçilmesi için yeni işlem yapılmasından dolayı zaman harcanması, genetik algoritma için bir dezavantaj

olmaktadır. Birey-koloni optimizasyonunda ise, mutasyon ve çaprazlama operatörleri kullanılmaz. Yeni çözümler için hız vektörü değerleri kullanılır.

4.4.2. Parametre Seçimi

Genetik algoritma metodu kullanılırken mutasyon ve çaprazlama operatörlerinin oranları esas alınarak seçim stratejisi parametresi kullanır. Bu strateji için en iyi parametrelerin belirlenmesi, hem zor hem de zaman almaktadır. Birey-koloni optimizasyonunda ise bu tip parametreler kullanılmadığından daha avantajlıdır.

4.4.3. Seçim Stratejisi

Birey-koloni optimizasyonunda bir sonraki nesil, pozisyon vektörü ve hız vektörü yardımıyla güncellenir. Koloni sayısı kadar yeni birey oluşturulur. Dolayısıyla seçim stratejisi uygulanmasına gerek yoktur. Genetik algoritmada ise bir sonraki nesil, önceki koloni bireyleri ile mutasyon ve çaprazlama operatörü uygulanmış bireyler arasından seçilir. Bu durum hafızada fazla yer kapladığından genetik algoritma için dezavantaj oluşturmaktadır.

4.5. BİREY-KOLONİ OPTİMİZASYONUNDA KULLANILAN PARAMETRELER VE ETKİLERİ

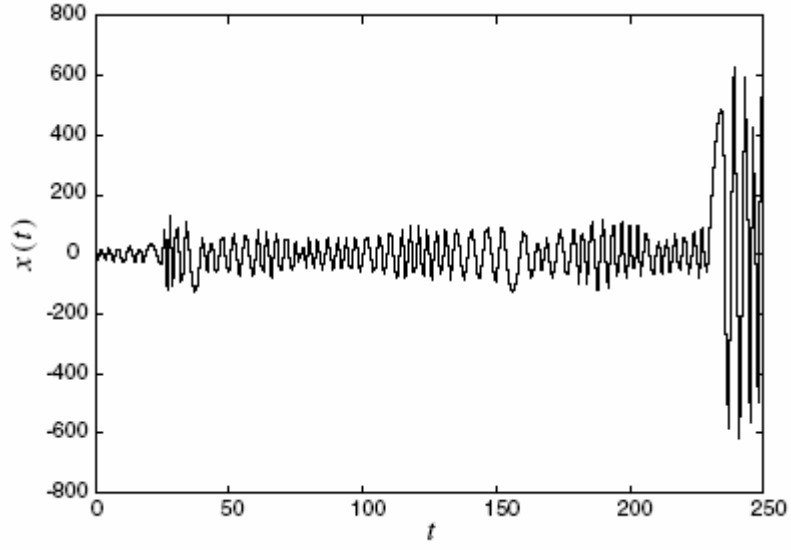
Birey-koloni optimizasyonunda algoritmanın yakınsaması ile ilgili üç önemli parametre bulunmaktadır. Bunlar, atalet ağırlığı, sosyal parametre ve kavramsal parametredir. (Kennedy ve diğerleri, 2001)

Atalet ağırlığı, küresel en iyi ile yerel en iyi arasındaki dengeyi sağlayan parametredir. Bu değer yüksek olması, algoritmanın arama yaparken küresel bir şekilde arama yapmasını, küçük olması ise yerel bir şekilde arama yapmasını sağlar.

Sosyal parametre, hız vektörünün güncellenmesi sırasında yerel en iyinin etkisini gösterir.

Kavramsal parametre ise, küresel en iyinin yeni hız vektörüne katkısını göstermektedir.

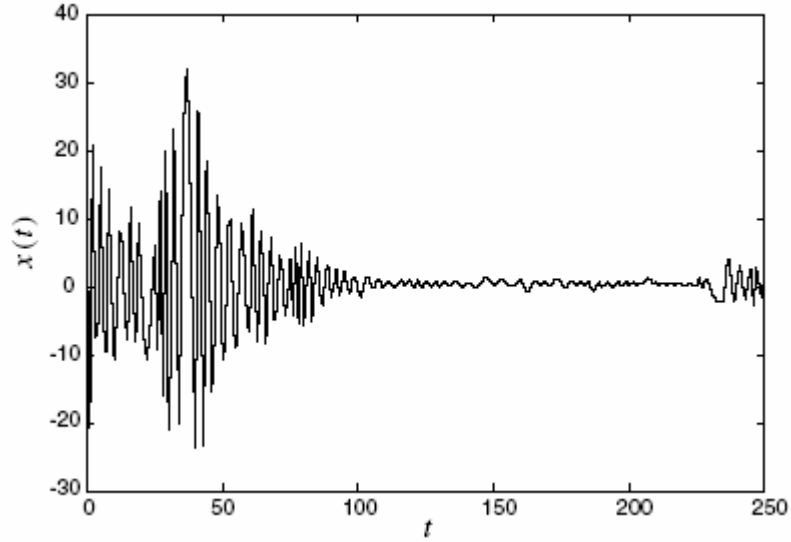
Bu üç parametrenin farklı değerleri için, pozisyon vektörüne etkisi aşağıdaki şekillerde görülmektedir. (Van den Bergh ve Engelbrecht, 2005).



Şekil 4.5: Pozisyon vektörünün yörüngesi $w=1,0$ $c_1=c_2=2,0$

(Van den Bergh ve Engelbrecht, 2005).

Şekil 4.5’de, yatay eksen iterasyon sayısını, dikey eksen ise pozisyon vektörü değerlerini göstermektedir.



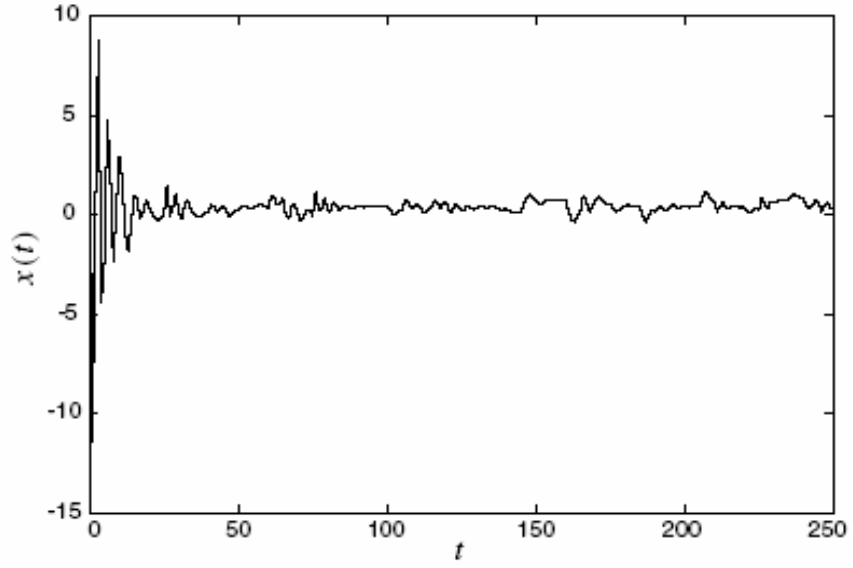
Şekil 4.6: Pozisyon vektörünün yörüngesi $w=0,9$ $c_1=c_2=2,0$

(Van den Bergh ve Engelbrecht, 2005).

Atalet ağırlığının (w) 1,0, sosyal (c_1) ve kavramsal (c_2) değerlerin 2,0 alındığında oluşan pozisyon değerleri Şekil 4.5’de görülmektedir.

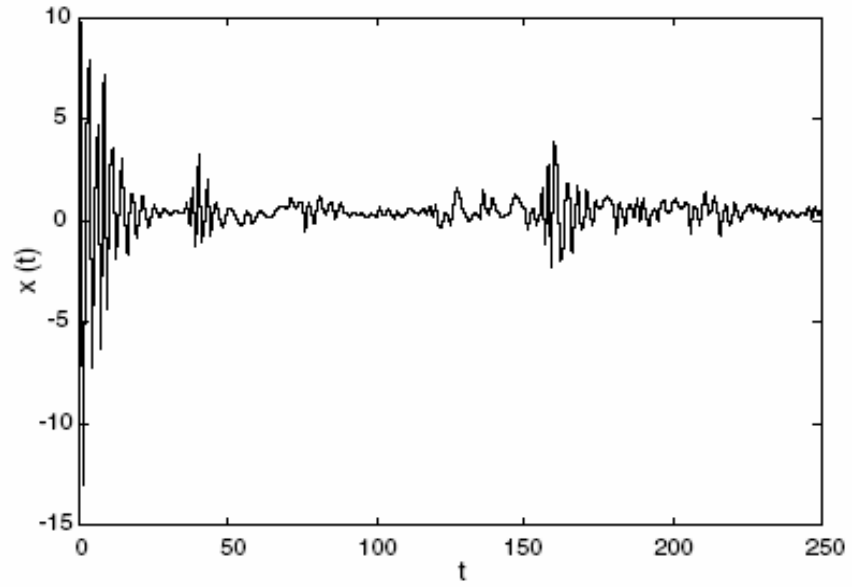
Atalet ağırlığının (w) 0,9, sosyal (c_1) ve kavramsal (c_2) değerleri 2,0 alındığında oluşan pozisyon değerleri Şekil 4.6’da görülmektedir.

Şekil 4.7, 4.8 ve 4.9’da farklı değerlerdeki atalet ağırlığı, sosyal ve kavramsal değerlerin, pozisyon vektörü üzerindeki etkileri görülmektedir.



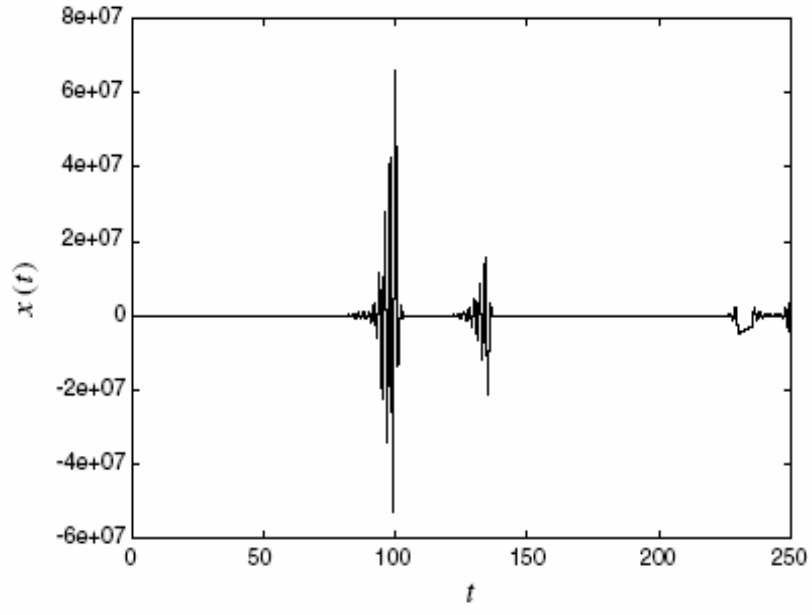
Şekil 4.7: Pozisyon vektörünün yörüngesi $w=0,7$ $c_1=c_2=1,4$

(Van den Bergh ve Engelbrecht, 2005).



Şekil 4.8: Pozisyon vektörünün yörüngesi $w=0,7$ $c_1=c_2=2,0$

(Van den Bergh ve Engelbrecht, 2005).



Şekil 4.9: Pozisyon vektörünün yörüngesi $w=0,001$ $c_1=c_2=2,0$

(Van den Bergh ve Engelbrecht, 2005)

5. KUADRATİK ATAMA PROBLEMLERİ İÇİN ÖNERİLEN AYRIK BİREY-KOLONİ OPTİMİZASYONU, SÜREKLİ BİREY-KOLONİ OPTİMİZASYONU VE GENETİK ALGORİTMA MODELLERİ

Bu bölümde, kuadratik atama problemleri için çözüm algoritması geliştirilmesinde önerilen modellerin genel yapısı, gösterim şekilleri ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Kuadratik atama problemleri için önerilen ayrık birey-koloni optimizasyonu modeli ile elde edilen sonuçları daha doğru değerlendirebilmek için, karşılaştırmada kullanacağımız modelin de aynı şartlarda çalıştırılmasıyla elde edilecek sonuçların daha anlamlı bir karşılaştırma yapılmasını sağlayacağı düşünülerek, karşılaştırmada kullanacağımız modellerin yapısı, kabulleri ve değerleri aynı şartlarda oluşturulmuştur. Oluşturulan modellerle ilgili bütün detaylar bu bölümde yer almaktadır.

5.1. KUADRATİK ATAMA PROBLEMLERİ İÇİN AYRIK BİREY-KOLONİ OPTİMİZASYONU MODELİ

5.1.1. Modelin Yapısı

Kuadratik atama problemlerini ayrık birey-koloni optimizasyonu ile çözmek için öncelikle gösterim şeklinin seçilmesi gerekmektedir.

Ayrık birey-koloni optimizasyonunda problem, pozisyon vektörü permütasyon değerlerinden oluşmaktadır. Başlangıçta rastgele oluşturulan pozisyon değerleri aynı zamanda permütasyon vektörü değerleri olarak işleme alınır.

Birinci adım olarak, her birey için bu vektöre karşılık gelen toplam mesafe değeri hesaplanır.

İkinci adım ise, küresel en iyi, yerel en iyi ve bunların komşuluklarını bulup, pozisyon vektörünü güncellemektir.

Önerilen ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinin yapısı Şekil 5.1’de verilmiştir.

Parametreleri belirle

Her birey için {

Başlangıç pozisyon vektörünü rastgele oluştur

Amaç fonksiyon değerlerini bul

Yerel en iyiyi bul

}

Küresel en iyiyi bul

Yap {

Her bir birey için {

Başlangıç pozisyon vektörünü rastgele oluştur

Amaç fonksiyonu değerini bul

Yerel en iyiyi bul

}

Küresel en iyiyi güncelle

} Durdurma kriteri

Şekil 5.1: Kuadratik Atama Problemi için Önerilen Ayrık Birey-koloni Optimizasyonu Modelinin Yapısı

5.1.2. Modelin Gösterimi

Bu çalışmada, kuadratik atama probleminin gösterim şekli olarak toplam mesafe başarımlı ölçütüne göre permütasyon tabanlı gösterim şekli seçilmiştir.

Önerilen modelde permütasyon tabanlı gösterim şeklini elde etmek için X_i^k ile ifade edilen j-boyutlu vektör değerleri rassal olarak oluşturulur. Tablo 5.1’de birey elemanları verilmiştir.

Tablo 5.1: X_i^k Birey Elemanları

Pozisyon, j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
x_{ij}^k	6	2	5	4	1	9	3	8	7

5.1.3. Modelin İşleyişi

Ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinin hesaplama yöntemi aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

Adım 1: Başlangıç değerlerini oluştur.

- İterasyon sayısını 0’a eşitle ($k=0$) ve birey sayısını belirle.

- Başlangıç pozisyon vektörü = permütasyon vektörü değerlerini rastgele oluştur.
 $\{X_i^0, i = 1, 2, \dots, \rho\}$, $X_i^0 = [x_{i1}^0, x_{i2}^0, \dots, x_{in}^0]$ Bu değerler sürekli değil kesiklidir.
- Amaç fonksiyon değerini elde edilen Π_i^k vektörü yardımıyla hesapla.

$$f_i^k = f(\Pi_i^k) \quad (5.1)$$
- Her bir bireyin başlangıç değerleri, yerel en iyi pozisyon değerlerinin aynısıdır. Başlangıç bireylerinin en iyi değerine P_i denirse bu değer başlangıçta $P_i = X_i^0$ değerine eşittir. $P_i = [p_{i1} = x_{i1}^0, p_{i2} = x_{i2}^0, \dots, p_{ij} = x_{ij}^0]$ ve bu değerlere karşılık gelen amaç fonksiyonu değerleri ise $f_i^{pb}, i = 1, 2, \dots, \rho$ 'dir.
- En iyi amaç fonksiyon değerine sahip olan bireyi küresel en iyi olarak al ve pozisyon değerlerini de küresel en iyi komşular olarak sakla. $f_b = \min\{f_i^0\}$, $b \in \{i; i = 1, 2, \dots, \rho\}$ ve $G_i = X_b^0$, $G = [g_1 = x_{b1}, g_2 = x_{b2}, \dots, g_n = x_{bn}]$ amaç fonksiyon değeri de $f^{gb} = f_b$ 'dir.

Başlangıç değeri olarak, atalet ağırlığı (w), azaltma katsayısı (β), sosyal katsayı (c_1), kavramsal katsayı (c_2) değerleri belirlenmelidir.

Adım 2: İterasyon Sayısını Güncelle.

$$- k = k + 1 \quad (5.2)$$

Adım 3: Atalet Ağırlığını Güncelle.

$$- w^{k+1} = w^k \times \beta \quad (5.3)$$

Adım 4: Pozisyon vektörünü güncelle

$$- X_i^k = c_2 \oplus F_3(c_1 \oplus F_2(w \oplus F_1(X_i^{k-1}), P_i^{k-1}), G^{k-1}) \quad (5.4)$$

Formülündeki işlemler, amaç fonksiyonu değerleri hesaplanmış, yerel en iyi pozisyon değerleri belirlenmiş her bireye aşağıda ifade edilen üç adım şeklinde uygulanır. Bu işlemlerin her bireye uygulanması sonunda elde edilen yeni pozisyon değerleri için diğer iterasyonlar durdurma kriterine kadar çalıştırılır.

Bu formülün uygulandığı 3 adım aşağıda verilmiştir.

$$\text{Birincil olarak, } \lambda_i^k = w \oplus F_1(X_i^{k-1}) \quad (5.5)$$

formülü her birey için uygulanır. İlk olarak bir rassal olarak belirlenen başlangıç değeri (r_1), atalet ağırlığı ile karşılaştırılır.

Eğer, $w > r_1$ ise,

bireye ekleme operatörü uygulanır. Bireyin yeni pozisyon değerine ikincil formül uygulanır.

Eğer, $w < r_1$ ise,

bireyin pozisyon değerine işlem yapılmadan ikincil formüle geçilir.

$$\text{İkincil olarak, } \delta_i^k = c_1 \oplus F_2(\lambda_i^k, P_i^{k-1}) \quad (5.6)$$

formülü birincil formülden elde edilen yeni değerlere uygulanır. Bu formülde, başlangıç değeri olarak belirlenen sosyal katsayı (c_1) ile rassal olarak belirlenen başlangıç değeri (r_2) karşılaştırılır.

Eğer $c_1 > r_2$ ise,

birincil formülün sonucu olan değere ve başlangıç pozisyon değerine tek kesme operatörü uygulanarak birey için yeni pozisyon değeri hesaplanır.

Eğer $c_1 < r_2$ ise,

birincil formülden gelen değer hiç bir işlem yapılmadan üçüncül formülde kullanılır.

$$\text{Üçüncül olarak, } X_i^k = c_2 \oplus F_3(\delta_i^k, G^k) \quad (5.7)$$

formülü ikincil formülden elde edilen yeni değerlere uygulanır. Bu formülde, başlangıç değeri olarak belirlenen kavramsal katsayı (c_2) ile rassal olarak belirlenen başlangıç değeri (r_3) karşılaştırılır.

Eğer $c_2 > r_3$ ise,

ikincil formülün sonucu olan değere ve küresel en iyi değere sahip bireyin pozisyon değerlerine çift kesme operatörü uygulanarak birey için yeni pozisyon değeri hesaplanır.

Eğer $c_2 < r_3$ ise,

ikincil formülden gelen değer, bireyin yeni pozisyon değeri olarak kabul edilir.

Adım 5: Değerlendir.

- Güncellenmiş koloni içerisinde yer alan her bir bireyin X_i^k değerlerini kullanarak yeni amaç fonksiyon değerlerini bul. $f_i^k = f(\Pi_i^k)$

Adım 6: Yerel En İyi Değerlerini Güncelle.

- Güncellenen her bir bireyi bir önceki amaç fonksiyonu değeri ile karşılaştır. Bir öncekinden daha iyi ise, bireyin değerlerini güncelle, değilse aynısını al.

Eğer $f_i^k < f_i^{pb}$, $i = 1, 2, \dots, \rho$ ise, $P_i = X_i^k$ ve $f_i^{pb} = f_i^k$ 'dir.

Adım 7: Küresel En İyi Değeri Güncelle.

- Güncellenen her bir bireyi, bir önceki kolonideki amaç fonksiyonu değeri en iyi olan ile karşılaştır. Bir öncekinden daha iyi ise bireyin değerlerini güncelle, değilse aynısını al.

$$f_b^k = \min\{f_i^{pb}\}, i = 1, 2, \dots, \rho \quad b \in \{i; i = 1, 2, \dots, \rho\}$$

Eğer $f_b^k < f^{gb}$ ise, $G = X_b^k$ ve $f^{gb} = f_b^k$ 'dir.

Adım 8: Durdurma Kriteri

- Belirtilen maksimum iterasyon sayısına veya işlem zamanına ulaşıldığında dur, aksi halde 2. adıma git.

5.1.4. Önerilen Modelde Kullanılan Parametrelerin Belirlenmesi

Önerilen ayırık birey-koloni optimizasyonu modelinde kullanılan parametreler şöyle özetlenebilir.

- Başlangıç koloni Sayısı (ρ)

- Atalet Ağırlığı (w^k)
- Atalet Ağırlığının Azaltma Katsayısı (β)
- Sosyal katsayı (c_1)
- Kavramsal katsayı (c_2)

Belirtilen parametrelerin belirlenmesi için öncelikle literatürde iyi sonuç veren değerler veya değer aralıkları alınıp daha sonra diğer parametreleri sabit tutup bir parametreyi değiştirilerek etkisi incelenmiştir.

Her bir parametrenin etkisini görmek için öncelikle Tablo 5.2’deki değerler alınmıştır.

Tablo 5.2: Önerilen Modelde Kullanılan Başlangıç Parametre Değerleri

Koloni Sayısı	$n \times 2$
Başlangıç Atalet Ağırlığı	0,9
Azaltma Katsayısı	0,995
Sosyal Katsayı	0,5
Kavramsal Katsayı	0,5

5.1.5. Ayrık Birey-Koloni Optimizasyonu Modeli İçin Örnek Problem

Ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinin işleyişini daha iyi anlamak için sayısal bir uygulamayı adım adım inceleyelim.

Başlangıç birey sayısını 5 olarak kabul edelim ve Taillard’ın “tai5” isimli problemi üzerinde çözüm adımlarını uygulayalım. Problemin verileri, Tablo 5.3 ve 5.4’de verilmiştir.

Tablo 5.3: “Tai5” probleminin Akış Matrisi

0	6	44	40	75
6	0	79	0	89
44	79	0	35	9
40	0	35	0	1
75	89	9	1	0

Tablo 5.4: “Tai5” Probleminin Mesafe Matrisi

0	21	95	82	56
21	0	41	6	25
95	41	0	10	4
82	6	10	0	63
56	25	4	63	0

Problem tanımında yer alan ifadelerin açıklamaları aşağıda verilmiştir.

- Alt indis (i)= birey,
- Üst indis olan (0)= iterasyon sayısı
- X_i^0 = her bir bireyin pozisyon vektörü
- x_{ij}^0 = vektörün içindeki elemanlar
- (j)= toplam iş sayısı ile atanacak iş merkezi sayısının çarpımı sonucunu ifade etmektedir.

İlk olarak, Tablo 5.1’de verilen birey elemanları ($X_i^0 = [x_{i1}^0, x_{i2}^0, x_{i3}^0, \dots, x_{i(m \times n)}^0]$) için rassal olarak oluşturulan pozisyon vektör değerleri Tablo 5.5’de verilmiştir.

Tablo 5.5: Başlangıç Pozisyon Vektörleri

Pozisyon	1	2	3	4	5
X_1^0	2	3	4	1	5
X_2^0	3	5	1	4	2
X_3^0	1	5	2	3	4

İlk adım, bu neslin yerel en iyilerini ve küresel en iyi değerini bulmak olacaktır. Her bir koloninin birey sayısı kadar yerel en iyi değeri ve bir tane küresel en iyi değeri vardır. Başlangıç kolonisinin yerel en iyi değerleri her bir bireyin değerlerine eşit olacağından P_i olarak ifade edilen yerel en iyi değerler ve bu değerler sonucu elde edilmiş amaç fonksiyon değerleri Tablo 5.6’da görülmektedir.

Tablo 5.6: Başlangıç Yerel En İyi Pozisyon Vektörleri

Pozisyon	1	2	3	4	5	$f(P_i)$
P_1	2	3	4	1	5	13294
P_2	3	5	1	4	2	10755
P_3	1	5	2	3	4	13294

Başlangıç kolonisinde yer alan en iyi amaç fonksiyonuna sahip birey, küresel en iyi olarak nitelendirilir. Tablo 5.7’de küresel en iyi bireye ait pozisyon ve buna bağlı amaç fonksiyon değeri görülmektedir.

Tablo 5.7: Başlangıç Küresel En İyi Değerleri

Pozisyon	1	2	3	4	5	$f(G)$
G	3	5	1	4	2	10755

Daha sonra yerel en iyiler ve küresel en iyi komşu değerlerinden yararlanarak Formül 5.4 uygulanır. Bu formülde yer alan c_1 ve c_2 değerleri, sosyal ve kavramsal parametre değerlerini ifade eder. Bu değerler örneğimizde 0,5 olarak kabul edilmiştir.

Yukarıdaki işlemler sayısal olarak şu şekilde hesaplanmaktadır.

Birincil olarak Formül 5.5 aşağıdaki gibi uygulanmıştır.

Birinci bireyin pozisyon değerlerini bulmak için yukarıda tanımlanan parametre değerlerine ek olarak, rassal bir başlangıç değeri kabul edilir. Bu değer, $r_1=0,425$ olsun. Öncelikle atalet ağırlığı ile r_1 değeri karşılaştırılmalıdır. Atalet ağırlığı başlangıç değeri $w=0,5$ olarak kabul edilmişti. Bu durumda $w=0,5 > r_1=0,425$ olduğundan birinci bireyin pozisyon değerine ekleme operatörü uygulanır. Ekleme operatörü uygulaması ve elde edilen sonuç değerleri Tablo 5.8’de verilmiştir.

Tablo 5.8: Birinci Birey İçin Ekleme Operatörü Değerleri

2	3	4	1	5
2	5	3	4	1

Birinci bireyin pozisyon değerlerine ekleme operatörü (5. sıradaki değer 2. sıraya eklendi) uygulandığında bireyin yeni pozisyon değeri Tablodaki gibi oluşmaktadır.

İkincil olarak Formül 5.6 aşağıdaki gibi uygulanmıştır.

Öncelikle rassal bir başlangıç değeri kabul edilir. Bu değer, $r_2=0,258$ olsun. Daha sonra sosyal katsayı ile r_2 değeri karşılaştırılmalıdır. Sosyal katsayı değeri $c_1=0,5$ olarak kabul edilmişti. Bu durumda $c_1=0,5 > r_2=0,258$ olduğundan birincil formülden elde edilen pozisyon değeri ve başlangıç pozisyon değerine tek kesme operatörü uygulanır. Tek kesme operatörü uygulaması ve elde edilen sonuç değerleri Tablo 5.9’da verilmiştir.

Tablo 5.9: Birinci Birey İçin Tek Kesme Operatörü Değerleri

2	5	3	4	1
2	3	4	1	5

Birincil formülden elde edilen değerler ve birinci bireyin başlangıç pozisyon değerlerine tek kesme operatörü (2. aralıktan kesildi.) uygulandığında, yeni bireyin değerleri, kesme aralığından önceki sıradan 1. satırdaki değerler, kesme aralığından sonraki sıradan 2. satırdaki değerler ve eksik kalanların sona eklenmesi ile elde edilir. İkincil formülün uygulanmasından elde edilen yeni pozisyon değerleri Tablo 5.10'da verilmiştir.

Tablo 5.10: Birinci Birey İçin Tek Kesme Operatörü Sonuç Değerleri

2	5	4	1	3
---	---	---	---	---

Üçüncül olarak Formül 5.7 aşağıdaki gibi uygulanmıştır.

Öncelikle rassal bir başlangıç değeri kabul edilir. Bu değer, $r_3=0,365$ olsun. Daha sonra kavramsal katsayı ile r_3 değeri karşılaştırılmalıdır. Kavramsal katsayı değeri $c_2=0,5$ olarak kabul edilmişti. Bu durumda $c_2=0,5 > r_3=0,365$ olduğundan, ikincil formülden elde edilen pozisyon değeri ve küresel en iyi bireyin değerlerine çift kesme operatörü uygulanır. Çift kesme operatörü uygulaması Tablo 5.11'de verilmiştir.

Tablo 5.11: Birinci Birey İçin Çift Kesme Operatörü Değerleri

2	5	4	1	3
3	5	1	4	2

İkincil formülden elde edilen değerler ve küresel en iyi değere sahip bireyin pozisyon değerlerine çift kesme operatörü (1. ve 3. aralıktan kesildi.) uygulandığında, yeni

bireyin değerleri, kesme noktaları arasında kalan bölgedeki 2. satır değerleri sırası korunarak alınır, 1. kesme aralığından önceki sıradan 1. satırdaki değer sırası korunarak alınır, 2. kesme aralığından sonraki sıradan 2. satırdaki değerler alınır. Eğer 2. satırda daha önce yerleşmiş değerler var ise, 1. satırın 2. kesme aralığından sonrasındaki değerler yerleştirilir. Üçüncül formülün uygulanmasından elde edilen yeni pozisyon değerleri tablodaki gibi oluşmaktadır. Bu değer, aynı zamanda birinci bireyin yeni pozisyon değeridir. Çift kesme operatörü sonuç değerleri Tablo 5.12’de verilmiştir.

Tablo 5.12: Birinci Birey İçin Çift Kesme Operatörü Sonuç Değerleri

2	5	1	4	3
---	---	---	---	---

Aynı işlemlerin her birey için uygulanmasıyla, her bireyin yeni iterasyon için pozisyon değerleri belirlenmiş olur. Bu işlemler durdurma ölçütüne kadar tekrarlanır. Genellikle bu ölçüt işlem süresi veya belirlenen iterasyon sayısıdır.

5.2. KUADRATİK ATAMA PROBLEMLERİ İÇİN SÜREKLİ BİREY-KOLONİ OPTİMİZASYONU MODELİ

5.2.1. Modelin Yapısı

Kuadratik atama problemlerini sürekli birey-koloni optimizasyonu ile çözmek için öncelikle gösterim şeklinin seçilmesi gerekmektedir.

Sürekli birey-koloni optimizasyonunda problem, pozisyon vektörü yardımıyla ifade edilmektedir. Fakat bu vektör kuadratik atama problemlerini ifade etmemektedir. Dolayısıyla problemi ifade edebilmek için bir yardımcı vektöre ihtiyaç duyulmuştur. Bu vektör permütasyon vektörüdür. Başlangıçta rastgele oluşturulan pozisyon değerlerinden permütasyon vektörü oluşturulur ve bu vektöre karşılık gelen toplam mesafe değeri elde edilir. Bundan sonraki adım ise, bir sonraki nesildeki pozisyon vektörünü oluşturmak için küresel en iyi, yerel en iyi ve bunların komşuluklarını bulup, hız vektörünü güncellemektir. Önerilen sürekli birey-koloni optimizasyonu modelinin yapısı aşağıda verilmiştir.

Parametreleri belirle

Her bir birey için{

Başlangıç pozisyon ve hız vektörünü rastgele oluştur

Pozisyon vektöründen permütasyon sırasını elde et

Amaç fonksiyon değerlerini bul

Yerel en iyiyi bul

}

Küresel en iyiyi bul

Yap{

Her bir birey için{

Hız vektörünü güncelle

Pozisyon vektörünü güncelle

Pozisyon vektöründen permütasyon sırasını elde et

Amaç fonksiyon değerlerini bul

Yerel en iyiyi güncelle

}

Küresel en iyiyi güncelle

} Durdurma kriteri

Şekil 5.2: Kuadratik Atama Problemi için Önerilen Sürekli Birey-koloni Optimizasyonu Modelinin Yapısı

5.2.2. Modelin Gösterimi

Bu çalışmada, kuadratik atama probleminin gösterim şekli olarak, toplam mesafe başarımlı ölçütüne göre permütasyon tabanlı gösterim şekli seçilmiştir.

Önerilen modelde permütasyon tabanlı gösterim şeklini elde etmek için:

İlk olarak, X_i^k ile ifade edilen j-boyutlu vektör değerleri, belirlenen aralıklarda $[d_{\min}, d_{\max}]$ rassal olarak oluşturulur. Bu değerler Tablo 5.13’de verilmiştir.

Tablo 5.13: X_i^k Birey Elemanları

Pozisyon, j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
x_{ij}^k	1,8	-0,99	3,01	0,72	-0,45	-2,25	5,3	4,8	1,9
v_{ij}^k	-3,5	2,5	0,89	3,85	2,21	-1,89	2,5	1,6	1,9
π_{ij}^k	6	2	5	4	1	9	3	8	7

İkinci olarak, V_i^k hız vektörü belirlenen aralıkta $[-V_{\max}, V_{\max}]$ rastgele oluşturulur,

Üçüncü olarak da, X_i^k 'de oluşturulan değerler bulundukları pozisyonlara göre küçükten büyüğe doğru sıralanır ve pozisyon değerleri göz önüne alınarak Π_i^k değerleri oluşturulur.

Şöyle ki, Tablo 5.13'de en küçük olan $x_{i6}^k = -2,25$ değeri 6. pozisyonda bulunmaktadır. dolayısıyla τ_{i1}^k değeri 6 olarak alınır aynı şekilde -2,25 ten sonra gelen en küçük değer $x_{i6}^k = -0,99$ değeri 2. pozisyonda yer almaktadır ve τ_{i2}^k değeri de 2 olur. Bu işlem X_i^k 'de yer alan bütün değerler için devam eder. Başka bir ifadeyle, rastgele oluşturulan gerçek sayılar bulundukları pozisyonlara göre sıralanmaktadır.

5.2.3. Modelin İşleyişi

Birey-koloni optimizasyonu modelinin tüm hesaplama yöntemi aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

Adım 1: Başlangıç Değerlerini Oluştur.

- İterasyon sayısını 0'a eşitle ($k=0$) ve birey sayısını belirle.
- Başlangıç pozisyon vektörü değerlerini $[-d_{\max}, d_{\max}]$ aralığında rastgele oluştur.
 $\{X_i^0, i = 1, 2, \dots, \rho\}$, $X_i^0 = [x_{i1}^0, x_{i2}^0, \dots, x_{in}^0]$ Bu değerler kesikli değil sürekli dir.
- Başlangıç hız vektörü değerlerini $[-V_{\max}, V_{\max}]$ aralığında rastgele oluştur.
 $\{V_i^0, i = 1, 2, \dots, \rho\}$, $V_i^0 = [v_{i1}^0, v_{i2}^0, \dots, v_{in}^0]$ Bu değerler de gerçek sayılardır.
- Pozisyon vektörünü kullanarak permütasyon sırasına dönüştür.
 $\Pi_i^0 = [\pi_{i1}^0, \pi_{i2}^0, \dots, \pi_{in}^0]$
- Amaç fonksiyon değerini elde edilen Π_i^k vektörü yardımıyla hesapla.

$$f_i^k = f(\Pi_i^k) \quad (5.8)$$
- Her bir bireyin yerel en iyi değerlerini hesapla. Başlangıç bireylerinin en iyi değerine P_i denirse bu değer başlangıçta $P_i = X_i^0$ değerine eşittir.

$P_i = [p_{i1} = x_{i1}^0, p_{i2} = x_{i2}^0, \dots, p_{ij} = x_{ij}^0]$ ve bu değerlere karşılık gelen amaç fonksiyonu değerleri ise $f_i^{pb}, i=1,2,\dots,\rho$ 'dir.

- En iyi amaç fonksiyon değerine sahip olan bireyi küresel en iyi olarak al ve pozisyon değerlerini de küresel en iyi komşular olarak sakla. $f_b = \min\{f_i^0\}$, $b \in \{i; i=1,2,\dots,\rho\}$ ve $G_i = X_b^0$, $G = [g_1 = x_{b1}, g_2 = x_{b2}, \dots, g_n = x_{bn}]$ amaç fonksiyon değeri de $f^{gb} = f_b$ 'dir.

Adım 2: İterasyon Sayısını Güncelle.

$$- k=k+1 \quad (5.9)$$

Adım 3: Atalet Ağırlığını Güncelle.

$$- w^{k+1} = w^k \times \beta \quad (5.10)$$

Adım 4: Hız Vektörünü Güncelle.

$$- v_{ij}^{k+1} = (w^{k+1} \times v_{ij}^k) + c_1 \times r_1 \times (p_{ij} - x_{ij}^k) + c_2 \times r_2 \times (g_j - x_{ij}^k) \quad (5.11)$$

Burada belirtilen r_1 ve r_2 (0,1) arasında yer alan rassal değerler, c_1 ve c_2 ise sosyal ve kavramsal parametre değerlerini ifade eder.

Adım 5: Pozisyon Vektörünü Güncelle.

$$- x_{ij}^{k+1} = x_{ij}^k + v_{ij}^{k+1} \quad (5.12)$$

Adım 6: Permütasyon Sırasını Oluştur

$$- \Pi_i^k = [\pi_{i1}^k, \pi_{i2}^k, \dots, \pi_{ij}^k]$$

Adım 7: Değerlendir.

- Güncellenmiş koloni içerisinde yer alan her bir bireyin Π_i^k değerlerini kullanarak yeni amaç fonksiyon değerlerini bul. $f_i^k = f(\Pi_i^k)$

Adım 9: Yerel En İyi Değerlerini Güncelle.

- Güncellenen her bir bireyi bir önceki amaç fonksiyonu değeri ile karşılaştır. Bir öncekinden daha iyi ise, bireyin değerlerini güncelle, değilse aynıısını al.

Eğer $f_i^k < f_i^{pb}$, $i = 1, 2, \dots, \rho$ ise, $P_i = X_i^k$ ve $f_i^{pb} = f_i^k$ 'dir.

Adım 10: Küresel En İyi Değeri Güncelle.

- Güncellenen her bir bireyi, bir önceki kolonideki amaç fonksiyonu değeri en iyi olan ile karşılaştır. Bir öncekinden daha iyi ise bireyin değerlerini güncelle, değilse aynıısını al.

$$f_b^k = \min\{f_i^{pb}\}, i = 1, 2, \dots, \rho \quad b \in \{i; i = 1, 2, \dots, \rho\}$$

Eğer $f_b^k < f^{gb}$ ise, $G = X_b^k$ ve $f^{gb} = f_b^k$ 'dir.

Adım 11: Durdurma Kriteri

- Belirtilen maksimum iterasyon sayısına veya işlem zamanına ulaşıldığında dur, aksi halde 2. adıma git.

5.2.4. Önerilen Modelde Kullanılan Parametrelerin Belirlenmesi

Önerilen birey-koloni optimizasyonu modelinde kullanılan parametreler şu şekilde özetlenebilir.

- Başlangıç koloni Sayısı (ρ)
- Başlangıç Pozisyon Vektör Aralığı ($[-d_{\max}, d_{\max}]$)
- Başlangıç Hız Vektör Aralığı ($[-V_{\max}, V_{\max}]$)
- Atalet Ağırlığı (w^k)
- Atalet Ağırlığının Azaltma Katsayısı (β)
- Sosyal (c_1) ve Kavramsal (c_2) Değerler

Belirtilen parametrelerin belirlenmesi için öncelikle literatürde iyi sonuç veren değerler veya değer aralıkları alınmıştır.

Her bir parametrenin başlangıç değerleri Tablo 5.14'de verilmiştir.

Tablo 5.14: Önerilen Modelde Kullanılan Başlangıç Parametre Değerleri

Koloni Sayısı	$n \times 2$
Pozisyon Vektör Aralığı	$[0,1]$
Hız Vektör Aralığı	$[-4,+4]$
Başlangıç Atalet Ağırlığı	0,9
Azaltma Katsayısı	0,995
Sosyal Katsayı	2
Kavramsal Katsayı	2

5.2.5. Sürekli Birey-Koloni Optimizasyonu Modeli İçin Örnek Problem

Sürekli birey-koloni optimizasyonu modelinin işleyişini daha iyi anlamak için sayısal bir uygulamayı adım adım inceleyelim.

Başlangıç birey sayısını 5 olarak kabul edelim ve Taillard'ın "tai5" isimli problemi üzerinde çözüm adımlarını uygulayalım. Problemin verileri Tablo 5.15 ve 5.16'da verilmiştir.

Tablo 5.15: "Tai5" probleminin Akış Matrisi

0	6	44	40	75
6	0	79	0	89
44	79	0	35	9
40	0	35	0	1
75	89	9	1	0

Tablo 5.16: "Tai5" Probleminin Mesafe Matrisi

0	21	95	82	56
21	0	41	6	25
95	41	0	10	4
82	6	10	0	63
56	25	4	63	0

Problem tanımında yer alan ifadelerin neyi ifade ettikleri aşağıda verilmiştir.

- Alt indis (i)= birey,
- Üst indis olan (0)= iterasyon sayısı
- X_i^0 = her bir bireyin pozisyon vektörü
- x_{ij}^0 = vektörün içindeki elemanlar

- (j) = toplam iş sayısı ile atanacak iş merkezi sayısının çarpımı sonucunu ifade etmektedir.

İlk olarak, Tablo 5.13’de verilen birey elemanlarının ($X_i^0 = [x_{i1}^0, x_{i2}^0, x_{i3}^0, \dots, x_{i(m \times n)}^0]$) belirlenen aralıkta $[0, +10]$ rassal olarak oluşturulan pozisyon vektör değerleri Tablo 5.17’de verilmiştir.

Tablo 5.17: Başlangıç Pozisyon Vektörleri

Pozisyon	1	2	3	4	5
X_1^0	6,030	1,491	3,353	5,306	7,877
X_2^0	8,389	9,376	1,441	9,373	5,127
X_3^0	0,664	5,33	5,855	6,633	0,916

Aynı şekilde $[-4, +4]$ aralığında da hız vektörü değerleri rassal olarak oluşturulur. Her bir hız vektörü $V_i^0 = [v_{i1}^0, v_{i2}^0, v_{i3}^0, \dots, v_{i(m \times n)}^0]$ şeklinde ifade edilir. Elde edilen başlangıç hız vektör değerleri Tablo 5.18’de görülmektedir.

Tablo 5.18: Başlangıç Hız Vektörleri

V_1^0	0,704	-0,94	2,538	-0,12	-2,604
V_2^0	1,718	1,300	-3,175	0,615	2,467
V_3^0	0,230	-1,308	0,979	-3,417	-0,741

Daha sonra, pozisyon vektör değerleri kullanılarak permütasyon sırası değerleri elde edilir. Şöyle ki, X_1^0 bireyinde yer alan en küçük değer $x_{19}^0 = 1,491$ ve bu değere karşılık gelen pozisyon değeri (2)’dir. Bu işlem pozisyon vektöründeki tüm elemanlar için uygulanır. Tablo 5.19’da koloni içerisindeki tüm pozisyon değerlerine karşılık gelen permütasyon sıraları ve bunlara bağlı amaç fonksiyon değerleri (toplam mesafe) görülmektedir.

Tablo 5.19: Başlangıç Permütasyon Sıraları

						$f(\Pi_i^1)$
Π_1^0	2	3	4	1	5	13294
Π_2^0	3	5	1	4	2	10755
Π_3^0	1	5	2	3	4	13294

Sonraki adım ise, bu neslin yerel en iyilerini ve küresel en iyi değerini bulmak olacaktır. Her bir koloninin birey sayısı kadar yerel en iyi değeri ve bir tane küresel en iyi değeri vardır. Başlangıç kolonisinin yerel en iyi değerleri her bir bireyin değerlerine eşit

olacağından P_i olarak ifade edilen yerel en değerleri ve bu değerler sonucu elde edilmiş amaç fonksiyon değerleri Tablo 5.20’de görülmektedir.

Tablo 5.20:Başlangıç Yerel En İyi Pozisyon Vektörleri

Pozisyon	1	2	3	4	5	$f(P_i)$
P_1	6,030	1,491	3,353	5,306	7,877	13294
P_2	8,389	9,376	1,441	9,373	5,127	10755
P_3	0,664	5,330	5,855	6,633	0,916	13294

Başlangıç kolonisinde yer alan en iyi amaç fonksiyonuna sahip birey, küresel en iyi olarak nitelendirilir. Tablo 5.21’de küresel en iyi bireye ait pozisyon ve buna bağlı amaç fonksiyon değeri görülmektedir.

Tablo 5.21: Başlangıç Küresel En İyi Değerleri

Pozisyon	1	2	3	4	5	$f(G)$
G	8,389	9,376	1,441	9,373	5,127	10755

Bundan sonraki adım ise, oluşturulan bu parametreler eşliğinde her bir bireyin bir sonraki iterasyondaki pozisyon ve hız vektörleri ile, bunlara bağlı olarak permütasyon sırası ve permütasyon tabanlı gösterim değerlerinin bulunmasıdır. Öncelikle her bir bireyin hız vektörü değerleri atalet ağırlığının o iterasyondaki değeri ile çarpılır. Yani öncelikle Formül 5.10 yardımıyla atalet ağırlığı β gibi bir sabit sayı ile çarpılarak azaltılır. β değeri bu örnekte 0,995 olarak alınırsa, ilk iterasyondaki atalet ağırlığı değeri $0,9 \times 0,995 = 0,8955$ ’dir. Böylece 1. bireyin 1. pozisyonundaki hız vektörü değeri $v_{11}^0 = 0,704 \times 0,8995 = 0,634$ eşitliği ile elde edilir. Tablo 5.22’de atalet ağırlığı ile çarpılmış hız vektörleri görülmektedir.

Tablo 5.22: Atalet Ağırlığı ile Çarpılmış Hız Vektör Değerleri

V_1^1	0,634	-0,846	2,284	-0,108	-2,344
V_2^1	1,546	1,170	-2,858	0,554	2,220
V_3^1	0,207	-1,177	0,881	-3,075	-0,667

Daha sonra yerel en iyiler ve küresel en iyi komşu değerlerinden Formül 5.11 kullanılarak yeni hız vektörü değeri hesaplanır. Bu formülde yer alan r_1 ve r_2 değerleri rassal değerlerdir. c_1 ve c_2 değerleri ise sosyal ve kavramsal parametre değerlerini ifade eder. Bu değerler örneğimizde 2 olarak kabul edilmiştir.

Elde edilen hız vektör değerleri ile başlangıç pozisyon vektörünün toplamı, yani Formül 5.12 kullanılarak yeni pozisyon vektörü oluşturulur.

Yukarıdaki işlemler sayısal olarak şu şekilde hesaplanmaktadır. Örneğin, birinci iterasyondaki birinci bireyin birinci pozisyon değerini bulmak için öncelikle hız vektörü atalet ağırlığı ile çarpılır. Atalet ağırlığının ilk iterasyondaki değeri ise, $0,9 \times 0,995 = 0,8955$ 'dir. Dolayısıyla $v_{11}^0 = 0,704 \times 0,8955 = 0,634$ 'dir. Daha sonraki işlem ise;

$$v_{ij}^{k+1} = (w^{k+1} \times v_{ij}^k) + c_1 \times r_1 \times (p_{ij} - x_{ij}^k) + c_2 \times r_2 \times (g_j - x_{ij}^k)$$

$$v_{ij}^{k+1} = (0,8955 \times 0,704) + 2 \times 0,234 \times (6,030 - 6,030) + 2 \times 0,528 \times (8,389 - 6,030)$$

$$v_{ij}^{k+1} = 3,121536$$

Yeni pozisyon değeri ise

$$x_{ij}^1 = x_{ij}^0 + v_{ij}^1 \rightarrow x_{ij}^1 = 6,030 + 3,121536 = 9,151536$$

şeklinde bulunur.

Bütün bireyler için yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen pozisyon vektör değerleri Tablo 5.23'de verilmiştir.

Tablo 5.23: Pozisyon Vektörleri (1. İterasyon)

Pozisyon	1	2	3	4	5
X_1^1	9,151536	6,23181	3,962339	10,28229	3,631118
X_2^1	9,927469	10,54015	-1,4022125	9,9237325	7,3361985
X_3^1	6,818215	9,499406	3,2534625	8,3680765	5,6004045

Bütün bireyler için yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen hız vektör değerleri Tablo 5.24'de verilmiştir.

Tablo 5.24: Hız Vektörleri (1. İterasyon)

V_1^1	3,121536	4,74081	0,609339	4,97629	-4,245882
V_2^1	1,538469	1,16415	-2,8432125	0,5507325	2,2091985
V_3^1	6,154215	4,169406	-2,6015375	1,7350765	4,6844045

Bütün bireyler için yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen permütasyon sırası Tablo 5.25’de verilmiştir.

Tablo 5.25: Permütasyon Sırası (1. İterasyon)

						$f(\Pi_i^1)$
Π_1^1	5	3	2	1	4	6744
Π_2^1	3	5	4	1	2	6744
Π_3^1	3	5	1	4	2	10755

Elde edilen yeni amaç fonksiyon değerleri bir önceki iterasyondaki amaç fonksiyon değerleri ile karşılaştırılarak yeni yerel en iyi komşular ve küresel en iyi komşular elde edilir. Aynı şekilde bütün bireylerin amaç fonksiyon değerleri, karşılık gelen yerel en iyi değerlerinin amaç fonksiyon değerleri ile karşılaştırılır. Daha iyi amaç fonksiyonuna sahip bireyler, yerel en iyi komşular olarak değiştirilir. Güncellenmiş yerel en iyi değerleri ve amaç fonksiyon değerleri Tablo 5.26’da görülmektedir.

Tablo 5.26: Yerel En İyi Pozisyon Vektörleri (1. İterasyon)

Pozisyon	1	2	3	4	5	$f(P_i)$
P_1	9,151536	6,23181	3,962339	10,28229	3,631118	6744
P_2	9,927469	10,54015	-1,4022125	9,9237325	7,3361985	6744
P_3	6,818215	9,499406	3,2534625	8,3680765	5,6004045	10755

İkinci iterasyona kadar elde edilen en iyi amaç fonksiyon değeri birinci iterasyondaki gibi aynıdır. Fakat küresel en iyi komşuları da güncellerken, tıpkı yerel en iyi komşuların güncellemesinde olduğu gibi eşitlik durumunda da bu değişiklik yapılır. Bu değişiklik şu şekilde gerçekleşir. Koloniye birinci bireyden başlayarak amaç fonksiyon değerleri bir önceki iterasyonun küresel en iyi amaç fonksiyon değeri ile karşılaştırılır. Eşit veya daha iyi amaç fonksiyon değeri durumunda küresel en iyi değerleri güncellenmiş olur. 1. iterasyon sonucu elde edilen küresel en iyi komşu değerleri Tablo 5.27’de görülmektedir.

Tablo 5.27: Küresel En İyi Değerleri (1. İterasyon)

Pozisyon	1	2	3	4	5	$f(G)$
G	9,927469	10,54015	-1,4022125	9,9237325	7,3361985	6744

İkinci iterasyonda da, birinci iterasyonda uygulanan işlemlerin aynısı uygulanır. Bu işlemler bir durdurma ölçütüne kadar devam ettirilir. Genellikle bu ölçüt işlem süresi veya belirlenen iterasyon sayısıdır.

5.3. KUADRATİK ATAMA PROBLEMLERİ İÇİN GENETİK ALGORİTMA MODELİ

Öncelikle, problemin genetik algoritma modelinde ifade şekline karar verilmelidir. Önerilen genetik algoritma modeli, birey-koloni optimizasyonu modelleri ile karşılaştıracağı için ayrık birey-koloni optimizasyonu modelindeki gösterim şekli seçilmiştir. Genetik algoritma modelinde kullanılan gösterim yöntemi, Tablo 5.28’de verilmiştir.

Tablo 5.28: Genetik Algoritma Modelindeki Gösterim Yöntemi

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
π_{ij}^k	6	2	5	4	1	9	3	8	7

Genetik algoritma modelinin benzetim kodu, Şekil 5.3’deki gibidir.

Başlangıç Popülasyonunu Oluştur

Amaç Fonksiyon Değerlerini Bul

Yap {

*Popülasyondan 2*M aday seç*

Çaprazlama sonucu M aday çözüm oluştur.

Mutasyon uygula

Amaç Fonksiyon Değerlerini Bul

Toplam (N+M) bireyden N birey seç

} Durdurma Kriteri

Şekil 5.3: Önerilen Genetik Algoritma Modelinin Yapısı

Şekil 5.3’de verilen algoritma yapısında kullanılan,

M : Çaprazlama oranı sonucu oluşan birey sayısını,

N : Toplam koloni sayısını

göstermektedir.

5.3.1. Çaprazlama Operatörünün Seçimi

Kullanılan gösterim yöntemi permütasyon tabanlı olduğundan, kullanılabilecek çaprazlama yöntemleri ve işleyişleri şöyle sıralanabilir. (Cheng ve diğerleri, 1997) .

5.3.1.1. Kısmi Eşlemeli Çaprazlama

Golberg ve Lingle tarafından geliştirilen bu çaprazlamanın işleyiş şekli şu şekildedir.

Rastgele seçilen iki kromozom için, eşit uzunlukta iki alt kromozom dizisi eşleştirmek amacıyla seçilir. Bu alt kromozom dizi değerleri, iki kromozom arasında değiştirilerek aday bireyler oluşturulur. İki alt kromozom dizisinden eşleşme ilişkisi hesaplanır. Yeni birey, bu eşleşmeye göre oluşturulur. Tablo 5.29'da görüldüğü gibi 1, 2 ve 9 birinci aday bireyde iki kere tekrarlanmaktadır. Bu aday bireyde, 3, 4, 5 yer almamaktadır. Üçüncü adımdaki eşleşme ilişkisinden bu 1, 2 ve 9 un yerine sırasıyla 3, 5 ve 4 gelerek birinci nesil oluşturulur. İkinci nesil de aynı işleyişe göre oluşturulur.

Tablo 5.29: Kısmi Eşlemeli Çaprazlama Gösterimi

Adım 1 Koloniden rastgele ebeveyn seçimi

Ebeveyn 1	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ebeveyn 2	5	4	6	9	2	1	7	8	3

Adım 2 Alt dizi değerlerinin değiştirilmesi

Aday Birey 1	1	2	6	9	2	1	7	8	9
Aday Birey 2	5	4	3	4	5	6	7	8	3

Adım 3 Eşleşme ilişkisinin hesaplanması

6	9	2	1	1	↔	6	↔	3
↕	↕	↕	↕	2	↔	5		
3	4	5	6	9	↔	4		

Adım 4 Yeni bireyin bu eşlemeye göre oluşturulması

Nesil 1	3	5	6	9	2	1	7	8	4
Nesil 2	2	9	3	4	5	6	7	8	1

5.3.1.2. Sıralı Çaprazlama

Davis (1985) tarafından geliştirilen bu çaprazlama yönteminin işleyiş biçimi şu şekildedir.

Rastgele seçilen iki ebeveynin birincisinden rassal pozisyonda bir alt kromozom dizisi oluşturulur. Seçilen bu alt kromozom dizisinde yer alan değerler, bulundukları pozisyonlara göre, aday bireyin aynı pozisyonlarına kopyalanır. Alt kromozomda yer alan değerler, ikinci ebeveynden silinir. Geri kalan değerler, sırası ile boş kalan aday bireye kopyalanarak yeni bir nesil oluşturulur.

Tablo 5.30'da bu adımlar görülmektedir. Alt kromozom dizisi ikinci ebeveynden aynı pozisyonlardan başlayarak seçilseydi yeni nesil olarak [2 5 4 9 1 3 6 7 8] değerleri elde edilecekti.

Tablo 5.30: Sıralı Çaprazlama Gösterimi

Ebeveyn 1	1	2	3	4	5	6	7	8	9
		↓							
Nesil	7	9	3	4	5	6	1	2	8
	↙	↙	↙	↙	↙	↙	↗	↗	↗
Ebeveyn 2	5	7	4	9	1	3	6	2	8

5.3.1.3. Pozisyon Tabanlı Çaprazlama

Syswerda tarafından geliştirilen bu çaprazlama yöntemi sıralı çaprazlama yönteminin değiştirilmiş bir şeklidir. Yöntemin işleyişi şöyledir. Rastgele seçilen iki ebeveynin birincisinden rassal pozisyonlar dizisi oluşturulur. Seçilen bu pozisyonlarda yer alan değerler bulundukları pozisyonlara göre aday bireyin aynı pozisyonlarına kopyalanır. Bu pozisyon değerleri ikinci ebeveynden silinir. Geri kalan değerler sırası ile boş kalan aday bireye kopyalanarak yeni bir nesil oluşturulur. Bu adımlar, Tablo 5.31'de görülmektedir.

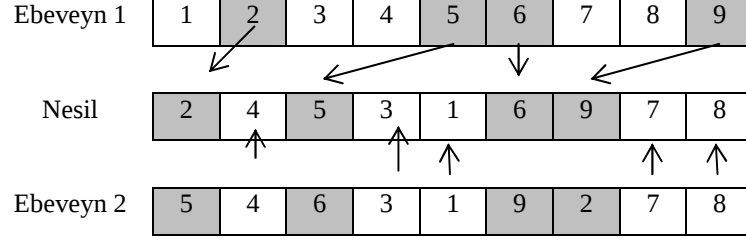
Tablo 5.31: Pozisyon Tabanlı Çaprazlama Gösterimi

Ebeveyn 1	1	2	3	4	5	6	7	8	9
		↓			↓	↓			↓
Nesil	4	2	3	1	5	6	7	8	9
	↙	↙	↙	↙	↙	↙	↙	↙	↙
Ebeveyn 2	5	4	6	3	1	9	2	7	8

5.3.1.4. Sıraya Dayalı Çaprazlama

Sıraya dayalı çaprazlama da aynı şekilde Syswerda tarafından geliştirilmiştir. Pozisyona dayalı çaprazlamaya benzemektedir. Farkı ise, seçilen pozisyon değerlerinin yeni adaya birinci ebeveynden değil de ikinci ebeveynden kopyalanmasıdır. Tablo 5.32’de sıraya dayalı çaprazlama örneği görülmektedir.

Tablo 5.32: Sıraya Dayalı Çaprazlama Gösterimi

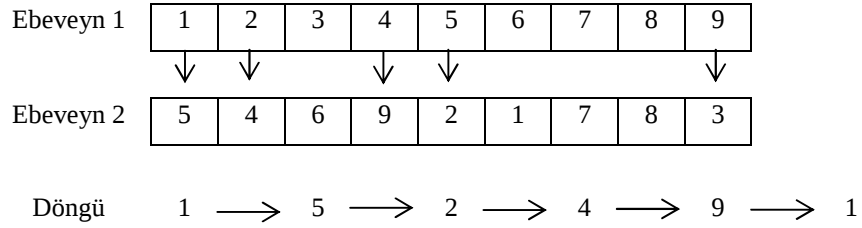


5.3.1.5. Dairesel Çaprazlama

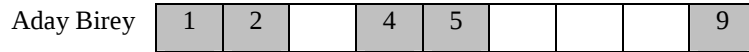
Oliver, Smith ve Holland tarafından geliştirilen bu çaprazlama yönteminin pozisyona dayalı çaprazlamadan tek farkı, birinci adımda oluşturulan rassal pozisyonlar dizisi yerine sabit ve bütün adımlarda kullanılmak üzere döngü değerleri kullanılmasıdır. Tablo 5.33’de dairesel çaprazlama yönteminin adımları görülmektedir.

Tablo 5.33: Dairesel Çaprazlama Gösterimi

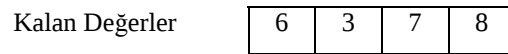
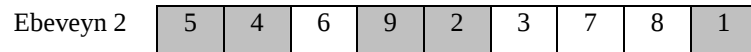
Adım 1: Rassal seçilen iki ebeveynden döngü oluştur.



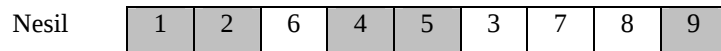
Adım 2: Döngüde bulunan değerleri aday bireye kopyala



Adım 3: Aday birey için kalan değerleri hesapla



Adım 4: Nesil bireyini oluştur



5.3.1.6. Doğrusal Sıralı Çaprazlama

Falkenauer ve Bouffouix tarafından geliştirilen bu çaprazlama, sıralı çaprazlamanın değiştirilmiş bir şeklidir. Bu yöntemin işleyiş biçimi şöyledir.

Rastgele seçilen iki ebeveynin aynı pozisyonlarda, iki tane alt dizi kromozomu oluşturulur. İkinci alt dizideki değerleri birinci ebeveyninden, birinci alt dizideki değerleri de ikinci ebeveyninden silinir ve boşluklara h yazılır. Daha sonra, h değerleri, çaprazlama pozisyonuna getirilir. Birinci alt dizideki değerler ikinci ebeveyndeki h 'lere eklenerek birinci nesil, ikinci alt dizideki değerler birinci ebeveyndeki h 'lere eklenerek ikinci nesil oluşturulur. Tablo 5.34'de doğrusal sıralı çaprazlamanın adımları görülmektedir.

Tablo 5.34: Doğrusal Sıralı Çaprazlama Gösterimi

Adım 1:

Ebeveyn 1	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ebeveyn 2	7	6	9	4	3	2	1	5	8

Adım 2:

Ebeveyn 1	1	h	h	h	5	6	7	8	9
Ebeveyn 1	1	5	6	h	h	h	7	8	9
Ebeveyn 2	7	h	9	h	3	2	1	h	8
Ebeveyn 2	7	9	3	h	h	h	2	1	8

Adım 3:

Nesil 1	7	9	3	4	5	6	2	1	8
Nesil 2	1	5	6	4	3	2	7	8	9

Literatürde yer alan bu çaprazlama yöntemlerinden en iyi performans veren, sıralı çaprazlamadır (Michalewicz,1994). Dolayısıyla önerilen modelde bu yöntem kullanılmıştır.

5.3.2. Mutasyon Operatörünün Belirlenmesi

Genetik algorithmada mutasyon operatörünün seçimi önemli bir işlem adıdır. Permütasyon tabanlı gösterimler için kullanılacak mutasyon operatörleri şunlardır.

5.3.2.1. Ters Mutasyon

Ters mutasyon yönteminde seçilen bir kromozomdaki alt kromozom dizisi ters çevrilerek yerine yazılır.

Tablo 5.35’de ters mutasyon yöntemi görülmektedir.

Tablo 5.35: Ters Mutasyon Gösterimi

Kromozom	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Mutasyon Sonucu	1	2	6	5	4	3	7	8	9

5.3.2.2. Ekleme Mutasyonu

Bu mutasyon yönteminde rastgele seçilen bir kromozomdan rassal bir pozisyon belirlenip, rassal bir pozisyon arasına yerleştirilerek uygulanır.

Tablo 5.36’da ekleme mutasyonu yöntemi görülmektedir.

Tablo 5.36: Ekleme Mutasyonu Gösterimi

Kromozom	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Mutasyon Sonucu	1	2	6	3	4	5	7	8	9

5.3.2.3. Değişirme Mutasyonu

Rastgele seçilen iki pozisyonun yer değiştirilmesiyle gerçekleşir.

Tablo 5.37’de değişirme mutasyonu yöntemi görülmektedir.

Tablo 5.37: Değişirme Mutasyonu Gösterimi

Kromozom	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Mutasyon Sonucu	1	2	6	4	5	3	7	8	9

Bu mutasyon operatörlerinden ekleme mutasyon yöntemi, literatürde daha çok tercih edilmektedir. Bundan dolayı, önerilen modelde ekleme mutasyon yöntemi tercih edilmiştir.

5.3.3. Çaprazlama Ve Mutasyon Oranının Belirlenmesi

Genetik algoritma konusunda çalışma yapan bilim adamları çaprazlama ve mutasyon oranlarının oranı hakkında çok sayıda çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmaların sonucunda, çaprazlama oranının yüksek, mutasyon oranının ise düşük seçilmesi yönünde görüş birliğine varmışlardır. (Croce ve diğ., 1995).

Önerilen modelde çaprazlama oranı olarak 0,90, mutasyon oranı olarak ise 0,10 kabul edilmiştir.

5.3.4. Seçim Stratejisinin Belirlenmesi

Genetik algoritmanın performansını etkileyen önemli parametrelerden birisi de seçim stratejisinin belirlenmesidir. Literatürde yer alan seçim stratejilerinin en önemlileri şu şekilde sıralanabilir.

- Derece Seçimi
- Turnuva Seçimi
- Rulet Seçimi
- Boltzman Seçimi
- Kararlı Durum Seçimi

Önerilen genetik algoritma modelinde seçim stratejisi olarak, derece seçimi yöntemi kullanılmıştır.

5.4. ÖNERİLEN MODELLERDE KULLANILAN YAZILIM

Önerilen ayırık birey-koloni optimizasyonu modeli, sürekli birey-koloni optimizasyonu modeli ve genetik algoritma modelini çözecek yazılım, C dili ile geliştirilmiştir. Kullanılan yazılımın adımlarını kısaca şu şekilde özetlenebilir.

- Text dosyasında yer alan problemi okuyarak ismini ve boyutlarını belirle.
- Kullanılan rassal sayı kümesini belirlemek için bir kök sayı belirle.
- Her bir tekrar için okunan probleme birey-koloni optimizasyonu algoritmasını belirtilen durdurma ölçütüne göre uygula.

- Durdurma ölçütü sonucu elde edilen amaç fonksiyon değeri ile ortalama sapma ve geçen işlem süresini yaz.
- Ayrıca en son elde edilen pozisyon ve hız vektörü değerleri ile permütasyon ve operasyon tabanlı sırasını da yaz.

Örnek olarak, “*Chr12a*” probleminin ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinin 5 tekrarlı program çıktısı aşağıda verilmektedir.

Problem Adı= Chr12a

Tekrar Sayısı= 5

Başlangıç değeri= 8569

İterasyon= 1000

Koloni Sayısı= 24

Problem Boyutu=12

1.İşlem zamanı(CPU)= 0,453

2.İşlem zamanı(CPU)= 2,735

3.İşlem zamanı(CPU)= 2,672

4.İşlem zamanı(CPU)= 2,671

5.İşlem zamanı(CPU)= 0,219

Bağlı Hata= 0

Optimum Değer= 9742

Küresel En İyi Değer= 9742

Pozisyon Vektörü:

R1 - 4 6 0 9 10 2 3 1 8 5 11 7 9742,0

R2 - 10 5 0 11 4 7 3 1 8 6 9 2 10102,0

R3 - 10 5 0 11 4 7 3 1 8 6 9 2 10102,0

R4 - 10 5 0 11 4 7 3 1 8 6 9 2 10102,0

R5 - 4 6 0 9 10 2 3 1 8 5 11 7 9742,0

6. KUADRATİK ATAMA PROBLEMLERİ İÇİN ÖNERİLEN MODEL SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde, kuadratik atama problemlerinin çözümü için önerilen ayrık birey-koloni optimizasyonu, sürekli birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma modellerinin test problemlerine uygulanması ile elde edilen toplam mesafe başarımlarına göre sonuçları, bu sonuçlara belirlenen anlamlılık düzeylerine göre uygulanan T testinin sonuçları ve çalışma zamanı başarımlarına göre sonuçlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Literatürdeki test problemlerinin her biri için önerilen modeller bazında elde edilen sonuçlar ve istatistiksel olarak yapılan üç farklı karşılaştırmanın sonuçları ayrı ayrı incelenmiştir.

6.1. ÖNERİLEN MODELLERİN TOPLAM MESAFE BAŞARIM ÖLÇÜTÜNE GÖRE SONUÇLARI

Kuadratik atama problemlerinin çözümü için önerilen ayrık birey-koloni optimizasyonu, sürekli birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma modellerinin literatürdeki test problemlerinin tamamına uygulanmıştır. Toplam mesafe başarımlarına göre her problem için elde edilen ortalama bağıl hata ve minimum bağıl hata sonuçları problem bazında aşağıda incelenmiştir.

Ortalama bağıl hata ve minimum bağıl hata değerleri karşılaştırıldığında, hangi modelin ortalama değeri en küçükse, o modelin diğer modellerden daha iyi sonuç verdiği kararı verilir.

6.1.1. R.E. Burkard ve J. Offermann Problemlerinin Sonuçları

Önerilen ayrık birey-koloni optimizasyonu, sürekli birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma modellerinin BuOf:77 test problemlerine uygulanmasıyla elde edilen ortalama bağıl hata ve minimum bağıl hata değerleri Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1: BuOf:77 Problemlerinin Sonuçları

	Genetik Algoritma		Sürekli Birey-Koloni Optimizasyonu		Ayrık Birey-Koloni Optimizasyonu	
Problem	Ortalama Bağlı Hata	Minimum Bağlı Hata	Ortalama Bağlı Hata	Minimum Bağlı Hata	Ortalama Bağlı Hata	Minimum Bağlı Hata
bur26a	1,025	0,562	0,469	0,093	0,423	0,177
bur26b	1,137	0,504	0,671	0,347	0,425	0,203
bur26c	1,242	0,423	0,590	0,117	0,419	0,036
bur26d	1,285	0,282	0,621	0,055	0,417	0,034
Bur26e	1,307	0,508	0,513	0,070	0,348	0,065
Bur26f	1,464	0,319	0,527	0,050	0,347	0,019
Bur26g	1,294	0,560	0,596	0,046	0,405	0,063
Bur26h	1,532	0,452	0,585	0,125	0,363	0,023
Ortalama	1,286	0,451	0,572	0,113	0,393	0,078

Sonuçlar ortalama bağlı hata değerlerine göre incelendiğinde, ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinin diğer modellerden daha iyi olduğu görülmektedir.

Sonuçlar minimum bağlı hata değerlerine göre incelendiğinde de, ayrık birey-koloni optimizasyonu modeli diğerlerinden daha iyi olduğu görülmektedir.

6.1.2. N. Christofides ve E. Benavent Problemlerinin Sonuçları

Önerilen ayrık birey-koloni optimizasyonu, sürekli birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma modellerinin ChBe:89 test problemlerine uygulanmasıyla elde edilen ortalama bağlı hata ve minimum bağlı hata değerleri Tablo 6.2’de verilmiştir.

Tablo 6.2: ChBe:89 Problemlerinin Sonuçları

	Genetik Algoritma		Sürekli Birey-Koloni Optimizasyonu		Ayrık Birey-Koloni Optimizasyonu	
Problem	Ortalama Bağlı Hata	Minimum Bağlı Hata	Ortalama Bağlı Hata	Minimum Bağlı Hata	Ortalama Bağlı Hata	Minimum Bağlı Hata
Chr12a	68,648	13,107	25,381	4,564	26,955	3,811
Chr12b	59,524	7,042	19,619	0,000	19,750	0,000
Chr12c	41,545	12,836	17,642	2,313	19,783	3,675
Chr15a	76,783	39,854	45,440	17,401	41,155	10,914
Chr15b	122,942	64,756	49,806	15,494	64,401	30,688
Chr15c	79,275	30,324	57,008	22,727	48,090	19,192
Chr18a	141,267	81,618	74,129	34,547	72,567	27,969
Chr18b	27,910	13,168	12,534	2,086	12,564	0,913
Chr20a	100,152	48,814	69,413	42,609	56,001	23,540
Chr20b	61,480	23,847	47,073	25,936	38,048	14,708
Chr20c	170,213	59,200	81,886	17,155	71,441	20,733
Chr22a	27,749	12,476	18,448	8,902	16,305	8,090
Chr22b	27,524	18,405	17,762	6,748	16,135	11,269
Chr25a	140,425	88,620	94,427	66,596	84,786	45,047
Ortalama	81,817	36,719	45,041	19,077	41,998	15,753

Sonuçlar ortalama bağlı hata değerlerine göre incelendiğinde, ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinin diğer modellerden daha iyi olduğu görülmektedir.

Sonuçlar minimum bağlı hata değerlerine göre incelendiğinde de, ayrık birey-koloni optimizasyonu modeli diğerlerinden daha iyi olduğu görülmektedir.

6.1.3. A.N. Elshafei Problemlerinin Sonuçları

Önerilen ayrık birey-koloni optimizasyonu, sürekli birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma modellerinin Elshafei:77 test problemlerine uygulanmasıyla elde edilen ortalama bağlı hata ve minimum bağlı hata değerleri Tablo 6.3’de verilmiştir.

Tablo 6.3: Elshafei:77 Problemlerinin Sonuçları

	Genetik Algoritma		Sürekli Birey-Koloni Optimizasyonu		Ayrık Birey-Koloni Optimizasyonu	
Problem	Ortalama Bağlı Hata	Minimum Bağlı Hata	Ortalama Bağlı Hata	Minimum Bağlı Hata	Ortalama Bağlı Hata	Minimum Bağlı Hata
Els19	43,568	18,441	7,143	1,704	16,673	0,000

Sonuçlar ortalama bağıl hata değerlerine göre incelendiğinde, sürekli birey-koloni optimizasyonu modelinin diğer modellerden daha iyi olduğu görülmektedir.

Sonuçlar minimum bağıl hata değerlerine göre incelendiğinde de, ayrık birey-koloni optimizasyonu modeli diğerlerinden daha iyi olduğu görülmektedir.

6.1.4. B. Eschermann ve H.J. Wunderlich Problemleri

Önerilen ayrık birey-koloni optimizasyonu, sürekli birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma modellerinin EsWu:90 test problemlerine uygulanmasıyla elde edilen ortalama bağıl hata ve minimum bağıl hata değerleri Tablo 6.4’de verilmiştir.

Tablo 6.4: EsWu:90 Problemlerinin Sonuçları

Problem	Genetik Algoritma		Sürekli Birey-Koloni Optimizasyonu		Ayrık Birey-Koloni Optimizasyonu	
	Ortalama Bağıl Hata	Minimum Bağıl Hata	Ortalama Bağıl Hata	Minimum Bağıl Hata	Ortalama Bağıl Hata	Minimum Bağıl Hata
Esc16a	3,725	0,000	1,078	0,000	0,294	0,000
Esc16b	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Esc16c	4,000	0,000	0,542	0,000	0,458	0,000
Esc16d	23,333	0,000	4,583	0,000	7,917	0,000
Esc16e	5,476	0,000	2,619	0,000	3,333	0,000
Esc16f	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Esc16g	12,564	0,000	2,821	0,000	0,513	0,000
Esc16h	0,020	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Esc16i	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Esc16j	5,833	0,000	2,500	0,000	0,000	0,000
Esc32a	72,000	43,077	65,128	52,308	42,410	30,769
Esc32b	69,841	42,857	56,984	38,095	45,476	26,190
Esc32c	1,745	0,000	0,332	0,000	0,073	0,000
Esc32d	17,200	8,000	11,900	7,000	8,267	2,000
Esc32e	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Esc32f	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Esc32g	3,333	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Esc32h	11,537	1,826	8,021	3,196	5,282	0,457
Esc64a	17,989	5,172	22,356	10,345	5,805	0,000
Esc128	97,396	56,250	166,979	100,000	56,667	40,625
Ortalama	17,300	7,859	17,292	10,547	8,825	5,002

Sonuçlar ortalama bağıl hata değerlerine göre incelendiğinde, ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinin diğer modellerden daha iyi olduğu görülmektedir.

Sonuçlar minimum bağıl hata değerlerine göre incelendiğinde de, ayrık birey-koloni optimizasyonu modeli diğerlerinden daha iyi olduğu görülmektedir.

6.1.5. S.W. Hadley, F. Rendl ve H. Wolkowicz Problemlerinin Sonuçları

Önerilen ayrık birey-koloni optimizasyonu, sürekli birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma modellerinin HaReWo:92 test problemlerine uygulanmasıyla elde edilen ortalama bağıl hata ve minimum bağıl hata değerleri Tablo 6.5’de verilmiştir.

Tablo 6.5: HaReWo:92 Problemlerinin Sonuçları

Problem	Genetik Algoritma		Sürekli Birey-Koloni Optimizasyonu		Ayrık Birey-Koloni Optimizasyonu	
	Ortalama Bağıl Hata	Minimum Bağıl Hata	Ortalama Bağıl Hata	Minimum Bağıl Hata	Ortalama Bağıl Hata	Minimum Bağıl Hata
Had12	1,642	0,121	0,488	0,000	0,694	0,000
Had14	1,679	0,147	0,360	0,000	0,661	0,000
Had16	1,910	0,323	0,600	0,000	0,613	0,000
Had18	2,060	0,747	0,672	0,149	1,034	0,000
Had20	2,403	0,867	0,875	0,144	1,302	0,058
Ortalama	1,939	0,441	0,599	0,059	0,861	0,012

Sonuçlar ortalama bağıl hata değerlerine göre incelendiğinde, sürekli birey-koloni optimizasyonu modelinin diğer modellerden daha iyi olduğu görülmektedir.

Sonuçlar minimum bağıl hata değerlerine göre incelendiğinde de, ayrık birey-koloni optimizasyonu modeli diğerlerinden daha iyi olduğu görülmektedir.

6.1.6. J. Krarup ve P.M. Pruzan Problemlerinin Sonuçları

Önerilen ayrık birey-koloni optimizasyonu, sürekli birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma modellerinin KrPr:78 test problemlerine uygulanmasıyla elde edilen ortalama bağıl hata ve minimum bağıl hata değerleri Tablo 6.6’de verilmiştir.

Tablo 6.6: KrPr:78 Problemlerinin Sonuçları

	Genetik Algoritma		Sürekli Birey-Koloni Optimizasyonu		Ayrık Birey-Koloni Optimizasyonu	
Problem	Ortalama Bağlı Hata	Minimum Bağlı Hata	Ortalama Bağlı Hata	Minimum Bağlı Hata	Ortalama Bağlı Hata	Minimum Bağlı Hata
Kra30a	16,673	9,494	11,329	4,904	12,061	7,165
Kra30b	14,402	8,773	8,480	3,938	8,904	2,811
Ortalama	15,538	9,133	9,905	4,421	10,483	4,988

Sonuçlar ortalama bağlı hata değerlerine göre incelendiğinde, sürekli birey-koloni optimizasyonu modelinin diğer modellerden daha iyi olduğu görülmektedir.

Sonuçlar minimum bağlı hata değerlerine göre incelendiğinde de, sürekli birey-koloni optimizasyonu modeli diğerlerinden daha iyi olduğu görülmektedir.

6.1.7. Y. Li ve P.M. Pardalos Problemlerinin Sonuçları

Önerilen ayrık birey-koloni optimizasyonu, sürekli birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma modellerinin LiPa:92 test problemlerine uygulanmasıyla elde edilen ortalama bağlı hata ve minimum bağlı hata değerleri Tablo 6.7’de verilmiştir.

Tablo 6.7: LiPa: 92 Problemlerinin Sonuçları

	Genetik Algoritma		Sürekli Birey-Koloni Optimizasyonu		Ayrık Birey-Koloni Optimizasyonu	
Problem	Ortalama Bağlı Hata	Minimum Bağlı Hata	Ortalama Bağlı Hata	Minimum Bağlı Hata	Ortalama Bağlı Hata	Minimum Bağlı Hata
Lipa20a	3,743	3,231	3,243	2,715	3,125	2,634
Lipa20b	19,530	16,949	16,816	5,581	16,971	14,419
Lipa30a	2,946	2,618	2,765	2,261	2,449	2,034
Lipa30b	20,579	18,828	20,308	17,989	19,075	17,467
Lipa40a	2,256	1,909	2,342	1,906	1,971	1,747
Lipa40b	23,009	21,502	23,392	21,646	21,541	20,471
Lipa50a	1,973	1,812	2,185	1,760	1,787	1,596
Lipa50b	22,494	21,464	23,890	22,411	21,542	20,506
Lipa60a	1,720	1,544	1,991	1,821	1,609	1,438
Lipa60b	24,019	23,330	25,836	24,279	23,123	22,416
Lipa70a	1,510	1,392	1,816	1,667	1,406	1,347
Lipa70b	24,665	23,891	26,900	25,884	24,098	23,608
Lipa80a	1,338	1,252	1,666	1,535	1,263	1,152

Lipa80b	25,528	24,713	27,769	25,912	25,015	24,413
Lipa90a	1,227	1,131	1,539	1,380	1,199	1,119
Lipa90b	25,715	25,115	27,989	27,005	25,208	24,599
Ortalama	12,641	11,917	13,153	11,609	11,961	11,310

Sonuçlar ortalama bağıl hata değerlerine göre incelendiğinde, ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinin diğer modellerden daha iyi olduğu görülmektedir.

Sonuçlar minimum bağıl hata değerlerine göre incelendiğinde de, ayrık birey-koloni optimizasyonu modeli diğerlerinden daha iyi olduğu görülmektedir.

6.1.8. C.E. Nugent, T.E. Vollmann ve J. Ruml Problemlerinin Sonuçları

Önerilen ayrık birey-koloni optimizasyonu, sürekli birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma modellerinin NuVoRu:68 test problemlerine uygulanmasıyla elde edilen ortalama bağıl hata ve minimum bağıl hata değerleri Tablo 6.8’de verilmiştir.

Tablo 6.8: NuVoRu:68 Problemlerinin Sonuçları

	Genetik Algoritma		Sürekli Birey-Koloni Optimizasyonu		Ayrık Birey-Koloni Optimizasyonu	
	Ortalama Bağıl Hata	Minimum Bağıl Hata	Ortalama Bağıl Hata	Minimum Bağıl Hata	Ortalama Bağıl Hata	Minimum Bağıl Hata
Nug12	7,463	2,076	3,668	1,384	3,333	0,000
Nug14	7,502	3,748	5,260	1,578	4,320	0,197
Nug15	7,699	3,130	4,974	1,391	3,467	1,043
Nug16a	7,772	3,230	4,932	1,863	4,178	0,745
Nug16b	9,108	4,355	4,758	0,000	4,634	0,000
Nug17	8,845	3,464	4,834	2,309	3,526	0,808
Nug18	6,770	2,176	4,836	1,036	4,622	2,280
Nug20	7,689	4,591	5,863	1,245	4,602	2,101
Nug21	8,709	3,281	6,196	3,035	4,337	1,805
Nug22	5,404	2,225	4,245	1,446	3,031	0,389
Nug24	9,467	4,989	7,922	3,039	4,799	1,663
Nug25	8,948	4,113	6,051	2,991	4,793	1,335
Nug27	13,047	8,292	9,814	6,649	8,214	4,853
Nug28	13,478	9,524	10,617	7,898	9,005	7,317
Nug30	9,632	6,662	7,458	4,833	6,025	2,025
Ortalama	8,769	4,390	6,095	2,713	4,859	1,771

Sonuçlar ortalama bağıl hata değerlerine göre incelendiğinde, ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinin diğer modellerden daha iyi olduğu görülmektedir.

Sonuçlar minimum bağıl hata değerlerine göre incelendiğinde de, ayrık birey-koloni optimizasyonu modeli diğerlerinden daha iyi olduğu görülmektedir.

6.1.9. C. Roucairol Problemlerinin Sonuçları

Önerilen ayrık birey-koloni optimizasyonu, sürekli birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma modellerinin Roucairol:87 test problemlerine uygulanmasıyla elde edilen ortalama bağıl hata ve minimum bağıl hata değerleri Tablo 6.9’da verilmiştir.

Tablo 6.9: Roucairol:87 Problemlerinin Sonuçları

	Genetik Algoritma		Sürekli Birey-Koloni Optimizasyonu		Ayrık Birey-Koloni Optimizasyonu	
	Ortalama Bağıl Hata	Minimum Bağıl Hata	Ortalama Bağıl Hata	Minimum Bağıl Hata	Ortalama Bağıl Hata	Minimum Bağıl Hata
Rou12	7,914	3,746	4,979	0,053	5,192	1,915
Rou15	11,106	4,251	6,980	3,946	7,229	2,562
Rou20	9,606	5,345	6,928	3,840	6,661	3,971
Ortalama	9,542	4,447	6,296	2,613	6,361	2,816

Sonuçlar ortalama bağıl hata değerlerine göre incelendiğinde, sürekli birey-koloni optimizasyonu modelinin diğer modellerden daha iyi olduğu görülmektedir.

Sonuçlar minimum bağıl hata değerlerine göre incelendiğinde de, sürekli birey-koloni optimizasyonu modeli diğerlerinden daha iyi olduğu görülmektedir.

6.1.10. M. Scriabin ve R.C. Vergin Problemlerinin Sonuçları

Önerilen ayrık birey-koloni optimizasyonu, sürekli birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma modellerinin ScVe:75 test problemlerine uygulanmasıyla elde edilen ortalama bağıl hata ve minimum bağıl hata değerleri Tablo 6.10’da verilmiştir.

Tablo 6.10: ScVe:75 Problemlerinin Sonuçları

	Genetik Algoritma		Sürekli Birey-Koloni Optimizasyonu		Ayrık Birey-Koloni Optimizasyonu	
Problem	Ortalama Bağlı Hata	Minimum Bağlı Hata	Ortalama Bağlı Hata	Minimum Bağlı Hata	Ortalama Bağlı Hata	Minimum Bağlı Hata
Scr12	12,630	1,509	5,260	0,000	5,046	2,337
Scr15	17,528	8,455	10,545	5,393	11,400	2,706
Scr20	26,248	15,414	16,894	8,134	14,623	4,764
Ortalama	18,802	8,459	10,900	4,509	10,356	3,269

Sonuçlar ortalama bağlı hata değerlerine göre incelendiğinde, ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinin diğer modellerden daha iyi olduğu görülmektedir.

Sonuçlar minimum bağlı hata değerlerine göre incelendiğinde de, ayrık birey-koloni optimizasyonu modeli diğerlerinden daha iyi olduğu görülmektedir.

6.1.11. J. Skorin-Kapov Problemlerinin Sonuçları

Önerilen ayrık birey-koloni optimizasyonu, sürekli birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma modellerinin Skorin:90 test problemlerine uygulanmasıyla elde edilen ortalama bağlı hata ve minimum bağlı hata değerleri Tablo 6.11’de verilmiştir.

Tablo 6.11: Skorin:90 Problemlerinin Sonuçları

	Genetik Algoritma		Sürekli Birey-Koloni Optimizasyonu		Ayrık Birey-Koloni Optimizasyonu	
Problem	Ortalama Bağlı Hata	Minimum Bağlı Hata	Ortalama Bağlı Hata	Minimum Bağlı Hata	Ortalama Bağlı Hata	Minimum Bağlı Hata
Sko42	9,337	6,489	8,069	6,350	6,415	5,022
Sko49	9,022	6,944	7,441	4,815	6,395	3,943
Sko56	8,254	5,526	7,465	5,723	6,417	4,881
Sko64	8,233	5,905	7,382	6,132	6,067	4,512
Sko72	7,519	6,007	7,209	5,436	6,081	4,564
Sko81	7,524	5,405	7,107	5,486	5,793	4,868
Sko90	7,212	5,740	7,245	5,983	6,032	5,136
Sko100a	6,861	5,424	6,899	5,933	5,950	4,458
Sko100b	6,811	5,214	6,819	5,605	5,652	4,668
Sko100c	7,404	6,019	7,268	5,715	6,107	4,933
Sko100d	7,024	5,603	6,657	5,790	5,689	4,153
Sko100e	7,457	6,113	7,321	5,507	6,190	5,014

Sko100f	6,933	5,358	6,518	5,619	5,705	5,028
Ortalama	7,661	5,827	7,185	5,699	6,038	4,706

Sonuçlar ortalama bağıl hata değerlerine göre incelendiğinde, ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinin diğer modellerden daha iyi olduğu görülmektedir.

Sonuçlar minimum bağıl hata değerlerine göre incelendiğinde de, ayrık birey-koloni optimizasyonu modeli diğerlerinden daha iyi olduğu görülmektedir.

6.1.12. L. Steinberg Problemlerinin Sonuçları

Önerilen ayrık birey-koloni optimizasyonu, sürekli birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma modellerinin Steinberg:61 test problemlerine uygulanmasıyla elde edilen ortalama bağıl hata ve minimum bağıl hata değerleri Tablo 6.12’de verilmiştir.

Tablo 6.12: Steinberg: 61 Problemlerinin Sonuçları

	Genetik Algoritma		Sürekli Birey-Koloni Optimizasyonu		Ayrık Birey-Koloni Optimizasyonu	
Problem	Ortalama Bağıl Hata	Minimum Bağıl Hata	Ortalama Bağıl Hata	Minimum Bağıl Hata	Ortalama Bağıl Hata	Minimum Bağıl Hata
Ste36a	26,706	13,332	24,018	18,560	16,818	7,327
Ste36b	47,949	34,570	54,455	34,847	29,145	19,493
Ortalama	37,327	23,951	39,236	26,704	22,982	13,410

Sonuçlar ortalama bağıl hata değerlerine göre incelendiğinde, ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinin diğer modellerden daha iyi olduğu görülmektedir.

Sonuçlar minimum bağıl hata değerlerine göre incelendiğinde de, ayrık birey-koloni optimizasyonu modeli diğerlerinden daha iyi olduğu görülmektedir.

6.1.13. E.D. Taillard Problemlerinin Sonuçları

Önerilen ayrık birey-koloni optimizasyonu, sürekli birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma modellerinin Taillard:91,94 test problemlerine uygulanmasıyla elde edilen ortalama bağıl hata ve minimum bağıl hata değerleri Tablo 6.13’de verilmiştir.

Tablo 6.13: Taillard:91,94 Problemlerinin Sonuçları

	Genetik Algoritma		Sürekli Birey-Koloni Optimizasyonu		Ayrık Birey-Koloni Optimizasyonu	
Problem	Ortalama Bağlı Hata	Minimum Bağlı Hata	Ortalama Bağlı Hata	Minimum Bağlı Hata	Ortalama Bağlı Hata	Minimum Bağlı Hata
Tai12a	12,504	7,286	6,657	2,084	7,939	3,843
Tai12b	14,547	3,576	3,200	0,000	7,613	0,000
Tai15a	8,109	4,206	4,645	1,456	5,368	2,155
Tai15b	1,029	0,616	0,593	0,230	0,518	0,077
Tai17a	10,452	6,468	7,045	2,851	6,413	4,171
Tai20a	10,708	6,217	8,150	5,615	7,556	4,176
Tai20b	13,709	2,479	3,454	0,665	11,416	0,187
Tai25a	10,486	8,211	8,785	6,623	7,321	3,389
Tai25b	20,671	6,646	7,415	2,303	10,676	0,985
Tai30a	10,262	7,792	9,705	6,953	7,709	5,420
Tai30b	16,833	3,928	6,864	1,103	11,391	0,719
Tai35a	10,263	7,739	10,939	8,716	8,456	7,046
Tai35b	14,747	6,966	7,839	2,944	9,861	2,565
Tai40a	10,508	8,459	11,711	9,385	8,642	7,086
Tai40b	18,489	7,383	13,546	6,603	11,785	6,578
Tai50a	10,675	9,351	12,515	9,831	9,105	7,722
Tai50b	15,307	6,394	10,575	5,051	7,682	2,340
Tai60a	9,895	8,252	12,310	9,570	9,061	7,236
Tai60b	16,347	7,529	11,240	4,337	11,793	3,956
Tai64c	0,496	0,000	0,493	0,000	0,523	0,000
Tai80a	8,583	7,837	11,336	9,405	8,064	7,360
Tai80b	17,832	14,460	15,428	11,850	12,531	6,745
Tai100a	8,094	7,517	11,078	9,601	7,796	7,284
Tai100b	17,353	13,599	15,121	12,373	12,902	8,643
Tai150b	13,384	11,311	12,750	10,184	10,909	8,921
Tai256c	0,769	0,441	1,531	1,037	0,550	0,369
Ortalama	11,617	6,718	8,651	5,414	8,215	4,191

Sonuçlar ortalama bağlı hata değerlerine göre incelendiğinde, ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinin diğer modellerden daha iyi olduğu görülmektedir.

Sonuçlar minimum bağlı hata değerlerine göre incelendiğinde de, ayrık birey-koloni optimizasyonu modeli diğerlerinden daha iyi olduğu görülmektedir.

6.1.14. U.W. Thonemann ve A. Bölte Problemlerinin Sonuçları

Önerilen ayrık birey-koloni optimizasyonu, sürekli birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma modellerinin ThoBo:94 test problemlerine uygulanmasıyla elde edilen ortalama bağıl hata ve minimum bağıl hata değerleri Tablo 6.14’de verilmiştir.

Tablo 6.14: ThBo:94 Problemlerinin Sonuçları

	Genetik Algoritma		Sürekli Birey-Koloni Optimizasyonu		Ayrık Birey-Koloni Optimizasyonu	
Problem	Ortalama Bağıl Hata	Minimum Bağıl Hata	Ortalama Bağıl Hata	Minimum Bağıl Hata	Ortalama Bağıl Hata	Minimum Bağıl Hata
Tho30	9,488	5,186	8,760	4,204	6,050	3,477
Tho40	11,122	7,343	10,723	7,992	8,268	4,929
Tho150	8,075	6,982	8,977	7,732	7,284	6,344
Ortalama	9,562	6,503	9,487	6,643	7,201	4,917

Sonuçlar ortalama bağıl hata değerlerine göre incelendiğinde, ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinin diğer modellerden daha iyi olduğu görülmektedir.

Sonuçlar minimum bağıl hata değerlerine göre incelendiğinde de, ayrık birey-koloni optimizasyonu modeli diğerlerinden daha iyi olduğu görülmektedir.

6.1.15. M.R. Wilhelm ve T.L. Ward Problemlerinin Sonuçları

Önerilen ayrık birey-koloni optimizasyonu, sürekli birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma modellerinin WiWa:87 test problemlerine uygulanmasıyla elde edilen ortalama bağıl hata ve minimum bağıl hata değerleri Tablo 6.15’de verilmiştir.

Tablo 6.15: WiWa: 87 Problemlerinin Sonuçları

	Genetik Algoritma		Sürekli Birey-Koloni Optimizasyonu		Ayrık Birey-Koloni Optimizasyonu	
Problem	Ortalama Bağıl Hata	Minimum Bağıl Hata	Ortalama Bağıl Hata	Minimum Bağıl Hata	Ortalama Bağıl Hata	Minimum Bağıl Hata
Wil50	3,963	2,397	4,068	2,454	3,019	1,917
Wil100	3,795	3,222	3,690	3,023	3,180	2,578
Ortalama	3,879	2,809	3,879	2,739	3,100	2,248

Sonuçlar ortalama bağıl hata değerlerine göre incelendiğinde, ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinin diğer modellerden daha iyi olduğu görülmektedir.

Sonuçlar minimum bağıl hata değerlerine göre incelendiğinde de, ayrık birey-koloni optimizasyonu modeli diğerlerinden daha iyi olduğu görülmektedir.

6.1.16. Önerilen Modellerin Ortalama Bağıl Hata ve Minimum Bağıl Hata Değerlerinin Ortalama Değerlerine Göre Karşılaştırması

Önerilen modellerin 133 problemin çözümünden elde edilen, ortalama bağıl hata ve minimum bağıl hataların ortalama değerleri Tablo 6.16’da verilmiştir.

Tablo 6.16: Ortalama ve minimum bağıl hataların ortalama değerleri

Problem	Genetik Algoritma		Sürekli Birey-Koloni Optimizasyonu		Ayrık Birey-Koloni Optimizasyonu	
	Ortalama Bağıl Hata	Minimum Bağıl Hata	Ortalama Bağıl Hata	Minimum Bağıl Hata	Ortalama Bağıl Hata	Minimum Bağıl Hata
BuOf:77	1,286	0,451	0,572	0,113	0,393	0,078
ChBe:89	81,817	36,719	45,041	19,077	41,998	15,753
Elshafei:77	43,568	18,441	7,143	1,704	16,673	0,000
EsWu:90	17,300	7,859	17,292	10,547	8,825	5,002
HaReWo:92	1,939	0,441	0,599	0,059	0,861	0,012
KrPr:78	15,538	9,133	9,905	4,421	10,483	4,988
LiPa:92	12,641	11,917	13,153	11,609	11,961	11,310
NuVoRu:68	8,769	4,390	6,095	2,713	4,859	1,771
Roucairol:87	9,542	4,447	6,296	2,613	6,361	2,816
ScVe:75	18,802	8,459	10,900	4,509	10,356	3,269
Skorin:90	7,661	5,827	7,185	5,699	6,038	4,706
Steinberg:61	37,327	23,951	39,236	26,704	22,982	13,410
Taillard:91;94	11,617	6,718	8,651	5,414	8,215	4,191
ThBo:94	9,562	6,503	9,487	6,643	7,201	4,917
WiWa:87	3,879	2,809	3,879	2,739	3,100	2,248
Ortalama	18,750	11,321	14,174	8,030	12,235	6,198

Elde edilen sonuçlar 133 problem bazında değerlendirilip, ortalama bağıl hata değerlerinin ortalamasına göre incelendiğinde, ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinin diğer modellerden daha iyi olduğu görülmektedir.

Elde edilen sonuçlar 133 problem bazında değerlendirilip, minimum bağıl hata değerlerinin ortalamasına göre incelendiğinde de, ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinin diğerlerinden daha iyi olduğu görülmektedir.

6.2. ÖNERİLEN ALGORİTMALARIN İSTATİSTİKSEL KARŞILAŞTIRMASI

6.2.1. İstatistik Test Yöntemi

Önerilen üç modelin hangisinin diğerine üstünlük sağladığını karşılaştırmak için hipotez testi olarak tek-yönlü eşlendirilmiş t-testi seçilmiştir. Eşlendirilmiş t-testinin kullanılmasının nedeni, karşılaştırılacak her yöntemde kullanılan test problemlerinin aynı olmasıdır. Tek yönlü olmasının nedeni ise, birinin diğerine göre daha iyi ya da kötü olduğunu belirlemektir. Kullanılan t istatistiği formülasyonu şöyledir. (Devore, 2000).

n : örnek sayısı,

α : anlamlılık düzeyi,

d_i : i. örnekte karşılaştırılan iki yöntemden elde edilen değerlerin farkı,

$\bar{d}$: farkların ortalaması,

s_D : farkların standart sapması,

$\overline{s_D}$: farkların standart hatası,

t : test istatistiği (∞ hatası) olsun.

Buna göre,

$$s_D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n-1}} \quad (6.1)$$

$$\overline{s_D} = s_D / \sqrt{n} \quad (6.2)$$

$$t = \frac{\bar{d}}{\overline{s_D}} \quad (6.3)$$

Buna göre, her bir karşılaştırma için kullanılacak H_0 , H_1 ve H_2 hipotezleri aşağıdaki gibidir.

H_0 hipotezi, ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinin, sürekli birey-koloni optimizasyonu veya genetik algoritma modelleriyle birbirine eşdeğer seviyede olduğunu belirten hipotezdir. Diğer bir deyişle $\mu_d = \Delta_0$ ve $-t_{\alpha,n-1} \leq t \leq t_{\alpha,n-1}$ 'dir. Yani, hesaplanan t değeri, belirlenen aralıklar dışında yer alırsa hipotez reddedilir.

H_1 hipotezi, ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinin, sürekli birey-koloni optimizasyonu veya genetik algoritma modellerine göre daha iyi olduğunu belirten hipotezdir. Diğer bir deyişle $\mu_d > \Delta_0$ ve $t > t_{\alpha,n-1}$ 'dir. Yani, bulunan t değeri $t_{\alpha,n-1}$ değerinde küçükse hipotez reddedilir.

H_2 hipotezi, sürekli birey-koloni optimizasyonu veya genetik algoritma modellerinin, ayrık birey-koloni optimizasyonu modeline göre daha iyi olduğunu belirten hipotezdir. Diğer bir deyişle $\mu_d < \Delta_0$ ve $t < -t_{\alpha,n-1}$ 'dir. Yani, bulunan t değeri $-t_{\alpha,n-1}$ değerinden büyükse hipotez reddedilir.

Karşılaştırma yapılırken kullanılacak anlamlılık düzeyleri $\alpha = \%5, \alpha = \%1, \alpha = \%0.1$ ve $\alpha = \%0.5$ olarak seçilmiştir.

6.2.2. Önerilen Algoritmaların T Testi Sonuçları

Önerilen algoritmaların test problemlerine toplam mesafe başarımlı ölçütüne göre uygulanması ile elde edilen sonuçları ortalama bağıl hata ve minimum bağıl hata değerleri referans alınarak $\alpha = \%5, \alpha = \%1, \alpha = \%0.1$ ve $\alpha = \%0.5$ anlamlılık düzeylerinde t testi uygulanmıştır. Bu bölümde t testinde elde edilen sonuçlar incelenmesi amaçlanmıştır.

Önerilen ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinin sonuçları, sürekli birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma modellerinin sonuçlarıyla ortalama bağıl hata ve minimum bağıl hata değerleri referans alınarak dört anlamlılık düzeyinde ayrı ayrı karşılaştırılmıştır.

6.2.2.1. Ayırık Birey-Koloni Optimizasyonu ile Genetik Algoritma Modellerinin Ortalama Bağlı Hataya Göre Karşılaştırması

Önerilen ayırık birey-koloni optimizasyonu modeli sonuçlarının genetik algoritma modelinin sonuçlarıyla ortalama bağlı hata değerlerine göre karşılaştırmak amacıyla uygulanan t testinin sonuçları Tablo 6.17’de verilmiştir.

Tablo 6.17: DPSO – GA Model Sonuçlarının ortalama bağlı hataya göre Anlamlılık Düzeyinde Karşılaştırılması

				Anlamlılık Düzeyi											
				$t_{0,05,132} = 1,699$			$t_{0,01,132} = 2,462$			$t_{0,005,132} = 2,756$			$t_{0,001,132} = 3,396$		
Problem sayısı	$\bar{d}$	s_D	t	H_0	H_1	H_2	H_0	H_1	H_2	H_0	H_1	H_2	H_0	H_1	H_2
133	7,73	14,62	6,095	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red

Ayrık birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma modeli, 133 test probleminin 30 tekrar sonucu oluşan ortalama bağlı hataları ele alınıp istatistiksel olarak analiz edildiğinde, Tablo 6.17’den de görüldüğü gibi, ayırık birey-koloni optimizasyonu modeli genetik algoritmaya göre dört anlamlılık düzeyinde de daha iyi sonuçlar vermektedir.

6.2.2.2. Ayırık Birey-Koloni Optimizasyonu ile Sürekli Birey-Koloni Optimizasyonu Modellerinin Ortalama Bağlı Hataya Göre Karşılaştırması

Önerilen ayırık birey-koloni optimizasyonu modeli sonuçlarının sürekli birey-koloni optimizasyonu modelinin sonuçlarıyla ortalama bağlı hata değerlerine göre karşılaştırmak amacıyla uygulanan t testinin sonuçları Tablo 6.18’de verilmiştir.

Tablo 6.18: DPSO – CPSO Sonuçlarının ortalama bağlı hataya göre Anlamlılık Düzeyinde Karşılaştırılması

				Anlamlılık Düzeyi											
				$t_{0,05,132} = 1,699$			$t_{0,01,132} = 2,462$			$t_{0,005,132} = 2,756$			$t_{0,001,132} = 3,396$		
Problem sayısı	$\bar{d}$	s_D	t	H_0	H_1	H_2	H_0	H_1	H_2	H_0	H_1	H_2	H_0	H_1	H_2
133	2,31	10,42	2,560	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red

Ayrık birey-koloni optimizasyonu ve sürekli birey-koloni optimizasyonu modeli, 133 test probleminin 30 tekrar sonucu oluşan ortalama bağlı hataları ele alınıp istatistiksel olarak analiz edildiğinde, Tablo 6.18’den de görüldüğü gibi, ayırık birey-koloni optimizasyonu modeli sürekli birey-koloni optimizasyonuna göre $\alpha = \%5$, $\alpha = \%1$ anlamlılık düzeylerinde daha iyi sonuçlar vermektedir.

Ancak, $\alpha = \%001$ ve $\alpha = \%005$ anlamlılık düzeylerindeki sonuçlara göre eşdeğer oldukları görülmektedir.

6.2.2.3. Ayırık Birey-Koloni Optimizasyonu ile Genetik Algoritma Modellerinin Minimum Bağlı Hataya Göre Karşılaştırması

Önerilen ayırık birey-koloni optimizasyonu modeli sonuçlarının genetik algoritma modelinin sonuçlarıyla minimum bağlı hata değerlerine göre karşılaştırmak amacıyla uygulanan t testinin sonuçları Tablo 6.19’da verilmiştir.

Tablo 6.19: DPSO – GA Sonuçlarının minimum bağlı hataya göre Anlamlılık Düzeyinde Karşılaştırılması

				Anlamlılık Düzeyi											
				$t_{0,05,132} = 1,699$			$t_{0,01,132} = 2,462$			$t_{0,005,132} = 2,756$			$t_{0,001,132} = 3,396$		
Problem sayısı	$\bar{d}$	s_D	t	H_0	H_1	H_2	H_0	H_1	H_2	H_0	H_1	H_2	H_0	H_1	H_2
133	4,20	8,33	5,822	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red

Ayrık birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma modeli, 133 test probleminin 30 tekrar sonucu oluşan minimum bağlı hataları ele alınıp istatistiksel olarak analiz edildiğinde, Tablo 6.19’dan da görüldüğü gibi, ayırık birey-koloni optimizasyonu modeli genetik algoritmaya göre dört anlamlılık düzeyinde de daha iyi sonuçlar vermektedir.

6.2.2.4. Ayırık Birey-Koloni Optimizasyonu ile Sürekli Birey-Koloni Optimizasyonu Modellerinin Minimum Bağlı Hataya Göre Karşılaştırması

Önerilen ayırık birey-koloni optimizasyonu modeli sonuçlarının sürekli birey-koloni optimizasyonu modelinin sonuçlarıyla minimum bağlı hata değerlerine göre karşılaştırmak amacıyla uygulanan t testinin sonuçları Tablo 6.20’de verilmiştir.

Tablo 6.20: DPSO – CPSO Sonuçlarının minimum bağlı hataya göre Anlamlılık Düzeyinde Karşılaştırılması

				Anlamlılık Düzeyi											
				$t_{0,05,132} = 1,699$			$t_{0,01,132} = 2,462$			$t_{0,005,132} = 2,756$			$t_{0,001,132} = 3,396$		
Problem sayısı	$\bar{d}$	s_D	t	H_0	H_1	H_2	H_0	H_1	H_2	H_0	H_1	H_2	H_0	H_1	H_2
133	1,94	6,60	3,391	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Kabul	Red	Red

Ayrık birey-koloni optimizasyonu ve sürekli birey-koloni optimizasyonu modeli, 133 test probleminin 30 tekrar sonucu oluşan ortalama bağlı hataları ele alınıp istatistiksel olarak analiz edildiğinde, Tablo 6.20’den de görüldüğü gibi, ayırık birey-koloni

optimizasyonu modeli sürekli birey-koloni optimizasyonuna göre $\alpha = \%5$, $\alpha = \%1$ ve $\alpha = \%0.5$ anlamlılık düzeylerinde daha iyi sonuçlar vermektedir.

Ancak, $\alpha = \%0.1$ anlamlılık düzeyindeki sonuca göre eşdeğer oldukları görülmektedir.

6.3. ÖNERİLEN MODELLERİN ÇALIŞMA ZAMANI BAŞARIM ÖLÇÜTÜNE GÖRE SONUÇLARI

Kuadratik atama problemlerinin çözümü için önerilen ayrık birey-koloni optimizasyonu, sürekli birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma modellerinin literatürdeki test problemlerinin tamamına uygulanmıştır. Çalışma zamanı başarımlı ölçütüne göre her problemin çözümü için elde edilen çalışma süresi sonuçları, problem bazında aşağıda incelenmiştir.

Çalışma zamanları problem bazında incelendiğinde, saniye ölçeğinde sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar, önerilen üç modelin işleyişindeki adımlar da dikkate alınarak incelendiğinde, genetik algoritma sonuçlarının çalışma zamanı başarımlı ölçütüne göre diğer algoritmalarından daha iyi sonuçlar verecektir. Ancak, aralarında kabuledilebilir bir farkın olması beklenmektedir. Genetik algoritma modelinin daha iyi sonuç vermesinin sebebi, modelin daha iyi çalışması değil, modelin işleyiş adımlarıdır. Şöyle ki, genetik algoritmada kullanılan parametreler koloni bazında uygulanmaktadır. Ancak, sürekli birey-koloni optimizasyonu ve ayrık birey-koloni optimizasyonunda kullanılan parametreler her bireye ayrı ayrı uygulanmaktadır. Her birey için işlem yapılması çalışmanın hassasiyetini artırarak en iyi değerlere daha yakın değerler hesaplanmasını sağlamaktadır. Diğer yandan da, çalışma süresinin kabuledilebilir ölçülerde artmasına sebep olmaktadır. Bundan dolayı, çalışma zamanı başarımlı ölçütüne göre yapılacak karşılaştırmalarda genetik algoritma modelinin daha iyi olduğu görülecektir. Bu karşılaştırma sonucundan beklentimiz, aradaki farkın kabuledilebilir seviyede olmasıdır.

6.3.1. R.E. Burkard ve J. Offermann Problemlerinin Sonuçları

Önerilen ayrık birey-koloni optimizasyonu, sürekli birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma modellerinin, BuOf:77 test problemlerine uygulanmasıyla çalışma zamanı başarımlı ölçütüne göre elde edilen değerleri Tablo 6.21’de verilmiştir.

Tablo 6.21: BuOf:77 Problemlerinin çalışma zamanına göre Sonuçları

Problem Adı	Genetik Algoritma	Sürekli Birey-Koloni Optimizasyonu	Ayrık Birey-Koloni Optimizasyonu
bur26a	3,886966667	5,739066667	4,918733333
bur26b	3,883333333	5,821866667	4,914066667
bur26c	3,883866667	5,818766667	4,9146
bur26d	3,886466667	5,6427	4,916666667
Bur26e	3,883333333	5,360433333	4,466666667
Bur26f	3,546866667	5,3875	4,421866667
Bur26g	3,461966667	5,433333333	4,419766667
Bur26h	3,4625	5,4302	4,419266667
Ortalama	3,7369125	5,579233333	4,673954167

Beklenen sonuç, ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinin sürekli birey-koloni optimizasyonuna göre daha iyi olduğu ve genetik algoritma modeli ile arasındaki farkın kabuledilebilir seviyede olmasıdır. Bu problem için, beklenen sonuca ulaşılmıştır.

6.3.2. N. Christofides ve E. Benavent Problemlerinin Sonuçları

Önerilen ayrık birey-koloni optimizasyonu, sürekli birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma modellerinin, ChBe:89 test problemlerine uygulanmasıyla çalışma zamanı başarımlar ölçütüne göre elde edilen değerleri Tablo 6.22’de verilmiştir.

Tablo 6.22: ChBe:89 Problemlerinin çalışma zamanına göre sonuçları

Problem Adı	Genetik Algoritma	Sürekli Birey-Koloni Optimizasyonu	Ayrık Birey-Koloni Optimizasyonu
Chr12a	1,497933333	1,5354	1,655733333
Chr12b	1,498933333	1,453666667	1,423966667
Chr12c	1,501566667	1,5276	1,656766667
Chr15a	1,745333333	1,965633333	1,986466667
Chr15b	1,745833333	1,9578	1,985933333
Chr15c	1,7453	1,959366667	1,985433333
Chr18a	2,058333333	2,597933333	2,441133333
Chr18b	2,056766667	2,559366667	2,439566667
Chr20a	2,365633333	3,15	2,816666667
Chr20b	2,364566667	3,148933333	2,8198
Chr20c	2,366166667	3,125533333	2,818233333
Chr22a	2,666666667	3,7698	3,268766667
Chr22b	2,666666667	3,779666667	3,268733333
Chr25a	3,267166667	5,003666667	4,0974
Ortalama	2,110490476	2,68102619	2,476042857

Önerilen modellerin çalışma zamanlarının ortalama değerleri incelendiğinde, genetik algoritma modelinin diğer modellerden daha iyi olduğu görülmektedir. Ancak, modelin işleyiş adımlarının yapısından dolayı bu sonucun normal olduğu daha önce ifade edilmişti. Beklenen sonuç ise, ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinin sürekli birey-koloni optimizasyonuna göre daha iyi olduğu ve genetik algoritma modeli ile arasındaki farkın kabuledilebilir seviyede olmasıdır.

Bu problem için, beklenen sonuca ulaşılmıştır.

6.3.3. A.N. Elshafei Problemlerinin Sonuçları

Önerilen ayrık birey-koloni optimizasyonu, sürekli birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma modellerinin Elshafei:77 test problemlerine uygulanmasıyla çalışma zamanı başarımlar ölçütüne göre elde edilen değerleri Tablo 6.23’de verilmiştir.

Tablo 6.23: Elshafei:77 Problemlerinin çalışma zamanına göre sonuçları

Problem Adı	Genetik Algoritma	Sürekli Birey-Koloni Optimizasyonu	Ayrık Birey-Koloni Optimizasyonu
Els19	2,1927	2,901033333	2,601566667

Önerilen modellerin çalışma zamanlarının ortalama değerleri incelendiğinde, genetik algoritma modelinin diğer modellerden daha iyi olduğu görülmektedir. Ancak, modelin işleyiş adımlarının yapısından dolayı bu sonucun normal olduğu daha önce ifade edilmişti. Beklenen sonuç ise, ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinin sürekli birey-koloni optimizasyonuna göre daha iyi olduğu ve genetik algoritma modeli ile arasındaki farkın kabuledilebilir seviyede olmasıdır.

Bu problem için, beklenen sonuca ulaşılmıştır.

6.3.4. B. Eschermann ve H.J. Wunderlich Problemleri

Önerilen ayrık birey-koloni optimizasyonu, sürekli birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma modellerinin, EsWu:90 test problemlerine uygulanmasıyla çalışma zamanı başarımlar ölçütüne göre elde edilen değerleri Tablo 6.24’de verilmiştir.

Tablo 6.24: EsWu:90 Problemlerinin çalışma zamanına göre sonuçları

Problem Adı	Genetik Algoritma	Sürekli Birey-Koloni Optimizasyonu	Ayrık Birey-Koloni Optimizasyonu
Esc16a	1,2948	0,983866667	0,508833333
Esc16b	0,144266667	0,0328	0,023466667
Esc16c	1,780733333	1,101033333	1,0776
Esc16d	1,7531	1,070833333	1,3771
Esc16e	1,4495	1,0448	1,264066667
Esc16f	0,0005	0,000533333	0,0005
Esc16g	1,711466667	0,9828	0,635933333
Esc16h	0,198433333	0,0547	0,060966667
Esc16i	0,012	0,052066667	0,008833333
Esc16j	0,6229	0,359366667	0,218233333
Esc32a	5,1755	9,018233333	6,9198
Esc32b	5,183333333	8,903666667	6,9198
Esc32c	4,6625	4,8328	3,003633333
Esc32d	5,1797	8,953633333	6,9224
Esc32e	0,033333333	0,1474	0,051033333
Esc32f	0,033333333	0,1474	0,051566667
Esc32g	0,969266667	0,346366667	0,2651
Esc32h	5,175	9,038533333	6,926033333
Esc64a	28,95053333	60,40623333	42,6422
Esc128	212,3739667	453,3641	323,9223333
Ortalama	13,83520833	28,04205833	20,13997167

Önerilen modellerin çalışma zamanlarının ortalama değerleri incelendiğinde, genetik algoritma modelinin diğer modellerden daha iyi olduğu görülmektedir. Ancak, modelin işleyiş adımlarının yapısından dolayı bu sonucun normal olduğu daha önce ifade edilmişti. Beklenen sonuç ise, ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinin sürekli birey-koloni optimizasyonuna göre daha iyi olduğu ve genetik algoritma modeli ile arasındaki farkın kabuledilebilir seviyede olmasıdır.

Bu problem için, beklenen sonuca ulaşılmıştır.

6.3.5. S.W. Hadley, F. Rendl ve H. Wolkowicz Problemlerinin Sonuçları

Önerilen ayrık birey-koloni optimizasyonu, sürekli birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma modellerinin, HaReWo:92 test problemlerine uygulanmasıyla çalışma zamanı başarımlar ölçütüne göre elde edilen değerleri Tablo 6.25’de verilmiştir.

Tablo 6.25: HaReWo:92 Problemlerinin çalışma zamanına göre sonuçları

Problem Adı	Genetik Algoritma	Sürekli Birey-Koloni Optimizasyonu	Ayrık Birey-Koloni Optimizasyonu
Had12	1,5021	1,233966667	1,3629
Had14	1,642533333	1,363566667	1,553966667
Had16	1,844966667	2,016166667	1,835966667
Had18	2,057333333	2,5818	2,368566667
Had20	2,365433333	3,106233333	2,8175
Ortalama	1,882473333	2,060346667	1,98778

Önerilen modellerin çalışma zamanlarının ortalama değerleri incelendiğinde, genetik algoritma modelinin diğer modellerden daha iyi olduğu görülmektedir. Ancak, modelin işleyiş adımlarının yapısından dolayı bu sonucun normal olduğu daha önce ifade edilmişti. Beklenen sonuç ise, ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinin sürekli birey-koloni optimizasyonuna göre daha iyi olduğu ve genetik algoritma modeli ile arasındaki farkın kabuledilebilir seviyede olmasıdır.

Bu problem için, beklenen sonuca ulaşılmıştır.

6.3.6. J. Krarup ve P.M. Pruzan Problemlerinin Sonuçları

Önerilen ayrık birey-koloni optimizasyonu, sürekli birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma modellerinin, KrPr:78 test problemlerine uygulanmasıyla çalışma zamanı başarımlar ölçütüne göre elde edilen değerleri Tablo 6.26’da verilmiştir.

Tablo 6.26: KrPr:78 Problemlerinin çalışma zamanına göre sonuçları

Problem Adı	Genetik Algoritma	Sürekli Birey-Koloni Optimizasyonu	Ayrık Birey-Koloni Optimizasyonu
Kra30a	4,5698	7,6869	5,980633333
Kra30b	4,5713	7,509033333	5,9842
Ortalama	4,57055	7,597966667	5,982416667

Önerilen modellerin çalışma zamanlarının ortalama değerleri incelendiğinde, genetik algoritma modelinin diğer modellerden daha iyi olduğu görülmektedir. Ancak, modelin işleyiş adımlarının yapısından dolayı bu sonucun normal olduğu daha önce ifade edilmişti. Beklenen sonuç ise, ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinin sürekli birey-koloni optimizasyonuna göre daha iyi olduğu ve genetik algoritma modeli ile

arasındaki farkın kabuledilebilir seviyede olmasıdır. Bu problem için, beklenen sonuca ulaşılmıştır.

6.3.7. Y. Li ve P.M. Pardalos Problemlerinin Sonuçları

Önerilen ayrık birey-koloni optimizasyonu, sürekli birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma modellerinin, LiPa:92 test problemlerine uygulanmasıyla çalışma zamanı başarımlar ölçütüne göre elde edilen değerleri Tablo 6.27’de verilmiştir.

Tablo 6.27: LiPa: 92 Problemlerinin çalışma zamanına göre sonuçları

Problem Adı	Genetik Algoritma	Sürekli Birey-Koloni Optimizasyonu	Ayrık Birey-Koloni Optimizasyonu
Lipa20a	2,364866667	3,129166667	2,8175
Lipa20b	2,366466667	3,087333333	2,817533333
Lipa30a	4,5682	7,683833333	5,981666667
Lipa30b	4,567633333	7,621766667	5,981233333
Lipa40a	8,625	16,29233333	12,02706667
Lipa40b	8,627166667	16,21976667	12,02913333
Lipa50a	15,07756667	30,0659	21,73493333
Lipa50b	15,0828	30,11066667	21,73296667
Lipa60a	24,48833333	50,22916667	35,95133333
Lipa60b	24,49033333	50,31633333	35,94863333
Lipa70a	37,461	78,04743333	55,61383333
Lipa70b	37,4599	77,91013333	55,6109
Lipa80a	54,58233333	114,2615	81,60603333
Lipa80b	54,58333333	114,6383333	81,6121
Lipa90a	76,4662	161,1838	114,8727667
Lipa90b	76,4703	161,1000333	114,8579667
Ortalama	27,95508958	57,61859375	41,324725

Önerilen modellerin çalışma zamanlarının ortalama değerleri incelendiğinde, genetik algoritma modelinin diğer modellerden daha iyi olduğu görülmektedir. Ancak, modelin işleyiş adımlarının yapısından dolayı bu sonucun normal olduğu daha önce ifade edilmişti. Beklenen sonuç ise, ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinin sürekli birey-koloni optimizasyonuna göre daha iyi olduğu ve genetik algoritma modeli ile arasındaki farkın kabuledilebilir seviyede olmasıdır.

Bu problem için, beklenen sonuca ulaşılmıştır.

6.6.8. C.E. Nugent, T.E. Vollmann ve J. Ruml Problemlerinin Sonuçları

Önerilen ayrık birey-koloni optimizasyonu, sürekli birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma modellerinin, NuVoRu:68 test problemlerine uygulanmasıyla çalışma zamanı başarımlar ölçütüne göre elde edilen değerleri Tablo 6.28’de verilmiştir.

Tablo 6.28: NuVoRu:68 Problemlerinin çalışma zamanına göre sonuçları

Problem Adı	Genetik Algoritma	Sürekli Birey-Koloni Optimizasyonu	Ayrık Birey-Koloni Optimizasyonu
Nug12	1,505333333	1,522933333	1,522733333
Nug14	1,6485	1,793433333	1,8574
Nug15	1,752133333	1,954433333	1,986266667
Nug16a	1,85	2,155	2,127533333
Nug16b	1,849	2,090866667	2,116966667
Nug17	1,959933333	2,354733333	2,272166667
Nug18	2,057	2,596266667	2,4401
Nug20	2,364333333	3,126166667	2,817233333
Nug21	2,492	3,434766667	3,031733333
Nug22	2,663466667	3,728	3,269766667
Nug24	3,02	4,546733333	3,7971
Nug25	3,267966667	4,962866667	4,094366667
Nug27	3,712066667	5,937966667	4,767033333
Nug28	3,9316	6,4844	5,1368
Nug30	4,564133333	7,642533333	5,978333333
Ortalama	2,575831111	3,622073333	3,147702222

Önerilen modellerin çalışma zamanlarının ortalama değerleri incelendiğinde, genetik algoritma modelinin diğer modellerden daha iyi olduğu görülmektedir. Ancak, modelin işleyiş adımlarının yapısından dolayı bu sonucun normal olduğu daha önce ifade edilmişti. Beklenen sonuç ise, ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinin sürekli birey-koloni optimizasyonuna göre daha iyi olduğu ve genetik algoritma modeli ile arasındaki farkın kabuledilebilir seviyede olmasıdır. Bu problem için, beklenen sonuca ulaşılmıştır.

6.3.9. C. Roucairol Problemlerinin Sonuçları

Önerilen ayrık birey-koloni optimizasyonu, sürekli birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma modellerinin, Roucairol:87 test problemlerine uygulanmasıyla çalışma zamanı başarımlar ölçütüne göre elde edilen değerleri Tablo 6.29’da verilmiştir.

Tablo 6.29: Roucairol:87 Problemlerinin çalışma zamanına göre sonuçları

Problem Adı	Genetik Algoritma	Sürekli Birey-Koloni Optimizasyonu	Ayrık Birey-Koloni Optimizasyonu
Rou12	1,498933333	1,527166667	1,659066667
Rou15	1,7436	1,961	1,989066667
Rou20	2,362733333	3,166166667	2,8195
Ortalama	1,868422222	2,218111111	2,155877778

Önerilen modellerin çalışma zamanlarının ortalama değerleri incelendiğinde, genetik algoritma modelinin diğer modellerden daha iyi olduğu görülmektedir. Ancak, modelin işleyiş adımlarının yapısından dolayı bu sonucun normal olduğu daha önce ifade edilmişti. Beklenen sonuç ise, ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinin sürekli birey-koloni optimizasyonuna göre daha iyi olduğu ve genetik algoritma modeli ile arasındaki farkın kabuledilebilir seviyede olmasıdır. Bu problem için, beklenen sonuca ulaşılmıştır.

6.3.10. M. Scriabin ve R.C. Vergin Problemlerinin Sonuçları

Önerilen ayrık birey-koloni optimizasyonu, sürekli birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma modellerinin, ScVe:75 test problemlerine uygulanmasıyla çalışma zamanı başarımlar ölçütüne göre elde edilen değerleri Tablo 6.30'da verilmiştir.

Tablo 6.30: ScVe:75 Problemlerinin çalışma zamanına göre sonuçları

Problem Adı	Genetik Algoritma	Sürekli Birey-Koloni Optimizasyonu	Ayrık Birey-Koloni Optimizasyonu
Scr12	1,497866667	1,380066667	1,6584
Scr15	1,742533333	1,961066667	1,988533333
Scr20	2,363266667	3,124033333	2,820566667
Ortalama	1,867888889	2,155055556	2,155833333

Önerilen modellerin çalışma zamanlarının ortalama değerleri incelendiğinde, genetik algoritma modelinin diğer modellerden daha iyi olduğu görülmektedir. Ancak, modelin işleyiş adımlarının yapısından dolayı bu sonucun normal olduğu daha önce ifade edilmişti. Beklenen sonuç ise, ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinin sürekli birey-koloni optimizasyonuna göre daha iyi olduğu ve genetik algoritma modeli ile arasındaki farkın kabuledilebilir seviyede olmasıdır.

Bu problem için, beklenen sonuca ulaşılmıştır.

6.3.11. J. Skorin-Kapov Problemlerinin Sonuçları

Önerilen ayrık birey-koloni optimizasyonu, sürekli birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma modellerinin, Skorin:90 test problemlerine uygulanmasıyla çalışma zamanı başarımlar ölçütüne göre elde edilen değerleri Tablo 6.31’de verilmiştir.

Tablo 6.31: Skorin:90 Problemlerinin çalışma zamanına göre sonuçları

Problem Adı	Genetik Algoritma	Sürekli Birey-Koloni Optimizasyonu	Ayrık Birey-Koloni Optimizasyonu
Sko42	9,642966667	18,5567	13,6717
Sko49	14,1525	28,26803333	20,56876667
Sko56	20,18636667	41,2377	29,64203333
Sko64	28,946	60,46236667	43,09703333
Sko72	40,36333333	84,42263333	60,27483333
Sko81	56,274	118,9076667	84,59526667
Sko90	76,47236667	161,4717667	114,9445667
Sko100a	103,7620333	220,1197333	156,4353333
Sko100b	103,76	220,1704667	156,4328667
Sko100c	103,761	219,762	156,4341333
Sko100d	103,7615667	219,0210667	156,4414667
Sko100e	103,7651667	218,9763333	156,5153333
Sko100f	103,7621	219,6291333	156,4305
Ortalama	66,81610769	140,8465846	100,4218333

Önerilen modellerin çalışma zamanlarının ortalama değerleri incelendiğinde, genetik algoritma modelinin diğer modellerden daha iyi olduğu görülmektedir. Ancak, modelin işleyiş adımlarının yapısından dolayı bu sonucun normal olduğu daha önce ifade edilmişti. Beklenen sonuç ise, ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinin sürekli birey-koloni optimizasyonuna göre daha iyi olduğu ve genetik algoritma modeli ile arasındaki farkın kabuledilebilir seviyede olmasıdır.

Bu problem için, beklenen sonuca ulaşılmıştır.

6.3.12. L. Steinberg Problemlerinin Sonuçları

Önerilen ayrık birey-koloni optimizasyonu, sürekli birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma modellerinin, Steinberg:61 test problemlerine uygulanmasıyla çalışma zamanı başarımlı ölçütüne göre elde edilen değerleri Tablo 6.32’de verilmiştir.

Tablo 6.32: Steinberg: 61 Problemlerinin çalışma zamanına göre sonuçları

Problem Adı	Genetik Algoritma	Sürekli Birey-Koloni Optimizasyonu	Ayrık Birey-Koloni Optimizasyonu
Ste36a	6,674666667	12,07756667	9,1999
Ste36b	6,675733333	12,0989	9,197066667
Ortalama	6,6752	12,08823333	9,198483333

Önerilen modellerin çalışma zamanlarının ortalama değerleri incelendiğinde, genetik algoritma modelinin diğer modellerden daha iyi olduğu görülmektedir. Ancak, modelin işleyiş adımlarının yapısından dolayı bu sonucun normal olduğu daha önce ifade edilmişti. Beklenen sonuç ise, ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinin sürekli birey-koloni optimizasyonuna göre daha iyi olduğu ve genetik algoritma modeli ile arasındaki farkın kabuledilebilir seviyede olmasıdır.

Bu problem için, beklenen sonuca ulaşılmıştır.

6.3.13. E.D. Taillard Problemlerinin Sonuçları

Önerilen ayrık birey-koloni optimizasyonu, sürekli birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma modellerinin, Taillard:91,94 test problemlerine uygulanmasıyla çalışma zamanı başarımlı ölçütüne göre elde edilen değerleri Tablo 6.33’de verilmiştir.

Tablo 6.33: Taillard:91,94 Problemlerinin çalışma zamanına göre sonuçları

Problem Adı	Genetik Algoritma	Sürekli Birey-Koloni Optimizasyonu	Ayrık Birey-Koloni Optimizasyonu
Tai12a	1,5016	1,528066667	1,658933333
Tai12b	1,502666667	1,489333333	1,596733333
Tai15a	1,745733333	1,962633333	1,989633333
Tai15b	1,747866667	1,950366667	1,9912
Tai17a	1,956733333	2,365266667	2,277033333
Tai20a	2,364333333	3,1331	2,8221
Tai20b	2,365933333	3,122366667	2,820333333
Tai25a	3,272	4,9974	4,0996
Tai25b	3,273	4,876066667	4,099033333
Tai30a	4,569466667	7,674666667	5,984933333
Tai30b	4,570533333	7,547366667	5,978033333
Tai35a	6,323733333	11,37893333	8,593766667
Tai35b	6,330666667	11,21373333	8,5953
Tai40a	8,633533333	16,25256667	12,02763333
Tai40b	8,630333333	16,1994	12,0217
Tai50a	15,08013333	30,14633333	21,734
Tai50b	15,08333333	29,7898	21,71396667
Tai60a	24,48563333	50,03573333	35,93886667
Tai60b	24,49093333	50,49116667	35,90206667
Tai64c	27,58126667	55,9487	38,9781
Tai80a	54,58706667	114,5523	81,67233333
Tai80b	54,5918	114,7458667	81,5721
Tai100a	103,7631667	219,3630333	156,425
Tai100b	103,8302667	220,593	156,3829
Tai150b	340,8796333	725,5281667	518,0453
Tai256c	1659,756233	3580,1286	2545,037433
Ortalama	95,49683077	203,346691	144,9983859

Önerilen modellerin çalışma zamanlarının ortalama değerleri incelendiğinde, genetik algoritma modelinin diğer modellerden daha iyi olduğu görülmektedir. Ancak, modelin işleyiş adımlarının yapısından dolayı bu sonucun normal olduğu daha önce ifade edilmişti. Beklenen sonuç ise, ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinin sürekli birey-koloni optimizasyonuna göre daha iyi olduğu ve genetik algoritma modeli ile arasındaki farkın kabuledilebilir seviyede olmasıdır.

Bu problem için, beklenen sonuca ulaşılmıştır.

6.3.14. U.W. Thonemann ve A. Bölte Problemlerinin Sonuçları

Önerilen ayrık birey-koloni optimizasyonu, sürekli birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma modellerinin, ThoBo:94 test problemlerine uygulanmasıyla çalışma zamanı başarımlar ölçütüne göre elde edilen değerleri Tablo 6.34’de verilmiştir.

Tablo 6.34: ThoBo:94 Problemlerinin çalışma zamanına göre sonuçları

Problem Adı	Genetik Algoritma	Sürekli Birey-Koloni Optimizasyonu	Ayrık Birey-Koloni Optimizasyonu
Tho30	4,566266667	7,624966667	5,981633333
Tho40	8,622866667	16,1468	12,0205
Tho150	340,8822667	730,1259333	517,9917333
Ortalama	118,0238	251,2992333	178,6646222

Önerilen modellerin çalışma zamanlarının ortalama değerleri incelendiğinde, genetik algoritma modelinin diğer modellerden daha iyi olduğu görülmektedir. Ancak, modelin işleyiş adımlarının yapısından dolayı bu sonucun normal olduğu daha önce ifade edilmişti. Beklenen sonuç ise, ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinin sürekli birey-koloni optimizasyonuna göre daha iyi olduğu ve genetik algoritma modeli ile arasındaki farkın kabuledilebilir seviyede olmasıdır.

Bu problem için, beklenen sonuca ulaşılmıştır.

6.3.15. M.R. Wilhelm ve T.L. Ward Problemlerinin Sonuçları

Önerilen ayrık birey-koloni optimizasyonu, sürekli birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma modellerinin, WiWa:87 test problemlerine uygulanmasıyla çalışma zamanı başarımlar ölçütüne göre elde edilen değerleri Tablo 6.35’de verilmiştir.

Tablo 6.35: WiWa: 87 Problemlerinin çalışma zamanına göre sonuçları

Problem Adı	Genetik Algoritma	Sürekli Birey-Koloni Optimizasyonu	Ayrık Birey-Koloni Optimizasyonu
Wil50	15,0732	30,18033333	21,72093333
Wil100	103,7688667	219,4177	156,4353333
Ortalama	59,42103333	124,7990167	89,07813333

Önerilen modellerin çalışma zamanlarının ortalama değerleri incelendiğinde, genetik algoritma modelinin diğer modellerden daha iyi olduğu görülmektedir. Ancak, modelin işleyiş adımlarının yapısından dolayı bu sonucun normal olduğu daha önce ifade

edilmişti. Beklenen sonuç ise, ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinin sürekli birey-koloni optimizasyonuna göre daha iyi olduğu ve genetik algoritma modeli ile arasındaki farkın kabuledilebilir seviyede olmasıdır.

Bu problem için, beklenen sonuca ulaşılmıştır.

6.1.16. Önerilen Modellerin Çalışma Zamanlarının Ortalama Değerlerine Göre Karşılaştırması

Önerilen modellerin 133 problemin çözümü için çalışma zamanlarının ortalama değerleri Tablo 6.36’da verilmiştir.

Tablo 6.36: Çalışma zamanlarının ortalama değerleri

Problem	Genetik Algoritma	Sürekli Birey-Koloni Optimizasyonu	Ayrık Birey-Koloni Optimizasyonu
BuOf:77	3,7369125	5,579233333	4,673954167
ChBe:89	2,110490476	2,68102619	2,476042857
Elshafei:77	2,1927	2,901033333	2,601566667
EsWu:90	13,83520833	28,04205833	20,13997167
HaReWo:92	1,882473333	2,060346667	1,98778
KrPr:78	4,57055	7,597966667	5,982416667
LiPa:92	27,95508958	57,61859375	41,324725
NuVoRu:68	2,575831111	3,622073333	3,147702222
Roucairol:87	1,868422222	2,218111111	2,155877778
ScVe:75	1,867888889	2,155055556	2,155833333
Skorin:90	66,81610769	140,8465846	100,4218333
Steinberg:61	6,6752	12,08823333	9,198483333
Taillard:91;94	95,49683077	203,346691	144,9983859
ThBo:94	118,0238	251,2992333	178,6646222
WiWa:87	59,42103333	124,7990167	89,07813333
Ortalama	35,27677594	73,73269148	52,84733985

Önerilen modellerin 133 problemin çözümü için çalışma zamanlarının ortalama değerleri incelendiğinde, genetik algoritma modelinin diğer modellerden daha iyi olduğu görülmektedir. Ancak, modelin işleyiş adımlarının yapısından dolayı bu sonucun normal olduğu daha önce ifade edilmişti. Beklenen sonuç ise, ayrık birey-koloni

optimizasyonu modelinin sürekli birey-koloni optimizasyonuna göre daha iyi olduğu ve genetik algoritma modeli ile arasındaki farkın kabuledilebilir seviyede olmasıdır.

Önerilen modellerin 133 problemin çözümü için çalışma zamanı başarımlı ölçütüne göre değeri beklenen seviyededir.

7. ÖNERİLEN AYRIK BİREY-KOLONİ OPTİMİZASYONU MODELİ İLE BİR YERLEŞİM PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ

Bu bölümde, önerilen ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinin, bir atölyedeki makinelerin uygun şekilde yerleştirilmesi problemine uygulanması ile elde edilen sonuçların incelenmesi amaçlanmaktadır.

7.1. PROBLEMİN TANIMI

Bir fabrika yerleşkesinde bulunan atölyede 1 adet torna, 1 adet freze, 1 adet taşlama ve 1 adet CNC olmak üzere 4 adet makine bulunmaktadır. Bu makinelerin yerleştirilmesi için 4 adet makine yeri mevcuttur. Hangi makineyi hangi noktaya yerleştirmeliyiz ki, işlerin yapılması sırasında katedilen toplam mesafe minimum olsun.

7.2. PROBLEMİN VERİLERİ

Verilen bilgilere göre problem, 4x4 boyutlu bir kuadratik atama problemi olarak tanımlanabilir. Bu problemde toplam mesafeyi minimum yapacak şekilde bir yerleşim yapılması için, makinelerin aralarındaki iş akış miktarlarının ve makine yerlerinin aralarında mesafelerin bilinmesi gerekmektedir.

Makine yerlerini X, Y, Z, T olarak adlandıralım. Aralarındaki mesafe bilgileri metre cinsinden Tablo 7.1’de verilmiştir.

Tablo7.1: Makine yerleri arasındaki Mesafe bilgileri

	X	Y	Z	T
X	0	11	2	21
Y	11	0	10	30
Z	2	10	0	20
T	21	30	20	0

Mevcut makinelerin aralarındaki iş akış miktarları ise Tablo 7.2’de verilmiştir.

Tablo7.2 Makineler arasındaki iş akış bilgileri bilgileri

	Torna	Freze	Taşlama	CNC
Torna	0	0	6	2
Freze	0	0	4	1
Taşlama	6	4	0	5
CNC	2	1	5	0

4x4 boyutlu bu problem için $4!=24$ adet alternatif çözüm bulunmaktadır. Bütün alternatif atamalar ve amaç fonksiyonu değerleri Tablo 7.3’de verilmiştir.

Tablo7.3: Problemin alternatif çözümleri ve fonksiyon değerleri

Atama İhtimalleri	X noktası	Y noktası	Z noktası	T noktası	Fonksiyon değeri
1	Torna	Freze	Taşlama	CNC	480
2	Torna	Freze	CNC	Taşlama	378
3	Torna	Taşlama	CNC	Freze	438
4	Torna	Taşlama	Freze	CNC	680
5	Torna	CNC	Taşlama	Freze	586
6	Torna	CNC	Freze	Taşlama	726
7	Freze	Torna	Taşlama	CNC	572
8	Freze	Torna	CNC	Taşlama	478
9	Freze	Taşlama	Torna	CNC	460
10	Freze	Taşlama	CNC	Torna	446
11	Freze	CNC	Torna	Taşlama	498
12	Freze	CNC	Taşlama	Torna	578
13	Taşlama	Freze	Torna	CNC	400
14	Taşlama	Freze	CNC	Torna	386
15	Taşlama	Torna	Freze	CNC	712
16	Taşlama	Torna	CNC	Freze	478
17	Taşlama	CNC	Torna	Freze	498
18	Taşlama	CNC	Freze	Torna	718
19	CNC	Freze	Taşlama	Torna	480
20	CNC	Freze	Torna	Taşlama	392
21	CNC	Taşlama	Freze	Torna	680
22	CNC	Taşlama	Torna	Freze	452
23	CNC	Torna	Taşlama	Freze	580
24	CNC	Torna	Freze	Taşlama	720

7.3. PROBLEMİN AYRIK BİREY-KOLONİ OPTİMİZASYONU MODELİ İLE ÇÖZÜMÜ VE SONUÇLAR

Problemin verileri ayrık birey-koloni optimizasyonu algoritması için geliştirilen yazılımda tanımlanır ve program çalıştırılır.

Ayrıca, bu problemin çözümünün doğruluğunu test etmek için 5 tekrar yapılmıştır. Her tekrarın sonuç değerleri Tablo 7.4’de verilmiştir.

Tablo7.4: Problemin çözümü için çalıştırılan modelin tekrar değerleri

Tekrar No	X noktası	Y noktası	Z noktası	T noktası	Fonksiyon değeri
R1	Torna	Freze	CNC	Taşılama	378
R2	Torna	Freze	CNC	Taşılama	378
R3	Torna	Freze	CNC	Taşılama	378
R4	Torna	Freze	CNC	Taşılama	378
R5	Torna	Freze	CNC	Taşılama	378

Tablo 7.4’de de görüldüğü gibi, bütün tekrarlarda aynı sonuç elde edilmiştir. Bu atama sonucu problemin optimum çözümüdür.

Programın optimum çözüme ulaşmak için çalıştığı süre her tekrar için 0,1 sn.dir.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde, zor problemler sınıfına giren ve karar verme süreçlerinde önemli bir yeri olan kuadratik atama problemlerinin çözümünde alternatif bir sezgisel yöntem olan ayrık birey-koloni optimizasyonu kullanılmıştır.

Geliştirilen ayrık birey-koloni optimizasyonu modeli literatürde yer alan test problemlerine 30 tekrar yapılarak uygulanmıştır. Koloni temelli bir yöntem olan ayrık birey-koloni optimizasyonunun yine koloni temelli olan ve literatürde bir çok kombinatoriyel optimizasyon problemlerine uygulanmış olan genetik algorithmadan ve sürekli birey-koloni optimizasyonundan ne kadar iyi veya kötü olduğunu incelemek için aynı gösterim yöntemi ve toplam değerlendirme sayısı aynı olacak şekilde modeller de geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar birincil olarak, ortalama bağıl hata ve minimum bağıl hata değerlerine göre karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları Tablo 8.1’de verilmiştir.

Tablo 8.1: Ortalama ve Minimum bağıl hata değerlerine göre en iyi değer sayısı

Problem Adı	Ortalama Bağıl Hata			Minimum Bağıl Hata		
	Genetik Algoritma	Sürekli Birey-Koloni Opt.	Ayrık Birey-Koloni Opt.	Genetik Algoritma	Sürekli Birey-Koloni Opt.	Ayrık Birey-Koloni Opt.
BuOf:77			+			+
ChBe:89			+			+
Elshafei:77		+				+
EsWu:90			+			+
HaReWo:92		+				+
KrPr:78		+			+	
LiPa:92			+			+
NuVoRu:68			+			+
Roucairol:87		+				+
ScVe:75			+			+
Skorin:90			+			+
Steinberg:61			+			+
Taillard:91;94			+			+
ThBo:94			+			+
WiWa:87			+			+
Toplam En iyi Sayısı	0	4	11	0	1	14

Tablo 8.1’de görüldüğü gibi, 15 problem grubunda ortalama bağıl hata değerlerinin ortalamasına göre 11 problem grubunda ayrık birey-koloni optimizasyonu en iyi sonucu vermiş, 4 problem grubunda da sürekli birey-koloni optimizasyonu en iyi sonucu vermiştir. Ayrıca yine 15 problem grubunda minimum bağıl hata değerlerinin ortalamasına göre 14 problem grubunda ayrık birey-koloni optimizasyonu en iyi sonucu vermiş, sadece 1 problem grubunda da sürekli birey-koloni optimizasyonu en iyi sonucu vermiştir. Ortalama bağıl hata ve minimum bağıl hata değerlerine göre ayrık birey-koloni optimizasyonu modeli diğer modellerden dah iyi sonuç vermektedir.

İkincil olarak, elde edilen ortalama bağıl hata ve minimum bağıl hata değerleri tek yönlü eşleştirilmiş t testi kullanılarak %5, %1, %0.1 ve %0.05 anlamlılık düzeylerinde istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları Tablo 8.2 ve Tablo 8.3’de verilmiştir.

Tablo 8.2: Ayrık birey-koloni optimizasyonu – Genetik Algoritma Ortalama ve Minimum bağıl hata değerlerine göre t testi sonuçları

	Anlamlılık Düzeyi											
	$t_{0,05,132} = 1,699$			$t_{0,01,132} = 2,462$			$t_{0,005,132} = 2,756$			$t_{0,001,132} = 3,396$		
Değerlendirme Kriteri	H_0	H_1	H_2	H_0	H_1	H_2	H_0	H_1	H_2	H_0	H_1	H_2
Ort. Bağıl Hata		+			+			+			+	
Min. Bağıl Hata		+			+			+			+	

Tablo 8.2’de görüldüğü gibi, ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinden elde edilen ortalama ve minimum bağıl hata değerlerinin genetik algorithmadan elde edilen değerlerle karşılaştırmak amacıyla uygulanan t testi sonuçlarına göre, incelenen dört anlamlılık düzeyinde de, ayrık birey-koloni optimizasyonunun kabul edildiği H_1 hipotezi kabul edilmiştir. Bu da göstermektedir ki, ayrık birey-koloni optimizasyonu bütün durumlarda genetik algorithmadan daha iyi sonuçlar vermektedir.

Tablo 8.3: Ayrık birey-koloni optimizasyonu – Sürekli Birey-koloni optimizasyonu Ortalama ve Minimum bağıl hata değerlerine göre t testi sonuçları

	Anlamlılık Düzeyi											
	$t_{0,05,132} = 1,699$			$t_{0,01,132} = 2,462$			$t_{0,005,132} = 2,756$			$t_{0,001,132} = 3,396$		
Değerlendirme Kriteri	H_0	H_1	H_2	H_0	H_1	H_2	H_0	H_1	H_2	H_0	H_1	H_2
Ort. Bağıl Hata		+			+		+			+		
Min. Bağıl Hata		+			+			+		+		

Tablo 8.3’de görüldüğü gibi, ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinden elde edilen ortalama ve minimum bağıl hata değerlerinin sürekli birey-koloni optimizasyonundan elde edilen değerlerle karşılaştırmak amacıyla uygulanan t testi sonuçlarına göre, ortalama bağıl hata kriterine göre incelenen anlamlılık düzeylerinden, %5 ve %1 anlamlılık düzeylerinde ayrık birey-koloni optimizasyonunun daha iyi olduğunu gösteren H_1 hipotezi kabul edilmiştir. %01 ve %05 anlamlılık düzeylerinde ise, eşdeğer oldukları anlamına gelen H_0 hipotezi kabul edilmiştir. Minimum bağıl hata kriterine göre, %5, %1 ve %05 anlamlılık düzeylerinde ayrık birey-koloni optimizasyonunun daha iyi olduğu anlamına gelen H_1 hipotezi kabul edilmiştir. %01 anlamlılık düzeyinde ise, eşdeğer olduklarını gösteren H_0 hipotezi kabul edilmiştir.

Sonuç olarak, dört anlamlılık düzeyindeki karşılaştırmalar göstermektedir ki, ayrık birey-koloni optimizasyonu ortalama bağıl hata ve minimum bağıl hata kriterlerine göre sürekli birey-koloni optimizasyonundan daha iyi sonuçlar vermektedir.

Üçüncül olarak, çalışma zamanı başarımlı ölçütüne göre elde edilen sonuçlara göre bir karşılaştırma yapılmıştır. Önerilen modellerin işleyiş adımları dikkate alındığında ayrık birey-koloni optimizasyonu ile genetik algoritma modelinin işleyiş farkından dolayı çalışma zamanının daha kısa olduğu görülmektedir. Ayrık birey-koloni optimizasyonunun problemler için çözüm zamanının ortalama değeri 52,85 sn. olurken, genetik algoritma modeli aynı problemleri 35,28 sn.de çözmektedir. Ancak işleyiş adımları benzer olan sürekli birey-koloni optimizasyonu ile karşılaştırıldığında, ayrık birey-koloni optimizasyonunun çalışma zamanının ortalaması 52,85 sn. olurken, sürekli birey-koloni optimizasyonunun çalışma zamanının ortalama değeri 73,73 sn. olmaktadır.

Yapılan üç karşılaştırma işleminin sonucu olarak, ayrık birey-koloni optimizasyonu modelinin kuadratik atama problemlerinin çözümünde diğer yöntemlere göre daha iyi sonuçlar verdiği anlaşılmıştır.

Bu çalışmanın literatüre katkıları şu şekilde özetlenebilir.

- Ayrık birey-koloni optimizasyonu kuadratik atama problemlerine literatürde ilk olarak uygulanmıştır.
- Bu algoritma, sürekli birey-koloni optimizasyonu ve genetik algoritma yöntemleriyle ilk defa karşılaştırılmış ve daha iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Bu çalışmanın gelecekteki çalışma konuları ise şu şekilde sıralanabilir; Öncelikle benzetim tavlama, tabu arama gibi literatürde kullanılmış diğer meta sezgisel yöntemlerle performansları karşılaştırılabilir. İkinci olarak, önerilen ayrık birey-koloni algoritması, literatürdeki başka problemlere uygulanıp diğer yöntemlerle performansları karşılaştırılabilir. Üçüncü olarak ise, literatürde yer alan meta sezgisel yöntemlerle hibrit algoritmalar geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- ABIDO, M. A., 2002, Optimal power flow using particle swarm optimization., *Electrical Power and Energy Systems*, 24: 563-571.
- ADAMS, P. W., GUIGNARD, M., HAHN, P. M., HIGHTOWER, W. L. L., 2007, A level-2 reformulation–linearization technique bound for the quadratic assignment problem, *European Journal of Operational Research*, 180: 983–996
- AHUJA, R. K., ORLIN, J. B., TIWARI, A., 2000, A descent genetic algorithm for the quadratic assignment problem. *Computers and Operations Research*, 27: 917–934
- ANGEL, E., ZISSIMOPOULOS, V., 1998, On the quality of local search for the quadratic assignment problem, *Discrete Applied Mathematics*, 15-25
- ANGHINOLFI, D., PAOLUCCI, M., 2007, A new discrete particle swarm optimization approach for the single-machine total weighted tardiness scheduling problem with sequence-dependent setup times, *European Journal of Operational Research*, doi: 10.1016/j.ejor.2007.10.044
- ANSTREICHER, K. M., BRIXIUS, N. W., LINDEROTH, J., GOUX, J. P., 2002, Solving Large Quadratic Assignment Problems on Computational Grids, *Mathematical Programming*, Series B, 91: 563-588.
- BLUM, C., ROLI, A., 2001, Metaheuristic in Combinatorial optimization: *Overview and Conceptual Comparison*. Bruxelles.
- BRIXIUS, N.W., ANSTREICHER, K. M., 2001, The Steinberg Wiring Problem. To appear in, *The Sharpest Cut*, M. Grötschel, ed., SIAM.
- BRÜNGGER, A., MARZETTA, A., CLAUSEN, J., PERREGAARD, M., 1998, Solving large-scale quadratic assignment problem in parallel with the search library ZRAM, *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 50:157-169
- BURKARD, R. E., 2002, Selected topics on assignment problems, *Discrete Applied Mathematics*, 123: 257 – 302
- BURKARD, R. E., KARISCH S. E., RENDL, F., 1997, QAPLIB – A Quadratic Assignment Problem Library. *Journal of Global Optimization* 10, 391-403. An online version is available via the World Wide Web at the following URL: <http://www.seas.upenn.edu/qaplib/>

- BURKARD, R. E., OFFERMANN, J., 1977, Entwurf von Schreibmaschinentastaturen mittels quadratischer Zuordnungsprobleme. *Zeitschrift für Operations Research*, 21:B121-B132
- CETIN, D. N., TOKSARI, M. D., 2006, Optimization of the quadratic assignment problem using an ant colony algorithm, *Applied Mathematics and Computation*, 183:427–435
- CHENG, R., GEN, M., TSUJIMURA, Y., 1997, A Tutorial Survey of Job-Shop Scheduling Problems Using Genetic Algorithms-I. Representation, *Computers&Industrial Engineering*, 30(4):983-997.
- CHRISTOFIDES, N., BENAVENT, E., 1989, An exact algorithm for the quadratic assignment problem. *Operations Research*, 37(5):760-768
- CLAUSEN, J., PERREGAARD, M., 1997, Solving large quadratic assignment problem in parallel, *Computational Optimization and Applications*, 8:111-127
- CLERC M., 2004, Particle Swarm Optimization Mini Tutorial
- COMMANDER, C. W., 2005, A Survey of the Quadratic Assignment Problem, with Applications, *Morehead Electronic Journal of Applicable Mathematics Issue 4*, Math-2005-01
- CROCE, D. F., TADEI, R., VOLTA, G., 1995, A Genetic Algorithm for the Job Shop Problem, *Computers Operations Research* 22(1): 15-24.
- DAVIS, L., 1985. Job Shop Scheduling with Genetic Algorithm. Grefenstette: 136-140.
- DEVORE, J. L., 2000. Probability and Statistics for Engineering and The Sciences, Duxbury Thomson Learning.
- DICKEY, J. W., HOPKINS, J. W., 1972, Campus building arrangement using TOPAZ. *Transportation Research*, 6: 59–68
- DORIGO, M., CARO, G. D., GAMBERDELLA, L. M., 1999. Ant Algorithms for Discrete Optimization, *Artificial Life*, 5: 137-172.
- DREZNER, Z., 2003, A new genetic algorithm for the quadratic assignment problem. *INFORMS Journal on Computing*, 115: 320–330
- DREZNER, Z., 2005, Compounded genetic algorithms for the quadratic assignment problem, *Operations Research Letters*, 33:475 – 480
- DREZNER, Z., 2008, Extensive experiments with hybrid genetic algorithms for the solution of the quadratic assignment problem, *Computers & Operations Research*, Volume 35, Issue 3, Pages 717-736

- EBERHARD, R. C., KENNEDY, J., 1995, A new optimizer using particle swarm theory. *Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science*, Nagoya, Japan.
- EISELT, H.A., LAPORTE, G., 1991, A Combinatorial Optimization Problem Arising in Dartboard Design. *The Journal of the Operational Research Society*, 42:113-118.
- ELSHAFEI, A.N., 1977, Hospital Layout as a Quadratic Assignment Problem. *Operations Research Quarterly*, 28:167-179.
- ESCHERMANN, B., WUNDERLICH, H. J., 1990, Optimized synthesis of self-testable finite state machines. In *20th International Symposium on Fault-Tolerant Computing (FTCS 20)*, Newcastle upon Tyne, 26-28th June
- GAMBARDELLA, L. M., TAILLARD, E. D., DORIGO, M., 1999, Ant Colonies for the quadratic assignment problem, *Journal of the Operational Research Society*, 50:167-176
- GARCIA, A., VILLORIA, PASTOR, R., 2007, Introducing dynamic diversity into a discrete Particle Swarm Optimization, *Computers & Operations Research*, oi:10.1016/j.cor.2007.12.001
- HADLEY, S. W., RENDL, F., WOLKOWICZ, H., 1992, A new lower bound via projection for the quadratic assignment problem. *Mathematics of Operations Research*, 17:727-739
- HAHN, P. M., KIM, B., STÜTZLE, T., KANTHAK, S., HIGHTOWER, W. L., SARMA, H., DING, Z., GUIGNARD, M., 2008, The quadratic three-dimensional assignment problem: Exact and approximate solution methods, *European Journal of Operational Research*, Volume 184, Issue 2, Pages 416-428
- HAHN, P., GRANT, T., HALL, N., 1998, A branch-and-bound algorithm for the quadratic assignment problem based on the Hungarian method, *European Journal of Operational Research*, 108: 629-640
- HANAN, M., KURTZBERG, J. M., 1972, A Review of the Placement and Quadratic Assignment Problems, *SIAM Review*, 14:324-342.
- HANI, Y., AMODEO, L., YALAOUI, F., CHEN, H., 2007, Ant colony optimization for solving an industrial layout problem, *European Journal of Operational Research*, 183:633-642
- JAMES, T., REGO, C., GLOVER, F., 2007, A cooperative parallel tabu search algorithm for the quadratic assignment problem, *European Journal of Operational Research*, In Press, Corrected Proof, Available online 22 November 2007
- JI, P., WU, Y., LIU, H., 2006, A Solution Method for the Quadratic Assignment Problem, *The Sixth International Symposium on Operations Research and Its*

- Applications (ISORA'06) Xinjiang, China, August 8–12, Copyright © 2006 ORSC & APORC* pp. 106–117
- JIN, Y., CHENG, H., YAN, J., ZHANG, L., 2007, New discrete method for particle swarm optimization and its application in transmission network expansion planning, *Electric Power Systems Research*, 77: 227–233
- JONES, D. F., MIRRAZAVI, S.K., TAMIZ M., 2002. Multi-objective meta-heuristics: An overview of the current state-of-the-art, *European Journal of Operational Research*, 137:1-9.
- KENNEDY, J., EBERHARD, R. C., 1995. Particle swarm optimization. *IEEE International Conference on Neural Networks*, Piscataway, NJ, USA.
- KENNEDY, J., EBERHARD, R. C., SHI, Y., 2001. Swarm Intelligence. San Mateo, Morgan Kaufmann.
- KENNEDY, J., EBERHARD, R.C., 1997, A Discrete Binary Version of the Particle Swarm Optimization. *Proc. Of the conference on Systems, Man, and Cybernetics SMC97*.
- KOOPMANS, T. C., BECKMANN, M. J., 1957, Assignment problems and the location of economic activities. *Econometrica*, 25, 53-76
- KRARUP, J., PRUZAN, P. M., 1978, Computer-aided layout design. *Mathematical Programming Study*, 9:75-94
- LI, Y., PARDALOS, P. M., RESENDE, M., 1994, A greedy randomized adaptive search procedure for the quadratic assignment problem. In Quadratic Assignment and Related Problems, P. M. Pardalos and H. Wolkowicz, eds., *DIMACS Series in Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science*, AMS, 16: 237–261
- LI, Y., PARDALOS, P. M., 1992, Generating quadratic assignment test problems with known optimal permutations. *Computational Optimization and Applications*, 1:163-184
- LIAO, C., TSENG, C., LUARN, P., 2007, A discrete version of particle swarm optimization for flowshop scheduling problems, *Computers & Operations Research*, Volume 34, Issue 10, Pages 3099-3111
- LOIOLA, E. M., ABREU, N. M. M., BOAVENTURA-NETTO, P. O., HAHN, P., QUERIDO, T., 2007, A survey for the quadratic assignment problem, *European Journal of Operational Research*, 176:657–690.
- MAUTOR, T., ROUCAIROL, C., 1994, A new exact algorithm for the solution of quadratic assignment problem, *Discrete Applied Mathematics*, 55:281-293
- MICHALEWICZ, Z., 1994. Genetic Algorithm+Data Structure=Evolution Programs. New York, Springer and Verlag.

- MISEVICIUS, A., 2004, An improved hybrid genetic algorithm: new results for the quadratic assignment problem, *Knowledge-Based Systems*, 17:65–73
- NUGENT, C. E., VOLLMAN, T. E., RUMML, J., 1968, An experimental comparison of techniques for the assignment of facilities to locations. *Operations Research*, 16:150-173
- ONWUBOLU, G. C., CLERC, M., 2004, Optimal operating path for automated drilling operations by a new heuristic approach using particle swarm optimisation. *International Journal of Production Research*, 423: 473-491.
- PAN, Q., TASGETIREN, M. F., LIANG, Y., 2008, A discrete particle swarm optimization algorithm for the no-wait flowshop scheduling problem, *Computers & Operations Research*, Volume 35, Issue 9, Pages 2807-2839
- PENG-YENG YIN, 2004, A discrete particle swarm algorithm for optimal polygonal approximation of digital curves, *J. Vis. Commun. Image R.*, 15: 241–260
- RASMUSSEN, R., 2007, QAP—not so hard in spreadsheets, *Omega*, 35:541 – 552
- SAHNI, S., GONZALEZ, T., 1976, P-Complete Approximation Problems. *Journal of the ACM*, 23: 555-565.
- SALMAN, A., AHMAD, I., SABAH, A., 2002. Particle swarm optimization for task assignment problem. *Microprocessors and Microsystems*, 26: 363-371.
- SAREMI, H. Q., ABEDIN, B., KERMANI, A. M., 2008, Website structure improvement: Quadratic assignment problem approach and ant colony meta-heuristic technique, *Applied Mathematics and Computation* 195: 285–298
- SCRIABIN, M., VERGIN, R. C., 1975, Comparison of computer algorithms and visual based methods for plant layout. *Management Science*, 22:172-187
- SEVKLI, M., YENISEY, M. M., 2006, Atölye tipi çizelgeleme problemleri için parçacık sürü optimizasyonu yöntemi, *ITUdergisi/d mühendislik* Cilt:5, Sayı:2, Kısım:1, 58-68 Nisan 2006
- SHEN, Q., SHI, W., KONG, W., YE, B., 2007, A combination of modified particle swarm optimization algorithm and support vector machine for gene selection and tumor classification, *Talanta*, 71:1679–1683
- SKORIN-KAPOV, J., 1990, Tabu search applied to the quadratic assignment problem. *ORSA Journal on Computing*, 2(1):33-45
- STEINBERG, L., 1961, The Backboard Wiring Problem: A Placement Algorithm. *SIAM Review* 3: 37-50.
- STÜTZLE, T., 2006, Iterated local search for the quadratic assignment problem, *European Journal of Operational Research* 174: 1519–1539

- TAILLARD, E. D., 1994, Parallel taboo search techniques for the job shop scheduling. *ORSA Journal on Computing*, 16, 2, 108-117
- TAILLARD, E. D., 1991, Robust tabu search for the quadratic assignment problem. *Parallel Computing*, 17:443-455
- TAILLARD, E. D., 1995, Comparison of iterative searches for the quadratic assignment problem. *Location Science*, 3:87-105
- TALAVAN, P. M., YANEZ J., 2006, The generalized quadratic knapsack problem. A neuronal network approach, *Neural Networks* 19: 416–428
- TALBI, E. G., ROUX, O., FONLUPT, C., ROBILLARD, D., 2001, Parallel Ant Colonies for the quadratic assignment problem, *Future Generation Computer Systems*, 17: 441–449
- THONEMANN, U.W., BÖLTE, A., 1994, An improved simulated annealing algorithm for the quadratic assignment problem. *Working paper, School of Business, Department of Production and Operations Research, University of Paderborn, Germany.*
- TRELEA, I. C., 2003. The particle swarm optimization algorithm: convergence analysis and parameter selection. *Information Processing Letters*, 85: 317-325.
- TSENG, C., LIAO, C., 2008, A discrete particle swarm optimization for lot-streaming flowshop scheduling problem, *European Journal of Operational Research*, Volume 191, Issue 2, Pages 360-373
- VAN DEN BERGH, F., ENGELBECHT, P., 2005, A study of particle swarm optimization particle trajectories, *Information Letters*.
- WEN-CHYUAN CHIANG, CHI CHIANG, 1998, Intelligent local search strategies for solving facility layout problems with the quadratic assignment problem formulation, *European Journal of Operational Research*, 106: 457-488
- WILHELM, M.R., WARD, T. L., 1987, Solving quadratic assignment problems by simulated annealing. *IIE Transaction*, 19/1:107-119
- YANG, X., LU, Q., LI, C., LIAO, X., 2008, Biological computation of the solution to the quadratic assignment problem, *Applied Mathematics and Computation*, Volume 200, Issue 1, Pages 369-377
- ZHANG, H., LI, H., TAM, C. M., 2006, Particle swarm optimization for resource-constrained project scheduling, *International Journal of Project Management* 24, 83–92

EKLER

EK-A: ÖNERİLEN AYRIK BİREY-KOLONİ OPTİMİZASYONU MODELİ İLE ELDE EDİLEN SONUÇLAR

Tablo A.1: BuOf:77 Problemlerinin Ayrık birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Bur26a	Bur26b	Bur26c	bur26d	Bur26e	Bur26f	Bur26g	Bur26h
Atanacak iş Sayısı	26	26	26	26	26	26	26	26
Atanacak Merkez Sayısı	26	26	26	26	26	26	26	26
Alt Sınır Değeri	5426670	3817852	5426795	3821225	5386879	3782044	10117172	7098658
R1	5466218	3840265	5434108	3836292	5391958	3792253	10196089	7100275
R2	5450352	3827507	5488019	3822529	5421677	3795434	10209017	7155406
R3	5468229	3832372	5451351	3823039	5397701	3783034	10198194	7108473
R4	5450653	3836759	5441121	3825257	5393250	3783920	10137196	7110116
R5	5438252	3829470	5456229	3829930	5427423	3802189	10183516	7147498
R6	5448546	3829472	5477302	3838062	5436121	3798826	10158567	7103136
R7	5438391	3825588	5435556	3854210	5399392	3783573	10168636	7106754
R8	5448374	3826685	5428755	3824084	5396849	3784482	10135115	7124751
R9	5452012	3827104	5431998	3823496	5391399	3783359	10152190	7102751
R10	5443098	3832154	5457970	3844759	5415375	3797219	10133593	7173114
R11	5446337	3839371	5440002	3822708	5393063	3785087	10234008	7124340
R12	5460689	3835163	5434326	3879140	5411684	3782770	10129784	7117306
R13	5446562	3830088	5484213	3861049	5391931	3793452	10156189	7118660
R14	5448457	3831501	5456347	3841662	5395463	3783870	10140032	7119581
R15	5450121	3827753	5433677	3845950	5393431	3785123	10134768	7104426
R16	5436297	3827733	5443659	3824701	5423618	3803775	10124469	7100282
R17	5438063	3832420	5434687	3838100	5390400	3815997	10123651	7146836
R18	5454564	3829429	5444779	3838306	5433754	3790975	10166610	7100656
R19	5458190	3846395	5481384	3871468	5437566	3828990	10218780	7203877
R20	5457410	3834651	5440119	3822930	5395138	3823050	10147209	7100960
R21	5447046	3833297	5485920	3832714	5419664	3790452	10180231	7137008
R22	5452184	3840539	5459082	3824775	5395058	3788779	10133047	7100908
R23	5464624	3831785	5430957	3855324	5391564	3815264	10190830	7102335
R24	5449728	3835558	5443825	3825191	5426952	3810915	10181050	7152406
R25	5452217	3835757	5435822	3834621	5405572	3799832	10186661	7145279
R26	5444816	3834608	5449236	3829776	5400336	3800666	10125188	7143412
R27	5455235	3841362	5434304	3823197	5395425	3788949	10126716	7117908
R28	5439048	3840824	5441558	3830286	5390905	3783476	10123531	7113377
R29	5442648	3841540	5458233	3866471	5391916	3793778	10125003	7134116
R30	5440839	3844997	5450780	3824309	5413403	3785457	10125903	7117603

Tablo A.2: ChBe:89 Problemlerinin Ayrık birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Chr12a	Chr12b	Chr12c	Chr15a	Chr15b	Chr15c	Chr18a	Chr18b
Atanacak iş Sayısı	12	12	12	15	15	15	18	18
Atanacak Merkez Sayısı	12	12	12	15	15	15	18	18
Alt Sınır Değeri	9552	9742	11156	9896	7990	9504	11098	1534
R1	13356	9742	14062	10976	17014	14062	15554	1548
R2	12602	10102	11566	12144	13872	13574	19834	1692
R3	15204	10102	13244	12134	11566	11864	14202	1984
R4	11926	10102	14966	16882	10744	15566	21024	1704
R5	10624	9742	12262	16112	14374	13742	22474	1594
R6	11302	10102	14078	14358	14198	15192	15314	1678
R7	11302	10766	12810	11816	13538	13744	17416	1592
R8	13682	10766	13876	14270	15580	14134	19328	1642
R9	9916	10102	12926	11684	11496	14920	19572	1624
R10	15624	15096	12470	12300	12616	12936	20654	1682
R11	10652	13990	14000	13452	14574	12358	18740	1588
R12	11926	11628	14272	14260	13662	16544	20594	1740
R13	12008	15608	13110	19468	11626	16240	19586	1724
R14	11538	10766	14658	14588	12398	13648	18196	1846
R15	12174	9742	11566	13316	13896	12300	19372	1864
R16	11944	16616	12070	12680	12820	15284	15004	1690
R17	14926	9742	13804	12810	12838	14140	22398	1860
R18	10688	18390	15624	13404	11312	14646	17288	1570
R19	12636	10102	11996	12708	12004	11772	18500	2020
R20	10770	10102	13306	12898	12328	14302	16092	1694
R21	12602	9742	11566	15274	12840	12940	21404	1808
R22	12860	11628	12378	15412	13836	13954	20150	1560
R23	11780	11628	15570	15174	14032	11328	19248	1714
R24	12820	10102	14262	13770	11208	16120	22088	1724
R25	10804	9742	13420	16716	13672	12150	22670	1692
R26	10688	11628	13524	11016	16990	13332	19662	1898
R27	11768	10102	14748	14066	13968	14724	19668	1590
R28	11838	15250	14592	12548	12832	19954	21688	1712
R29	11752	10102	12406	18220	10442	12762	20364	2028
R30	12090	16748	11758	14606	11792	14002	16460	1740

Tablo A.2(Devam): ChBe:89 Problemlerinin Ayrık birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Chr20a	Chr20b	Chr20c	Chr22a	Chr22b	Chr25a
Atanacak iş Sayısı	20	20	20	22	22	25
Atanacak Merkez Sayısı	20	20	20	22	22	25
Alt Sınır Değeri	2192	2298	14142	6156	6194	3796
R1	3580	3292	25102	7004	7314	7046
R2	3128	3490	17946	6836	7110	7076
R3	3796	3322	27704	6872	7292	6786
R4	3982	3250	29872	6806	7160	7216
R5	3182	2936	29846	7402	7620	7256
R6	3632	3044	24556	7276	7022	7226
R7	3370	3200	22442	6868	7142	7818
R8	3452	2984	24900	6800	7054	6748
R9	3618	2894	22092	7362	6964	6144
R10	3340	3266	18200	7650	6892	6330
R11	3892	3226	27132	6654	6896	7268
R12	2794	3386	23638	7236	7464	6508
R13	3434	2852	29774	6914	6914	6482
R14	4038	2946	17074	7582	7368	7236
R15	3658	2974	27166	7076	7288	5760
R16	2936	3288	27430	7222	7026	5858
R17	3668	3294	22784	6906	7204	8590
R18	2856	3642	25342	7350	7162	7676
R19	3270	2648	19860	7396	7572	6990
R20	3630	3392	17098	7200	6978	8026
R21	3026	3638	26938	6908	7796	7790
R22	2910	3418	19516	7350	7054	7522
R23	3556	3470	26918	7194	7538	7802
R24	3620	2636	18794	7324	7062	5582
R25	3372	3068	27610	7212	7190	7574
R26	3276	3694	23890	7040	7142	6902
R27	3486	2956	25416	7392	7370	5506
R28	2708	2768	26060	7186	7110	6804
R29	3234	3104	30798	7016	7140	8630
R30	4142	3092	21456	7758	6958	6282

Tablo A.3: Elshafei:77 Problemlerinin Ayrık birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Els19
Atanacak iş Sayısı	19
Atanacak Merkez Sayısı	19
Alt Sınır Değeri	17212548
R1	18300754
R2	17212548
R3	17382770
R4	20271250
R5	20018262
R6	19007142
R7	19698842
R8	18369916
R9	19913580
R10	17997928
R11	19866290
R12	20271250
R13	20248542
R14	19756532
R15	18981178
R16	22006774
R17	19746566
R18	17438842
R19	23972442
R20	23117832
R21	21818306
R22	19598714
R23	22663438
R24	19960020
R25	22598348
R26	19388586
R27	17707088
R28	23121002
R29	19941986
R30	22092726

Tablo A.4: EsWu:90 Problemlerinin Ayrık birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Esc16a	Esc16b	Esc16c	Esc16d	Esc16e	Esc16f	Esc16g	Esc16h	Esc16i	Esc16j
Atanacak iş Sayısı	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Atanacak Merkez Sayısı	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Alt Sınır Değeri	68	292	160	16	28	0	26	996	14	8
R1	68	292	160	16	28	0	26	996	14	8
R2	68	292	162	16	28	0	26	996	14	8
R3	68	292	162	18	28	0	26	996	14	8
R4	68	292	160	20	30	0	26	996	14	8
R5	68	292	160	18	30	0	26	996	14	8
R6	68	292	160	20	30	0	26	996	14	8
R7	68	292	160	16	28	0	26	996	14	8
R8	68	292	162	16	28	0	26	996	14	8
R9	68	292	160	18	30	0	26	996	14	8
R10	68	292	160	16	30	0	26	996	14	8
R11	68	292	160	18	28	0	26	996	14	8
R12	68	292	164	20	30	0	26	996	14	8
R13	68	292	160	18	30	0	26	996	14	8
R14	70	292	160	18	28	0	26	996	14	8
R15	68	292	160	18	30	0	26	996	14	8
R16	68	292	160	18	28	0	26	996	14	8
R17	68	292	160	16	28	0	28	996	14	8
R18	68	292	160	16	28	0	26	996	14	8
R19	68	292	162	16	30	0	26	996	14	8
R20	68	292	160	16	30	0	26	996	14	8
R21	68	292	162	18	28	0	26	996	14	8
R22	68	292	164	16	30	0	26	996	14	8
R23	68	292	162	16	28	0	28	996	14	8
R24	68	292	160	16	30	0	26	996	14	8
R25	70	292	160	18	30	0	26	996	14	8
R26	68	292	160	18	28	0	26	996	14	8
R27	68	292	160	18	28	0	26	996	14	8
R28	68	292	160	16	28	0	26	996	14	8
R29	68	292	162	18	28	0	26	996	14	8
R30	70	292	160	16	30	0	26	996	14	8

Tablo A.4(Devam): EsWu:90 Problemlerinin Ayrık birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Esc32a	Esc32b	Esc32c	Esc32d	Esc32e	Esc32f	Esc32g	Esc32h	Esc64a	Esc128
Atanacak iş Sayısı	32	32	32	32	32	32	32	32	64	128
Atanacak Merkez Sayısı	32	32	32	32	32	32	32	32	64	128
Alt Sınır Değeri	130	168	642	200	2	2	6	438	116	64
R1	190	224	642	216	2	2	6	482	116	102
R2	194	264	642	216	2	2	6	474	122	90
R3	180	212	646	204	2	2	6	446	118	104
R4	204	256	646	208	2	2	6	454	122	98
R5	172	252	642	214	2	2	6	464	124	94
R6	192	244	642	230	2	2	6	476	122	96
R7	174	272	646	206	2	2	6	450	120	108
R8	170	264	642	204	2	2	6	468	120	100
R9	184	224	642	214	2	2	6	480	128	96
R10	170	248	642	216	2	2	6	442	122	92
R11	206	264	642	220	2	2	6	452	118	102
R12	180	244	642	220	2	2	6	472	120	92
R13	178	248	642	218	2	2	6	446	122	116
R14	170	256	642	226	2	2	6	460	130	92
R15	184	264	642	210	2	2	6	450	128	94
R16	194	232	642	218	2	2	6	440	120	100
R17	200	244	642	210	2	2	6	448	128	96
R18	176	260	642	226	2	2	6	472	126	102
R19	190	232	642	208	2	2	6	456	122	108
R20	190	228	642	224	2	2	6	456	124	110
R21	190	248	642	216	2	2	6	472	122	94
R22	180	236	642	228	2	2	6	482	120	112
R23	194	240	642	210	2	2	6	468	120	96
R24	182	240	642	220	2	2	6	452	128	102
R25	170	232	642	224	2	2	6	484	126	98
R26	190	220	642	220	2	2	6	464	122	96
R27	192	232	644	220	2	2	6	446	124	110
R28	184	240	642	218	2	2	6	454	120	100
R29	192	260	642	222	2	2	6	474	118	98
R30	182	252	642	210	2	2	6	450	130	110

Tablo A.5: HaReWo:92 Problemlerinin Ayırık birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Had12	Had14	Had16	Had18	Had20
Atanacak iş Sayısı	12	14	16	18	20
Atanacak Merkez Sayısı	12	14	16	18	20
Alt Sınır Değeri	1652	2724	3720	5358	6922
R1	1682	2730	3724	5394	7016
R2	1660	2724	3728	5428	7104
R3	1654	2724	3728	5418	6982
R4	1656	2728	3798	5452	6982
R5	1652	2744	3732	5376	6994
R6	1660	2728	3722	5428	6986
R7	1664	2746	3722	5360	7114
R8	1676	2744	3746	5426	7016
R9	1678	2730	3738	5474	6932
R10	1652	2728	3784	5498	7004
R11	1654	2744	3726	5358	7148
R12	1652	2746	3788	5436	6956
R13	1652	2806	3728	5380	6936
R14	1652	2806	3730	5362	6972
R15	1652	2724	3730	5432	6934
R16	1678	2724	3720	5408	6942
R17	1656	2764	3724	5420	7006
R18	1678	2764	3720	5366	7108
R19	1676	2744	3722	5406	7086
R20	1660	2728	3728	5412	7010
R21	1680	2746	3830	5368	7000
R22	1660	2724	3720	5402	6926
R23	1664	2746	3852	5456	6944
R24	1676	2744	3728	5478	7144
R25	1678	2744	3726	5396	7174
R26	1660	2744	3720	5378	6972
R27	1664	2724	3724	5488	6992
R28	1656	2744	3728	5392	6930
R29	1662	2744	3720	5404	6964
R30	1660	2724	3798	5406	7090

Tablo A.6: KrPr:78 Problemlerinin Ayrık birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Kra30a	Kra30b	Kra32
Atanacak iş Sayısı	30	30	32
Atanacak Merkez Sayısı	30	30	32
Alt Sınır Değeri	88900	91420	88900
R1	98400	98980	25050
R2	98020	97550	25034
R3	98030	97810	25248
R4	99250	99970	25114
R5	98110	99870	24606
R6	98150	98060	25178
R7	98760	99900	25384
R8	98200	101370	23904
R9	100180	99930	25468
R10	99770	101450	24844
R11	99470	100290	24714
R12	96600	99780	25052
R13	102880	101650	25674
R14	97540	99700	24520
R15	95270	97740	24480
R16	99110	100150	24526
R17	99200	100860	24734
R18	98340	102150	25200
R19	100580	98680	24606
R20	102180	95630	25514
R21	96710	102580	24692
R22	96600	93990	24832
R23	102600	100110	24984
R24	104340	101010	25176
R25	102520	102930	25184
R26	103580	95940	24262
R27	101450	98420	24828
R28	102180	101570	24696
R29	96000	99310	24520
R30	104650	99430	25482

Tablo A.7: LiPa:92 Problemlerinin Ayrık birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Lipa20a	Lipa20b	Lipa30a	Lipa30b	Lipa40a	Lipa40b	Lipa50a	Lipa50b
Atanacak iş Sayısı	20	20	30	30	40	40	50	50
Atanacak Merkez Sayısı	20	20	30	30	40	40	50	50
Alt Sınır Değeri	3683	27076	13178	151426	31538	476581	62093	1210244
R1	3800	32293	13509	182822	32097	582810	63176	1467986
R2	3784	31759	13473	180916	32113	580699	63256	1480814
R3	3794	31648	13541	180501	32199	574912	63159	1466272
R4	3798	31723	13490	178920	32134	581442	63227	1465220
R5	3809	31526	13518	181261	32120	582783	63267	1471062
R6	3790	32312	13446	180039	32161	576905	63084	1466585
R7	3786	31641	13458	181093	32136	575754	63214	1469067
R8	3794	32062	13509	181161	32212	580880	63303	1471654
R9	3798	31434	13504	179789	32142	581085	63172	1468491
R10	3789	31421	13556	180903	32166	575160	63181	1470254
R11	3815	31439	13535	179446	32144	578914	63225	1477375
R12	3806	31970	13498	177875	32210	579231	63241	1462826
R13	3805	31907	13454	179073	32151	581014	63244	1478768
R14	3798	31632	13520	180664	32166	578859	63184	1476106
R15	3802	31759	13491	178556	32194	577487	63180	1468380
R16	3791	31313	13453	179745	32150	586558	63150	1460012
R17	3806	31587	13507	178884	32160	581604	63248	1473848
R18	3788	31723	13486	181356	32218	574142	63262	1473755
R19	3788	31857	13523	180089	32194	577950	63198	1464724
R20	3780	31633	13531	178414	32089	581624	63191	1478794
R21	3809	31945	13504	179966	32188	583939	63185	1479443
R22	3790	31711	13484	182084	32187	579245	63113	1466870
R23	3792	31528	13508	180850	32159	580690	63143	1458418
R24	3812	31338	13487	180272	32156	576435	63319	1469592
R25	3791	31597	13530	180780	32184	576021	63147	1468842
R26	3794	30980	13506	179864	32103	574903	63212	1476610
R27	3801	31598	13501	181729	32112	577885	63244	1467954
R28	3814	32205	13500	180764	32240	581281	63166	1473937
R29	3821	31347	13505	179688	32179	576097	63260	1478875
R30	3798	31240	13496	181817	32127	581000	63133	1476116

Tablo A.7(Devam): LiPa:92 Problemlerinin Ayrık birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Lipa60a	Lipa60b	Lipa70a	Lipa70b	Lipa80a	Lipa80b	Lipa90a	Lipa90b
Atanacak iş Sayısı	60	60	70	70	80	80	90	90
Atanacak Merkez Sayısı	60	60	70	70	80	80	90	90
Alt Sınır Değeri	107218	2520135	169755	4603200	253195	7763962	360630	12490441
R1	108853	3110423	172089	5701862	256407	9725987	365124	15638144
R2	108956	3103158	172164	5724877	256272	9743010	365138	15632402
R3	109105	3118133	172175	5692176	256309	9704997	364970	15677640
R4	108938	3102792	172068	5718868	256430	9722763	364972	15589481
R5	109015	3087450	172111	5713717	256456	9727560	364855	15613861
R6	108912	3100691	172214	5721061	256160	9691046	365060	15601646
R7	109064	3085055	172138	5726503	256401	9699851	364665	15617324
R8	108828	3110205	172100	5718228	256330	9704434	364839	15700944
R9	108814	3106581	172053	5693659	256319	9699292	364935	15669227
R10	108948	3097007	172078	5691831	256469	9699953	365018	15597115
R11	108930	3110236	172141	5689927	256539	9663826	365045	15707924
R12	108931	3096322	172160	5738656	256288	9707970	364962	15569272
R13	109023	3116131	172042	5721495	256394	9683162	364910	15640656
R14	108837	3104539	172129	5700553	256473	9709653	364867	15642385
R15	109007	3091348	172245	5713522	256511	9681563	364992	15647385
R16	108951	3108198	172350	5717429	256460	9712097	364818	15666375
R17	108954	3099547	172086	5692802	256484	9734601	365027	15659247
R18	108932	3112211	172102	5737220	256112	9735684	364959	15614054
R19	108958	3108269	172107	5727858	256392	9698040	365017	15669649
R20	108933	3098370	172202	5720281	256531	9695528	365183	15667682
R21	108760	3101561	172079	5702113	256362	9691241	364909	15637574
R22	108868	3088009	172118	5718388	256478	9743319	364988	15683649
R23	109099	3097075	172165	5719222	256386	9729002	364973	15563017
R24	108880	3101631	172082	5696099	256294	9717106	364735	15670397
R25	108955	3106144	172195	5712127	256364	9727449	364866	15649124
R26	108817	3110772	172104	5715785	256332	9713486	364850	15624558
R27	109064	3106704	172136	5718393	256565	9713276	364692	15611658
R28	108977	3105299	172169	5720821	256560	9659354	365249	15660764
R29	108976	3097823	172243	5696519	256416	9672312	364825	15617756
R30	109019	3104318	172191	5711714	256275	9676314	365184	15631402

Tablo A.8: NuVoRu:68 Problemlerinin Ayrık birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Nug12	Nug14	Nug15	Nug16a	Nug16b	Nug17	Nug18	Nug20
Atanacak iş Sayısı	12	14	15	16	16	17	18	20
Atanacak Merkez Sayısı	12	14	15	16	16	17	18	20
Alt Sınır Değeri	578	1014	1150	1610	1240	1732	1930	2570
R1	578	1062	1178	1698	1318	1776	2024	2702
R2	604	1066	1180	1622	1296	1818	1982	2646
R3	600	1052	1202	1630	1348	1828	2032	2730
R4	610	1056	1188	1646	1264	1780	2046	2694
R5	592	1038	1192	1708	1266	1822	2078	2640
R6	604	1052	1190	1684	1322	1806	2000	2732
R7	586	1062	1198	1660	1266	1828	2032	2624
R8	588	1068	1186	1680	1290	1838	1998	2690
R9	624	1052	1174	1670	1300	1776	2040	2700
R10	590	1064	1188	1708	1338	1794	2016	2674
R11	594	1062	1186	1676	1316	1746	2006	2694
R12	608	1074	1214	1706	1268	1768	1986	2722
R13	620	1070	1184	1670	1302	1804	2026	2634
R14	578	1072	1162	1668	1312	1814	2040	2696
R15	598	1042	1210	1682	1288	1772	2010	2714
R16	588	1060	1186	1686	1294	1790	1996	2694
R17	600	1056	1194	1708	1264	1778	2020	2680
R18	604	1058	1180	1680	1240	1758	2084	2688
R19	590	1066	1198	1706	1302	1794	1998	2726
R20	606	1052	1190	1632	1288	1790	1974	2676
R21	606	1068	1172	1702	1342	1750	2068	2734
R22	598	1044	1180	1700	1308	1762	1998	2690
R23	600	1074	1218	1698	1308	1806	2018	2678
R24	592	1066	1190	1632	1266	1782	2046	2626
R25	616	1060	1190	1708	1332	1772	2046	2672
R26	602	1018	1198	1686	1332	1834	1994	2690
R27	578	1092	1168	1700	1274	1792	1994	2688
R28	578	1016	1218	1660	1274	1862	1990	2698
R29	586	1058	1180	1672	1294	1782	2006	2776
R30	600	1054	1202	1640	1312	1770	2028	2640

Tablo A.8(Devam): NuVoRu:68 Problemlerinin Ayrık birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Nug21	Nug22	Nug24	Nug25	Nug27	Nug28	Nug30
Atanacak iş Sayısı	21	22	24	25	27	28	30
Atanacak Merkez Sayısı	21	22	24	25	27	28	30
Alt Sınır Değeri	2438	3596	3488	3744	5234	5166	6124
R1	2524	3726	3624	3954	5674	5550	6434
R2	2574	3670	3674	3894	5698	5662	6450
R3	2568	3626	3592	4034	5702	5666	6686
R4	2560	3838	3688	3974	5842	5626	6410
R5	2512	3692	3730	3910	5644	5574	6568
R6	2576	3670	3640	3844	5488	5656	6458
R7	2484	3630	3634	3804	5506	5598	6418
R8	2586	3738	3766	3988	5718	5554	6494
R9	2534	3676	3678	3964	5762	5768	6488
R10	2482	3726	3602	3990	5748	5674	6534
R11	2542	3728	3552	3962	5652	5664	6598
R12	2536	3726	3728	3998	5518	5660	6506
R13	2490	3652	3702	3856	5552	5600	6376
R14	2524	3658	3690	3942	5608	5788	6318
R15	2564	3642	3666	3896	5724	5614	6478
R16	2494	3660	3666	3912	5562	5598	6380
R17	2606	3800	3678	3876	5778	5578	6698
R18	2588	3710	3626	4040	5684	5596	6248
R19	2560	3718	3646	3912	5630	5706	6488
R20	2568	3744	3710	3880	5702	5614	6608
R21	2528	3712	3656	3846	5638	5690	6534
R22	2582	3756	3716	3880	5686	5592	6530
R23	2524	3610	3628	3966	5706	5658	6750
R24	2502	3782	3574	3794	5804	5562	6494
R25	2628	3712	3576	3968	5724	5544	6328
R26	2534	3714	3698	3926	5560	5658	6602
R27	2584	3666	3662	3874	5838	5548	6430
R28	2532	3690	3682	3920	5620	5578	6540
R29	2510	3738	3632	3956	5656	5716	6482
R30	2516	3740	3546	3944	5494	5644	6462

Tablo A.9: Roucairol:87 Problemlerinin Ayırık birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Rou12	Rou15	Rou20
Atanacak iş Sayısı	12	15	20
Atanacak Merkez Sayısı	12	15	20
Alt Sınır Değeri	235528	354210	725522
R1	241700	374160	776626
R2	250808	381928	774598
R3	247430	386122	775654
R4	250990	380640	767176
R5	251314	379154	790314
R6	248556	386330	770602
R7	248572	388214	754384
R8	248568	375370	782238
R9	253484	393472	758620
R10	251324	381440	783780
R11	245696	381398	767370
R12	250668	376698	786150
R13	253064	381374	769852
R14	247324	367576	797154
R15	242864	376068	771256
R16	248256	392886	779660
R17	248874	379174	757758
R18	240662	371696	776818
R19	240664	363284	775088
R20	253246	378214	784682
R21	249780	363908	780368
R22	256342	390600	760764
R23	247204	379198	767954
R24	245796	377576	758240
R25	247932	378428	769412
R26	240038	388648	754336
R27	241910	384028	778940
R28	248546	375354	783732
R29	250524	387394	772608
R30	240570	374106	789344

Tablo A.10: ScVe:75 Problemlerinin Ayrık birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Scr12	Scr15	Scr20
Atanacak iş Sayısı	12	15	20
Atanacak Merkez Sayısı	12	15	20
Alt Sınır Değeri	31410	51140	110030
R1	33672	55054	118850
R2	33100	59974	127796
R3	32236	56758	122852
R4	32642	52524	126334
R5	33948	57620	129760
R6	33158	55554	121084
R7	32758	56074	127044
R8	33100	57674	127160
R9	34584	59022	137610
R10	32642	56162	124336
R11	32292	56004	123164
R12	32260	56252	127496
R13	32624	59326	136330
R14	33868	57504	119328
R15	32626	59200	121984
R16	32302	57482	124364
R17	33100	57746	124088
R18	32758	54978	128198
R19	32626	55014	134354
R20	34848	56716	123578
R21	32282	58042	124468
R22	32626	59398	117030
R23	34326	57206	133796
R24	33632	57516	132732
R25	32430	55460	115272
R26	32144	56346	122824
R27	33424	58096	140972
R28	32236	55366	121144
R29	32642	56376	124456
R30	32958	58652	125180

Tablo A.11: Skorin:90 Problemlerinin Ayrık birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Sko42	Sko49	Sko56	Sko64	Sko72	Sko81	Sko90
Atanacak iş Sayısı	42	49	56	64	72	81	90
Atanacak Merkez Sayısı	42	49	56	64	72	81	90
Alt Sınır Değeri	15812	23386	34458	48498	66256	90998	115534
R1	16764	25002	36462	51060	69776	96688	122510
R2	16772	24690	36988	51052	70352	95480	123482
R3	16686	24926	36178	52066	71744	95570	122858
R4	16664	25134	36626	51166	70726	95916	122584
R5	16744	24920	36982	51078	70940	96672	122528
R6	16658	24816	36482	50948	71080	95982	122706
R7	16826	24768	36470	51136	69840	96358	122700
R8	16656	24962	36970	51648	71664	97038	122528
R9	16850	24686	37188	51096	70094	96062	122154
R10	16820	25126	36518	51632	70110	96736	121926
R11	16812	25242	36934	51278	69906	96148	123082
R12	16976	24924	37268	51720	70502	95428	123214
R13	16708	24442	36636	52010	70418	96920	123318
R14	16650	24816	36382	51762	69856	95720	122648
R15	16968	25022	37092	51294	70160	96608	122502
R16	16922	24712	36912	51994	70368	97050	123592
R17	16868	24904	36414	51954	70258	96474	122876
R18	16990	24774	36756	50686	69914	95680	122490
R19	16672	24838	36742	51376	70036	96010	122372
R20	17126	24716	36140	51140	70330	96816	122734
R21	16606	24782	36380	51178	70132	95522	122310
R22	16874	24814	36716	51154	70564	97208	122162
R23	16834	25378	36694	51636	69894	96316	121976
R24	16848	25094	36500	51316	70574	95546	121784
R25	17096	24708	36570	51574	69784	96092	121830
R26	17094	24994	36302	51792	69942	96100	121764
R27	16954	24850	36798	51794	71092	96458	122354
R28	16642	24976	36414	51554	69430	96188	121658
R29	16664	25122	37002	51300	69280	97380	122964
R30	17048	24308	36562	51816	69784	95918	121468

Tablo A.11(Devam): Skorin:90 Problemlerinin Ayırık birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Sko100a	Sko100b	Sko100c	Sko100d	Sko100e	Sko100f
Atanacak iş Sayısı	100	100	100	100	100	100
Atanacak Merkez Sayısı	100	100	100	100	100	100
Alt Sınır Değeri	152002	153890	147862	149576	149150	149036
R1	160206	161886	157128	159840	159312	157790
R2	161618	163076	156902	158758	158650	157622
R3	162218	163954	156914	157778	158958	157250
R4	160306	162420	157762	157544	159228	157878
R5	159698	163012	155608	158958	158774	156882
R6	160868	162350	155156	159002	157050	158952
R7	161520	162100	156326	156672	158210	156604
R8	161164	162348	156076	158242	159432	157172
R9	160794	161334	159134	158132	157696	157126
R10	160974	162444	157622	158348	158730	156716
R11	161320	162582	156580	157744	158930	158146
R12	162814	163350	158026	156904	157674	157950
R13	162604	162140	156514	157630	157192	157556
R14	160270	162524	156394	155788	158672	156566
R15	160706	161242	157908	158816	158880	156530
R16	159860	162576	158590	158762	158662	158490
R17	161988	163312	156604	157998	158498	157034
R18	161376	162746	156468	157494	159402	157372
R19	160872	162288	157018	159188	158944	157862
R20	159342	161184	157480	156440	157472	157354
R21	158778	162126	156440	159072	156892	157490
R22	160010	162404	156034	158332	159300	157090
R23	163092	164176	156674	159086	156628	157266
R24	160426	163070	157628	158696	157880	157810
R25	160476	162548	157056	158654	159138	157800
R26	161744	161074	156888	157930	157098	157762
R27	159776	163266	156578	158278	158710	160044
R28	162058	162950	155524	157618	158928	156838
R29	161978	163058	156404	156142	157756	157420
R30	162508	164084	157342	158728	158786	157796

Tablo A.12: Steinberg:61 Problemlerinin Ayrık birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Ste36a	Ste36b	Ste36c
Atanacak iş Sayısı	36	36	36
Atanacak Merkez Sayısı	36	36	36
Alt Sınır Değeri	9526	15852	8239
R1	11214	20244	9245392
R2	11698	19614	9763818
R3	11302	22068	9522250
R4	11580	22788	9021928
R5	11106	22600	9010192
R6	10678	21038	9061154
R7	11120	19076	8807004
R8	11302	21774	9936822
R9	10224	20942	9662232
R10	11150	19510	9244088
R11	10902	19002	8902344
R12	10822	20600	9495696
R13	11080	20244	9518202
R14	10760	20682	8935642
R15	12100	21424	9430828
R16	11042	21848	9399346
R17	10978	20284	9400962
R18	11594	20180	9088648
R19	11532	19786	9245114
R20	10828	19056	9133994
R21	10992	19936	8935380
R22	11488	20382	9353010
R23	11270	21882	9455542
R24	11290	20016	8631124
R25	11242	20062	9530528
R26	10420	20688	9101942
R27	10728	20938	8821188
R28	11106	19540	9489640
R29	11350	18942	9232198
R30	10944	19018	9109432

Tablo A.13: Taillard:91 ; Taillard:94 Problemlerinin Ayrık birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Tai12a	Tai12b	Tai15a	Tai15b	Tai17a	Tai20a	Tai20b	Tai25a	Tai25b
Atanacak iş Sayısı	12	12	15	15	17	20	20	25	25
Atanacak Merkez Sayısı	12	12	15	15	17	20	20	25	25
Alt Sınır Değeri	224416	39464925	388214	51765268	491812	703482	122455319	1167256	344355646
R1	242800	39900384	411250	52103040	524922	759818	135658688	1257676	347747456
R2	244118	44722952	407710	52161136	526190	767622	136579472	1246358	361958592
R3	245176	40376144	401190	52142120	535582	763534	139157712	1230170	352372224
R4	233040	42871988	409198	51966436	524752	764852	124783648	1252924	372491776
R5	242496	41117028	405326	52062496	516388	771806	136882528	1275942	401396192
R6	242496	45638740	415842	52015832	523320	765260	136933904	1241862	371297984
R7	241572	44177444	400860	52008320	520536	751184	136499424	1265752	359820544
R8	239912	44786212	403238	52104916	517660	756780	125338456	1251434	368851776
R9	244306	40592980	412372	51991356	515832	745022	137451024	1252050	412798272
R10	244118	40818456	412142	51805272	523212	756552	135983792	1251838	374496192
R11	247204	41667444	415628	52047080	525120	768448	134866432	1260132	362754368
R12	242958	44177444	413074	52252196	523444	732860	137472480	1256952	412276480
R13	233524	44549680	406758	52051680	521662	744276	136002240	1235706	368465952
R14	239302	41182336	422312	52101952	512326	752518	136602656	1255054	353589344
R15	233524	43229504	404972	52025476	526746	747190	136276704	1206820	393963776
R16	242020	39900384	417924	52204916	531138	748574	139499232	1249258	445388288
R17	246990	44786212	404918	51900856	527602	755036	159957056	1237794	352688864
R18	246766	43030180	425460	52039544	529542	747934	125394816	1225168	368830336
R19	241846	39464924	410198	51881760	528874	758840	138432928	1268864	407806624
R20	235554	47071056	403858	52230720	525826	752016	135575744	1266606	352659488
R21	248864	42376560	396580	51941188	530234	769804	124008152	1259168	423684576
R22	245754	40063584	415758	52075608	522316	768606	152260976	1244274	408825376
R23	244644	43885832	415442	51951528	522320	760684	122684144	1270672	384366976
R24	233040	40592980	405738	51894592	523098	768390	167935840	1254910	373855360
R25	248088	42996544	408734	51992856	525696	752998	152755616	1245208	378619136
R26	247894	43229504	407182	52002192	520414	741556	125350728	1276976	392054304
R27	242568	39464924	404540	52032360	526990	766578	124378400	1276346	368050944
R28	237756	43030180	406454	52071604	520492	749094	124430048	1231070	371890560
R29	239872	44474468	401318	52038400	515340	757088	135502752	1264080	401505888
R30	248748	39900384	405602	51911884	512964	754208	138387008	1270144	389078688

Tablo A.13(Devam): Taillard:91 ; Taillard:94 Problemlerinin Ayırık birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Tai30a	Tai30b	Tai35a	Tai35b	Tai40a	Tai40b	Tai50a	Tai50b	Tai60a
Atanacak iş Sayısı	30	30	35	35	40	40	50	50	60
Atanacak Merkez Sayısı	30	30	35	35	40	40	50	50	60
Alt Sınır Değeri	1818146	637117113	2422002	283315445	3139370	637250948	4941410	458821517	7208572
R1	1954194	694288064	2628694	328225376	3399448	706408960	5401920	480107264	7902716
R2	1964168	689106432	2622134	309871968	3462694	700620992	5403030	486399040	7844526
R3	1936108	679094080	2606512	322422816	3448390	719706112	5397156	475466688	7855472
R4	1991002	679834304	2605128	322466080	3424720	697609600	5362318	492077184	7850000
R5	1983392	690178304	2620342	310816480	3417172	779520576	5386554	510424192	7909136
R6	1980356	682061568	2638296	294468352	3363630	699539200	5399952	471052704	7849566
R7	1986136	645009792	2644124	316929760	3394660	728230912	5378656	494731904	7809290
R8	1965234	743235648	2592666	308863936	3361838	715006464	5390464	488236544	7870428
R9	1935912	650356928	2620702	299196864	3427890	711428480	5437512	469556160	7919480
R10	1959430	741358208	2626822	328185664	3422690	679171392	5430668	488266944	7892492
R11	1975398	767510848	2648430	301251296	3387468	718160768	5412358	513207488	7886588
R12	1962856	745215424	2602794	325321536	3394510	704851648	5431984	494953600	7838050
R13	1957156	733316224	2636366	304413376	3419220	730369920	5401264	510234144	7827230
R14	1958746	660709120	2628682	334187904	3379974	717223488	5406026	496858848	7817122
R15	1967232	733564032	2626442	301933600	3429680	717778112	5373970	518935232	7816082
R16	1965826	748697408	2628908	310557024	3421878	705899712	5373098	493391008	7883238
R17	1923328	663433024	2652682	340927904	3384964	695841280	5369434	492512576	7873530
R18	1945662	789481152	2658498	308786400	3417182	717286272	5371610	490946560	7871926
R19	1988634	780558016	2638188	307194336	3391030	727873792	5375854	506686912	7912010
R20	1949770	641695872	2657126	302629024	3414708	706420928	5391714	499496416	7899212
R21	1949778	718652160	2608900	315066560	3440898	707181120	5391076	498393632	7922742
R22	1953624	743735360	2630012	305042880	3399800	744177472	5422962	510856704	7879104
R23	1971324	739194624	2605276	329715072	3430898	680627072	5322984	499104992	7892476
R24	1935968	681594688	2615938	300794080	3399206	701854336	5472078	489293216	7730208
R25	1937952	670797440	2624520	300996128	3407830	703027584	5397764	495553824	7855354
R26	1964468	659857280	2630408	292382688	3396008	693609024	5344726	482806432	7875572
R27	1916698	791922368	2642094	290581856	3414582	741612224	5377914	507489632	7933650
R28	1946658	658398080	2636698	298649856	3429812	722550144	5347458	484085056	7790358
R29	1947308	666677248	2612124	318301440	3433544	690628800	5390130	495923136	7857358
R30	1974764	801185984	2614928	307389888	3404272	706338432	5376718	485003936	7787696

Tablo A.13(Devam2): Taillard:91 ; Taillard:94 Problemlerinin Ayrık birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Tai60b	Tai64c	Tai80a	Tai80b	Tai100a	Tai100b	Tai150b	Tai256c
Atanacak iş Sayısı	60	64	80	80	100	100	150	256
Atanacak Merkez Sayısı	60	64	80	80	100	100	150	256
Alt Sınır Değeri	608215054	1855928	13557864	818415043	21125314	1185996137	498896643	44759294
R1	701927616	1863678	14594150	933894912	22736334	1338411264	544635712	45043728
R2	670385856	1866552	14624438	927111872	22848360	1321843456	543848320	44955788
R3	632334336	1864686	14626552	908328448	22772690	1331049344	564239616	45093624
R4	684702400	1882540	14629340	910684288	22885988	1360694912	549960576	45074664
R5	666237696	1857646	14569218	923951168	22697108	1339737728	543403712	44924568
R6	686947264	1864686	14640602	943287872	22779704	1313665024	554318016	45018460
R7	653883776	1863678	14678998	934021696	22708492	1317687552	559804480	44931464
R8	681786368	1867264	14694304	952228608	22669840	1337903744	552923264	44973728
R9	664807616	1901636	14763350	906391232	22756544	1325872384	559016704	44968164
R10	692990784	1863678	14682318	945381888	22803542	1321036672	552215488	44993432
R11	643424000	1860348	14693818	939902912	22828930	1367165056	556995456	45041024
R12	657925952	1875660	14555774	965644096	22776040	1365596544	558573568	45076712
R13	714173696	1855928	14643922	905137728	22768088	1333358336	548222464	44950208
R14	705798208	1860348	14629968	925555904	22725176	1366886400	559761152	45038136
R15	681277696	1857646	14594804	889534016	22857562	1335992576	548652992	45061792
R16	710250944	1857646	14647890	904834752	22785644	1323469952	550268032	44950608
R17	718944384	1875764	14628458	910286784	22804668	1324465024	549860864	45021304
R18	698794048	1866552	14700536	910279232	22790768	1364527232	553978304	44995216
R19	632278912	1875660	14637670	924733376	22670336	1317058688	558007872	44955272
R20	710339392	1855928	14560752	944291072	22765014	1288504448	556610048	44964512
R21	680928512	1855928	14627366	918694400	22819460	1336795136	548967488	44965920
R22	673487232	1864686	14587602	899789952	22890474	1307158272	552445504	45055028
R23	660906112	1863678	14725958	931294592	22801856	1363520384	558386816	44965432
R24	647607744	1860942	14681190	873615040	22821066	1323143552	558075456	45015732
R25	678494400	1858710	14710566	937543744	22688940	1346542208	548701248	44954712
R26	689148736	1855928	14674858	917432192	22793188	1357796992	552537856	45041956
R27	671832960	1889458	14633652	919590976	22723494	1359240960	562436096	45047620
R28	698617664	1863794	14703504	922149056	22664034	1351508992	557301184	45048576
R29	721491072	1857646	14631056	900039232	22784282	1371441920	551082368	45003584
R30	666558208	1860942	14761050	903521088	22746690	1358431744	544345920	45034232

Tablo A.14: ThBo:94 Problemlerinin Ayırık birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Tho30	Tho40	Tho150
Atanacak iş Sayısı	30	40	150
Atanacak Merkez Sayısı	150	150	150
Alt Sınır Değeri	149936	240516	8133398
R1	162548	259510	8720190
R2	157514	261000	8772148
R3	157468	266034	8708762
R4	162342	257806	8731702
R5	160306	261616	8721562
R6	164756	252372	8654236
R7	155690	252732	8668874
R8	155168	258788	8663772
R9	161148	259374	8750150
R10	159502	262944	8735252
R11	156882	263264	8695698
R12	159540	260996	8697760
R13	155216	258154	8743704
R14	156122	262038	8731214
R15	155896	257590	8737776
R16	160792	264072	8649378
R17	161006	262034	8761850
R18	158264	263906	8784806
R19	157870	256838	8745190
R20	159686	263916	8707724
R21	155368	267976	8756104
R22	155150	261686	8666462
R23	161576	262238	8736980
R24	165666	263684	8763242
R25	156776	256310	8678418
R26	160364	254662	8776198
R27	158462	259814	8756258
R28	158000	262890	8790230
R29	160898	257466	8740454
R30	160256	260356	8729996

Tablo A.15: WiWa:87 Problemlerinin Ayrık birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Wil50	Wil100
Atanacak iş Sayısı	50	100
Atanacak Merkez Sayısı	50	100
Alt Sınır Değeri	48816	273038
R1	49990	280402
R2	50380	282854
R3	50012	281498
R4	50828	282300
R5	50122	281340
R6	50120	280360
R7	50172	281736
R8	50160	281462
R9	50836	280396
R10	50410	281386
R11	50252	282648
R12	50258	280076
R13	50570	280432
R14	49780	281310
R15	50358	281656
R16	50158	282438
R17	49752	283064
R18	50760	283238
R19	49964	282164
R20	49872	283374
R21	50506	281854
R22	50582	282388
R23	50558	280236
R24	50686	281834
R25	50256	281964
R26	50494	282818
R27	50760	282206
R28	50050	282054
R29	50236	281528
R30	49810	280616

**EK-B: ÖNERİLEN SÜREKLİ BİREY-KOLONİ OPTİMİZASYONU MODELİ
İLE ELDE EDİLEN SONUÇLAR**

Tablo B.1: BuOf:77 Problemlerinin Sürekli birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Bur26a	Bur26b	Bur26c	bur26d	Bur26e	Bur26f	Bur26g	Bur26h
Atanacak iş Sayısı	26	26	26	26	26	26	26	26
Atanacak Merkez Sayısı	26	26	26	26	26	26	26	26
Alt Sınır Değeri	5426670	3817852	5426795	3821225	5386879	3782044	10117172	7098658
R1	5460294	3844118	5462200	3835087	5412358	3801745	10155529	7135329
R2	5462342	3842420	5458072	3844280	5474409	3810902	10158416	7162545
R3	5444135	3835242	5437598	3837853	5433030	3788105	10236757	7120917
R4	5455230	3840127	5456995	3851195	5399423	3809957	10206294	7124427
R5	5445106	3837847	5473302	3840150	5422662	3795628	10224325	7116202
R6	5449344	3864720	5433162	3844746	5435144	3810260	10177853	7137198
R7	5452349	3854717	5435079	3862657	5401508	3792293	10146343	7118098
R8	5451561	3835161	5466464	3847454	5401426	3861431	10130206	7145770
R9	5460074	3844848	5463079	3835871	5405357	3785235	10131520	7161741
R10	5473101	3851844	5452813	3866606	5429745	3789028	10166359	7183797
R11	5431694	3844936	5473921	3832341	5412735	3788911	10139231	7140276
R12	5447872	3844319	5452501	3842456	5407656	3788168	10121841	7141168
R13	5453155	3844452	5470102	3864169	5390637	3813358	10213746	7152757
R14	5440973	3863665	5458837	3828183	5396459	3788362	10224110	7120592
R15	5449779	3831702	5465280	3834567	5409656	3783919	10222313	7169832
R16	5442842	3849304	5452173	3834611	5421626	3831043	10172125	7128653
R17	5465033	3831102	5462824	3831677	5404751	3841820	10173418	7127399
R18	5436138	3838808	5460259	3851579	5406450	3789292	10144968	7173580
R19	5452711	3837446	5470164	3847684	5424233	3793101	10141006	7180085
R20	5446970	3840486	5445840	3842768	5414977	3784799	10155329	7158859
R21	5452702	3837803	5449065	3831367	5399019	3786952	10171572	7127231
R22	5452011	3845156	5455814	3840091	5402799	3826715	10239373	7124110
R23	5453415	3852893	5437593	3863860	5428056	3785418	10197576	7132327
R24	5456785	3835692	5461593	3823343	5395268	3793145	10163826	7107523
R25	5463355	3840406	5466209	3863585	5412475	3794501	10238467	7141109
R26	5441218	3848147	5461547	3873798	5428410	3818083	10168040	7181675
R27	5446309	3843209	5492809	3835112	5426787	3824071	10166157	7131407
R28	5458337	3856200	5455227	3852837	5423226	3800415	10178669	7111392
R29	5458011	3835364	5466759	3833255	5409960	3790969	10152310	7126137
R30	5461196	3831860	5466707	3855907	5405784	3791451	10207232	7122811

Tablo B.2: ChBe:89 Problemlerinin Sürekli birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Chr12a	Chr12b	Chr12c	Chr15a	Chr15b	Chr15c	Chr18a	Chr18b
Atanacak iş Sayısı	12	12	12	15	15	15	18	18
Atanacak Merkez Sayısı	12	12	12	15	15	15	18	18
Alt Sınır Değeri	9552	9742	11156	9896	7990	9504	11098	1534
R1	12178	10570	13196	13488	13328	15236	19870	1756
R2	11636	11768	13586	15938	11170	15620	19432	1688
R3	12606	10162	13086	14292	11944	16878	19172	1696
R4	12222	13382	13840	13564	14950	16360	17658	1864
R5	10240	10488	15570	15010	10886	14914	21756	1714
R6	12174	10692	11758	14726	11458	15090	20240	1650
R7	9988	13376	12270	15512	11710	14564	17820	1718
R8	11758	14128	12402	15152	10566	12294	20320	1716
R9	12174	9742	14392	17340	10396	13952	16494	1730
R10	11146	11018	15302	15406	12108	16762	14932	1566
R11	10754	10102	13034	12106	10518	14852	21414	1602
R12	14034	15136	11662	19538	13578	13262	17962	1690
R13	10804	13186	13094	13416	10678	15314	24814	1744
R14	11684	10564	13970	12444	11532	14810	18220	1902
R15	13890	10524	13384	14490	13004	14312	19672	1646
R16	11364	14150	13128	13814	11748	13120	20438	1664
R17	11242	12996	12176	11618	12666	16114	22806	1858
R18	11374	10596	11770	14330	13340	14410	19024	1664
R19	13604	11100	12802	15244	13814	15778	18222	1782
R20	13848	12336	11414	14748	10418	11664	22328	1736
R21	11278	12128	12968	14074	10750	15114	17312	1792
R22	10670	14150	13530	16740	12358	15788	22034	1610
R23	10122	10566	13176	11920	11868	16606	20792	1786
R24	15080	9790	14316	11768	9228	12692	16340	1776
R25	11668	11154	12470	14880	12958	14660	17710	1682
R26	11392	11628	12262	16794	12400	14200	17946	1784
R27	13192	11160	13632	15474	12510	16450	16468	1590
R28	11650	9742	11662	12426	14140	17042	17422	1744
R29	13036	10786	14236	12368	13436	14612	18946	1958
R30	12484	12478	13636	13162	9626	15190	22182	1680

Tablo B.2(Devam): ChBe:89 Problemlerinin Sürekli birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Chr20a	Chr20b	Chr20c	Chr22a	Chr22b	Chr25a
Atanacak iş Sayısı	20	20	20	22	22	25
Atanacak Merkez Sayısı	20	20	20	22	22	25
Alt Sınır Değeri	2192	2298	14142	6156	6194	3796
R1	3776	4020	25056	7348	7122	6766
R2	3460	3262	23404	6704	7222	7508
R3	3902	3370	27092	7398	7842	7120
R4	3664	3678	25678	7582	6612	7944
R5	3540	3778	20748	7392	7578	7986
R6	4256	3554	27246	7560	7136	6498
R7	3708	2894	23642	7032	7220	7604
R8	3590	3238	25748	7968	7214	7906
R9	3212	3634	24032	7700	7674	7382
R10	3216	3440	23606	6936	7254	7738
R11	3588	2970	25876	7062	7380	7190
R12	3896	3376	21978	6970	7618	6686
R13	3368	3342	24342	7010	7494	7824
R14	4196	3316	24382	7000	7396	6964
R15	3942	3098	26078	7254	7052	7098
R16	3468	3396	34530	7458	7406	7190
R17	3126	3722	16568	6926	7510	8104
R18	3472	3960	30408	7556	7178	8580
R19	3886	3466	29416	7454	7400	7876
R20	3372	3248	29072	7084	7112	7654
R21	3288	3232	29270	7750	7268	6980
R22	3728	3098	23598	7124	7286	6336
R23	3644	3782	26822	7392	7118	7492
R24	4180	3232	25050	7180	7240	7612
R25	4110	3032	25318	7300	7084	8574
R26	4072	2938	26358	7160	7050	7604
R27	3618	3090	30746	7136	7558	6542
R28	3852	3814	20392	7510	7072	6324
R29	4090	3248	31958	7028	7148	6646
R30	4186	3164	23254	7776	7582	7686

Tablo B.3: Elshafei:77 Problemlerinin Sürekli birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Els19
Atanacak iş Sayısı	19
Atanacak Merkez Sayısı	19
Alt Sınır Değeri	17212548
R1	18091056
R2	18789292
R3	19213018
R4	19600208
R5	17761510
R6	18515760
R7	18412972
R8	18474888
R9	17683346
R10	19163960
R11	19386274
R12	17738858
R13	18285130
R14	18149144
R15	19972508
R16	19473796
R17	18133186
R18	17560110
R19	17700930
R20	17505884
R21	18129490
R22	18349222
R23	17623734
R24	18280146
R25	17878546
R26	17548692
R27	18063068
R28	18532214
R29	19709418
R30	19536830

Tablo B.4: EsWu:90 Problemlerinin Sürekli birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Esc16a	Esc16b	Esc16c	Esc16d	Esc16e	Esc16f	Esc16g	Esc16h	Esc16i	Esc16j
Atanacak iş Sayısı	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Atanacak Merkez Sayısı	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Alt Sınır Değeri	68	292	160	16	28	0	26	996	14	8
R1	70	292	162	18	28	0	26	996	14	8
R2	70	292	160	16	28	0	26	996	14	10
R3	70	292	160	16	28	0	26	996	14	8
R4	68	292	160	18	30	0	26	996	14	8
R5	68	292	160	16	28	0	26	996	14	8
R6	68	292	160	16	30	0	26	996	14	8
R7	68	292	162	16	28	0	26	996	14	8
R8	70	292	162	18	30	0	26	996	14	8
R9	68	292	160	16	28	0	28	996	14	8
R10	70	292	160	16	28	0	26	996	14	8
R11	68	292	160	16	28	0	26	996	14	8
R12	68	292	162	18	28	0	26	996	14	8
R13	68	292	162	16	30	0	28	996	14	8
R14	68	292	160	18	28	0	28	996	14	8
R15	68	292	160	16	28	0	28	996	14	8
R16	70	292	160	16	28	0	26	996	14	8
R17	70	292	160	18	28	0	26	996	14	8
R18	68	292	162	16	28	0	28	996	14	8
R19	68	292	162	16	28	0	26	996	14	8
R20	70	292	160	16	30	0	26	996	14	10
R21	68	292	160	16	30	0	26	996	14	8
R22	68	292	160	18	30	0	28	996	14	8
R23	68	292	162	18	30	0	28	996	14	8
R24	70	292	164	16	30	0	28	996	14	8
R25	68	292	160	18	30	0	26	996	14	8
R26	68	292	160	16	28	0	28	996	14	10
R27	68	292	166	16	28	0	26	996	14	8
R28	70	292	160	18	28	0	28	996	14	8
R29	68	292	160	16	28	0	28	996	14	8
R30	70	292	160	18	30	0	26	996	14	8

Tablo B.4(Devam): EsWu:90 Problemlerinin Sürekli birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Esc32a	Esc32b	Esc32c	Esc32d	Esc32e	Esc32f	Esc32g	Esc32h	Esc64a	Esc128
Atanacak iş Sayısı	32	32	32	32	32	32	32	32	64	128
Atanacak Merkez Sayısı	32	32	32	32	32	32	32	32	64	128
Alt Sınır Değeri	130	168	642	200	2	2	6	438	116	64
R1	238	256	646	232	2	2	6	464	148	178
R2	224	268	642	230	2	2	6	476	128	168
R3	204	256	646	228	2	2	6	482	128	194
R4	202	260	642	216	2	2	6	458	138	156
R5	216	272	646	230	2	2	6	472	136	164
R6	210	280	644	216	2	2	6	466	146	142
R7	222	248	642	224	2	2	6	462	134	162
R8	216	232	642	226	2	2	6	454	152	184
R9	204	276	646	220	2	2	6	486	156	140
R10	216	252	642	226	2	2	6	478	132	194
R11	230	264	642	222	2	2	6	468	136	146
R12	208	276	642	214	2	2	6	472	138	196
R13	198	280	642	224	2	2	6	494	166	184
R14	220	264	646	228	2	2	6	498	134	200
R15	210	300	642	226	2	2	6	484	144	154
R16	232	244	642	224	2	2	6	470	156	194
R17	202	288	642	226	2	2	6	490	148	192
R18	210	248	646	218	2	2	6	468	132	164
R19	202	260	642	226	2	2	6	464	134	188
R20	238	280	650	224	2	2	6	466	132	190
R21	208	268	654	220	2	2	6	474	138	168
R22	218	296	642	228	2	2	6	480	140	170
R23	208	252	646	228	2	2	6	476	150	154
R24	210	248	642	216	2	2	6	470	134	188
R25	214	252	644	216	2	2	6	482	148	150
R26	204	264	642	230	2	2	6	488	138	128
R27	212	260	646	224	2	2	6	462	168	172
R28	226	240	650	232	2	2	6	468	132	188
R29	220	260	642	218	2	2	6	470	132	160
R30	218	268	642	222	2	2	6	452	160	158

Tablo B.5: HaReWo:92 Problemlerinin Sürekli birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Had12	Had14	Had16	Had18	Had20
Atanacak iş Sayısı	12	14	16	18	20
Atanacak Merkez Sayısı	12	14	16	18	20
Alt Sınır Değeri	1652	2724	3720	5358	6922
R1	1674	2726	3740	5382	6982
R2	1662	2724	3736	5404	6970
R3	1660	2732	3738	5378	7012
R4	1656	2744	3738	5420	6980
R5	1652	2724	3752	5400	7008
R6	1662	2730	3726	5390	7050
R7	1666	2724	3738	5380	7054
R8	1660	2724	3746	5396	7040
R9	1654	2746	3770	5382	6952
R10	1662	2746	3758	5392	6970
R11	1654	2724	3736	5396	6976
R12	1660	2744	3728	5394	6980
R13	1664	2746	3770	5374	7004
R14	1660	2740	3728	5366	6948
R15	1652	2728	3744	5400	6968
R16	1672	2748	3758	5408	6974
R17	1660	2744	3734	5408	6976
R18	1678	2730	3752	5392	6984
R19	1652	2728	3750	5418	6958
R20	1664	2746	3720	5376	6952
R21	1668	2740	3742	5378	7004
R22	1666	2746	3730	5422	7010
R23	1652	2724	3748	5390	7008
R24	1652	2726	3744	5394	6984
R25	1652	2724	3752	5412	6986
R26	1656	2732	3736	5370	6960
R27	1660	2724	3758	5390	6944
R28	1654	2728	3734	5432	6976
R29	1652	2744	3744	5410	6934
R30	1666	2728	3720	5366	6932

Tablo B.6: KrPr:78 Problemlerinin Sürekli birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Kra30a	Kra30b	Kra32
Atanacak iş Sayısı	30	30	32
Atanacak Merkez Sayısı	30	30	32
Alt Sınır Değeri	88900	91420	88900
R1	94100	95020	24860
R2	98740	99590	24906
R3	96150	97340	24742
R4	98460	99670	25290
R5	98460	98260	24992
R6	99020	98870	25200
R7	101100	95680	24466
R8	97100	97340	25030
R9	99260	98850	24806
R10	100640	99750	25026
R11	100370	102010	24300
R12	94800	95820	24900
R13	96580	99640	24898
R14	95900	98750	24198
R15	102090	101050	25362
R16	102760	97460	24580
R17	99320	101680	24428
R18	100810	101940	24496
R19	101550	99810	23818
R20	97850	99140	24660
R21	100810	100650	24778
R22	99450	100020	25114
R23	103050	100090	24892
R24	101320	97370	25504
R25	100570	99980	24624
R26	100910	98250	24604
R27	101890	101550	24978
R28	97070	99240	25350
R29	95760	99180	24830
R30	93260	101170	24726

Tablo B.7: LiPa:92 Problemlerinin Sürekli birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Lipa20a	Lipa20b	Lipa30a	Lipa30b	Lipa40a	Lipa40b	Lipa50a	Lipa50b
Atanacak İş Sayısı	20	20	30	30	40	40	50	50
Atanacak Merkez Sayısı	20	20	30	30	40	40	50	50
Alt Sınır Değeri	3683	27076	13178	151426	31538	476581	62093	1210244
R1	3810	31662	13539	183206	32327	596676	63198	1508797
R2	3807	28587	13533	184717	32179	579742	63442	1507545
R3	3796	32232	13518	185618	32333	592329	63491	1493761
R4	3824	30803	13567	180766	32207	584976	63490	1492513
R5	3798	31664	13476	181300	32380	586938	63449	1486696
R6	3801	32064	13573	183613	32265	582044	63541	1503885
R7	3798	31636	13602	183832	32248	586032	63573	1485503
R8	3808	31855	13511	183233	32259	591221	63485	1507581
R9	3783	32390	13524	179906	32356	587849	63580	1510308
R10	3809	31145	13523	183017	32262	592030	63186	1500171
R11	3788	31514	13553	182411	32334	581389	63433	1510744
R12	3800	31224	13521	180528	32259	581779	63488	1481466
R13	3807	31367	13554	178666	32363	581577	63534	1495958
R14	3798	31583	13557	181729	32254	583887	63331	1493433
R15	3805	31331	13533	179966	32250	584556	63377	1511820
R16	3798	31921	13544	182995	32224	581973	63374	1494641
R17	3818	31792	13602	181956	32139	589741	63434	1490899
R18	3783	31998	13555	181579	32244	596395	63527	1509087
R19	3806	31725	13530	183482	32153	588329	63340	1498898
R20	3803	31760	13552	183648	32407	591576	63565	1491957
R21	3798	31750	13529	183805	32363	588443	63452	1508419
R22	3813	31925	13556	181349	32331	591329	63462	1510275
R23	3791	31514	13594	182159	32332	585331	63567	1491591
R24	3820	31765	13534	181516	32278	587678	63480	1495401
R25	3819	31694	13533	181597	32186	593057	63407	1503770
R26	3792	31830	13501	180673	32379	581609	63354	1497277
R27	3796	31623	13510	183297	32190	589252	63523	1508889
R28	3813	32444	13621	179804	32230	593143	63443	1486362
R29	3790	32282	13546	181727	32223	594821	63443	1499368
R30	3801	31792	13479	183240	32347	596241	63531	1504124

Tablo B.7(Devam): LiPa:92 Problemlerinin Sürekli birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Lipa60a	Lipa60b	Lipa70a	Lipa70b	Lipa80a	Lipa80b	Lipa90a	Lipa90b
Atanacak iş Sayısı	60	60	70	70	80	80	90	90
Atanacak Merkez Sayısı	60	60	70	70	80	80	90	90
Alt Sınır Değeri	107218	2520135	169755	4603200	253195	7763962	360630	12490441
R1	109419	3173138	172644	5835121	257324	9941547	366269	15985060
R2	109188	3189127	172907	5849396	257488	9892787	366067	15944635
R3	109310	3187310	172839	5859793	257333	9957462	365975	15983422
R4	109412	3149925	172715	5842281	257555	9927142	366233	15982053
R5	109333	3177817	172937	5836568	257568	9911013	366248	15983575
R6	109173	3186101	172850	5847854	257498	9954474	366304	16003918
R7	109487	3173313	172974	5798390	257394	9927517	366291	16009144
R8	109469	3183073	172687	5853004	257524	9873670	366195	15985430
R9	109472	3170577	172843	5794694	257423	9929628	366199	15992121
R10	109399	3174591	172869	5840689	257318	9926789	366100	16011206
R11	109247	3178031	172601	5852365	257377	9889120	366269	16012446
R12	109415	3132005	172935	5853954	257342	9894686	366182	15978110
R13	109459	3148099	172914	5857082	257277	9953287	366072	15991179
R14	109506	3189434	172963	5851466	257471	9940872	366034	16005808
R15	109435	3151839	172963	5838229	257430	9927480	366306	16007840
R16	109427	3164720	172962	5851068	257503	9929380	366144	15967783
R17	109234	3176985	172956	5847910	257444	9924830	366006	15863527
R18	109310	3175537	172711	5796658	257446	9936795	366169	15988050
R19	109442	3167969	172835	5826260	257458	9920242	365607	15978260
R20	109397	3185715	172895	5840879	257489	9930666	366216	15973041
R21	109227	3189477	172918	5859778	257329	9775724	366267	15985691
R22	109244	3176108	172943	5861216	257082	9927508	366282	16009479
R23	109461	3159778	172696	5848457	257553	9947452	366253	16011574
R24	109478	3176327	172884	5843234	257515	9898133	366227	16005343
R25	109186	3185296	172912	5847829	257321	9941005	366141	15994590
R26	109197	3175751	172710	5818167	257424	9899483	366220	15980050
R27	109170	3179927	172584	5841289	257346	9950121	366309	16006406
R28	109179	3142633	172938	5851004	257452	9950497	366317	15997549
R29	109419	3142222	172587	5845604	257451	9921717	366321	15982257
R30	109487	3174577	172944	5853687	257292	9897014	366188	15971602

Tablo B.8: NuVoRu:68 Problemlerinin Sürekli birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Nug12	Nug14	Nug15	Nug16a	Nug16b	Nug17	Nug18	Nug20
Atanacak iş Sayısı	12	14	15	16	16	17	18	20
Atanacak Merkez Sayısı	12	14	15	16	16	17	18	20
Alt Sınır Değeri	578	1014	1150	1610	1240	1732	1930	2570
R1	600	1086	1234	1718	1294	1860	2042	2742
R2	596	1086	1176	1694	1342	1870	2092	2702
R3	600	1046	1196	1682	1320	1794	2050	2736
R4	588	1086	1198	1672	1296	1826	2042	2676
R5	612	1070	1222	1694	1282	1828	2042	2602
R6	614	1078	1258	1660	1266	1798	2028	2742
R7	586	1060	1182	1684	1278	1808	2034	2764
R8	586	1082	1226	1686	1306	1814	2040	2758
R9	600	1062	1200	1698	1282	1790	2008	2750
R10	586	1110	1186	1640	1312	1810	2010	2696
R11	618	1044	1232	1662	1358	1802	2064	2742
R12	604	1088	1208	1664	1284	1790	2032	2764
R13	616	1084	1232	1666	1326	1836	1984	2652
R14	606	1078	1230	1714	1322	1798	2038	2788
R15	606	1064	1224	1734	1314	1786	2032	2730
R16	602	1040	1202	1682	1306	1788	1998	2688
R17	586	1058	1202	1668	1312	1788	1988	2694
R18	586	1094	1168	1714	1342	1806	2018	2780
R19	618	1038	1168	1674	1266	1834	2016	2714
R20	588	1060	1220	1718	1240	1822	2050	2760
R21	618	1086	1166	1648	1262	1788	2044	2708
R22	608	1062	1210	1640	1326	1804	1950	2684
R23	586	1054	1204	1712	1320	1834	2030	2734
R24	600	1030	1196	1730	1310	1818	2006	2654
R25	604	1062	1210	1718	1304	1848	2000	2702
R26	594	1082	1188	1698	1278	1772	2026	2756
R27	596	1040	1194	1696	1264	1810	1972	2684
R28	586	1078	1232	1702	1298	1854	2010	2764
R29	600	1054	1186	1704	1278	1862	2050	2704
R30	586	1058	1266	1710	1282	1834	2004	2750

Tablo B.8(Devam): NuVoRu:68 Problemlerinin Sürekli birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Nug21	Nug22	Nug24	Nug25	Nug27	Nug28	Nug30
Atanacak iş Sayısı	21	22	24	25	27	28	30
Atanacak Merkez Sayısı	21	22	24	25	27	28	30
Alt Sınır Değeri	2438	3596	3488	3744	5234	5166	6124
R1	2628	3684	3706	3952	5642	5652	6720
R2	2564	3766	3814	3914	5600	5742	6570
R3	2542	3724	3842	4024	5990	5642	6766
R4	2688	3724	3830	3944	5766	5664	6496
R5	2586	3702	3706	3940	5582	5798	6702
R6	2564	3782	3744	3900	5846	5778	6644
R7	2588	3814	3824	3900	5662	5584	6432
R8	2618	3852	3798	4042	5792	5658	6612
R9	2542	3738	3792	3920	5856	5804	6472
R10	2570	3726	3766	3926	5754	6012	6494
R11	2518	3860	3782	3986	5664	5752	6682
R12	2598	3670	3732	3856	5704	5748	6694
R13	2624	3760	3672	4044	5912	5768	6584
R14	2512	3806	3618	3992	5690	5574	6674
R15	2636	3800	3704	4058	5742	5670	6552
R16	2568	3714	3758	3940	5684	5596	6528
R17	2542	3714	3810	3974	5716	5694	6614
R18	2676	3696	3766	4000	5728	5840	6752
R19	2614	3808	3746	4002	5708	5574	6460
R20	2630	3792	3594	3948	5732	5636	6420
R21	2650	3744	3776	4038	5758	5668	6642
R22	2570	3768	3844	3930	5796	5784	6514
R23	2560	3706	3788	3900	5784	5694	6608
R24	2612	3740	3814	4010	5760	5752	6548
R25	2578	3832	3748	3964	5682	5632	6582
R26	2604	3648	3818	3970	5784	5758	6504
R27	2544	3758	3912	4000	5720	5690	6552
R28	2566	3730	3882	3904	5728	5756	6564
R29	2588	3754	3616	4032	5760	5784	6484
R30	2592	3648	3728	4106	5888	5730	6556

Tablo B.9: Roucairol:87 Problemlerinin Sürekli birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Rou12	Rou15	Rou20
Atanacak iş Sayısı	12	15	20
Atanacak Merkez Sayısı	12	15	20
Alt Sınır Değeri	235528	354210	725522
R1	250632	380558	794580
R2	242702	384644	763190
R3	247324	380028	785366
R4	240664	374852	772878
R5	235654	385370	778154
R6	241700	368188	776886
R7	244480	370494	786756
R8	253170	382916	792354
R9	244044	382806	782612
R10	245828	372696	770820
R11	251564	379566	782668
R12	250224	376744	782260
R13	249252	383270	770160
R14	246906	381776	773412
R15	250494	385094	763692
R16	250498	376872	762792
R17	246200	374030	777408
R18	248538	372708	753380
R19	246948	386976	769140
R20	251076	380242	770880
R21	244048	380670	776328
R22	245508	388398	786238
R23	248810	375372	785338
R24	251392	381574	778304
R25	244126	369530	785580
R26	256262	384158	770124
R27	255356	378540	772056
R28	254650	375362	773414
R29	242346	372096	757454
R30	237244	382482	779454

Tablo B.10: ScVe:75 Problemlerinin Sürekli birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Scr12	Scr15	Scr20
Atanacak iş Sayısı	12	15	20
Atanacak Merkez Sayısı	12	15	20
Alt Sınır Değeri	31410	51140	110030
R1	32602	57206	125274
R2	31410	56040	120850
R3	33422	55068	134860
R4	31410	58524	132124
R5	33524	58412	123160
R6	33524	58568	121440
R7	34352	55388	128430
R8	33950	55856	138064
R9	34000	57202	136464
R10	34030	55776	132570
R11	32958	55156	133566
R12	32642	58768	141862
R13	33100	53898	134476
R14	32144	56110	124292
R15	33302	55662	123040
R16	33654	55920	123302
R17	33144	55406	131290
R18	34400	55374	118980
R19	31410	55170	128124
R20	31410	55416	127286
R21	35090	56772	134532
R22	33158	55810	130790
R23	32626	56838	123178
R24	32958	55370	122790
R25	33744	57874	134600
R26	32696	57536	126990
R27	33340	58220	128004
R28	32910	57860	132468
R29	31884	56966	123828
R30	33070	57822	121914

Tablo B.11: Skorin:90 Problemlerinin Sürekli birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Sko42	Sko49	Sko56	Sko64	Sko72	Sko81	Sko90
Atanacak iş Sayısı	42	49	56	64	72	81	90
Atanacak Merkez Sayısı	42	49	56	64	72	81	90
Alt Sınır Değeri	15812	23386	34458	48498	66256	90998	115534
R1	16886	24962	36768	51890	71052	97792	124072
R2	16916	24588	37556	52052	70776	98082	124452
R3	17352	25264	36560	51984	69858	97250	122984
R4	17274	24726	36730	51900	70148	96616	124948
R5	16934	25074	37156	52982	71268	97758	124936
R6	17122	25178	37144	52354	70970	96812	123116
R7	16932	24512	37032	51864	70838	98516	122970
R8	17288	24892	36882	52386	71536	96790	123862
R9	16990	25652	37664	52416	70392	98556	124870
R10	17016	24952	37294	51908	71142	96964	124054
R11	16932	25376	37132	51796	70864	97936	123810
R12	17048	25714	37818	51982	72104	97846	122974
R13	17114	25438	36684	52150	72032	97186	123552
R14	17084	25276	37352	52290	70896	97316	124054
R15	17248	25920	36980	52640	71422	97814	122974
R16	17170	25304	36748	52232	71210	97184	122446
R17	17144	25180	36964	52692	71016	98700	122688
R18	17276	24946	36430	52296	70900	97058	124048
R19	17142	25458	37706	52496	70066	96430	124250
R20	17128	25206	37170	51634	71434	97190	123942
R21	17262	24778	36810	51588	70084	98262	124376
R22	16816	25182	36768	51534	71334	98252	124720
R23	17004	24798	37600	51472	70444	96926	123684
R24	17164	24864	36964	51590	71508	97912	124122
R25	17098	25046	36828	51854	71514	96980	123926
R26	16880	24994	37464	52352	71192	97650	123714
R27	16974	25176	36536	51616	70978	97936	125670
R28	17266	25096	36790	52408	70462	95990	122496
R29	16888	25370	36458	51970	71554	97154	126224
R30	17286	24864	36924	52016	71984	97110	123198

Tablo B.11(Devam): Skorin:90 Problemlerinin Sürekli birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Sko100a	Sko100b	Sko100c	Sko100d	Sko100e	Sko100f
Atanacak iş Sayısı	100	100	100	100	100	100
Atanacak Merkez Sayısı	100	100	100	100	100	100
Alt Sınır Değeri	152002	153890	147862	149576	149150	149036
R1	162682	165082	161398	160202	159138	157806
R2	161020	166446	158036	160348	160128	157410
R3	162074	162966	157846	159804	159998	159154
R4	162782	166108	160532	158584	160496	158180
R5	162450	163662	157542	159670	160880	159336
R6	162516	164628	158134	159530	159832	158350
R7	163748	165118	159276	158528	161098	158222
R8	163290	165350	156828	160424	159982	160398
R9	162684	164324	158304	158716	159422	159628
R10	162982	166612	159404	158280	161476	157738
R11	163836	165368	157086	161112	159932	158412
R12	162854	162758	159038	160006	161506	158762
R13	162382	164970	157602	159770	159306	159540
R14	161914	164124	158984	160042	160132	159872
R15	162308	167104	157606	158236	157364	157412
R16	162542	164666	157906	159172	161540	159080
R17	162114	163626	158964	159212	159728	158392
R18	161966	164182	160626	160086	158888	158600
R19	161378	164124	158832	158608	160608	159420
R20	163874	163638	159100	159344	159610	158536
R21	163188	164220	159884	159062	160336	158584
R22	162584	164980	159420	158552	161344	158788
R23	163312	162516	157916	159310	159494	158424
R24	162272	163664	156312	161834	158972	158038
R25	162262	163134	159584	161054	159696	158686
R26	161312	162682	157498	160134	159626	158246
R27	162532	163580	157472	158688	161056	159850
R28	161700	163302	158682	159128	160964	159700
R29	161888	165498	159522	159012	158894	158694
R30	162226	163100	158930	159570	160648	159246

Tablo B.12: Steinberg:61 Problemlerinin Sürekli birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Ste36a	Ste36b	Ste36c
Atanacak iş Sayısı	36	36	36
Atanacak Merkez Sayısı	36	36	36
Alt Sınır Değeri	9526	15852	8239
R1	11342	25844	9748898
R2	11400	25010	9320116
R3	11750	21666	10154404
R4	11794	24240	10073842
R5	11334	23860	10113650
R6	11618	25722	9818606
R7	12134	24654	9972658
R8	12044	23530	10074020
R9	11458	25724	9481246
R10	11988	31702	10032080
R11	12482	22924	9241264
R12	11366	23904	9707940
R13	12306	26204	9837926
R14	11410	25206	9435608
R15	12316	21624	9901410
R16	12198	26280	9857692
R17	11458	24782	10100878
R18	11778	25678	10357476
R19	12380	23684	9644742
R20	11976	25948	9903968
R21	11294	23896	10533930
R22	11696	21376	9728310
R23	11640	23604	9305926
R24	11294	22070	10742708
R25	12624	22490	10024374
R26	11976	27064	10237450
R27	11554	21972	9204326
R28	12446	23966	9882748
R29	11640	24474	9363980
R30	11722	25426	9709286

Tablo B.13: Taillard:91; Taillard:94 Problemlerinin Sürekli birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Tai12a	Tai12b	Tai15a	Tai15b	Tai17a	Tai20a	Tai20b	Tai25a	Tai25b
Atanacak iş Sayısı	12	12	15	15	17	20	20	25	25
Atanacak Merkez Sayısı	12	12	15	15	17	20	20	25	25
Alt Sınır Değeri	224416	39464925	388214	51765268	491812	703482	122455319	1167256	344355646
R1	244758	39900384	405116	52153880	509938	765190	126179360	1289156	357281824
R2	229092	40592980	404078	52112544	531796	758592	125344072	1273418	366249120
R3	242546	39900384	402680	52177132	533840	747042	127749424	1254512	415300448
R4	246284	40353920	400328	52075684	536800	759702	126511712	1280750	373571712
R5	248042	43295156	409634	51957352	520826	765298	124307976	1275112	399067104
R6	237662	39476352	410666	52074188	533334	772474	127383512	1263932	352284544
R7	245202	39476352	408644	52080256	524428	749056	126762696	1247246	377844832
R8	239082	42197732	400100	52124704	516118	764600	123269456	1277082	357893984
R9	247270	41810064	407098	51917396	541438	763086	128545560	1271490	356708448
R10	232164	39476352	393866	52086960	523156	787140	127900488	1279996	360956800
R11	244470	39900384	403464	52185896	530898	763152	125372928	1252604	353219072
R12	251932	40112432	413750	52030872	524942	759350	126745416	1291224	375950752
R13	245910	40112432	407718	52139856	533478	761370	125148552	1244566	353590944
R14	240850	41147484	405756	52188468	514688	772162	127632456	1272712	361054176
R15	245822	40354000	406144	52019840	536000	750044	127197760	1278322	356472832
R16	239864	40186796	414300	52004424	519192	758688	130205584	1264086	372836416
R17	239830	40592980	409056	52126216	515758	751910	125163944	1280190	397065664
R18	229982	41789000	410960	52103876	505836	760174	125639784	1283746	357220512
R19	229092	40876092	402900	52084216	521724	747006	128241568	1252962	371650528
R20	242280	39464924	398834	51908276	528424	779312	128419648	1273654	371231424
R21	235704	40592980	412400	52022624	534916	756328	126534400	1283140	374972736
R22	236932	41118568	402444	52055696	534532	761060	128460640	1262592	369320672
R23	239280	40331628	400858	52127344	523266	742982	125805704	1288840	363649504
R24	241332	40593020	411106	52158284	528004	760202	128321368	1249330	395262496
R25	238902	41380764	406892	52042504	520908	763866	127742176	1256022	377630688
R26	229092	40673928	400640	51884360	537440	767690	126753440	1274198	362820960
R27	237440	44415720	400898	52018012	517750	762250	126803728	1278174	386194272
R28	232490	40593020	418204	52168712	527170	763752	125584216	1254316	353429824
R29	238270	39900384	415658	52157836	532632	766498	126738312	1257394	356064864
R30	229092	41222160	403182	51975400	534620	744596	124064168	1283284	369921152

Tablo B:13(Devam): Taillard:91; Taillard:94 Problemlerinin Sürekli birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Tai30a	Tai30b	Tai35a	Tai35b	Tai40a	Tai40b	Tai50a	Tai50b	Tai60a
Atanacak iş Sayısı	30	30	35	35	40	40	50	50	60
Atanacak Merkez Sayısı	30	30	35	35	40	40	50	50	60
Alt Sınır Değeri	1818146	637117113	2422002	283315445	3139370	637250948	4941410	458821517	7208572
R1	2009674	662064000	2725712	310598496	3464194	689256896	5576316	521429664	8165434
R2	2006444	651192384	2657054	316786432	3443478	723231232	5507420	501826752	7969310
R3	1977342	661062464	2718840	305892928	3538372	728131968	5607312	526582080	8018990
R4	2034960	644147456	2689408	299595424	3561314	737644096	5606804	520742432	8191010
R5	1993052	665571968	2709948	310886496	3464006	713731776	5603446	497093504	8141232
R6	1971828	689563712	2683766	300555712	3485342	708711104	5605096	481995904	8165642
R7	1944556	681799232	2736398	310367232	3543556	765121536	5577732	519963648	8134514
R8	2041772	659930240	2692168	292881984	3483636	777164800	5562822	498160672	8004496
R9	2025090	646942336	2708838	293116320	3482080	756990720	5601328	509195648	8021356
R10	2025112	697561984	2686728	317399680	3535712	710196544	5513890	492377280	8133674
R11	2012848	741315392	2670032	306433792	3530538	699376704	5519564	506541376	8124818
R12	2006792	681248000	2709394	317130080	3542054	738526720	5446858	499649792	8145706
R13	1966510	715447872	2645130	309738304	3445668	697501760	5629958	510114720	8002764
R14	1960430	684309760	2699568	300409504	3498332	730232512	5629314	508666912	8184710
R15	1957610	711243584	2670972	319422816	3462228	705342592	5614238	516843168	7996358
R16	2027682	714408704	2727848	312867616	3540548	679330880	5479730	494941504	8149630
R17	1986686	742278720	2708144	319822336	3552236	682169856	5588912	514405056	7958998
R18	1990404	648557632	2664158	292404864	3559536	745443136	5628732	523169152	8110778
R19	2009446	653900672	2679312	296098816	3441524	724638912	5526956	508356064	8141952
R20	2017110	664737856	2686418	296937824	3578796	741444032	5609702	528856288	8194628
R21	2008732	718333632	2676000	291656640	3566188	739994496	5490496	512874944	8017890
R22	2017314	658022272	2696714	296564800	3509156	769823872	5521080	497922016	8051564
R23	1955454	670775616	2663348	298334208	3519906	718186944	5538812	492876736	7898464
R24	1962848	717536896	2654348	306193824	3510050	748328768	5431198	504691904	8040292
R25	1971156	672582400	2676138	307043360	3517466	733425024	5583220	508519840	8041570
R26	1965914	650359936	2713402	299481728	3500906	680340160	5486818	528390080	8198192
R27	2008432	649906048	2633104	297306272	3445202	714623808	5427200	505745248	8172946
R28	2008884	695009728	2633680	325833248	3504026	685512768	5640038	505142592	8179834
R29	1985750	723885120	2694038	294248288	3434008	694661056	5620164	493928640	8181912
R30	1987848	651825088	2697816	319736480	3550484	768134272	5620120	489300320	8138718

Tablo B.13(Devam2): Taillard:91; Taillard:94 Problemlerinin Sürekli birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Tai60b	Tai64c	Tai80a	Tai80b	Tai100a	Tai100b	Tai150b	Tai256c
Atanacak iş Sayısı	60	64	80	80	100	100	150	256
Atanacak Merkez Sayısı	60	64	80	80	100	100	150	256
Alt Sınır Değeri	608215054	1855928	13557864	818415043	21125314	1185996137	498896643	44759294
R1	695065600	1860348	15122648	973200000	23451008	1372121216	564074816	45589448
R2	670948736	1863678	15058220	946199232	23517462	1380471296	563536576	45635080
R3	657811392	1866152	14833012	923242176	23464784	1379844224	567092352	45478608
R4	680405696	1867264	15177590	933217216	23487462	1372737280	561545344	45516872
R5	700495040	1857646	15077988	958033856	23522844	1363692032	549705472	45326004
R6	688045248	1855928	15153124	915398784	23414870	1353863680	552486336	45463528
R7	694547712	1866152	15126034	958401024	23482058	1359084800	561039872	45444008
R8	655688448	1872518	15179606	961123520	23503178	1371496064	561861760	45524272
R9	659213824	1861812	15133014	933849344	23447820	1367721216	571417728	45263368
R10	656349184	1857646	15044452	953862720	23537060	1376556032	569842368	45371888
R11	663282048	1855928	15067776	960756480	23487264	1336428032	567351296	45429532
R12	679208064	1857646	15122052	935058560	23442444	1360524160	560614848	45499664
R13	687103232	1855928	15103254	936074176	23510988	1363527552	563583936	45223268
R14	664499392	1857646	15111434	959035456	23474076	1371799808	556343232	45365456
R15	680451200	1864686	15059048	936203840	23461678	1359699072	569407360	45673056
R16	692331840	1864238	15010664	955110080	23466330	1364157952	561054592	45644792
R17	665355200	1865994	15024508	936135552	23490730	1371726080	562563904	45307632
R18	701775296	1866980	15127208	939920256	23495668	1340915584	563509696	45568304
R19	708191104	1863172	15122196	943409280	23444652	1389884928	567191552	45420716
R20	676077632	1915306	15150318	921654848	23441236	1359700864	568252608	45444356
R21	681992512	1869814	15181666	936292352	23429458	1359752960	558523328	45226704
R22	649925056	1867264	14927276	963033856	23153616	1372983552	554554176	45431476
R23	659687360	1860942	15081478	959780160	23442428	1344459520	558971200	45309768
R24	675868032	1867264	14992788	933936896	23519584	1363809152	563415680	45496244
R25	634592256	1865994	15121312	919525632	23488934	1372991360	562471936	45471956
R26	731161792	1857646	15176976	958088960	23476510	1367149440	563703232	45530792
R27	657376256	1874098	15104508	980267712	23487334	1378276992	568926720	45401968
R28	686539328	1859480	15146494	931951168	23421196	1332743680	556077504	45335440
R29	681612544	1866842	15146930	952860992	23482526	1344229248	556806720	45400944
R30	661798720	1866152	15159672	924695552	23519262	1407578880	569314624	45538504

Tablo B.14: ThBo:94 Problemlerinin Sürekli birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Tho30	Tho40	Tho150
Atanacak iş Sayısı	30	40	150
Atanacak Merkez Sayısı	150	150	150
Alt Sınır Değeri	149936	240516	8133398
R1	164458	270954	8911100
R2	162950	265594	8930434
R3	167306	263692	8896634
R4	157040	267554	8826940
R5	166350	265436	8841512
R6	162824	264596	8816796
R7	159086	263356	8863690
R8	165332	262392	8862238
R9	165786	266688	8854140
R10	163140	273410	8825770
R11	165234	268042	8847642
R12	168520	266376	8857548
R13	162072	267494	8903930
R14	165410	267338	8850570
R15	162774	265766	8862004
R16	157964	263878	8791002
R17	165196	268778	8871232
R18	164058	260328	8921368
R19	156240	259738	8762250
R20	157790	268558	8766572
R21	163364	274634	9015126
R22	159290	267206	8832966
R23	161694	267226	8897138
R24	166436	264324	8840902
R25	163440	271820	8797354
R26	163604	263258	8924280
R27	166972	269636	8890214
R28	165178	264246	8880168
R29	162690	260752	8836136
R30	159896	266152	8928154

Tablo B.15: WiWa:87 Problemlerinin Sürekli birey-koloni optimizasyon modeli ile elde edilen sonuçları

	Wil50	Wil100
Atanacak iş Sayısı	50	100
Atanacak Merkez Sayısı	50	100
Alt Sınır Değeri	48816	273038
R1	51030	284256
R2	50330	282660
R3	50090	283364
R4	51144	282038
R5	50306	283180
R6	51422	284814
R7	51356	283718
R8	50458	282912
R9	50548	283308
R10	50402	282642
R11	50532	281316
R12	50878	283770
R13	51196	283630
R14	50738	283492
R15	50830	282322
R16	51024	284818
R17	51016	281522
R18	50844	281546
R19	50014	281292
R20	50620	284448
R21	50828	283364
R22	51054	283584
R23	51618	284900
R24	50706	284112
R25	50900	282750
R26	50444	281426
R27	51214	282222
R28	50896	283068
R29	50694	282128
R30	50916	284770

**EK-C: ÖNERİLEN GENETİK ALGORİTMA MODELİ İLE ELDE EDİLEN
SONUÇLAR**

Tablo C.1: BuOf:77 Problemlerinin Genetik algoritma modeli ile elde edilen sonuçları

	Bur26a	Bur26b	Bur26c	bur26d	Bur26e	Bur26f	Bur26g	Bur26h
Atanacak iş Sayısı	26	26	26	26	26	26	26	26
Atanacak Merkez Sayısı	26	26	26	26	26	26	26	26
Alt Sınır Değeri	5426670	3817852	5426795	3821225	5386879	3782044	10117172	7098658
R1	5468718	3852931	5497806	3868352	5475053	3840194	10263317	7243765
R2	5484832	3864478	5475992	3901989	5447572	3846114	10186028	7218546
R3	5479780	3910744	5459884	3869933	5465586	3816032	10180719	7251593
R4	5471882	3909405	5490769	3860963	5514393	3826540	10231060	7199763
R5	5474079	3846214	5449741	3911888	5414822	3827644	10299608	7204079
R6	5518051	3844187	5485185	3842997	5481510	3851951	10311397	7205497
R7	5500577	3892650	5477213	3869579	5469637	3826953	10251759	7182695
R8	5458387	3846399	5539468	3886548	5438053	3862713	10288607	7205213
R9	5466309	3855249	5466846	3901428	5465537	3867342	10289557	7245463
R10	5485366	3852723	5513305	3871336	5511753	3890357	10260726	7211454
R11	5457156	3851505	5460695	3896865	5460682	3838366	10231045	7282368
R12	5485787	3863020	5496965	3914072	5432571	3794099	10214988	7219628
R13	5496710	3858093	5541533	3893233	5465135	3812600	10234314	7130744
R14	5482513	3873241	5496274	3886550	5416386	3834354	10173803	7214733
R15	5495524	3859343	5473796	3855997	5450338	3804574	10262050	7141299
R16	5469927	3869500	5504700	3844084	5427426	3812968	10250333	7204488
R17	5502107	3852398	5513599	3848433	5446688	3821747	10262226	7238712
R18	5472042	3878579	5480687	3866373	5457262	3859202	10256599	7205087
R19	5502601	3886365	5465555	3831986	5495882	3825725	10266311	7184040
R20	5509124	3854994	5509760	3839091	5457676	3848924	10179037	7212039
R21	5473890	3871196	5490992	3893307	5429871	3815264	10227817	7196753
R22	5464644	3846115	5509053	3833796	5414223	3826155	10245606	7238893
R23	5472935	3846254	5504277	3864730	5455209	3860252	10216852	7167353
R24	5489702	3863143	5502064	3914832	5479747	3862258	10216823	7189961
R25	5459720	3851078	5496456	3863325	5451350	3847326	10249133	7250113
R26	5492868	3852371	5525618	3855786	5445318	3854403	10253794	7197889
R27	5470773	3843433	5488436	3838305	5458170	3836916	10271277	7137198
R28	5481860	3849826	5496904	3835833	5444362	3846187	10306840	7220060
R29	5486533	3855238	5517081	3891970	5463604	3848094	10258344	7187058
R30	5495158	3837080	5495166	3856663	5482456	3817324	10304111	7236474

Tablo C.2: ChBe:89 Problemlerinin genetik algoritma modeli ile elde edilen sonuçları

	Chr12a	Chr12b	Chr12c	Chr15a	Chr15b	Chr15c	Chr18a	Chr18b
Atanacak iş Sayısı	12	12	12	15	15	15	18	18
Atanacak Merkez Sayısı	12	12	12	15	15	15	18	18
Alt Sınır Değeri	9552	9742	11156	9896	7990	9504	11098	1534
R1	14468	10766	15174	18606	16224	17210	26508	1778
R2	15586	10428	15856	13928	13164	16338	26568	1954
R3	12706	15738	14850	16864	15324	16900	27088	2056
R4	16514	16564	13030	14446	19990	18892	27476	2296
R5	10904	19670	15732	16376	18566	15316	27060	2064
R6	18628	19090	14640	20210	14420	19736	27804	1990
R7	16484	13204	14484	21062	20896	14254	29756	1766
R8	16472	17924	18472	17620	15384	14308	29178	2040
R9	19626	14278	16188	17526	14854	17630	32148	1934
R10	14166	15184	12588	22940	16562	17596	30760	2140
R11	16536	17268	20056	14984	17858	13556	20222	2096
R12	23378	14098	12672	17216	15828	18052	25964	1768
R13	15942	17092	15798	17066	15400	12386	22934	2000
R14	20640	15608	15440	18170	20892	19180	29170	2162
R15	16810	11794	18002	19198	13436	19452	25088	1736
R16	12008	19536	13878	19776	17920	17358	26722	1828
R17	13772	15924	17926	16304	18552	18268	30200	1950
R18	16520	19038	17744	18002	14546	18356	24824	1880
R19	14892	16892	16232	16520	19458	17390	23824	1994
R20	18680	15478	18346	15430	22014	18454	25958	1756
R21	19520	11214	15952	18480	23594	15840	33186	2012
R22	21566	16774	15824	18566	20562	13738	20156	1862
R23	10804	14388	15290	17466	16584	18938	29820	2172
R24	15288	14700	17526	13840	18414	20594	25880	1906
R25	13076	14110	13374	17142	18904	17806	30130	1750
R26	14572	19084	15432	16316	18446	15368	26646	1780
R27	15386	13870	15712	14560	15284	17500	22132	1942
R28	14200	13744	15232	18544	27032	19410	20998	2052
R29	13610	14328	15270	14626	16766	16456	25522	2148
R30	20524	18438	17004	23050	17518	14868	29552	2052

Tablo C.2(Devam): ChBe:89 Problemlerinin Genetik algoritma modeli ile elde edilen sonuçları

	Chr20a	Chr20b	Chr20c	Chr22a	Chr22b	Chr25a
Atanacak iş Sayısı	20	20	20	22	22	25
Atanacak Merkez Sayısı	20	20	20	22	22	25
Alt Sınır Değeri	2192	2298	14142	6156	6194	3796
R1	4918	3430	40438	7074	8538	7654
R2	4118	4424	39532	8024	7976	8184
R3	4822	4006	38860	7990	7446	9402
R4	3792	2846	35786	7734	8244	10196
R5	4830	3708	34648	8992	8238	8624
R6	5332	3304	52374	7598	7766	9794
R7	4388	3416	38684	6924	8232	9428
R8	4346	4076	37166	7894	8040	8826
R9	5024	3478	35986	7266	7732	7160
R10	5112	4066	37564	8344	7736	9688
R11	4816	4212	32870	7888	8188	8290
R12	4234	3904	42592	7846	8100	9230
R13	3880	3732	45182	8900	7682	8726
R14	4542	3058	39520	7486	7348	10594
R15	3858	4140	39268	7808	7336	9426
R16	3932	4018	40386	8896	7702	9614
R17	4588	4134	45240	7778	8386	9188
R18	4226	3604	22700	7832	7620	10338
R19	4632	4198	51164	7296	8188	10300
R20	3530	3814	30028	7686	8160	9000
R21	4168	3316	36796	8120	8854	7216
R22	4338	2964	42246	7592	7456	9966
R23	4618	3258	41912	7546	7560	9066
R24	4688	3264	41566	7824	8752	9098
R25	3262	3244	34200	7744	7718	8488
R26	5070	4536	22514	8364	7334	9570
R27	4142	4594	31688	7710	7664	9456
R28	4518	3820	44014	7942	7576	8992
R29	4038	3696	39628	8076	7576	9730
R30	3858	3064	31854	7752	7818	8552

Tablo C.3: Elshafei:77 Problemlerinin Genetik Algoritma modeli ile elde edilen sonuçları

	Els19
Atanacak iş Sayısı	19
Atanacak Merkez Sayısı	19
Alt Sınır Değeri	17212548
R1	27810996
R2	24324166
R3	24888878
R4	29031960
R5	20386702
R6	23861378
R7	28080944
R8	22102124
R9	27366632
R10	22580506
R11	21945998
R12	23418916
R13	22513440
R14	24421748
R15	25105858
R16	22763920
R17	27858838
R18	26067452
R19	24378504
R20	26357698
R21	23608922
R22	26083146
R23	28655296
R24	24592086
R25	22013274
R26	24170356
R27	23383256
R28	20903340
R29	24408506
R30	28268544

Tablo C.4: EsWu:90 Problemlerinin genetik algoritma modeli ile elde edilen sonuçları

	Esc16a	Esc16b	Esc16c	Esc16d	Esc16e	Esc16f	Esc16g	Esc16h	Esc16i	Esc16j
Atanacak iş Sayısı	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Atanacak Merkez Sayısı	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Alt Sınır Değeri	68	292	160	16	28	0	26	996	14	8
R1	68	292	164	20	28	0	28	996	14	8
R2	68	292	166	20	30	0	32	996	14	10
R3	68	292	164	20	28	0	30	996	14	8
R4	70	292	164	18	30	0	28	996	14	8
R5	72	292	164	20	30	0	30	996	14	8
R6	72	292	180	20	30	0	28	996	14	8
R7	70	292	166	18	30	0	32	996	14	8
R8	68	292	174	22	28	0	32	996	14	8
R9	74	292	166	16	28	0	28	996	14	8
R10	72	292	170	18	30	0	26	996	14	8
R11	74	292	162	18	30	0	32	996	14	8
R12	70	292	166	22	30	0	32	1002	14	8
R13	68	292	174	18	30	0	30	996	14	8
R14	68	292	170	18	30	0	30	996	14	8
R15	68	292	168	24	30	0	30	996	14	8
R16	74	292	168	20	30	0	28	996	14	8
R17	68	292	160	22	32	0	28	996	14	10
R18	68	292	172	20	28	0	28	996	14	10
R19	70	292	168	24	30	0	28	996	14	8
R20	70	292	164	18	28	0	26	996	14	8
R21	74	292	172	16	32	0	28	996	14	8
R22	68	292	162	24	28	0	32	996	14	10
R23	72	292	166	20	30	0	28	996	14	8
R24	70	292	164	18	30	0	30	996	14	8
R25	74	292	168	18	30	0	28	996	14	10
R26	74	292	160	20	28	0	26	996	14	12
R27	74	292	162	18	28	0	30	996	14	8
R28	68	292	162	20	32	0	28	996	14	8
R29	74	292	164	22	30	0	30	996	14	8
R30	68	292	162	20	28	0	32	996	14	8

Tablo C.4(Devam): EsWu:90 Problemlerinin genetik algoritma modeli ile elde edilen sonuçları

	Esc32a	Esc32b	Esc32c	Esc32d	Esc32e	Esc32f	Esc32g	Esc32h	Esc64a	Esc128
Atanacak iş Sayısı	32	32	32	32	32	32	32	32	64	128
Atanacak Merkez Sayısı	32	32	32	32	32	32	32	32	64	128
Alt Sınır Değeri	130	168	642	200	2	2	6	438	116	64
R1	204	300	644	230	2	2	8	502	138	112
R2	222	280	652	250	2	2	6	460	136	110
R3	236	264	650	238	2	2	6	498	126	150
R4	210	272	666	230	2	2	6	494	132	128
R5	226	296	646	234	2	2	6	524	144	142
R6	192	264	670	242	2	2	6	498	144	114
R7	210	296	648	232	2	2	6	446	134	110
R8	224	296	686	238	2	2	6	496	138	138
R9	240	280	648	232	2	2	6	496	128	146
R10	236	272	644	236	2	2	6	506	134	116
R11	242	308	644	234	2	2	6	498	140	140
R12	186	288	642	238	2	2	6	490	138	158
R13	252	288	646	242	2	2	6	470	156	114
R14	226	308	648	232	2	2	8	508	140	110
R15	216	272	666	224	2	2	6	468	134	100
R16	228	280	642	240	2	2	6	476	130	118
R17	224	284	682	242	2	2	6	502	146	128
R18	240	296	646	244	2	2	6	456	130	138
R19	222	268	646	236	2	2	6	472	128	120
R20	246	240	648	222	2	2	8	466	136	138
R21	204	240	646	234	2	2	6	492	134	130
R22	232	324	662	230	2	2	6	482	136	128
R23	216	284	648	232	2	2	6	508	124	120
R24	262	292	684	232	2	2	6	526	146	144
R25	256	300	642	218	2	2	6	490	154	130
R26	228	304	648	242	2	2	6	490	132	116
R27	208	296	642	234	2	2	6	470	130	114
R28	212	300	646	240	2	2	6	506	122	116
R29	212	300	658	238	2	2	6	500	152	134
R30	196	268	656	216	2	2	6	466	144	128

Tablo C.5: HaReWo:92 Problemlerinin genetik algoritma modeli ile elde edilen sonuçları

	Had12	Had14	Had16	Had18	Had20
Atanacak iş Sayısı	12	14	16	18	20
Atanacak Merkez Sayısı	12	14	16	18	20
Alt Sınır Değeri	1652	2724	3720	5358	6922
R1	1676	2754	3862	5462	7058
R2	1662	2746	3748	5526	7164
R3	1698	2728	3808	5450	7072
R4	1654	2746	3790	5438	7018
R5	1690	2766	3864	5424	7068
R6	1654	2760	3870	5476	6982
R7	1674	2772	3798	5488	7088
R8	1682	2772	3788	5526	7146
R9	1694	2748	3770	5462	7048
R10	1676	2774	3744	5498	7084
R11	1656	2778	3732	5508	7178
R12	1734	2748	3828	5410	7030
R13	1686	2770	3802	5452	7032
R14	1718	2770	3788	5510	7058
R15	1688	2740	3758	5496	7056
R16	1680	2778	3734	5418	7086
R17	1654	2756	3824	5446	7110
R18	1676	2770	3876	5398	7014
R19	1684	2768	3740	5450	7140
R20	1698	2876	3768	5564	7032
R21	1674	2732	3736	5448	7232
R22	1702	2762	3742	5442	7022
R23	1676	2764	3864	5490	7030
R24	1686	2748	3772	5450	7108
R25	1654	2838	3748	5460	7056
R26	1690	2786	3740	5522	7032
R27	1672	2744	3836	5488	7180
R28	1666	2778	3836	5414	7188
R29	1656	2848	3764	5526	7214
R30	1664	2772	3802	5410	7124

Tablo C.6: KrPr:78 Problemlerinin genetik algoritma modeli ile elde edilen sonuçları

	Kra30a	Kra30b	Kra32
Atanacak iş Sayısı	30	30	32
Atanacak Merkez Sayısı	30	30	32
Alt Sınır Değeri	88900	91420	88900
R1	102460	99440	25378
R2	101710	106160	25382
R3	103580	106070	24474
R4	101400	103820	25236
R5	103620	109400	24556
R6	104990	108440	24782
R7	100480	103020	25354
R8	101100	101760	25296
R9	104140	105070	25398
R10	100690	102230	24844
R11	110150	100200	25252
R12	107690	109490	25052
R13	100290	104400	25276
R14	103290	106110	24520
R15	102930	100580	25040
R16	102020	103590	24526
R17	97340	104110	25036
R18	102740	104790	25404
R19	108140	103730	24566
R20	106820	101840	25514
R21	105270	107400	24692
R22	103510	107090	24994
R23	99180	106710	25010
R24	106860	105310	25384
R25	107870	105950	25482
R26	102730	106350	25164
R27	107030	103440	25210
R28	105690	104090	25312
R29	106230	101150	24520
R30	101730	105840	25316

Tablo C.7: LiPa:92 Problemlerinin genetik algoritma modeli ile elde edilen sonuçları

	Lipa20a	Lipa20b	Lipa30a	Lipa30b	Lipa40a	Lipa40b	Lipa50a	Lipa50b
Atanacak iş Sayısı	20	20	30	30	40	40	50	50
Atanacak Merkez Sayısı	20	20	30	30	40	40	50	50
Alt Sınır Değeri	3683	27076	13178	151426	31538	476581	62093	1210244
R1	3836	32316	13536	183859	32193	586423	63361	1476358
R2	3820	32434	13562	184274	32224	588737	63311	1485030
R3	3823	32328	13571	181711	32300	586271	63315	1484128
R4	3830	32011	13598	184102	32241	581829	63315	1470015
R5	3822	32121	13568	181451	32273	579054	63408	1488432
R6	3831	32320	13551	181549	32288	581525	63232	1477972
R7	3818	33136	13580	181547	32215	581696	63339	1477213
R8	3820	32749	13550	183829	32333	592103	63274	1487231
R9	3815	32572	13598	182280	32209	586616	63413	1484568
R10	3829	32004	13568	183149	32238	584443	63265	1477174
R11	3813	31984	13582	182995	32244	588760	63398	1488342
R12	3807	32117	13558	182638	32279	588751	63283	1487758
R13	3820	32214	13597	181689	32295	585419	63274	1481928
R14	3840	32078	13558	180039	32199	584048	63291	1489891
R15	3820	32410	13565	184126	32251	583631	63346	1490535
R16	3824	31665	13525	184167	32258	589435	63259	1489462
R17	3836	31784	13595	184708	32289	585979	63357	1487072
R18	3810	33256	13558	179937	32259	585795	63389	1482037
R19	3819	32446	13587	182334	32208	589569	63421	1478282
R20	3821	31817	13560	181767	32238	584592	63300	1484951
R21	3802	32168	13523	182830	32140	584751	63332	1489950
R22	3802	32711	13531	183251	32316	589190	63373	1476141
R23	3805	33063	13597	181274	32312	585751	63277	1482056
R24	3807	32129	13564	183091	32222	586221	63218	1485620
R25	3802	32736	13540	182440	32276	589389	63265	1488676
R26	3832	32364	13587	181694	32237	590009	63313	1473440
R27	3825	31949	13540	183358	32229	588230	63314	1471704
R28	3831	32888	13577	183290	32214	582235	63346	1474532
R29	3813	32559	13575	181579	32284	586992	63314	1477982
R30	3853	32587	13585	182662	32221	589627	63233	1485940

Tablo C.7(Devam):LiPa:92 Problemlerinin genetik algoritma modeli ile elde edilen sonuçları

	Lipa60a	Lipa60b	Lipa70a	Lipa70b	Lipa80a	Lipa80b	Lipa90a	Lipa90b
Atanacak iş Sayısı	60	60	70	70	80	80	90	90
Atanacak Merkez Sayısı	60	60	70	70	80	80	90	90
Alt Sınır Değeri	107218	2520135	169755	4603200	253195	7763962	360630	12490441
R1	109159	3114439	172545	5737968	256544	9753738	365007	15736125
R2	108873	3120341	172410	5751451	256712	9768292	365064	15627384
R3	109151	3136337	172388	5749862	256598	9725366	365117	15677704
R4	108995	3134672	172118	5722986	256466	9781209	364979	15654855
R5	109023	3122995	172433	5702961	256364	9718218	365019	15702403
R6	108958	3111673	172196	5736440	256610	9699819	365260	15714943
R7	109103	3108077	172430	5751932	256516	9746836	365149	15680515
R8	109153	3119283	172353	5741464	256741	9772699	365237	15715671
R9	109043	3120143	172458	5740664	256467	9776806	365183	15706395
R10	109169	3118851	172262	5741598	256645	9753755	365250	15740183
R11	109028	3133738	172402	5714869	256573	9721616	364987	15748386
R12	109091	3135082	172291	5721781	256487	9734773	364999	15634450
R13	109128	3134781	172381	5736645	256457	9763747	365176	15734840
R14	108993	3122756	172349	5734460	256580	9798097	365104	15677903
R15	109041	3133768	172153	5761186	256458	9682670	365036	15660477
R16	108969	3127281	172158	5747232	256717	9731808	365172	15671555
R17	109102	3130713	172321	5730259	256680	9780199	364941	15670236
R18	109057	3128445	172212	5758157	256585	9765969	364992	15738632
R19	109112	3118243	172336	5712133	256677	9747239	365034	15672699
R20	108945	3128925	172254	5766834	256476	9780389	364936	15688018
R21	109219	3138476	172382	5741089	256618	9741612	365134	15656777
R22	109025	3123843	172300	5722450	256709	9715688	365040	15762344
R23	109018	3121032	172328	5734628	256465	9746600	365109	15631409
R24	109040	3150231	172386	5735208	256647	9702092	364710	15727386
R25	108954	3123466	172289	5732787	256494	9755528	364874	15742483
R26	109061	3119966	172182	5748908	256653	9769573	364897	15773767
R27	109092	3112570	172381	5740887	256648	9693450	365007	15787648
R28	109090	3129643	172257	5753983	256524	9743741	365145	15715299
R29	109156	3124220	172260	5725155	256608	9750743	365029	15698137
R30	109124	3119332	172337	5761628	256758	9756459	365022	15720267

Tablo C.8: NuVoRu:68 Problemlerinin genetik algoritma modeli ile elde edilen sonuçları

	Nug12	Nug14	Nug15	Nug16a	Nug16b	Nug17	Nug18	Nug20
Atanacak iş Sayısı	12	14	15	16	16	17	18	20
Atanacak Merkez Sayısı	12	14	15	16	16	17	18	20
Alt Sınır Değeri	578	1014	1150	1610	1240	1732	1930	2570
R1	644	1056	1196	1730	1294	1974	2144	2788
R2	616	1094	1186	1734	1410	1842	2022	2760
R3	610	1088	1266	1770	1358	1854	2018	2812
R4	628	1108	1268	1738	1328	1872	2050	2866
R5	632	1112	1252	1698	1308	1948	2004	2734
R6	612	1112	1246	1830	1354	1946	2024	2740
R7	606	1066	1212	1704	1344	1906	2074	2780
R8	594	1072	1216	1768	1360	1928	2074	2714
R9	642	1062	1226	1788	1386	1902	2096	2794
R10	646	1082	1290	1730	1352	1920	2014	2750
R11	638	1104	1208	1750	1372	1860	2064	2714
R12	650	1140	1254	1712	1330	1802	2076	2828
R13	632	1094	1250	1726	1420	1922	2044	2742
R14	598	1104	1250	1702	1334	1858	2098	2806
R15	592	1078	1260	1730	1350	1934	2080	2702
R16	630	1066	1268	1664	1340	1818	1982	2738
R17	616	1098	1280	1776	1342	1832	2062	2696
R18	606	1070	1246	1720	1356	1918	2068	2830
R19	640	1052	1220	1764	1376	1906	1984	2716
R20	656	1118	1246	1748	1348	1792	2048	2780
R21	638	1110	1200	1804	1336	1912	2072	2774
R22	614	1120	1226	1728	1340	1876	2092	2688
R23	620	1052	1242	1720	1386	1880	2060	2766
R24	630	1088	1238	1732	1380	1858	2040	2814
R25	606	1058	1270	1754	1382	1872	2108	2842
R26	618	1064	1252	1762	1332	1892	2150	2740
R27	590	1084	1242	1662	1350	1870	2148	2804
R28	618	1112	1196	1746	1316	1918	1972	2804
R29	596	1094	1230	1698	1334	1830	2086	2774
R30	616	1144	1220	1666	1370	1914	2066	2732

Tablo C.8(Devam): NuVoRu:68 Problemlerinin genetik algoritma modeli ile elde edilen sonuçları

	Nug21	Nug22	Nug24	Nug25	Nug27	Nug28	Nug30
Atanacak iş Sayısı	21	22	24	25	27	28	30
Atanacak Merkez Sayısı	21	22	24	25	27	28	30
Alt Sınır Değeri	2438	3596	3488	3744	5234	5166	6124
R1	2660	3876	3822	3980	5976	5714	6856
R2	2686	3768	3788	4238	5956	5834	6694
R3	2684	3710	3762	3944	5886	5784	6764
R4	2534	3702	3910	4148	5920	5932	6864
R5	2688	3780	3820	4208	5924	5898	6750
R6	2658	3814	3816	4072	5836	5896	6766
R7	2666	3786	3842	4070	5816	5984	6914
R8	2620	3962	3768	4164	5900	5992	6976
R9	2650	3754	3662	4200	5776	5956	6740
R10	2680	3676	3862	4144	5964	5800	6760
R11	2666	3810	3828	3946	5740	5802	6588
R12	2554	3752	3758	4070	5988	5696	6648
R13	2698	3792	3928	4064	5752	5748	6784
R14	2518	3808	3796	4066	5934	5784	6728
R15	2586	3758	3756	4114	6144	5966	6646
R16	2652	3786	3748	4032	5982	5888	6702
R17	2720	3778	3798	4086	6082	5848	6570
R18	2644	3818	3700	4116	5828	5808	6706
R19	2658	3756	3890	3932	5896	5876	6588
R20	2678	3748	3838	3988	6038	5810	6680
R21	2622	3734	3854	4036	5668	5658	6728
R22	2606	3760	3860	4184	5924	5912	6562
R23	2758	3896	3762	3898	5948	5852	6740
R24	2730	3790	3944	3952	6066	5812	6670
R25	2646	3802	3804	4126	5804	5874	6822
R26	2736	3870	3816	3988	5958	5914	6578
R27	2622	3762	3938	4164	5888	6008	6580
R28	2626	3824	3904	4096	5918	5938	6796
R29	2642	3902	3754	4176	6004	5924	6532
R30	2622	3736	3818	4168	5990	5960	6684

Tablo C.9: Roucairol:87 Problemlerinin genetik algoritma modeli ile elde edilen sonuçları

	Rou12	Rou15	Rou20
Atanacak iş Sayısı	12	15	20
Atanacak Merkez Sayısı	12	15	20
Alt Sınır Değeri	235528	354210	725522
R1	257238	403554	807030
R2	252810	393796	801460
R3	250062	405928	810222
R4	259824	390764	779128
R5	249492	383414	798316
R6	244350	385094	799978
R7	252098	400472	772370
R8	258046	394614	785720
R9	253486	373486	802588
R10	249742	410678	792984
R11	255792	395968	791066
R12	261166	389978	800966
R13	249520	398270	800156
R14	252830	391130	806776
R15	266570	391570	802806
R16	252436	398896	816014
R17	250464	399388	808850
R18	255372	410516	793262
R19	258720	369268	800934
R20	265792	395794	786610
R21	245752	406562	773354
R22	255036	386562	793674
R23	251726	398152	792854
R24	251392	392592	764300
R25	249036	395616	792786
R26	251198	386478	788674
R27	260162	392480	805636
R28	248668	393774	800986
R29	260204	382440	782168
R30	256024	389254	804746

Tablo C.10: ScVe:75 Problemlerinin genetik algoritma modeli ile elde edilen sonuçları

	Scr12	Scr15	Scr20
Atanacak iş Sayısı	12	15	20
Atanacak Merkez Sayısı	12	15	20
Alt Sınır Değeri	31410	51140	110030
R1	37094	59618	133214
R2	34324	60114	145352
R3	36026	62666	138130
R4	31884	62344	145702
R5	34414	57746	153966
R6	35604	56950	137994
R7	37622	60572	138266
R8	35294	63246	143198
R9	37010	56928	155142
R10	34636	61004	143410
R11	34008	60436	145760
R12	35958	55532	128332
R13	36962	59570	145560
R14	33572	59750	129008
R15	37188	59938	143654
R16	35008	61004	143446
R17	35114	60174	131530
R18	35492	55464	138848
R19	35846	64232	132482
R20	35494	60608	133762
R21	36152	59656	140362
R22	35582	60260	126990
R23	36600	59082	133438
R24	36772	63256	132120
R25	32820	59500	140056
R26	36240	58476	137672
R27	33660	67476	136868
R28	36120	55868	132438
R29	34480	60814	138434
R30	34336	60826	142182

Tablo C.11: Skorin:90 Problemlerinin genetik algoritma modeli ile elde edilen sonuçları

	Sko42	Sko49	Sko56	Sko64	Sko72	Sko81	Sko90
Atanacak iş Sayısı	42	49	56	64	72	81	90
Atanacak Merkez Sayısı	42	49	56	64	72	81	90
Alt Sınır Değeri	15812	23386	34458	48498	66256	90998	115534
R1	17562	25718	36822	53136	71532	97832	123936
R2	17538	25428	37742	52672	70818	96986	124898
R3	17338	25052	37522	52136	71224	97780	123660
R4	17344	26064	36600	52000	70284	96770	125452
R5	17554	25116	37436	52780	71170	98216	124130
R6	17342	25588	37324	51946	71116	99176	123772
R7	17210	25480	37290	53226	71270	97938	123368
R8	17108	25260	37178	52226	71246	1E+05	123244
R9	16848	25578	36362	51838	70758	96634	124016
R10	17120	25010	37560	51362	72404	97606	124128
R11	17226	25840	37428	53018	70876	97954	123474
R12	17230	25276	37736	52330	71648	97014	123930
R13	17606	25176	37738	52312	71786	98614	123350
R14	17152	25706	37236	52820	70432	96926	123192
R15	17506	25562	37480	53100	72050	97512	123722
R16	16936	25590	37464	51984	71454	96974	122888
R17	17184	25418	37096	52740	71144	98024	122166
R18	17338	25474	37610	52570	70462	97216	123544
R19	17424	25708	38240	51944	71386	98436	123536
R20	17034	25612	36852	52262	70236	98154	124664
R21	17414	25446	37440	53508	70948	99026	124594
R22	17550	25080	36648	52832	71920	98170	124720
R23	16838	25350	37432	52434	72200	95916	123484
R24	17144	25754	36992	52030	71456	97828	123650
R25	17990	25548	37110	52556	70528	98614	125108
R26	17296	25664	37394	53072	71674	98514	124392
R27	17188	25708	36562	52626	71758	98028	123314
R28	17242	25558	37428	52570	70824	97316	123440
R29	16926	25674	37306	52572	70858	97920	122900
R30	17464	25438	38032	52124	71662	98014	125310

Tablo C.11(Devam): Skorin:90 Problemlerinin genetik algoritma modeli ile elde edilen sonuçları

	Sko100a	Sko100b	Sko100c	Sko100d	Sko100e	Sko100f
Atanacak iş Sayısı	100	100	100	100	100	100
Atanacak Merkez Sayısı	100	100	100	100	100	100
Alt Sınır Değeri	152002	153890	147862	149576	149150	149036
R1	162326	164942	158852	159794	160418	158154
R2	163974	164790	158254	161030	160036	159224
R3	162328	165810	159074	158856	160046	159054
R4	162548	163810	158160	160046	160120	157302
R5	163346	164404	158356	161418	159890	160862
R6	163986	164256	157296	160584	160932	159044
R7	161722	167032	157880	160416	160352	159486
R8	162088	162748	159432	159306	159826	159760
R9	161636	165232	159538	160598	161962	159830
R10	162580	164268	160586	162108	160978	160066
R11	163698	164602	159998	159884	159398	160428
R12	161356	161914	158482	158580	160516	159056
R13	162536	164452	159914	159214	159844	159650
R14	164518	163830	158790	161794	159486	160030
R15	161768	164666	157846	159088	160422	157994
R16	162626	163346	160068	158166	160246	159306
R17	161662	164188	158358	161850	161066	158966
R18	161080	164554	158138	157956	158268	160240
R19	162724	164452	160052	158990	159640	159648
R20	161386	162912	157926	159574	161714	158524
R21	162534	165736	156762	162678	160838	158362
R22	162000	164794	158412	160206	160328	160614
R23	161114	164700	159276	158810	159666	160414
R24	161392	163446	158862	160860	159606	157022
R25	163776	165824	159802	159678	158964	161512
R26	161520	163494	158184	159708	159700	158842
R27	164236	163738	158634	159786	159724	160188
R28	163242	164064	159592	161208	161628	159354
R29	162962	165826	159896	160308	161758	159104
R30	160246	163336	157868	159968	160790	159010

Tablo C.12: Steinberg:61 Problemlerinin genetik algoritma modeli ile elde edilen sonuçları

	Ste36a	Ste36b	Ste36c
Atanacak iş Sayısı	36	36	36
Atanacak Merkez Sayısı	36	36	36
Alt Sınır Değeri	9526	15852	8239
R1	13076	21444	9999124
R2	12228	25808	9731284
R3	11748	22250	9597412
R4	11200	24036	9599090
R5	12316	22362	9763038
R6	11666	23372	9809494
R7	10796	28866	10296072
R8	12330	23650	9313424
R9	11986	22878	10462308
R10	11970	21388	9693826
R11	12640	21620	9548242
R12	11448	21934	9265112
R13	12152	23742	9896374
R14	12624	24188	10401356
R15	12288	23546	9453114
R16	11946	23970	10339644
R17	11936	21900	9497418
R18	12586	26694	9749856
R19	12010	22180	10169836
R20	12238	21786	10716892
R21	12438	24290	10493518
R22	12470	23508	10252702
R23	12246	24286	9250166
R24	11298	23826	9892170
R25	11452	24084	10578658
R26	12712	23302	9793152
R27	11604	25116	9242788
R28	12056	21332	9893430
R29	12208	22616	9867868
R30	12432	23610	10067014

Tablo C.13: Taillard:91; Taillard:94 Problemlerinin genetik algoritma modeli ile elde edilen sonuçları

	Tai12a	Tai12b	Tai15a	Tai15b	Tai17a	Tai20a	Tai20b	Tai25a	Tai25b
Atanacak iş Sayısı	12	12	15	15	17	20	20	25	25
Atanacak Merkez Sayısı	12	12	15	15	17	20	20	25	25
Alt Sınır Değeri	224416	39464925	388214	51765268	491812	703482	122455319	1167256	344355646
R1	246750	47579648	418894	52237796	547850	770594	140000128	1289534	413807776
R2	251062	46077856	426548	52347856	536260	787458	141142272	1277436	367240192
R3	242802	49170996	419838	52084072	531606	791954	137325840	1308596	413192768
R4	248300	42602488	430448	52314648	558178	747214	136923280	1263102	403907360
R5	258290	45733056	407322	52551964	550334	758590	138783216	1279952	430983680
R6	257916	42602392	435728	52324824	543920	785056	139010608	1285638	461616768
R7	256120	45507020	434334	52262328	527358	780028	125491544	1280706	405254720
R8	260674	48938800	406612	52336784	532426	792726	137741488	1290850	372681216
R9	253736	41628520	416924	52416304	549022	806696	138737392	1295512	406687456
R10	262406	47685820	404544	52253672	546972	763606	140267808	1292104	415989280
R11	251376	44701352	421902	52427788	554056	761234	140659872	1292374	417093600
R12	240766	44537792	426412	52165484	550712	778650	138391152	1280522	385531040
R13	245012	45928156	421444	52274792	527010	791042	130864968	1292480	371151200
R14	257998	46749248	413400	52422056	532122	777354	138116512	1284856	427685440
R15	265086	44535096	418724	52322944	548816	786808	139189888	1309360	471418176
R16	245636	46588704	418126	52352584	549000	793868	128521472	1300296	422805888
R17	264186	45422928	419092	52142744	542458	781180	137458176	1265888	373228256
R18	253254	44709768	416118	52227852	542520	766966	140983840	1329752	373845472
R19	249048	44304648	427614	52171648	547956	780914	139871680	1288570	429826816
R20	251238	44173644	417122	52277328	559340	779636	173052240	1307146	450929216
R21	252334	45327520	416362	52233576	543206	789878	140733536	1301258	455517536
R22	258288	42996544	422168	52275896	549458	771378	135179392	1307072	396870272
R23	253678	48769536	418962	52464820	543590	766012	166181904	1302870	395584288
R24	242720	46082248	421862	52222280	523624	783960	125905952	1303486	409365952
R25	250562	45010328	415904	52407152	538792	789900	133949640	1283216	490543872
R26	253916	40876092	422598	52336764	526270	799850	129368568	1274730	440553568
R27	247786	44826024	406008	52122916	550334	779364	129780416	1275706	390279840
R28	247988	41828304	423270	52279072	537782	774632	151913520	1279964	411196000
R29	255082	48817556	417188	52314184	553180	759690	140605856	1267142	409333312
R30	250270	42460304	425358	52372016	552380	768010	141130464	1279492	451955904

Tablo C.13(Devam): Taillard:91; Taillard:94 Problemlerinin genetik algoritma modeli ile elde edilen sonuçları

	Tai30a	Tai30b	Tai35a	Tai35b	Tai40a	Tai40b	Tai50a	Tai50b	Tai60a
Atanacak iş Sayısı	30	30	35	35	40	40	50	50	60
Atanacak Merkez Sayısı	30	30	35	35	40	40	50	50	60
Alt Sınır Değeri	1818146	637117113	2422002	283315445	3139370	637250948	4941410	458821517	7208572
R1	1959816	673364864	2718478	335239680	3461962	706641024	5484198	527312128	7946958
R2	1997314	880165504	2665540	315292672	3491938	714397184	5460802	519655104	7876136
R3	1991034	709921344	2668562	326975744	3482778	761637632	5428438	488157312	7997084
R4	2021668	804203968	2645616	317900512	3533510	741749568	5496396	515836736	7839438
R5	2003754	735031488	2662916	312799968	3460356	735821504	5404974	506936864	7988436
R6	1985330	746202112	2649662	338602976	3447870	791373568	5440988	517116064	7935370
R7	2022556	704515136	2609436	312820320	3506180	724655168	5460048	576761088	7830956
R8	2032790	739758208	2671936	320219488	3422782	755296064	5514366	500583424	7964238
R9	1987066	691531968	2669654	323167936	3501744	767410624	5470778	534436096	7934630
R10	2006248	774861888	2723634	333381600	3437154	779225792	5456442	514370816	8035998
R11	2010194	762360128	2682020	331788736	3480410	784404544	5460318	540667392	7972304
R12	1985832	662146112	2682132	333883168	3491812	745387392	5504384	503318400	7892740
R13	1984124	701569856	2673888	323738400	3512846	684301120	5412632	560785280	7865464
R14	2015674	675126080	2614562	314098240	3455240	727355904	5512480	536755392	7928698
R15	2025056	742066880	2726208	353011456	3445032	778606784	5457636	535037152	7891172
R16	1984234	688874432	2689750	304676032	3479634	790851136	5491516	531454240	7923386
R17	2012940	692429824	2664352	332983840	3483506	729518848	5498152	522967680	7924356
R18	1977364	925325760	2667462	312013184	3435392	750706368	5444492	531574144	7911134
R19	1996230	733536832	2699720	331172992	3482800	779212160	5492818	516761568	7890444
R20	2001602	708051712	2629720	343296288	3404936	777305024	5486412	544662144	7972318
R21	2010614	774083072	2685148	313720320	3457572	750903488	5494908	512478144	8005598
R22	2025866	735652864	2667470	303051360	3473062	742308224	5403470	543343616	7871474
R23	1988892	731099200	2716222	332144320	3466260	765097856	5440112	566608000	7803458
R24	2030486	771424384	2664796	324367712	3471036	753877824	5440162	559290432	7965198
R25	2011084	682429376	2672482	320776992	3524660	756669504	5472032	516440256	7917636
R26	2017638	760378176	2661794	318440096	3464052	715396032	5491516	531182336	7951818
R27	2033886	807514880	2687358	319020160	3426334	807487488	5475372	537274240	7874474
R28	1973660	770554944	2641990	348507968	3424544	778962112	5517382	507991872	7932496
R29	2016470	774874880	2639866	318845856	3490608	738744832	5509624	524479264	7894708
R30	2032038	771843392	2665118	336905024	3462084	816798848	5444570	547356288	7917362

Tablo C.13(Devam2): Taillard:91; Taillard:94 Problemlerinin genetik algoritma modeli ile elde edilen sonuçları

	Tai60b	Tai64c	Tai80a	Tai80b	Tai100a	Tai100b	Tai150b	Tai256c
Atanacak iş Sayısı	60	64	80	80	100	100	150	256
Atanacak Merkez Sayısı	60	64	80	80	100	100	150	256
Alt Sınır Değeri	608215054	1855928	13557864	818415043	21125314	1185996137	498896643	44759294
R1	693595648	1863794	14621374	936754880	22839628	1370332032	569668288	45301368
R2	704342848	1860702	14656238	993204160	22765550	1377510912	557162880	45143024
R3	665734720	1857646	14636298	955671040	22789592	1357269248	562370880	45061348
R4	725436416	1863678	14778816	979716608	22856442	1394657024	561399168	45223368
R5	711797632	1875660	14750032	954490752	22721678	1394728448	569512768	45126472
R6	696217472	1866152	14723156	987375808	22876236	1385007616	565153088	45022052
R7	722354496	1864686	14645244	983185408	22832324	1401656960	556624512	45041076
R8	709792000	1864686	14722120	951396992	22822938	1371102208	562382976	45038984
R9	726814144	1880352	14725736	943402304	22713340	1425644544	555326336	45134744
R10	712694080	1860942	14749496	959124096	22853472	1374563840	562631744	45025184
R11	703940864	1875660	14851574	976854144	22831264	1412778112	569920256	45010608
R12	722913280	1855928	14746312	960445376	22897004	1416762240	567431232	45065160
R13	682208768	1873100	14802448	959348800	22790326	1384206464	566571008	45030648
R14	654009920	1863794	14725166	972974208	22792000	1380820864	558202432	45109064
R15	675389632	1865994	14757680	942930048	22742134	1347282176	565028352	44958744
R16	760015360	1863794	14751822	941614720	22897366	1416758272	560547456	44967256
R17	712539392	1857646	14660902	982179392	22789148	1440587136	571935936	45155940
R18	684404096	1867264	14747702	959030464	22767686	1375904256	559619712	45162352
R19	699765504	1857646	14720030	965400384	22876314	1384824448	570102144	45215800
R20	718478848	1855928	14721146	940583168	22756494	1356648192	562464256	45021368
R21	725809472	1864686	14717530	952641664	22973948	1353239168	570995072	45109824
R22	728258752	1864686	14714030	966355968	22878572	1387535872	568998336	45206944
R23	700628352	1857646	14726918	953808704	22900074	1420117760	565798464	45182540
R24	715319040	1857646	14620430	977531712	22921936	1396741888	568784576	45129632
R25	730890816	1901636	14673224	949692032	22857560	1397437056	569034112	45214544
R26	698872768	1867264	14662356	993533056	22821956	1406865664	569533056	45167416
R27	671128192	1860942	14688128	981351104	22821004	1418221824	569990976	45147680
R28	717275648	1865994	14791726	975349568	22825466	1379051904	562688832	44956840
R29	735836864	1857646	14746672	959211264	22981770	1413488512	574038272	45180072
R30	722658752	1860942	14812734	975516416	22861002	1412234496	576204736	44988376

Tablo C.14: ThBo:94 Problemlerinin genetik algoritma modeli ile elde edilen sonuçları

	Tho30	Tho40	Tho150
Atanacak iş Sayısı	30	40	150
Atanacak Merkez Sayısı	150	150	150
Alt Sınır Değeri	149936	240516	8133398
R1	167342	265926	8756566
R2	165204	269508	8817798
R3	165610	271886	8753442
R4	160366	267570	8707012
R5	161872	258176	8890762
R6	163676	261638	8730128
R7	166094	264350	8701236
R8	163602	263420	8783888
R9	173502	265484	8777482
R10	166134	265880	8834154
R11	168930	265132	8710706
R12	160066	265216	8777154
R13	163478	267962	8778756
R14	161814	262710	8704098
R15	163642	262442	8759198
R16	166528	266706	8848276
R17	168372	273688	8798084
R18	166202	266928	8809846
R19	160504	262188	8794516
R20	164326	271750	8793102
R21	164530	266304	8894070
R22	163720	267762	8757724
R23	167686	272662	8816312
R24	157712	266744	8787864
R25	162140	262712	8880050
R26	163008	279840	8761084
R27	160550	267796	8747636
R28	160824	264620	8867756
R29	164366	278982	8822048
R30	163052	271974	8844970

Tablo C.15: WiWa:87 Problemlerinin genetik algoritma modeli ile elde edilen sonuçları

	Wil50	Wil100
Atanacak iş Sayısı	50	100
Atanacak Merkez Sayısı	50	100
Alt Sınır Değeri	48816	273038
R1	50626	281834
R2	51142	282220
R3	50884	285038
R4	50566	281878
R5	50614	283022
R6	50450	282866
R7	50958	282734
R8	50936	284202
R9	50598	283490
R10	51006	282822
R11	51132	283182
R12	49986	284256
R13	51054	284204
R14	50418	283390
R15	50920	283392
R16	50528	282104
R17	50690	282650
R18	50486	284460
R19	50538	284432
R20	50346	283752
R21	50410	281912
R22	51400	282582
R23	50936	282740
R24	50640	282724
R25	50968	285934
R26	50818	282188
R27	50920	283740
R28	51020	283332
R29	50726	286166
R30	50806	284748

ÖZGEÇMİŞ

Manisa'nın Sarıgöl ilçesinde 1975 yılında doğdu. İlkokul tahsilini Sarıgöl'de, orta ve lise tahsilini Alaşehir'de tamamladı. 1997 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2003 yılında Fatih Üniversitesi işletme bölümünde yüksek lisansını tamamladı.

2004 – 2008 yılları arasında Fatih Üniversitesi bünyesinde kurulan KOSGEB Teknoloji Geliştirme Koordinatörlüğü biriminde koordinatör olarak çalıştı. Halen Fatih Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.