

166 630

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ATÖLYE TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNE PARÇACIK
SÜRÜ OPTİMİZASYONU YAKLAŞIMI VE GENETİK
ALGORİTMA MODELİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI**

**DOKTORA TEZİ
Y. Müh. Mehmet ŞEVKLİ**

Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Programı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2005

**ATÖLYE TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNE PARÇACIK
SÜRÜ OPTİMİZASYONU YAKLAŞIMI VE GENETİK ALGORİTMA
MODELİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ
Y. Müh. Mehmet ŞEVKLİ
(507002150)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 3 Ocak 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 8 Haziran 2005

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Mehmet Mutlu YENİSEY

Diğer Jüri Üyeleri Prof. Dr. Füsun ULENGİN (İ.T.Ü.)

Doç. Dr. A. Tamer ÜNAL (B.Ü.)

Doç. Dr. Ümit BİLGE (B.Ü.)

Yrd. Doç. Dr. Y. İlker TOPÇU (İ.T.Ü.)

HAZİRAN 2005

ÖNSÖZ

Kombinatoriyel problemlerin çözülmesinde sezgisel (heuristics) yöntemlerin kullanımları son yıllarda önemli bir oranda artmaktadır. Bunun başlıca nedeni, en iyi veya en iyi yakın çözümlerin kısa zaman içinde verilebilmesidir.

Üretim Planlamanın önemli bir bölümünü oluşturan ve çizelgeleme problemlerinden biri olan atölye tipi çizelgelemenin çözüm kalitesinin artırılması, üretim ortamındaki işletmelerin pazarda daha etkin bir seviyeye gelmesinde önemli bir rol teşkil eder. Atölye tipi çizelgeleme problemlerinin zor problemler sınıfına girmesinden dolayı, optimum çözümün bulunması zordur ve genellikle sezgisel yöntemler yardımıyla bulunmaktadır.

Bu tezde, yeni sezgisel yöntemlerden biri olan Parçacık Sürü Optimizasyonu yönteminin atölye tipi çizelgeleme problemleri üzerindeki çözüm performansları incelenmiştir.

Bu çalışmamı yaparken yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Sn. Mehmet Mutlu YENİSEY'e, tezin oluşmasında büyük yardımları olan Sn. Fatih TAŞGETİREN'e ve değerli fikirlerini aldığım Sn. Ali Tamer ÜNAL'a, ayrıca bu çalışmaya katkılarından dolayı, Sn. Fusün ULENGİN, Sn. Ümit BİLGE ve Sn. Y. İlker TOPÇU'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak manevi desteğini esirgemeyen sevgili eşim Zülal'i minnetle anarım.

Mehmet ŞEVKLİ

Haziran 2005, İstanbul

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vii
TABLO LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	xii
SEMBOL LİSTESİ	xiv
ÖZET	xvi
SUMMARY	xviii
1 GİRİŞ	1
1.1 Sezgisel Yöntemler	1
1.1.1 Popülasyon Temelli Yöntemler	3
1.1.2 Tek Nokta Aramalı Yöntemler	4
1.2 Çizelgelemenin Üretimdeki Yeri ve Önemi	6
1.3 Tezin Amacı ve Kapsamı	7
1.4 Tezin Düzeni	8
2 GENEL ATÖLYE TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMİ	9
2.1 Tanım, Varsayımlar ve Performans Ölçütleri	9
2.2 Problemin Matematik İfadesi	12
2.3 Problemin Zorluğu	12
2.4 Çizelgenin Grafikselsel Temsili	13
2.4.1 Gantt Diyagramı Gösterimi	13
2.4.2 Ayırıcı Grafik Gösterimi	14
2.5 Çizelge Tipleri	15
2.5.1 Yarı-Aktif Çizelge	16
2.5.2 Aktif Çizelge	16
2.5.3 Beklemesiz Çizelge	16
2.6 Çizelgenin Gösterim (İfade) Şekilleri	18
2.6.1 Operasyon Tabanlı Gösterim	19
2.6.2 İş Tabanlı Gösterim	20
2.6.3 Tercih Listesi Tabanlı Gösterim	21
2.6.4 İş Çifti İlişkisi Tabanlı Gösterim	22
2.6.5 Öncelik Kuralı Tabanlı Gösterim	23
2.6.6 Ayırıcı Grafik Tabanlı Gösterim	26
2.6.7 Tamamlama Zamanlı Tabanlı Gösterim	28
2.6.8 Rastgele Gösterim	28

2.7.1	FT Problemleri	29
2.7.2	LA Problemleri	30
2.7.3	ABZ Problemleri	30
2.7.4	ORB Problemleri	30
2.7.5	SWV Problemleri	31
2.7.6	YN Problemleri	31
2.7.7	TA Problemleri	31
2.7.8	DMU Problemleri	32
3	MEVCUT ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI	34
3.1	En İyi Çözümler	34
3.2	Yaklaşık Çözümler	36
3.2.1	Yapay Zeka Yaklaşımları	37
3.2.2	Değişen Darboğaz Yordamı Yaklaşımı	39
3.2.3	Öncelik Dağıtım Kuralları Yaklaşımı	40
3.2.4	Sezgisel Yaklaşımlar	41
4	PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU	47
4.1	Gelişimi	47
4.2	Genel Yapısı	47
4.3	Parçacık Sürü Optimizasyonunda Kullanılan Temel Unsurlar	48
4.4	Parçacık Sürü Optimizasyonunun İşleyişi	49
4.5	PSO'nun GA'ya göre Avantajları	50
4.6	PSO'da Kullanılan Parametrelerin Etkileri	51
5	ATÖLYE TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ İÇİN PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU MODELİ	55
5.1	PSO Modelinin Yapısı	55
5.2	PSO Modelinde Kullanılan Yazılım	56
5.3	PSO Modelinin Gösterimi	56
5.4	PSO Modelin İşleyişi	58
5.5	Önerilen PSO Modelinde Kullanılan Parametrelerin Belirlenmesi	60
5.5.1	Popülasyon Sayısının Belirlenmesi	62
5.5.2	Başlangıç Pozisyon Vektör Aralığının Belirlenmesi	62
5.5.3	Başlangıç Hız Vektör Aralığının Belirlenmesi	63
5.5.4	Başlangıç Atalet Ağırlığının Belirlenmesi	63
5.5.5	Azaltma Katsayısının Belirlenmesi	63
5.5.6	Sosyal Katsayısının Belirlenmesi	64
5.5.7	Kavramsal Katsayısının Belirlenmesi	64
5.6	PSO Modelinin Sayısal Örneği	65

5.7	PSO Modelinin Test Problemlerine Uygulanması	74
6	ATÖLYE TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ İÇİN GENETİK ALGORİTMA MODELİ	76
6.1	GA Modelinin Gösterimi ve Yapısı	76
6.2	Çaprazlama Operatörünün Seçimi	77
6.2.1	Kısmi Eşlemeli Çaprazlama(PMX)	77
6.2.2	Sıralı Çaprazlama(OX)	78
6.2.3	Pozisyon Tabanlı Çaprazlama(PBX)	78
6.2.4	Sıraya Dayalı Çaprazlama(OBX)	79
6.2.5	Dairesel Çaprazlama(CX)	79
6.2.6	Doğrusal Sıralı Çaprazlama(LOX)	80
6.3	Mutasyon Operatörünün Belirlenmesi	81
6.3.1	Ters Mutasyon (Inversion)	81
6.3.2	Ekleme Mutasyonu(Insert)	82
6.3.3	Değiştirme Mutasyonu (Exchange)	82
6.4	Çaprazlama ve Mutasyon Oranının Belirlenmesi	82
6.5	Seçim Stratejisinin Belirlenmesi	83
6.6	GA Modelinin Test Problemlerine Uygulanması	84
7	PSO ve GA MODELİNİN İSTATİSTİKSEL OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI	85
7.1	İstatistik Test Yöntemi	85
7.2	Sonuç	93
8	ATÖLYE TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ İÇİN YEREL ARAMALI PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU VE GENETİK ALGORİTMA MODELİ	95
8.1	Yerel Aramalı PSO ve GA Modellerinin Yapısı	95
8.2	Yerel Aramalı PSO ve GA Modellerinin Komşuluk Yapısı	96
8.3	Kullanılan Yerel Arama Yöntemi	98
8.4	Değişken Komşuluk Arama Yapısının Seçimi	100
8.5	PSO_{vns} ve GA_{vns} Modelinin Sonuçları	101
8.6	PSO_{vns} ve GA_{vns} Sonuçlarının İstatistiksel Olarak İncelenmesi	105
8.7	Sonuçların Diğer Algoritmalarla İstatistiksel Olarak Karşılaştırılması	109
8.7.1	DT ile PSO_{vns} 'in Karşılaştırılması	109
8.7.2	TSAB ile PSO_{vns} 'in Karşılaştırılması	110
8.7.3	SB-RGLS2 ile PSO_{vns} 'in Karşılaştırılması	111
8.7.4	KSA ile PSO_{vns} 'in Karşılaştırılması	112
8.7.5	TSSB ile PSO_{vns} 'in Karşılaştırılması	113
8.7.6	dESA ile PSO_{vns} 'in Karşılaştırılması	114

8.7.7	ACO_GSS ile PSO_{vms} 'in Karşılaştırılması	115
8.7.8	GA_TS ile PSO_{vms} 'in Karşılaştırılması	116
9	SONUÇ VE ÖNERİLER	119
	KAYNAKLAR	122
	EKLER	130
	ÖZGEÇMİŞ	175



KISALTMALAR

PSO	:Parçacık Sürü Optimizasyonu
GA	:Genetik Algoritma
PSO_{vns}	:Yerel Aramalı Parçacık Sürü Optimizasyonu Modeli
GA_{vns}	:Yerel Aramalı Genetik Algoritma Modeli
NP	:Non-Deterministic Polinomial
BT	:Benzetim Tavlama
TA	:Tabu Arama
GRASP	:Greedy Random Adaptive Search Procedure
RE	:Bağıl Hata
MRE	:Ortalama Bağıl Hata
LB	:Alt Sınır Değeri
UB	:Üst Sınır Değeri
TSP	:Gezgin Satıcı Problemi
SPT	:En kısa işlem süresi (Shortest Processing Time)
MWR	:En çok kalan iş (Most Work Remaining)
DT	:Del-Amico'nun (Dell'Amico, 1993) tabu arama yöntemi
TSAB	:Nowicki ve Smunitcki'nin (Nowicki, 1996) tabu arama yöntemi
SB-RGLS2	:Balas ve Vazacopoulos (Balas, 1998) tarafından geliştirilen darboğaz yordamı tabanlı yerel arama yöntemi
KSA	:Kolonko'nun (Kolonko, 1999) benzetim tavlama
TSSB	:Pezzella ve Merelli'nin (Pezzella, 2000) tabu arama yöntemi.
TS_GSS	:Blum ve Sampels tarafından geliştirilen (Blum ve Sampel,2004) tabu arama tabanlı Karınca Kolonileri yöntemi.
dESA	:Aydin ve Fogarty (Aydin ve Fogarty, 2004) tarafından geliştirilen Evrimsel Benzetim Tavlama.
GA_TS	:Murovec ve Suhel tarafından (Murovec ve Suhel, 2004) geliştirilen genetik algoritma tabanlı Tabu Arama yöntemi.

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Atölye Tipi Çizelgeleme Probleminin Matematiksel İfadesi.....	12
Tablo 2.2. Problem Büyüklüğüne Göre Mümkün Çizelgelerin Sayısı.....	13
Tablo 2.3. Örnek 3 İş x 3 Tezgah Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi (a).....	14
Tablo 2.4. Örnek 4 İş x 3 Tezgah Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi.....	16
Tablo 2.5. Kromozom Tezgah İlişkisi.....	19
Tablo 2.6. Örnek 3 İş x 3 Tezgah Olurlu Çizelgesi.....	22
Tablo 2.7. İş Çifti İlişkisi Tabanlı Gösterimde Oluşturulan İkili Matris.....	23
Tablo 2.8. Öncelik Kurallı Tabanlı Gösterim için Seçilmiş Öncelik Kuralları.	24
Tablo 2.9. Örnek 3 İş x 3 Tezgah Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi (b).....	25
Tablo 2.10. Ayırıcı Grafik Tabanlı Gösterimde Kromozom Yapısı.....	27
Tablo 2.11. FT Problemlerinin Yapısı.....	29
Tablo 2.12. LA Problemlerinin Yapısı.....	30
Tablo 2.13. ABZ Problemlerinin Yapısı.....	30
Tablo 2.14. ORB Problemlerinin Yapısı.....	31
Tablo 2.15. SWV Problemlerinin Yapısı.....	31
Tablo 2.16. YN Problemlerinin Yapısı.....	31
Tablo 2.17. TA Problemlerinin Yapısı.....	32
Tablo 2.18. DMU Problemlerinin Yapısı.....	33
Tablo 3.1. En İyi Çözüm Teknikleri Yaklaşımı Kullanarak Yapılmış Çalışmalar.....	35
Tablo 3.2. Atölye Tipi Çizelgeleme Problemlerine Uygulanan Yapay Zeka Yaklaşımları.....	37
Tablo 3.3. Atölye Tipi Çizelgeleme Problemlerine Değişen Darboğaz Yordamı Yaklaşımı Kullanarak Yapılmış Çalışmalar.....	39
Tablo 3.4. Atölye Tipi Çizelgeleme Problemleri'ne Öncelik Dağıtım Kuralları Yaklaşımı Kullanarak Yapılmış Çalışmalar.....	41
Tablo 3.5. Atölye Tipi Çizelgeleme Problemleri'ne Evrimsel Algoritmalar Yaklaşımı Kullanarak Yapılmış Çalışmalar.....	42
Tablo 3.6. Atölye Tipi Çizelgeleme Problemleri'nde Benzetimsel Tavlama Yaklaşımı Kullanarak Yapılmış Çalışmalar.....	44
Tablo 3.7. Atölye Tipi Çizelgeleme Problemleri'ne Tabu Arama Yaklaşımı Kullanarak Yapılmış Çalışmalar.....	45
Tablo 5.1. X^k Parçacık Elemanları.....	56
Tablo 5.2. Önerilen PSO Modelinde Kullanılan Başlangıç Parametre Değerleri.....	61
Tablo 5.3. Önerilen PSO Modelinde Kullanılan Parametrelerin Belirlenmesinde Kullanılan Deney Seti.....	61
Tablo 5.4. Başlangıç Pozisyon Vektörleri.....	65
Tablo 5.5. Başlangıç Hız Vektörleri.....	66
Tablo 5.6. Başlangıç Operasyon Sıraları.....	66
Tablo 5.7. Başlangıç Operasyon Tabanlı Gösterim Değerleri.....	67
Tablo 5.8. Başlangıç Yerel En İyi Pozisyon Vektörleri.....	67

Tablo 5.9.	Başlangıç Küresel En İyi Değerleri.....	67
Tablo 5.10.	Atalet Ağırlığı ile Çarpılmış Hız Vektör Değerleri.....	68
Tablo 5.11.	Pozisyon Vektörleri(1. İterasyon).....	69
Tablo 5.12.	Hız Vektörleri (1. İterasyon).....	69
Tablo 5.13.	Operasyon Sıraları (1.İterasyon).....	70
Tablo 5.14.	Operasyon Tabanlı Gösterim Değerleri (1. İterasyon).....	70
Tablo 5.15.	Yerel En İyi Pozisyon Vektörleri (1. İterasyon).....	71
Tablo 5.16.	Küresel En İyi Değerleri (1. İterasyon).....	71
Tablo 5.17.	Pozisyon Vektörleri (2. İterasyon).....	71
Tablo 5.18.	Hız Vektörleri (2. İterasyon).....	72
Tablo 5.19.	Operasyon Sıraları (2.İterasyon).....	72
Tablo 5.20.	Operasyon Tabanlı Gösterim Değerleri (2. İterasyon).....	72
Tablo 5.21.	Yerel En İyi Pozisyon Vektörleri (3. İterasyon).....	72
Tablo 5.22.	Küresel En İyi Değerleri (3. İterasyon).....	72
Tablo 5.23.	Pozisyon Vektörleri (100. İterasyon).....	73
Tablo 5.24.	Hız Vektörleri (100. İterasyon).....	73
Tablo 5.25.	Operasyon Sıraları (100.İterasyon).....	73
Tablo 5.26.	Operasyon Tabanlı Gösterim Değerleri (100. İterasyon).....	74
Tablo 5.27.	Yerel En İyi Pozisyon Vektörleri (100. İterasyon).....	74
Tablo 5.28.	Küresel En İyi Değerleri (100. İterasyon).....	74
Tablo 5.29.	PSO Modelinde Kullanılan Parametreler.....	75
Tablo 5.30.	FT Problemlerinin Önerilen PSO Modeli ile Elde Edilen Sonuçları.....	75
Tablo 6.1.	GA Modelindeki Gösterim Yöntemi.....	76
Tablo 6.2.	GA Modelinde Kullanılan Parametreler.....	84
Tablo 7.1.	LA01 Probleminin PSO ve GA Modelindeki Sonuçları.....	86
Tablo 7.2.	LA01 Probleminin t Testi sonucu	87
Tablo 7.3.	FT Problemlerinin Sonuçlarının Anlamlılık Düzeyinde Karşılaştırılması.....	88
Tablo 7.4.	LA Problemlerinin Sonuçlarının Anlamlılık Düzeyinde Karşılaştırılması.....	89
Tablo 7.5.	ABZ Problemlerinin Sonuçlarının Anlamlılık Düzeyinde Karşılaştırılması.....	90
Tablo 7.6.	ORB Problemlerinin Sonuçlarının Anlamlılık Düzeyinde Karşılaştırılması.....	90
Tablo 7.7.	SWV Problemlerinin Sonuçlarının Anlamlılık Düzeyinde Karşılaştırılması.....	91
Tablo 7.8.	YN Problemlerinin Sonuçlarının Anlamlılık Düzeyinde Karşılaştırılması.....	91
Tablo 7.9.	TA Problemlerinin Sonuçlarının Anlamlılık Düzeyinde Karşılaştırılması.....	92
Tablo 7.10.	DMU Problemlerinin Sonuçlarının Anlamlılık Düzeyinde Karşılaştırılması.....	93
Tablo 7.11.	Önerilen PSO ve GA Modelinin Sonuçlarının 122 Problemde Karşılaştırılması.....	94
Tablo 7.12.	122 Test Probleminin Ortalama Bağlı Hata Kriterine Göre İstatistiksel Analizi.....	94
Tablo 8.1.	Pozisyon Vektöründe Komşuluk Yapısı (Ekle).....	96
Tablo 8.2.	Yerel Aramanın Operasyon Tabanlı Sıraya Uygulanışı (Önce).....	97
Tablo 8.3.	Yerel Aramanın Operasyon Tabanlı Sıraya Uygulanışı (Sonra).....	97

Tablo 8.4.	Farklı Komşuluk Yapılarının Performansları.....	101
Tablo 8.5.	Yerel Aramalı PSO Modelinde Kullanılan Parametreler.....	102
Tablo 8.6.	Yerel Aramalı GA Modelinde Kullanılan Parametreler.....	102
Tablo 8.7.	PSO_{vns} ile elde edilen sonuçlar (a).....	103
Tablo 8.8.	PSO_{vns} ile elde edilen sonuçlar (b).....	103
Tablo 8.9.	GA_{vns} ile elde edilen sonuçlar (a).....	104
Tablo 8.10.	GA_{vns} ile elde edilen sonuçlar (b).....	104
Tablo 8.11.	Yerel Aramalı Modellerde Uygulanan Zaman Kısıtları.....	105
Tablo 8.12.	PSO_{vns} ve GA_{vns} Modellerinin Karşılaştırılması.....	107
Tablo 8.13.	PSO_{vns} ve GA_{vns} Modellerinin Hipotez Testi.....	108
Tablo 8.14.	PSO_{vns} ve Değişken Komşuluk Arama Yönteminin Hipotez Testi..	108
Tablo 8.15.	GA ve PSO Modelinin Zor Problemlerdeki Performansı.....	108
Tablo 8.16.	DT ile PSO_{vns} 'in Karşılaştırılması.....	110
Tablo 8.17.	DT ve PSO_{vns} Modellerinin Hipotez Testi.....	110
Tablo 8.18.	TSAB ile PSO_{vns} 'in Karşılaştırılması.....	111
Tablo 8.19.	TSAB ve PSO_{vns} Modellerinin Hipotez Testi.....	111
Tablo 8.20.	SB-RGLS2 ile PSO_{vns} 'in Karşılaştırılması.....	112
Tablo 8.21.	SB-RGLS2 ve PSO_{vns} Modellerinin Hipotez Testi.....	112
Tablo 8.22.	KSA ile PSO_{vns} 'in Karşılaştırılması.....	113
Tablo 8.23.	KSA ve PSO_{vns} Modellerinin Hipotez Testi.....	113
Tablo 8.24.	TSSB ile PSO_{vns} 'in Karşılaştırılması.....	114
Tablo 8.25.	TSSB ve PSO_{vns} Modellerinin Hipotez Testi.....	114
Tablo 8.26.	dESA ile PSO_{vns} 'in Karşılaştırılması.....	115
Tablo 8.27.	dESA ve PSO_{vns} Modellerinin Hipotez Testi.....	115
Tablo 8.28.	ACO_GSS ile PSO_{vns} 'in Karşılaştırılması.....	116
Tablo 8.29.	ACO_GSS ve PSO_{vns} Modellerinin Hipotez Testi.....	116
Tablo 8.30.	GA_TS ile PSO_{vns} 'in Karşılaştırılması.....	117
Tablo 8.31.	GA_TS ve PSO_{vns} Modellerinin Hipotez Testi.....	118
Tablo A.1.	FT Problemlerinin PSO Modeli ile Elde Edilen Sonuçları.....	131
Tablo A.2.	LA Problemlerinin PSO Modeli ile Elde Edilen Sonuçları (a).....	132
Tablo A.3.	LA Problemlerinin PSO Modeli ile Elde Edilen Sonuçları (b).....	133
Tablo A.4.	LA Problemlerinin PSO Modeli ile Elde Edilen Sonuçları (c).....	134
Tablo A.5.	LA Problemlerinin PSO Modeli ile Elde Edilen Sonuçları (d).....	135
Tablo A.6.	ABZ Problemlerinin PSO Modeli ile Elde Edilen Sonuçları.....	136
Tablo A.7.	ORB Problemlerinin PSO Modeli ile Elde Edilen Sonuçları.....	137
Tablo A.8.	SWV Problemlerinin PSO Modeli ile Elde Edilen Sonuçları.....	138
Tablo A.9.	YN Problemlerinin PSO Modeli ile Elde Edilen Sonuçları.....	139
Tablo A.10.	TA Problemlerinin PSO Modeli ile Elde Edilen Sonuçları (a).....	140
Tablo A.11.	TA Problemlerinin PSO Modeli ile Elde Edilen Sonuçları (b).....	141
Tablo A.12.	TA Problemlerinin PSO Modeli ile Elde Edilen Sonuçları (c).....	142
Tablo A.13.	DMU Problemlerinin PSO Modeli ile Elde Edilen Sonuçları (a)....	143
Tablo A.14.	DMU Problemlerinin PSO Modeli ile Elde Edilen Sonuçları (b)....	144
Tablo B.1.	FT Problemlerinin GA Modeli ile Elde Edilen Sonuçları.....	146

Tablo B.2.	LA Problemlerinin GA Modeli ile Elde Edilen Sonuçları (a).....	147
Tablo B.3.	LA Problemlerinin GA Modeli ile Elde Edilen Sonuçları (b).....	148
Tablo B.4.	LA Problemlerinin GA Modeli ile Elde Edilen Sonuçları (c).....	149
Tablo B.5.	LA Problemlerinin GA Modeli ile Elde Edilen Sonuçları (d).....	150
Tablo B.6.	ABZ Problemlerinin GA Modeli ile Elde Edilen Sonuçları.....	151
Tablo B.7.	ORB Problemlerinin GA Modeli ile Elde Edilen Sonuçları.....	152
Tablo B.8.	SWV Problemlerinin GA Modeli ile Elde Edilen Sonuçları.....	153
Tablo B.9.	YN Problemlerinin GA Modeli ile Elde Edilen Sonuçları.....	154
Tablo B.10.	TA Problemlerinin GA Modeli ile Elde Edilen Sonuçları (a).....	155
Tablo B.11.	TA Problemlerinin GA Modeli ile Elde Edilen Sonuçları (b).....	156
Tablo B.12.	TA Problemlerinin GA Modeli ile Elde Edilen Sonuçları (c).....	157
Tablo B.13.	DMU Problemlerinin GA Modeli ile Elde Edilen Sonuçları (a).....	158
Tablo B.14.	DMU Problemlerinin GA Modeli ile Elde Edilen Sonuçları (b).....	159
Tablo C.1.	Yerel Aramalı PSO Modeli ile Elde Edilen Sonuçlar (a)	161
Tablo C.2.	Yerel Aramalı PSO Modeli ile Elde Edilen Sonuçlar (b)	162
Tablo C.3.	Yerel Aramalı PSO Modeli ile Elde Edilen Sonuçlar (c)	163
Tablo C.4.	Yerel Aramalı PSO Modeli ile Elde Edilen Sonuçlar (d)	164
Tablo C.5.	Yerel Aramalı PSO Modeli ile Elde Edilen Sonuçlar (e)	165
Tablo C.6.	Yerel Aramalı GA Modeli ile Elde Edilen Sonuçlar (a)	166
Tablo C.7.	Yerel Aramalı GA Modeli ile Elde Edilen Sonuçlar (b)	167
Tablo C.8.	Yerel Aramalı GA Modeli ile Elde Edilen Sonuçlar (c)	168
Tablo C.9.	Yerel Aramalı GA Modeli ile Elde Edilen Sonuçlar (d)	169
Tablo C.10.	Yerel Aramalı GA Modeli ile Elde Edilen Sonuçlar (e)	170
Tablo D.1.	Örnek: FT10 Problemi.....	172

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 :Son 10 Yılda Yapılan Çalışmalarda Kullanılan Sezgisel Yöntemler.....	2
Şekil 1.2 :İmalat Sisteminde Çizelgelemenin Yeri (Pinedo, 1995).....	6
Şekil 2.1 :Tablo 2 3'deki Örneğin Gantt Diyagramı Gösterimi.....	14
Şekil 2.2 :Tablo 2 3'deki Örneğin Ayırıcı Grafik Gösterimi.....	15
Şekil 2.3 :Çizelge Tipleri: (a) Yarı-Aktif Çizelge, (b) Aktif Çizelge, ve (c) Beklemesiz Çizelge.....	17
Şekil 2.4 :Çizelge Tiplerinin Grafikle Gösterimi.....	18
Şekil 2.5 :Operasyon Tabanlı İfadeden Elde Edilen Aktif Çizelge.....	20
Şekil 2.6 :İş Tabanlı Gösterimde Çizelgelenen İşler: (a) 2.iş, (b) 3.iş ve (c) 1. iş.....	20
Şekil 2.7 :Tercih Listesi Tabanlı Gösterim de Çizelge Sırası.....	22
Şekil 2.8 :Öncelik Dağıtım Kuralı Tabanlı Gösterim de Çizelge Sırası.....	26
Şekil 2.9 :Örnek 3-İş 3-Tezgah Problemi için Ayırıcı Grafik.....	27
Şekil 3.1 :Literatürdeki Mevcut Çözüm Yaklaşımları.....	34
Şekil 4.1 :Parçacık Sürü Optimizasyonunun İşleyişi.....	48
Şekil 4.2 :PSO'da pozisyon vektörünün yörüngesi $w=1.0$ $c1=c2=2.0$	52
Şekil 4.3 :PSO'da pozisyon vektörünün yörüngesi $w=0.9$ $c1=c2=2.0$	52
Şekil 4.4 :PSO'da pozisyon vektörünün yörüngesi $w=0.7$ $c1=c2=1.4$	53
Şekil 4.5 :PSO'da pozisyon vektörünün yörüngesi $w=0.7$ $c1=c2=2$	53
Şekil 4.6 :PSO'da pozisyon vektörünün yörüngesi $w=0.001$ $c1=c2=2$	54
Şekil 5.1 :Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi için Önerilen PSO Modelinin Yapısı.....	55
Şekil 5.2 : π_{ij}^k değerlerinden Elde Edilen Aktif Çizelge.....	57
Şekil 5.3 :Popülasyon Sayısının Belirlenmesi.....	62
Şekil 5.4 :Başlangıç Pozisyon Vektör Aralığının Belirlenmesi.....	62
Şekil 5.5 :Başlangıç Hız Vektör Aralığının Belirlenmesi.....	63
Şekil 5.6 :Başlangıç Atalet Ağırlığının Belirlenmesi.....	63
Şekil 5.7 :Azaltma Katsayısının Belirlenmesi.....	64
Şekil 5.8 :Sosyal Katsayısının Belirlenmesi.....	64
Şekil 5.9 :Kavramsal Katsayısının Belirlenmesi.....	65
Şekil 6.1 :Önerilen GA Modelinin Yapısı.....	76
Şekil 6.2 :Kısmi Eşlemeli Çaprazlama Gösterimi.....	77
Şekil 6.3 :Sıralı Çaprazlama Gösterimi.....	78
Şekil 6.4 :Pozisyon Tabanlı Çaprazlama Gösterimi.....	78
Şekil 6.5 :Sıraya Dayalı Çaprazlama Gösterimi.....	79
Şekil 6.6 :Dairesel Çaprazlama Gösterimi.....	79
Şekil 6.7 :Doğrusal Sıralı Çaprazlama Gösterimi.....	80
Şekil 6.8 :Çaprazlama Yönteminin Belirlenmesi.....	81
Şekil 6.9 :Ters Mutasyon Gösterimi.....	81
Şekil 6.10 :Ekleme Mutasyonu Gösterimi.....	82
Şekil 6.11 :Değiştirme Mutasyonu Gösterimi.....	82

Şekil 6.12	:Mutasyon Yönteminin Belirlenmesi.....?	82
Şekil 6.13	:Çaprazlama Oranının Belirlenmesi.....	83
Şekil 6.14	:Çaprazlama Oranının Belirlenmesi.....	83
Şekil 6.15	:Seçim Stratejisinin Belirlenmesi.....	84
Şekil 8.1	:Yerel Aramalı PSO Modeli.....	95
Şekil 8 2	:Yerel Aramalı GA Modeli.....	96
Şekil 8.3	:Uygulanan Değişken Komşuluk Arama Yönteminin Benzetim Kodu.....	99



SEMBOL LİSTESİ

n	: İş sayısı
m	: Tezgah sayısı
M_i	: i . Tezgah
J_i	: i . İş
O_{ij}	: i . işin j . tezgahtaki operasyonu
r_i	: i . işin hazır zamanı
p_{ij}	: i . işinin j . tezgahta işlem zamanı
d_i	: J_i . İşin teslim tarihi
C_i	: J_i . İşin tamamlanma zamanını
F_i	: J_i işinin akış zamanı (yani J_i işinin atölyedeki harcadığı zaman)
L_i	: J_i 'nin gecikmesi (yani işin tamamlanma zamanı ile teslim tarihi arasındaki farktır.)
T_i	: J_i işinin pozitif gecikmesi
E_i	: J_i işinin erkenliği $E_i = \max \{-L_i, 0\}$
$\bar{F}$	: Ortalama akış zamanı
$C_{\max}$	: Maksimum tamamlanma zamanı
I_j	: M_j tezgahındaki aylak zaman
$F_{\max}$	: Maksimum akış zamanı
$\bar{F}$	: Ortalama akış zamanı
$\bar{C}$	: Ortalama tamamlanma zamanı
$\bar{L}$	: Ortalama gecikme
$L_{\max}$	: Maksimum gecikme
$\bar{T}$	: Ortalama pozitif gecikme
$T_{\max}$	: Maksimum pozitif gecikme
y_{ij}	: i . işin j . tezgahtaki operasyonunun başlama zamanını
X_{ijm}	: Bir iş çiftinin öncelik ilişkisini göstermek için kullanılan ikili (binary) değişken
PS_t	: t tane çizelgelenmiş operasyon içeren kısmi çizelge.
S_t	: PS_t 'ye karşılık gelen t . iterasyondaki çizelgelenebilir operasyonlar kümesi
σ_i	: i . operasyonun başlayabileceği en erken zaman öyle ki $i \in S_t$
ϕ_i	: i . operasyonun tamamlanabileceği en erken zaman öyle ki $i \in S_t$
ζ_t	: t . iterasyondaki çakışan operasyonlar kümesi.
e_{ij}	: i ve j düğümleri arasındaki okun yönünü gösteren değişken
X_i^k	: Sürü içerisindeki k . iterasyondaki i . parçacığın pozisyon vektörü

V_i^k	: k . iterasyondaki i . parçacığın hız vektörü
x_{ij}^k	: k . iterasyondaki i . parçacığın j . pozisyon değeri
v_{ij}^k	: k . iterasyondaki i . parçacığın j . hız değeri
P_i	: i . parçacığın yerel en iyi komşu vektörü
G	: Küresel en iyi komşu vektörü
w^k	: Atalet ağırlığı
$-V_{\max}$	: Hız vektörünün alacağı minimum değer
$V_{\max}$	: Hız vektörünün alacağı maksimum değer
$d_{\min}$	: Pozisyon vektörünün alacağı minimum değer
$d_{\max}$	: Pozisyon vektörünün alacağı maksimum değer
r_1	: 0 ile 1 arasında düzgün dağılmış rassal değer
r_2	: 0 ile 1 arasında düzgün dağılmış rassal değer
c_1	: Sosyal parametre değeri
c_2	: Kavramsal parametre değeri
T_i^k	: k . iterasyondaki i . parçacığın permütasyonlu operasyon vektörü
τ_{ij}^k	: k . iterasyondaki i . parçacığın j . operasyon değeri
Π_{ij}^k	: k . iterasyondaki i . parçacığın operasyon tabanlı gösterim vektörü
π_{ij}^k	: k . iterasyondaki i . parçacığın j . operasyon tabanlı gösterim değeri
ρ	: Popülasyon sayısı
β	: Atalet ağırlığını güncelleştirme katsayısı
f_i^{pb}	: i . parçacığın yerel en iyi değeri
f^{gb}	: Küresel en iyi amaç değeri
d_i	: i . bağlı örnek üzerinde karşılaştırılan iki yöntem ile elde edilen değerlerin farkı
$\bar{d}$	: Farkların ortalaması
s_D	: Farkların standart sapması
$\overline{s_D}$	: Farkların standart hatası

ATÖLYE TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNE PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU YAKLAŞIMI VE GENETİK ALGORİTMA MODELİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Bu tezde, zor çizelgeleme problemleri arasında yer alan atölye tipi çizelgeleme problemlerinin çözümünde alternatif yeni bir yaklaşım ele alınmıştır. Çözüm yöntemi olarak, son yıllarda hızla gelişen popülasyon temelli yeni sezgisel yöntemlerden biri olan Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) kullanılmıştır.

Popülasyon temelli bir sezgisel yaklaşım olan PSO yöntemi, kuş ve balık sürülerinin sosyal davranışlarından esinlenerek geliştirilmiş ve optimizasyon problemlerinin çözümüne uyarlanmıştır. PSO’da aday çözüm, parçacık olarak nitelendirilir ve sürü içerisindeki kuş olarak düşünülebilir. Kuşlardan meydana gelen sürü (popülasyon) ise çözüm uzayını keşfetmek için beraberce hareket eder. Her bir parçacığın bir amaç fonksiyon değeri vardır ve hız vektörü yardımıyla en iyi çözümü bulmaya çalışır. Parçacıklar (sürü) ise problem uzayında birbirleriyle haberleşerek dolaşırlar. PSO’da her bir parçacığın başlangıç değerleri rastgele oluşturulduktan sonra her bir iterasyonda bu güncelleştirilir. PSO bir evrimsel algoritma olarak kabul edilebilir. Ayrıca arama işlemi, parçacığın kendi tecrübesi ve sürünün en iyisi göz önüne alınarak yapıldığı için sezgisel bir yöntem olarak sınıflandırılır.

Atölye tipi çizelgeleme problemi şu şekilde tanımlanabilir. n adet iş m adet tezgahta işlenecektir. İşler tezgahta başladığında iptal etmeden bitirilecektir. Her bir işin önceden biline bir rotası ve her bir tezgahdaki işlem süreleri bilinmektedir. Bir tezgah aynı anda sadece bir işi işleyebilir. Aynı şekilde bir iş bir tezgaha sadece bir kez işlenir. Bütün işlerin operasyonları işleme hazırdır ve bu operasyonların hazırlık ve tezgahların tamir zamanları işlem sürelerine dahil edilmiştir. Atölye tipi çizelgeleme problemi bütün işlerin operasyonlarını bitirecek minimum zamanı bulmaktır.

Bu tezde, ilk olarak atölye tipi çizelgeleme problemleri için PSO ve Genetik Algoritma (GA) modeli tasarlanmış ve “tamamlanma zamanı (makespan)” başarımlı ölçütüne göre literatürde yer alan test problemleri üzerindeki performansları incelenmiştir. Daha sonra PSO ve GA modellerinin sonuçları % 5, % 1 ve % 0.5 anlamlılık düzeylerinde istatistiksel olarak karşılaştırılıp incelenmiştir. Sonuçta, PSO modeli ile GA modelinin birbirine yakın performans gösterdiği, bazı zor problemlerde ise PSO modelinin GA modeline göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Bunlara ek olarak, basit ve etkili bir yerel arama yöntemi olan “Değişken Komşuluk Arama (VNS)” kullanılarak, yerel aramalı PSO ve GA modelleri geliştirilmiş ve

literatürdeki bazı zor test problemlerine uygulanmıştır. Daha sonra bu iki model istatistiksel olarak karşılaştırılıp incelenmiştir. Sonuçta, yerel aramalı PSO modelinin, yerel aramalı GA modeline göre % 5 anlamlılık düzeyinde daha iyi olduğu görülmüştür. Ayrıca, yerel aramalı PSO modelinin sonuçları, literatürde ün yapmış diğer sezgisel yöntemlerin sonuçlarıyla karşılaştırılmış, daha iyi veya eşdeğer seviyede olduğu görülmüştür.



A PARTICLE SWARM OPTIMIZATION APPROACH FOR THE JOB SHOP SCHEDULING PROBLEMS AND COMPARING WITH THE GENETIC ALGORITHM MODEL

SUMMARY

In this dissertation, a new meta-heuristic technique called Particle Swarm Optimization (PSO) is applied to Job Shop Scheduling (JSS) problem, which is one of the hardest combinatorial optimization problems.

Particle Swarm Optimization (PSO) is one of the population based optimization technique inspired by social behavior of bird flocking and fish schooling. PSO inventors were inspired of such natural process based scenarios to solve the optimization problems. In PSO, 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. PSO starts with initial population of solutions, which is updated iteration-by-iteration. Therefore, PSO can be counted as an evolutionary algorithm besides being a metaheuristics method, which allows exploiting the searching experience of a single particle as well as the best of the whole swarm.

The JSS problem can be stated as follows: There is a set of n jobs to be processed by m machines without preemption. Each job has a sequence of operations with a predetermined processing order through machines. Each machine can handle no more than one operation at a time and each job must visit each machine only once. The release time of all operations is zero. Set-up and failure times of each machine are included in the processing times. Then, the JSS problem is to find a schedule of minimal time to complete all jobs.

First of all, a PSO and a Genetic Algorithm(GA) model for the JSS problem are developed and applied to the well-known benchmark suites in the literature with the makespan criterion. Then, PSO and GA model results are compared statistically at 5 %, 1 % and 5 % significant levels. It is concluded that, PSO results are competitive and sometimes better than GA results over the 122 benchmark problems.

In addition, a simple but efficient local search method called Variable Neighborhood Search (VNS) is embedded to the PSO and GA models and applied to several hardest benchmark suites. Afterwards, PSO and GA model with VNS results are compared

statistically and it is concluded that, PSO model with VNS results are better than GA model with VNS at 5 % significant level. The results for the PSO algorithm with VNS are also presented and compared with many efficient meta-heuristic algorithms in literature. As a final result, PSO with VNS results are generally found to be better than other results



1 GİRİŞ

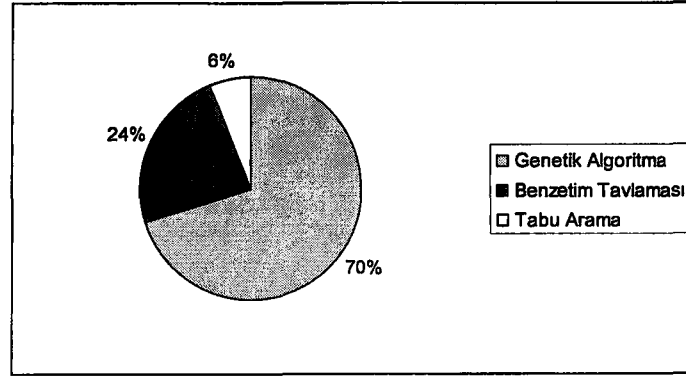
Üretim planlamanın önemli bir bölümünü oluşturan atölye tipi çizelgelemenin çözüm kalitesinin artırılması, üretim ortamındaki işletmelerin pazarda daha etkin bir seviyeye gelmelerinde önemli bir rol teşkil eder. Atölye tipi çizelgeleme problemleri, tamamlanma zamanı performans ölçütüne göre zor problemler sınıfına girmesinden dolayı, optimum çözümün bulunması zordur ve genellikle sezgisel yöntemler kullanılarak çözülebilmektedir.

Bu bölümde, sezgisel yöntemler üzerinde durulup, atölye tipi çizelgelemenin üretimdeki yeri açıklanmıştır. Ayrıca bölüm sonunda tezin kapsamı ve amaçları sunulmuştur.

1.1 Sezgisel Yöntemler

Kombinatoriyel problemlerin çözülmesinde sezgisel yöntemlerin kullanımları son yıllarda önemli bir oranda artmaktadır. Jones ve diğ. (2002)'ne göre sezgisel yöntemler ile ilgili çalışmaların popülaritesi 1991 yılından itibaren hızlı bir şekilde artmaktadır. 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 başta genetik algoritma olmak üzere, benzetim tavlama ve tabu arama yöntemleridir.

Şekil 1-1'de son 10 yıl içerisinde kullanılan sezgisel yöntemler ve bunların yüzdelik dilimleri yer almaktadır (Jones ve diğerleri, 2002). Bunun yanı sıra son zamanlarda Karınca Kolonileri Algoritması ve Parçacık Sürü Optimizasyonu teknikleri de elde edilen etkili sonuçlarla kombinatoriyel problemlerin çözümünde literatürde yerini almaktadır.



Şekil 1-1 Son 10 Yılda Yapılan Çalışmalarda Kullanılan Sezgisel Yöntemler

Sezgisel yöntemlerin en büyük avantajları arasında çözüm zamanının sayım (enumeration) tekniğine göre çok kısa olması ve her tür problem için kolay bir şekilde uygulanabilmesi sayılabilir. Dezavantajları arasında ise, bu yöntemlerin en iyi çözümü garanti etmemesi ve bir çok parametrenin iyi çözüm verebilmesi için uygun bir şekilde ayarlanmasını gerektirmesidir. Bu da çoğunlukla deneme yanılma yoluyla yapılmaktadır.

Sezgisel yöntemlerin sınıflandırılması ve tanımlanması için birçok yaklaşım vardır. Bunlardan bazılarını şu şekilde sıralayabiliriz. (Blum ve Roli, 2001).

Doğal Tabanlı-Doğal Olmayan Tabanlı: Bu sınıflandırma çeşidi belki de sezgisel tabanlı algoritmalar için bir temel nokta sayılabilir. Örneğin Genetik Algoritma ve Karınca Kolonileri Algoritması doğal tabanlı algoritmalar; Tabu Arama ve Yenilemeli Yerel Arama (Iterated Local Search) doğal olmayan tabanlı algoritmalar için örnek verilebilir. Bu sınıflandırma yaklaşımı melez (hybrid) algoritmalar için anlamsız kalmaktadır.

Popülasyon Tabanlı-Tek Nokta Aramalı: Bu sınıflandırma yöntemi ise arama işlevine göre yapılabilir. Burada şu soruyu sorabiliriz kullanılan algoritma herhangi bir zamanda tek bir çözümle mi çalışıyor yoksa bir popülasyonla mı? Eğer tek bir çözüm üzerinde çalışıyorsa bunlara yörüngeli (trajectory) yöntemler denir ve bütün yerel arama tabanlı sezgisel algoritmaları kapsar. Örneğin Tabu Arama (Tabu Search), Benzetim Tavlama (Simulated Annealing), Yerel Arama (Local Search) gibi algoritmalar yörüngeli yöntemlerdir. Popülasyon çözüm üzerinde çalışan algoritmalara da genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyonu örnek olarak verilebilir.

Değişken-Sabit Amaç Fonksiyonu: Sezgisel yöntemler amaç fonksiyonunun tipine göre de sınıflandırılabilir. Bazı algoritmalar problemin gösterimini gerçekleştirirken amaç fonksiyonunu sabit tutar bazıları da örneğin Rehberli Yerel Arama (Guided Local Search) algoritmasının da olduğu gibi değiştirir. Değiştirmekteki amaç yerel minimumdan kurtulmaktır.

Bir-Çeşitli Komşuluk Yapıları: Çoğunlukla sezgisel yöntemler bir komşuluk yapısında çalışır. Ama bazıları da örneğin Değişken Komşuluk Arama (Variable Neighborhood Search) algoritması da arama işlemini sistematik bir şekilde değiştirerek birden fazla yerel arama yöntemiyle diğer çözüm alanlarına ulaşır.

Bu bölümde, en önemli sınıflandırma yöntemi olan *Popülasyon Tabanlı-Tek Nokta Aramalı* sınıflandırma yöntemi biraz daha detaylı incelenecektir.

1.1.1 Popülasyon Temelli Yöntemler

1.1.1.1 Genetik Algoritmalar

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

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

1.1.1.2 Parçacık Sürü Optimizasyonu

Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization) (PSO) tekniği, kuş ve balık sürülerinin iki pozisyonlu hareketlerinden esinlenerek ilk olarak 1995 ve 1996 yıllarında Kennedy ve Eberhart tarafından ortaya atılmıştır. PSO bireyler arasındaki toplumsal bilgi paylaşımını (social sharing of information) esas alır. PSO'da arama işlemi genetik algoritmada olduğu gibi popülasyondaki bireyler tarafından ve belirlenen nesil sayısınca yapılır. Her bir bireye parçacık denir ve parçacıklardan

oluşan popülasyona da sürü (swarm) ismi verilir. PSO, bireyler arasındaki bilginin paylaşımını esas alır. Her bir parçacık kendi konumunu, bir önceki tecrübesinden yararlanarak bir önceki sürüdeki en iyi konuma doğru ayarlar. Her bir parçacık bir önceki en iyi parçacığın pozisyonuna doğru hareketi küresel ve yerel komşu değerlerini kullanarak gerçekleştirir.

1.1.1.3 Karınca Kolonileri (Ant Colonies)

1992 yılında Dorigo tarafından geliştirilen Karınca Kolonileri Optimizasyonu karınca kolonilerinin yiyecek toplama esasına göre çalışır (Dorigo ve diğ., 1999). Colormi ve Dorigo tarafından 1991 yılında Gezgin Satıcı Problemlerinin (TSP) çözümünde başarı ile uygulanmıştır. Doğadaki karıncalar kör olduklarından, koloniler halinde yiyecek toplamadaki en kısa yolu seçme yöntemlerine göre algoritma oluşturur. Doğadaki karıncalar, yiyecek toplarken, geçmiş oldukları yollar üzerinde bir sıvı madde (iz) bırakırlar. Bu madde uçucu olup belirli zaman sonra kaybolur. Belirli bir t zaman aralığında belirli bir yoldan ne kadar çok karınca geçer ise iz miktarı o kadar fazla olur. Daha sonra aynı yol üzerinde gelen karıncalar kısa yolu, bırakılan iz miktarına bağlı olarak seçerler, diğer bir deyişle gidebileceği birden fazla yol olduğunda, iz miktarı fazla olan yolu tercih ederler.

1.1.2 Tek Nokta Aramalı Yöntemler

1.1.2.1 Yerel Arama Algoritmaları (Local Search)

Yerel arama algoritmalarının amacı, araştırmayı iyileşmiş bir çözüme yönlendirmek için mevcut durumu, onun komşularına doğru bozarak aramayı bir noktadan diğerine taşımak, böylece çözüm uzayındaki daha iyi çözümleri keşfetmektir.

Yerel arama tekniklerini iki alt sınıfa ayırmak mümkündür. Birincisi, bir açgözlülük fonksiyonunun belirlediği adaylar içinden rastgele seçimle arama yapan bir yöntem olan GRASP'dır (Greedy Random Adaptive Search Procedure–Açgözlü Rassal Uyarlamalı Arama Prosedürü). İkincisi ise mevcut çözüm ile seçilecek komşu çözümler arasında en az belli bir eşik değeri kadar fark bulunmasını şart koşan eşik (threshold) algoritmalarıdır.

1.1.2.2 Benzetim Tavlama (Simulated Annealing)

Benzetim tavlama (BT) Kirkpatrick ve diğerkleri (1983) tarafından geliştirilmiştir. Tavlama fizikten gelen bir terim olup, bir metalin başlangıçta yüksek olan ısısının normal duruma erişinceye kadar yavaş yavaş soğutulması işlemini ifade eder. Benzetim tavlama yöntemi, bu modelin en iyileme amacıyla kullanılabileceğı düşüncesinden çıkmıştır. Böyle bir durumda, dahili enerji amaç fonksiyonunu temsil edecektir. Benzer şekilde ısı kontrol parametresi ve sistemin ardıl denge durumları da mevcut çözümün komşularını temsil edecektir.

Bu tekniğin dikkat çeken bir yönü, algoritmanın yerel minimuma düşmesini önleyen bir seçim ölçütü olan olasılıklı seçim yönteminin kullanılmasıdır. Bu yüzden, BT rastgele-esaslı bir arama tekniğidir. BT’de çözüm yerel minimuma düşünceye kadar ilerler, ancak ondan sonra yapılabilecek bir taşımaya mevcut çözüm ile komşu çözüm değeri arasındaki farkın bir fonksiyonu olasılığında izin verilir.

1.1.2.3 Tabu Arama (Tabu Search)

Tabu Arama (TA) uygun komşunun seçim düzeneğı hariç benzetimsel tavlama olduğı benzemektedir. Bu yaklaşımda komşu seçimi olasılıklı değildir. Bununla beraber daha önce ziyaret edilmiş bir komşunun tekrar ele alınmasını önlemek için, ziyaret edilen komşular tabu listesi diye adlandırılan bir yasak listesinde bir müddet tutulur. Böylece algoritma yerel minimumdan kolay kurtulur. Ancak eğer ele alınan bir komşunun amaç fonksiyonu değeri aspirasyon ölçütü olarak adlandırılan bir ölçütü sağlıyorsa o komşu tabu listesinde olsa bile yeni bir çözüm olarak seçilir. Ayrıca yasak listesindeki çözümler bir müddet sonra listeden düşürölerek onun tekrar ele alınmasına imkan tanınır, yani stratejik bir unutma işlemiyle zekice problem çözme yeteneğı sağlamak amaçlanır. Böylece çözüm küresel en iyiye doğru farklı yönlerden hızlı bir şekilde ilerletilmeye çalışılır.

TA’nın işleyişi basittir ve ilk 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 aspirasyon 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 yeni en iyi çözüm olarak saklanır. Bu işlem bir durdurma ölçütü karşılanıncaya kadar tekrarlanır.

1.2 Çizelgelemenin Üretimdeki Yeri ve Önemi

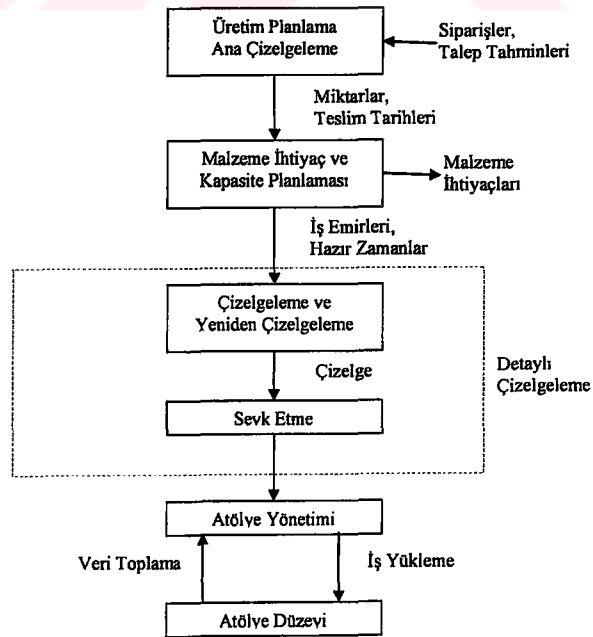
Çizelgeleme, yapılması gereken görevler için bir veya daha fazla amacı en iyi kılacak şekilde kıl kaynakların tahsis edilmesiyle ilgilidir. Burada kıl kaynaklar bir atölyedeki tezgahlar, bir hava alanındaki pistler, bir inşaattaki çalışanlar, bir bilgisayarın işlem üniteleri vb. olabilir. Görevler ise üretimdeki işlemler, hava alanındaki iniş ve kalkışlar, inşaatın inşaat safhaları ve bilgisayar programlarının çalıştırılması vb. olabilir. Görevlerin bir öncelik seviyesi, mümkün en erken başlama ve en geç tamamlanma zamanları olabilir. Amaçlar ise yapılacak olan son görevin tamamlanma zamanının en aza indirilmesi, geciken görev sayısının en aza indirilmesi vb. olabilir (Pinedo, 1995).

Üretim çizelgeleme probleminde iki tür olurluluk kısıtından bahsedilebilir:

-Tezgah kapasitesi kısıtları

-Teknolojik kısıtlar

Baker (1994)'e göre, çizelgeleme probleminin çözümü bu iki tip kısıtın olurlu bir çözümdür.



Şekil 1-2 İmalat Sisteminde Çizelgelemenin Yeri (Pinedo, 1995)

Şekil 1-2'de bir imalat sistemini oluşturan işlevler ve arasındaki bilgi akışı görülmektedir. Burada çizelgeleme işlevinin diğer önemli üretim işlevleriyle sıkı bir etkileşim içerisinde olduğu görülmektedir. Çizelgeleme öncelikle uzun ve orta-dönem üretim planlama işlevinden bilgi almaktadır. Şöyle ki, uzun ve orta dönem üretim planlama envanter seviyeleri, talep tahminleri ve kaynak kapasitesi gereksinimlerini göz önüne alınır, en üst-seviyede ürün karışımı ve uzun-dönem kaynak tahsisine karar verilir. Bu kararlar çizelgeleme işlevi üzerinde birinci dereceden etkilidir. Çünkü içerisinde süreç planları, iş-hazır zamanları ve teslim tarihlerini içeren iş emirleri vardır. Ayrıca çizelgeleme işlevi atölye düzeyi kontrol işleviyle etkileşerek, önce atölye yükü, tezgah yükü, tezgah-hazır zamanları vb.. gibi atölye durumu bilgilerini alır ve sonra atölye için iş yükünü içeren çizelgeyi üretir. Bu yüzden, atölye düzeyindeki tezgah bozulmaları vb.. gibi beklenmedik olaylar da çizelgeleme üzerinde büyük bir etkiye sahip olabilir.

Sonuç olarak daha iyi üretim çizelgeleri, kaynak verimliliğinde artış ve işlem yönetimindeki ilgili etkinliklere bağlı olarak rekabet etme avantajı sağlar.

Etkin bir üretim sisteminin işlevleri içinde çizelgelemenin önemi gittikçe artmaktadır. Çünkü artan küresel rekabet nedeniyle pazar koşullarının sürekli değişmesinden dolayı, ileri imalat süreç teknolojilerinin ve üretim sistemlerinin kurulması, taktik ve yöntemlerin hızla geliştirilmesi gerekmektedir. Bu durum düşük envanter seviyeleri ile daha az kaynak tüketimini sağlayan, ama aynı zamanda müşteri memnuniyetini artıran bir sistemin gerekliliğini ortaya çıkarır. Bu da ancak etkin, verimli ve doğru bir çizelgelemeyle mümkündür. Sonuç olarak, bir imalat sisteminin etkinlik ve verimliliğini, üretim planlama ve çizelgelemenin belirlediği ileri sürülebilir.

1.3 Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu tezde, ilk olarak çözümü zor olan genel atölye tipi çizelgeleme problemlerinin çözümünde yeni bir sezgisel yöntem olan PSO'nun uygulanabilirliğini gösterip, tamamlanma zamanı başarımlı ölçütüne göre performanslarını incelemektir.

Daha sonra önerilen PSO modelinin sonuçlarını geliştirilen GA modelinin sonuçlarıyla ve literatürde iyi performans veren diğer sezgisel yöntemlerin

sonuçlarıyla istatistiksel olarak çeşitli anlam düzeylerinde karşılaştırmak bu yöntemlere eşdeğer düzeyde veya daha iyi olduğunu göstermektir.

Bu çalışmanın kapsamı ise,

- Genel atölye tipi çizelgeleme problemlerinin tanımını ve kullanılan performans ölçütlerini vermek
- Tamamlanma zamanı (makespan) performans ölçütüne göre yapılan mevcut çalışmaların genel bir sunumunu yapmak
- PSO ve GA yaklaşımlarını kullanarak atölye tipi çizelgeleme problemleri için iki model geliştirip sonuçları istatistiksel olarak karşılaştırmak
- PSO modelini ve GA modelini değişken komşuluk arama yerel arama yöntemiyle geliştirip zor problemler üzerinde sonuçları istatistiksel olarak karşılaştırmak
- Yerel aramalı PSO modelinin sonuçlarını, literatürde ün yapmış diğer en iyi yöntemlerle istatistiksel olarak karşılaştırmak olacaktır.

1.4 Tezin Düzeni

Tezin birinci bölümünde genel olarak sezgisel yöntemlerin tanıtımı ile çizelgelemenin üretimdeki yeri ve önemi üzerinde durulmuştur. İkinci bölümünde genel atölye tipi çizelgelemenin tanımı, gösterim şekilleri ve tipleri üzerinde bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde, atölye tipi çizelgelemede mevcut çalışmalar açıklanmıştır Dördüncü bölümde genel olarak Parçacık Sürü Optimizasyonunun tanımı ve işleyişi hakkında bilgi verilmiştir. Beşinci bölümde ve Altıncı bölümde sırasıyla atölye tipi çizelgeme problemleri için Parçacık Sürü Optimizasyonu modeli ve Genetik Algoritma modeli geliştirilmiştir. Yedinci bölümde bu iki modelin çeşitli anlamlılık düzeylerinde istatistiksel olarak karşılaştırılması yapılmıştır. Sekizinci bölümde ise PSO ve GA ile *değişken komşuluk arama* yerel algoritmasıyla birleştirilerek kendi aralarında incelenip daha sonra yerel aramalı PSO modeli literatürdeki en iyi yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Son bölümde ise çalışmanın sonuçları ile gelecekteki çalışma konuları ele alınmıştır.

2 GENEL ATÖLYE TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMİ

Bu bölümde genel atölye tipi çizelgeleme probleminin tanımı, geçerli olan varsayımları, matematik modeli, problemin görsel gösterim şekilleri ile literatürde yer alan gösterim şekilleri sunulmuştur.

2.1 Tanım, Varsayımlar ve Performans Ölçütleri

Genel Atölye tipi çizelgeleme problemi, sonlu sayıda m tane $\{M_1, M_2, M_3, \dots, M_m\}$ tezgahta işlenmek üzere yine sonlu sayıda n tane $\{J_1, J_2, J_3, \dots, J_n\}$ işi, önceden belirlenen bir sıra ve kapasite kısıtlarını yerine getirerek, amaç fonksiyonunu en iyi kılacak şekilde her bir işlemin başlama zamanını belirlemek olarak tanımlanabilir.

Burada her bir işin, her bir tezgahta sadece bir kez işlem gördüğü kabul edilir. Bir işin tezgahta işlenmesine operasyon denir ve i . işin j . tezgahtaki operasyonu O_{ij} olarak gösterilir ve toplam operasyon sayısı $n \times m$ kadardır. İşler, tezgahlarda belli bir sıra halinde işlenir ve bu sıra, teknolojik kısıt, veya rota olarak adlandırılır. Her bir iş kendi işlem sırasına sahiptir ve diğer işlerin işlem sıralarından bağımsızdır. Her bir operasyon (O_{ij}) belli bir süre içerisinde gerçekleştirilir. Bu zaman uzunluğu, işlem süresi olarak adlandırılır ve i . işin j . tezgahdaki işlem süresi p_{ij} olarak gösterilir.

Yukarıdaki varsayımlara ek olarak atölye tipi çizelgelemede şu varsayımlar da yapılır. (French, 1982).

-Her bir iş bir bütündür. İş farklı operasyonlardan oluşmasına rağmen, aynı işin iki operasyonu hiçbir şekilde aynı anda işlenemez.

-İş bölme yoktur: Her bir operasyon, başladığı zaman, diğer operasyon o tezgahta başlatılmadan önce tamamlanmalıdır.

-Bütün işler sıfır anında işlemeye hazırdır.

-Bir iş, her bir tezgahta bir tane olmak üzere, m farklı operasyona sahiptir. İşin aynı tezgahta iki defa işlem görmesi olasılığı hesaba katılmaz.

- İşlem süreleri süreç sırasına bağlı değildir.
- Tezgahlar çizelgelemeye başlarken boştur.
- İş iptali söz konusu değildir: Bütün işler tamamlanıncaya kadar işlenmelidir.
- Tezgahın her bir tipinden sadece bir tane vardır. İşlerin işlenmesi esnasında aynı işin yapan birden fazla tezgahın olmadığı varsayılır.
- Tezgahlar boş kalabilir.
- Hiçbir tezgah, aynı anda birden fazla operasyonu işleyemez.
- Tezgahlar asla bozulmaz ve çizelgeleme periyodu boyunca kullanıma hazırdır.
- Teknolojik kısıtlar önceden bilinir ve sabittir.
- Rassallık söz konusu değildir.
- İşlerin sayısı bilinir ve sabittir.
- Tezgahların sayısı bilinir ve sabittir.
- İşlem zamanları bilinir ve sabittir.
- Hazırlık zamanları ve taşıma süreleri işlem sürelerine dahil edilmiştir.
- Bütün işler eşit öneme sahiptir, öncelik tercihi yoktur.

Sonuç olarak atölye tipi çizelgelemede işlerin tezgahlardan geçtiği bir sıra bulunur. Bu sıra, teknolojik kısıtlarla bağdaşır olmalı, yani olurlu bir çizelge olmalı ve bazı başarımlar ölçütlerine göre optimal veya optimale yakın olmalıdır.

Atölye tipi çizelgelemenin ne derece başarılı olduğuna karar verebilmek için birtakım başarımlar ölçütleri tanımlanması gereklidir. Bu başarımlar ölçütlerini matematiksel olarak ifade etmeden önce bazı tanımlar ve notasyonların verilmesi gerekir. İş sayısına n , tezgah sayısına m dersek,

Bunlar;

$$r_i = i. \text{ işin hazır zamanı } i = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$p_{ij} = i. \text{ işinin } j. \text{ tezgahta işlem süresi } i = 1, 2, 3, \dots, n, j = 1, 2, 3, \dots, m$$

$$d_i = J_i. \text{ işin teslim tarihi } i = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$W_i = J_i \text{ 'nin toplam bekleme süresi. } W_i = \sum_{k=2}^m W_{ik} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

$C_i = J_i$ 'nin tamamlanma süresi (yani J_i işinin işlenmesinin bittiği zamandır.)

$$C_i = r_i + p_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

$F_i = J_i$ işinin akış süresi (yani J_i işinin atölyedeki harcadığı süre)

$$F_i = C_i - r_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

$L_i = J_i$ nin gecikmesi (yani işin tamamlanma zamanı ile teslim tarihi arasındaki farktır.) $L_i = C_i - d_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$

Eğer iş erken bitmiş ise, yani teslim tarihinden önce tamamlandıysa L_i negatiftir. Tam tersine eğer L_i pozitif ise iş geç kalmış demektir ve buna işin pozitif gecikmesi denir. Böylece yeni iki kriter tanımlanmaktadır.

$$T_i = J_i \text{ işinin pozitif gecikmesi. } T_i = \max\{L_i, 0\} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$E_i = J_i \text{ işinin erkenliği } E_i = \max\{-L_i, 0\} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

Yukarıdaki terminolojide zaman kavramı iki farklı anlama sahiptir. Zaman, hem bir zaman aralığını, hem de belli bir zaman noktasını ifade eder. Dolayısıyla hazır zaman, tamamlanma zamanı, zaman eksenindeki bir noktayı ifade ederken işlem süresi, bekleme süresi ve akış süresi bir zaman aralığını gösterir.

Genellikle bu miktarların ortalamaları ve maksimum değerleri başarımlar ölçütleri olarak alınır. Örneğin $\bar{F}$ ortalama akış zamanı, $C_{\max}$ ise maksimum tamamlanma zamanını gösterir.

Bu notasyona bağlı olarak Atölye tipi çizelgelemede başarımlar ölçütlerini iki sınıfta toplayabiliriz.

Tamamlama zamanına dayanan kriterler; maksimum akış zamanı, maksimum tamamlanma zamanı, ortalama akış zamanı ve ortalama tamamlanma zamanıdır. $(F_{\max}, C_{\max}, \bar{F}, \bar{C})$. Bu ölçütlerin minimum olması istenir.

Teslim tarihine dayanan kriterler ise işlerin teslim tarihlerine ne kadar yaklaşıldığı ile ilgili uygun başarımlar ölçütleri, ortalama gecikme $(\bar{L})$, maksimum gecikme $(L_{\max})$, ortalama pozitif gecikme $(\bar{T})$, maksimum pozitif gecikme $(T_{\max})$ ve geç kalan iş sayısıdır. Bütün ölçütlerin minimum edilmesi istenir.

2.2 Problemin Matematik İfadesi

Atölye tipi çizelgelemenin tamamlanma zamanı (makepan) başarıml ölçütüne göre matematiksel ifadesi,

$C_{\max}$ Tamamlanma zamanını (Makespan)

y_{ij} .i. tezgahdaki j. işin operasyonunun başlama zamanını

p_{ij} i. tezgahdaki j. işin işlem süresini göstermektedir.

n İş sayısını

m Tezgah sayısını

göstermek üzere şu şekildedir.(Pinedo, 1995).

Tablo 2-1Atölye Tipi Çizelgeleme Probleminin Matematiksel İfadesi

Min	$C_{\max}$		
$y_{kj} - y_{ij} \geq p_{ij}$ $k, i \in 1, 2, 3, \dots, m$ ve $j \in 1, 2, 3, \dots, n$	Buradaki $[i, k]$ 'ler, j işinin ardışık iki operasyonudur. Diğer bir ifade ile $(i \rightarrow k)$ 'dir.	(1)	
$y_{ij} - y_{il} \geq p_{il} \quad \vee \quad y_{il} - y_{ij} \geq p_{ij}$ $i \in 1, 2, 3, \dots, m$ ve $j, l \in 1, 2, 3, \dots, n$	Buradaki $[j, l]$ aynı tezgahı gerektiren operasyon çiftidir ve $j \neq l$	(2)	
$C_{\max} - y_{ij} \geq p_{ij} \quad i \in 1, 2, 3, \dots, m$ ve $j, \in 1, 2, 3, \dots, n$	Bütün operasyonlar için.	(3)	
$y_{ij} \geq 0 \quad i \in 1, 2, 3, \dots, m$ ve $j, \in 1, 2, 3, \dots, n$	Bütün operasyonlar için.	(4)	

Burada birinci kısıt teknolojik sıra içindir. Diğer bir ifadeyle, bu kısıt her bir işin ardışık işlemlerinin başlama zamanları arasındaki farkın en az bir önceki işlemin süresi kadar olmasını sağlar. Böylece bir işin bir anda sadece bir tezgah tarafından işlenebileceği varsayımında sağlanmış olur. İkinci kısıt ise bir tezgahın aynı anda sadece bir işlemi yapabilmesini sağlar.

2.3 Problemin Zorluğu

Atölye tipi çizelgeleme probleminde n iş m tezgah olmak üzere mümkün çizelgelerin sayısı $(n!)^m$ 'dir. Bu sayı tezgah ve iş sayısının artması durumunda çok büyüyecektir

ve bunlar arasında en iyi çizelgenin tespiti için harcanacak zaman aşırı fazla olacaktır. Örneğin farklı boyutlardaki problemler ele alınırsa mümkün çizelge sayıları ve alacağı işlem zamanları aşağıdaki tabloda görülmektedir.

Tablo 2-2 Problem Büyüklüğüne Göre Mümkün Çizelgelerin Sayısı

Problem Boyutu (n×m)	Mümkün Çizelge Sayısı	10 ⁶ çözümleme/μs Hızında Gereken Zaman(Sn)	Saat	Gün	Yıl
6x6	1.39x10 ¹⁷	1.393 x10 ⁵	3.870 x10 ⁰¹	1.612	-
10x10	3.96 x10 ⁶⁵	3.959 x10 ⁵³	1.100 x10 ⁵⁰	4.583 x10 ⁴⁸	1.256 x10 ⁴⁶
15x15	7.27 x10 ¹⁸³	7.265 x10 ¹⁷¹	2.018 x10 ¹⁶⁸	8.409 x10 ¹⁶⁶	2.304 x10 ¹⁶⁴
20x10	5.60 x10 ⁸¹	5.591 x10 ¹⁶⁹	1.553 x10 ¹⁶⁶	6.471 x10 ¹⁶⁴	1.773 x10 ¹⁶²

Tablo 2-2'den de görüldüğü gibi 10 iş 10 tezgahlı bir problem, 1 μs'de 10⁶ alternatif çizelge incelenirse, toplam 10⁴⁶ yıl sürmektedir.

Pinedo (1995)'in ifadesiyle, eğer bir çizelgeleme problemini en iyi çözecek etkin, yani polinomsal bir zaman algoritması yoksa, bu problemler NP-zor olarak sınıflandırılır. Genel atölye tipi çizelgeleme problemi NP-zor (Non-Deterministic Polynomial hard) problem sınıfına girer. (Rinnooy, 1976).

2.4 Çizelgenin Grafiksel Temsili

Atölye tipi çizelgeleme problemi görsel olarak iki şekilde ifade edilebilir.

2.4.1 Gantt Diyagramı Gösterimi

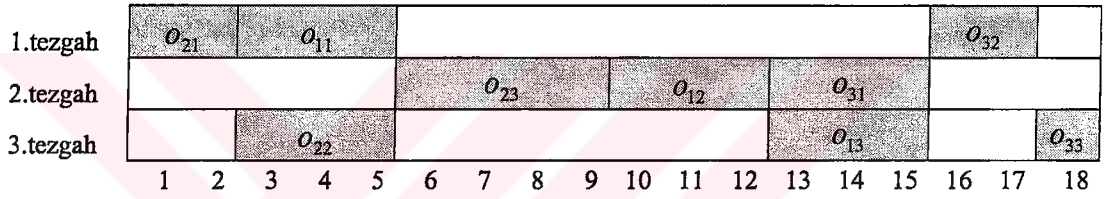
Henry L. Gantt tarafından geliştirilen bu diyagram üretim yönetiminin basit, ama kullanışlı ve çok önemli bir görsel aracıdır. Gantt diyagramı, işlemler ile onların sıraları, süreleri, başlama ve bitiş zamanları, işleneceği tezgahlar vb. gibi bilgileri çok açık olarak gösterir. Gantt diyagramı gösteriminde, her bir satırda belli bir tezgah ile ilgili bilgiler yer alır. Bu satırlar zaman eksenini göstermek üzere, işlemler(operasyonlar) belirgin bloklar halinde dizilir. Böylece belli bir işlemin hangi tezgahta, ne zaman başlayıp, ne zaman biteceği, hangi işlemlerin kritik olduğu, hangilerinin aylıklığa sahip olduğu görülebilir.

Tablo 2-3'de örnek 3-iş 3-tezgah problemi verilmiştir. Şekil 2-1'de ise bu probleme ait örnek olurlu bir çizelge verilmiştir. O_{ij} 'ye i . işin j . operasyonu ifade etmek üzere, Şekil 2-1'de de görüldüğü gibi, bir sonraki operasyonun başlayabilmesi için bir önceki operasyonun bitmiş olması gereklidir. Örneğin, o_{22} 'nin başlayabilmesi

için o_{21} 'in bitmesi gereklidir. Şekil 2-1'deki olurlu çizelgenin tamamlanma zamanı 18'dir.

Tablo 2-3 Örnek 3 İş x 3 Tezgah Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi (a)

İşler	Operasyonlar		
	1	2	3
İşlem Zamanları			
j_1	3	3	3
j_2	2	3	4
j_3	3	2	1
İşler	Tezgah Sırası		
	1	2	3
j_1	1	2	3
j_2	1	3	2
j_3	2	1	3



Şekil 2-1 Tablo 2-3'deki Örneğin Gantt Diyagramı Gösterimi

2.4.2 Ayırıcı Grafik Gösterimi

Ayırıcı grafik gösterimi (disjunctive graph representation), aralarında başlama ve bitiş zamanları bakımından bağımlılık bulunan ve sonunda aynı noktada birleşen faaliyetleri gösteren bir diyagramdır. Atölye tipi çizelgelemede ayırıcı grafik gösterimi, Brucker ve diğ. (1994)'nin ifadesiyle, $G=(V,C \cup D)$ şeklinde tanımlanır. Burada, V işlerin işlemleri gösteren düğümler kümesini, C işlemlerin teknolojik sırasını yansıtan oklar kümesini, D ise aynı tezgahı gerektiren operasyonlar kümesini gösterir. Şekil 2-2 de ayırıcı grafik gösterim örneği yer almaktadır. Bu grafikte her bir işlemin bir iş öncülü ve bir iş ardılı vardır. Örneğin 2 no'lu operasyonun öncülü 1 no'lu operasyon ardılı ise 3 nolu operasyondur.

Tablo 2-4 Örnek 4 İş x 3 Tezgah Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi

İşler	Operasyonlar		
	1	2	3
İşlem Zamanları			
j_1	4	3	2
j_2	1	4	4
j_3	3	2	3
j_4	3	3	1
	Tezgah Sırası		
	1	2	3
j_1	1	2	3
j_2	2	1	3
j_3	3	2	1
j_4	2	3	1

2.5.1 Yarı-Aktif Çizelge

Tezgahların herhangi biri üzerindeki işlem sırasını değiştirmeksizin hiçbir işlemin daha erken tamamlanmasının mümkün olmadığı; yani bütün iş ve tezgah sıraları aynı kalırken bir işlemin mümkün olduğunca erken başlatıldığı olurlu bir çizelge yarı-aktifdir. Şekil 2-3 (a)'da Tablo 2-4'deki örnek problem değerleri kullanılarak oluşturulmuş yarı-aktif çizelge görülmektedir. Böyle bir çizelgede tamamlanma zamanını iyileştirmek ancak tezgahlardaki işlem sıralarını değiştirmekle mümkün olur.

2.5.2 Aktif Çizelge

Diğer herhangi bir işlemi geciktirmeden, tezgahların işleme sırasını değiştirerek hiç bir işlemin daha erken tamamlanmasının mümkün olmadığı, yani hiç bir işlemin başka herhangi bir işlemi bekletmeksizin daha erkene çizelgelenemediği olurlu bir çizelge aktif çizelgedir. Şekil 2-3 (b)'de Tablo 2-4'deki örnek problem değerleri kullanılarak oluşturulmuş aktif çizelge görülmektedir. Aktif bir çizelge aynı zamanda yarı-aktif olmak zorundadır; ancak tersini doğru olması beklenemez.

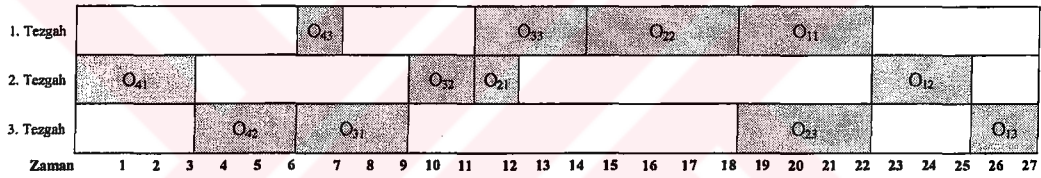
2.5.3 Beklemesiz Çizelge

Eğer tezgah önünde bekleyen işlenmeye hazır bir işlem varken tezgahın asla boş bekletilmediği olurlu bir çizelge, gecikmesiz bir çizelgedir. Gecikmesiz bir çizelge aktif ve yarı-aktif çizelge olmak zorundadır, ama bunun tersinin doğru olması beklenemez. Kapsam şu şekildedir: gecikmesiz çizelge $\subseteq$ aktif çizelge $\subseteq$ yarı-aktif

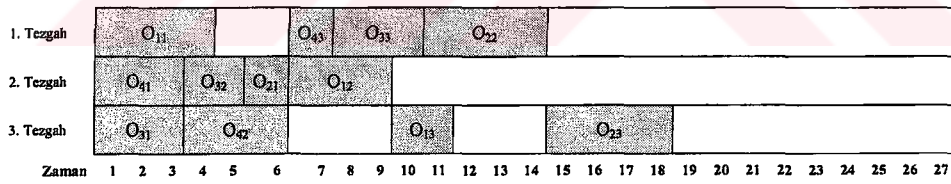
çizelgeler. Şekil 2-3 (c)'de Tablo 2-4'deki örnek problem değerleri kullanılarak oluşturulmuş gecikmesiz çizelge görülmektedir.

Gecikmesiz çizelgeler en az sayıda eleman içeren çizelge kümesini oluştururlar. Jain (1998)'e göre, en iyi gecikmesiz çizelgenin, optimal olmasa bile, çok iyi bir çözüm vereceği beklenebilir. Benzer şekilde, Pinedo (1995)'e göre de, çoğu model için tezgah boşaltmaya izin veren bütün modeller dahil, gecikmesiz optimal çizelgeler vardır.

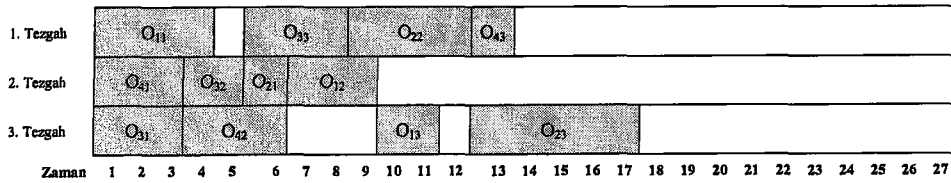
Amaç fonksiyonu tamamlanma zamanına göre en iyilenmeye çalışılıyorsa sadece aktif çizelgelerin dikkate alınması yeterlidir. Aktif çizelge sayısı hem işlem rotasının hem de işlem sürelerinin bir fonksiyonudur. Yarı-aktif çizelgeler kolayca aktif çizelgelere dönüştürülebilir. Ancak verilen aktif bir çizelgeden gecikmesiz bir çizelge elde etmek her zaman kolay değildir. Gecikmesiz çizelgelerin sayısı önemli ölçüde azdır. Baker (1994)'e göre, en iyi çizelgenin gecikmesiz çizelgeler arasında olması kesin değildir. Şekil 2-4'de bu çizelgeler arasındaki ilişki verilmiştir. En iyi çizelgenin de yine Şekil 2-4'de ve aktif çizelgeler arasında yer aldığı görülmektedir.



(a)

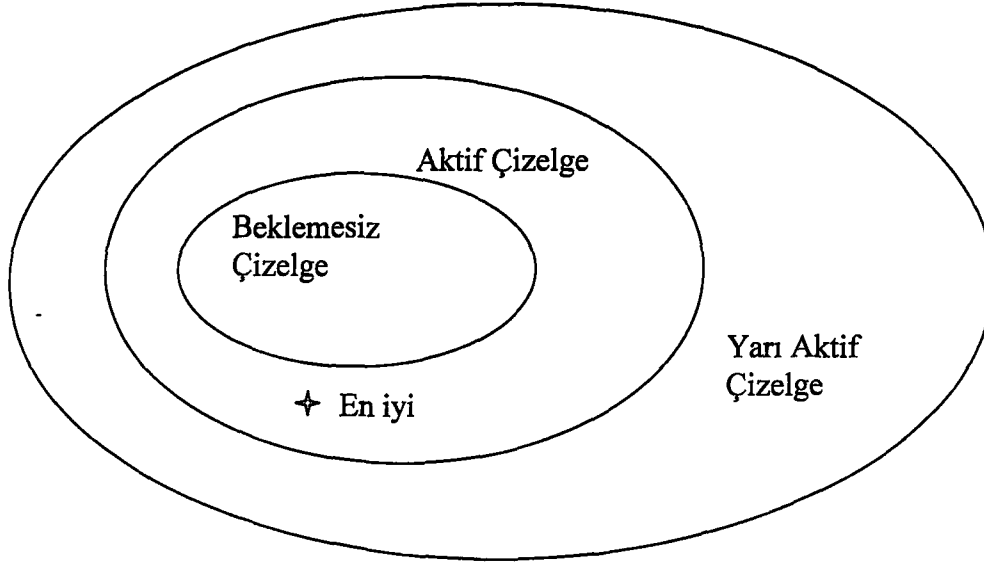


(b)



(c)

Şekil 2-3 Çizelge Tipleri: (a) Yarı-Aktif Çizelge, (b) Aktif Çizelge, ve (c) Beklemesiz Çizelge



Şekil 2-4 Çizelge Tiplerinin Grafikte Gösterimi

2.6 Çizelgenin Gösterim (İfade) Şekilleri

Atölye tipi çizelgeleme probleminin gösterimi, operasyonların öncelik kısıtlarının bulunmasından dolayı, akış tipi çizelgeleme ve gezgin satıcı problemlerinin gösterimi gibi kolay değildir. Literatürde yer alan atölye tipi çizelgeleme problemlerinin gösterim şekillerini dokuz grupta toplayabiliriz. (Cheng ve diğ., 1996).

- Operasyon Tabanlı Gösterim (Operation Based Representation)
- İş Tabanlı Gösterim(Job Based Representation)
- Tercih Listesi Tabanlı Gösterim(Preference List Based Representation)
- İş Çifti İlişkisi Tabanlı Gösterim (Job Pair Relation Based Representation)
- Öncelik Kuralı Tabanlı Gösterim(Priority Rule Based Representation)
- Ayrıcı Grafik Tabanlı Gösterim (Disjunctive Graph Based Representation)
- Tamamlama Zamanlı Tabanlı Gösterim (Completion Time Based Representation)
- Rastgele Anahtar Gösterim (Random Key Representation)

2.6.1 Operasyon Tabanlı Gösterim

Bu gösterimde bir çizelge operasyonlar dizisi şeklinde şifrelenir ve her bir gen tek bir operasyonu ifade eder. Her bir operasyonu adlandırmak için, Gezgin Satıcı Probleminde olduğu gibi, permütasyon şeklinde ifade edilen doğal sayılar kullanılmaktadır. Çoğunlukla, öncelik kısıtlarından dolayı, doğal sayı permütasyonlarının çoğu olurlu çizelgeler tanımlamaz. Gen ve diğ. (1994), bir alternatif önererek bir işin bütün operasyonlarını tek bir sembolle isimlendirip daha sonra bunları dizide oluşma sırasına göre yorumlamışlardır. Şöyle ki, n -İş, m -Tezgah probleminde bir kromozom $n \times m$ tane gen içerir. Her iş kromozomda m kez ortaya çıkar ve her bir gen bir işin somut bir operasyonunu göstermez, sadece o işin kaçınıcı operasyonunun yapılacağını gösterir. Dolayısıyla oluşturulan bütün kromozomlar daima olurlu bir çözümü ifade eder ve aynı zamanda aktif bir çizelge oluşturur.(bkn. Bölüm 2.5.2).

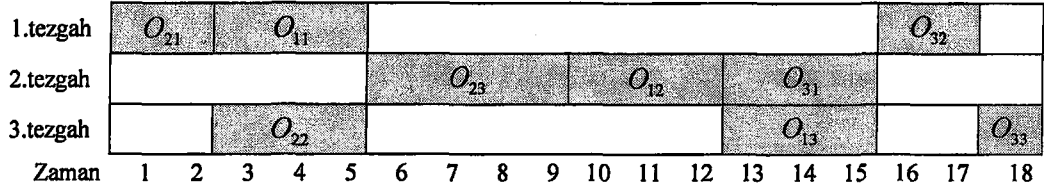
Tablo 2-3'deki örneği ele alalım. Örneğin kromozom [2 1 2 2 1 3 1 3 3] şeklinde verilsin, "1." iş j_1 'i "2." iş j_2 'yi ve "3." iş de j_3 'ü gösterebilir. Her bir iş üç operasyona sahip olduğundan bu kromozom içinde üç kez tekrarlanır. Örneğin kromozomdaki 1. gen(2) 2. işin ilk operasyonu ifade eder ve ilk olarak bu operasyonun yapılmasını ve 1. tezgahta işlenmesini belirtir.

Aynı şekilde ikinci olarak 2. gen olan 1, 1. işin ilk operasyonunun 1. tezgahta işlem görmesini ifade eder. Bu işlem kromozomdaki tüm elemanlar için devam eder. Tablo 2-5'de kromozom değerlerine karşılık gelen tezgah numaraları verilmiştir.

Tablo 2-5 Kromozom Tezgah İlişkisi

Kromozom	2	1	2	2	1	3	1	3	3
	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Tezgah	1	1	3	2	2	2	3	1	3

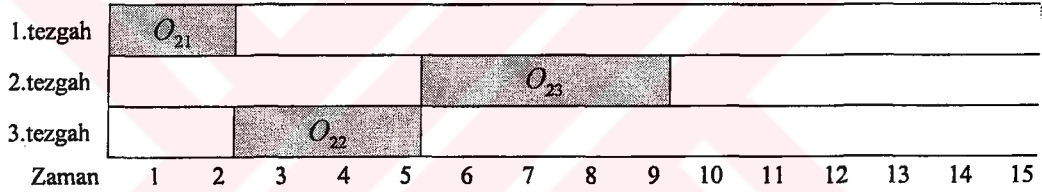
Burada yer alan [2 1 2 2 1 3 1 3 3] değerleri Operasyon Tabanlı Gösterim değerlerini ifade etmektedir. Bu değerler [O_{21} , O_{11} , O_{22} , O_{23} , O_{12} , O_{31} , O_{13} , O_{32} , O_{33}] şekline dönüştürülür. Buradaki O_{nt} n . işin t . operasyonunu göstermektedir. Şekil 2-5'de bu değerler yardımıyla oluşturulan aktif çizelge görülmektedir.



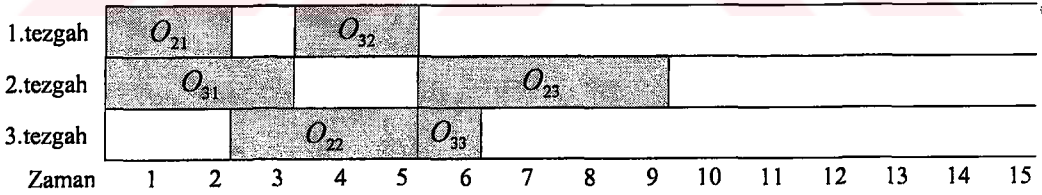
Şekil 2-5 Operasyon Tabanlı İfadeden Elde Edilen Aktif Çizelge

2.6.2 İş Tabanlı Gösterim

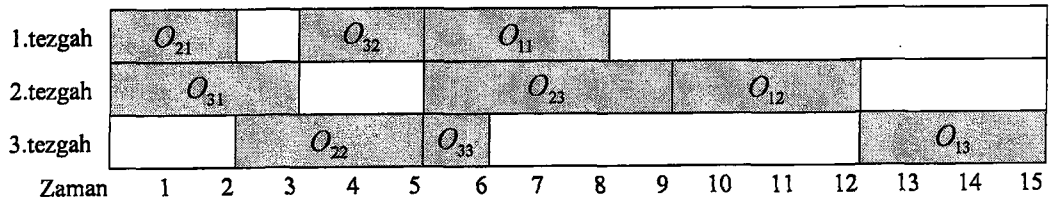
Bu ifadede kromozom iş sayısı kadar (n) bir listeden oluşur. Bu liste işlerin sırasına göre oluşturulmuş bir çizelgeyi ifade eder. Örneğin Tablo 2-3'deki problem ele alınsın. Verilen dizi [2 3 1] şeklinde olsun. Bu liste bize ilk önce 2. işin tüm operasyonlarının sırasıyla [1 3 2] tezgahlarında yapıp daha sonra 3. işin bütün operasyonlarını [2 1 3] tezgahlarında ve son olarak 1. işin bütün operasyonlarını [1 2 3] tezgahlarında işleme konulmasını ifade eder.



(a)



(b)

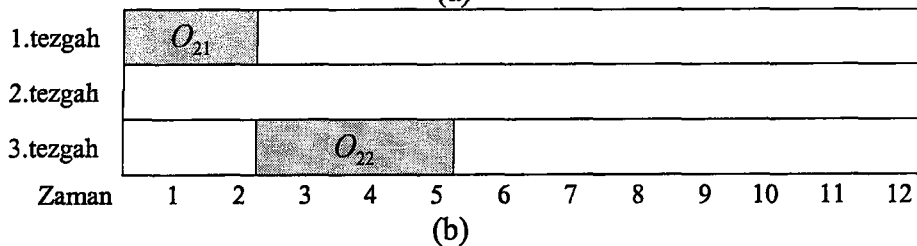
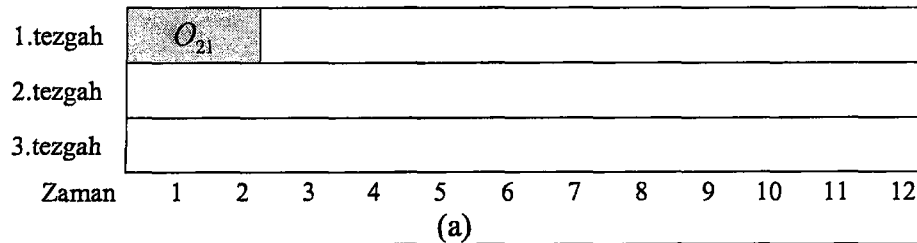


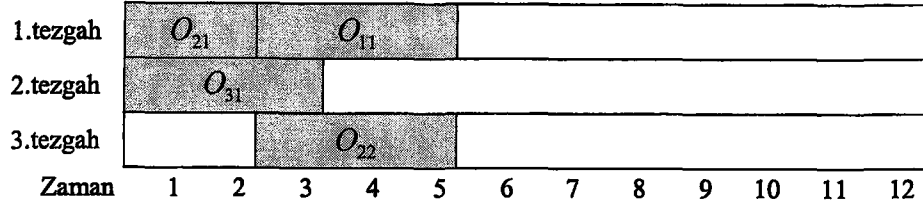
(c)

Şekil 2-6 İş Tabanlı Gösterimde Çizelgelenen İşler: (a) 2.ış, (b) 3.ış ve (c) 1. iş

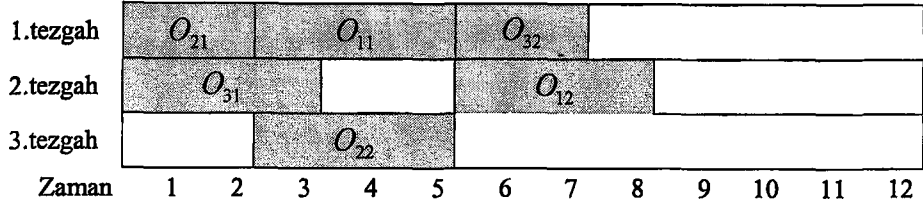
2.6.3 Tercih Listesi Tabanlı Gösterim

Tercih listesi tabanlı gösterim, ilk olarak Davis (1985) tarafından geliştirilmiştir. Bu gösterim şeklinde, n -iş m -tezgah problemi her biri bir tezgahdaki iş sırasını gösteren m tane alt kromozomdan oluşan bir kromozom oluşturulur. Her bir alt kromozom n uzunluğunda bir semboller dizisidir ve her bir sembol ilgili tezgahdaki işlenmesi gereken operasyonu belirler. Ancak alt kromozomlar tezgahdaki operasyon sırasını tanımlamazlar; çünkü bunlar tercih listesini ifade ederler ve her tezgah kendi tercih listesine sahiptir. Gerçek çizelge, tezgah önünde bekleyen kuyrukların durumunu analiz eden ve gerekirse planı belirlemek için tercih listesini kullanan bir simülasyon ile kromozomdan oluşturulur. Örneğin Tablo 2-3'deki örnek probleme göre verilen kromozom [(2 3 1) (1 3 2) (2 1 3)] şeklinde olsun. Buradaki (2 3 1) geni 1. tezgahdaki tercih listesini (sırasını) göstermektedir. Aynı şekilde (1 3 2), 2. tezgah için tercih sırasını; (2 1 3) de 3. tezgah için tercih sırasını ifade eder. Bu tercih listesinden ilk tercihe sahip operasyonlar 1. tezgahta, 2.iş, 2. tezgahta, 1.iş ve 3. tezgahta 2.iştir. Verilen operasyon öncelik kısıtına göre sadece 2.iş 1. tezgahta çizelgelenebilir, (Şekil 2-7 (a)) 2. çizelgelenen operasyon 3. tezgahta 2. iştir (Şekil 2-7 (b)). Mevcut tercih listesindeki operasyonlar, 1. tezgahta 3 iş, 2. ve 3. tezgahta 1. iştir. Öncelik kısıtından dolayı bu işler çizelgelenemez dolayısıyla her bir alt kromozomda ki 2. tercihe bakılır. Bu tercihler sırasıyla 1. tezgahta 1 iş, 2. ve 3. tezgahta 3.iştir. Bunlardan 1. tezgahdaki 1. iş ile 2. tezgahdaki 3.iş çizelgelenebilir durumdadır.(Şekil 2-7 (c)) sonraki çizelgelenebilir operasyonlar ise (Şekil 2-7 (d)) de görüldüğü gibi 1. tezgahta 3.iş ve 2. tezgahta 1. iştir. Bundan sonraki operasyon ise (Şekil 2-7 (e)) 2. tezgahta 2.iş ve 3. tezgahta 1. iştir. Son operasyon ise 3. tezgahta ki 3. iştir (Şekil 2-7 (f)). Bu ifade yöntemi sürekli olarak olurlu bir çizelge üretir.

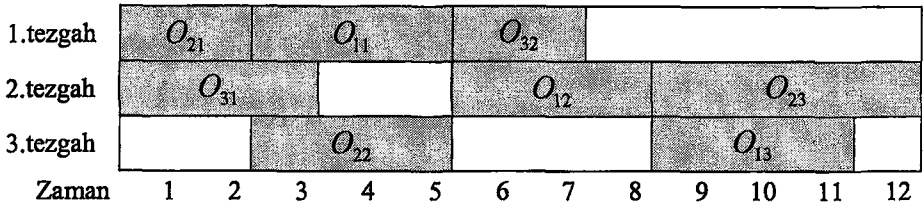




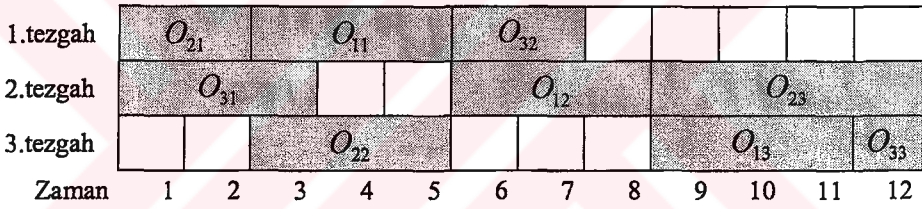
(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 2-7 Tercih Listesi Tabanlı Gösterim de Çizelge Sırası

2.6.4 İş Çifti İlişkisi Tabanlı Gösterim

Nakano ve Yamada (1992) tarafından geliştirilen bu gösterim yönteminde, şifreleme işlemi ikili matris şeklinde olur. Şöyle ki bir programı şifrelendirmek için ikili matris ilgili tezgahdaki iş çiftinin arasındaki önceliğe göre belirlenir. Operasyon öncelik kısıtları ve olurlu bir çizelgesi Tablo 2-6'de verilmiş olan örnek problem incelenirse,

Tablo 2-6 Örnek 3 İş x 3 Tezgah Olurlu Çizelgesi

Operasyon Öncelikleri				Olurlu Çizelge		
İş	Tezgah Sırası			Tezgah	İş Sırası	
1	1	2	3	1	2	1 3
2	1	3	2	2	3	1 2
3	2	1	3	3	2	1 3

X_{ijm} bir iş çiftinin öncelik ilişkisini gösteren ikili (binary) değişken olsun. Eğer m tezgahında i işi j işinden daha önce işleniyorsa bu değişken 0 değerini aksi halde 1 değerini alır.

Örneğin Tablo 2-6'deki örnekte 1.,2. ve 3. tezgah sırasındaki 1. ve 2. iş çifti ele alınırsa verilen çizelgeye göre $(X_{121}, X_{122}, X_{123})$ ikili değişkenleri sırasıyla (0 1 0) değerlerini, 1.,3. ve 2. tezgah sırasındaki 1. ve 3. iş çifti için $(X_{131}, X_{133}, X_{132})$ ikili değişkenleri sırasıyla (1 0 1) değerlerini, ve son olarak 2.,1. ve 3. tezgah sırasındaki 2. ve 3. iş için ise $(X_{232}, X_{231}, X_{233})=(1 0 1)$ değerlerini alır. Bu sonuçlar Tablo 2-7'de ki gibi özetlenirse verilen olurlu bir çizelge için ikili matris elde edilmiş olur.

Bu gösterim şekli diğer gösterim yöntemlerine göre daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Aynı zamanda bu gösterim yönteminde olursuz (infeasible) çizelgeler oluşabilmektedir.

Tablo 2-7 İş Çifti İlişkisi Tabanlı Gösterimde Oluşturulan İkili Matris

İş Çifti	Tezgah Sırası			İkili Değişken			İkili Matris		
1,2	1	2	3	X_{121}	X_{122}	X_{123}	1	0	2
1,3	1	3	2	X_{131}	X_{133}	X_{132}	2	0	1
2,3	2	1	3	X_{232}	X_{231}	X_{233}	1	0	2

2.6.5 Öncelik Kuralı Tabanlı Gösterim

Dorndorf ve Pesch (1995) tarafından geliştirilen bu gösterim yönteminde kromozom iş atamada bir dizi dağıtım (dispatching) kuralı şeklinde şifrelenip dağıtım kuralı sırasına göre öncelik belirlenerek bir çizelge oluşturulur.

Öncelik dağıtım kuralları, çizelgeleme problemlerini çözmede uygulama kolaylığı sağlamasından ve daha az karmaşık olmasından dolayı en çok kullanılan sezgisel bir yöntemdir. Bütün öncelik dağıtım kuralları tabanlı sezgisel yöntemlerde, Giffler&Thompson algoritması temel olarak alınır. Burada önemli olan etkili öncelik kuralını tanımlamaktır.

n iş m tezgah probleminde bir kromozom $n \times m$ adet öncelik sırasından oluşur $(p_1, p_2, \dots, p_{nm})$. Buradaki her p_i Giffler&Thompson algoritmasında i . iterasyondaki çakışma durumunda uygulanacak öncelik kuralını belirtir.

Diğer bir deyişle, çakışma listesinde yer alan bir operasyon öncelik kuralına göre seçilir.

$PS_t = t$ tane çizelgelenmiş operasyon içeren kısmi çizelge. $t \in i = 1, 2, 3, \dots, n \times m$

$S_t = PS_t$ 'ye karşılık gelen t . iterasyondaki çizelgelenebilir operasyonlar kümesi.

$\sigma_i = i$. operasyonun başlayabileceği en erken zaman öyle ki $i \in S_i$

$\phi_i = i$. operasyonun tamamlanabileceği en erken zaman öyle ki $i \in S_i$

$\zeta_t = t$. iterasyondaki çakışan operasyonlar kümesi.

olsun.

Verilen $(p_1, p_2, \dots, p_{nm})$ kromozomunda uygulanacak yöntem şu şekildedir.

Adım 1: $t = 1$, PS_t boş çizelgelenmemiş plan, ve S_t önceliği olmayan bütün operasyonlar olsun.

Adım 2: S_t kümesindeki operasyonların arasında en erken biten operasyonun ($\phi_i^* = \min_{i \in S_t} (\phi_i)$) hangi tezgahta (m^*) olduğunu belirle. Eğer birden fazla tezgah olursa rastgele birini seç.

Adım 3: S_t kümesinde m^* tezgahında işlenecek olan operasyonları çakışma kümesi olarak oluştur (ζ_t). Bu kümeden bir operasyonu p_i kuralına göre seç ve PS_t kümesine ekle. Böylece yeni PS_{t+1} kısmi çizelgesi oluşturulur. Eğer p_i öncelik kuralına göre birden fazla operasyon bulunuyorsa rastgele birini seç.

Adım 4: PS_{t+1} kısmi çizelgesini, seçilmiş operasyonu S_t kümesinden çıkartıp bu operasyonun ardılını ekleyip güncelleştir.

Adım 5: Bütün bir çizelge oluşturana kadar adım 2'ye git.

Tablo 2-8 Öncelik Kurallı Tabanlı Gösterim için Seçilmiş Öncelik Kuralları

Öncelik Kuralları	Tanımı
1 SPT	En kısa işlem zamanlı operasyonu seç
2 LPT	En uzun işlem zamanlı operasyonu seç.
3 MWR	Toplam işlem zamanı daha fazla kalan işin operasyonunu seç.
4 LWR	Toplam işlem zamanı daha az kalan işin operasyonunu seç.

Tablo 2-8'deki öncelik kurallarını dikkate alarak Tablo 2-9'deki örnek problem için verilen kromozom [1 2 2 1 4 4 2 1 3] şeklinde olsun. Buradaki 1, SPT; 2, LPT; 3, MWR; ve 4, LWR öncelik kuralını göstermektedir. Adım 1'de;

$$S_1 = \{O_{11}, O_{21}, O_{31}\}$$

$$\phi_1^* = \min\{3, 1, 3\} = 1$$

$$m^* = 1$$

$$C_1 = \{O_{11}, O_{21}\}$$

O_{11} operasyonu ile O_{21} operasyonları 1. tezgahta çakışma listesini oluşturmaktadır. Verilen kromozomdaki öncelik kuralı 1(SPT) olduğundan bu operasyonların işlem zamanı en küçük olan seçilir. Eşitlik durumunda ise rastgele biri seçilir. Dolayısıyla bu O_{21} operasyonudur.(Şekil 2-8 (a))

Tablo 2-9 Örnek 3 İş x 3 Tezgah Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi (b)

İşler	Operasyonlar		
	1	2	3
İşlem Zamanları			
j_1	3	3	2
j_2	1	5	3
j_3	3	2	3
	Tezgah Sırası		
	1	2	3
j_1	1	2	3
j_2	1	3	2
j_3	2	1	3

Bir sonraki adımda

$$S_2 = \{O_{11}, O_{22}, O_{31}\}$$

$$\phi_2^* = \min\{4, 6, 3\} = 3$$

$$m^* = 2$$

$$C_2 = \{O_{211}\}$$

O_{31} operasyonu 2. tezgahta çizelgelenir. (Şekil 2-8(b)). Bilgiler güncelleştirdiğinde

$$S_3 = \{O_{11}, O_{22}, O_{32}\}$$

$$\phi_3^* = \min\{4, 6, 3\} = 3$$

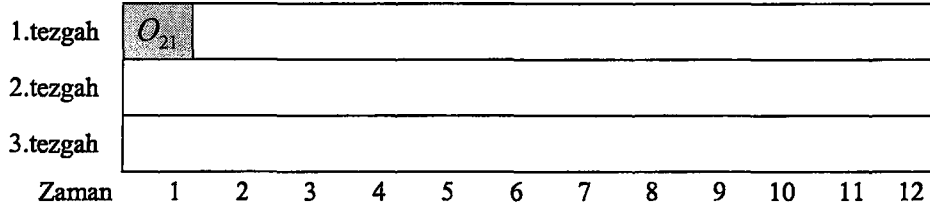
$$m^* = 1$$

$$C_3 = \{O_{11}, O_{32}\} \text{ elde edilir.}$$

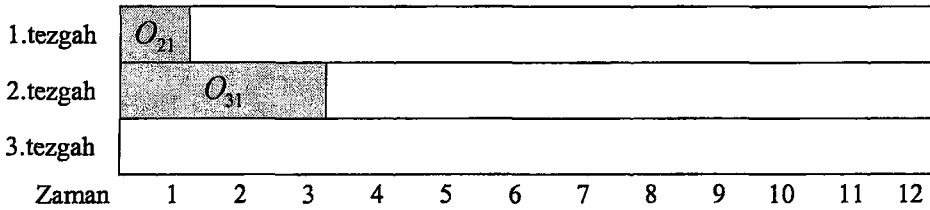
O_{11} operasyonu ile O_{32} operasyonları 1. tezgahta çakışma listesini oluşturmaktadır. Verilen kromozomdaki 3. gende öncelik kuralı 2(LPT) olduğundan bu

operasyonların işlem zamanı en büyük olan seçilir. dolayısıyla O_{11} operasyonu 1. tezgahta çizelgelenir (Şekil 2-8(c)).

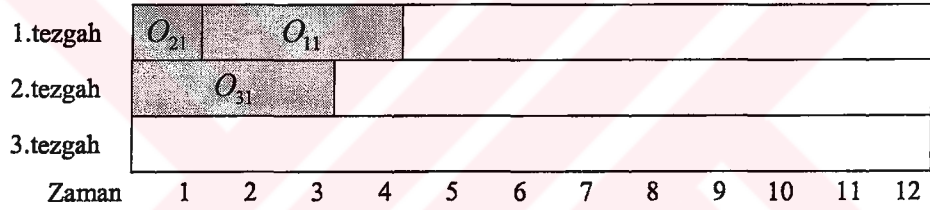
Bu işlemler bütün bir çizelge tamamlana kadar tekrar ettirildiğinde (Şekil 2-8(d))’deki çizelge elde edilir.



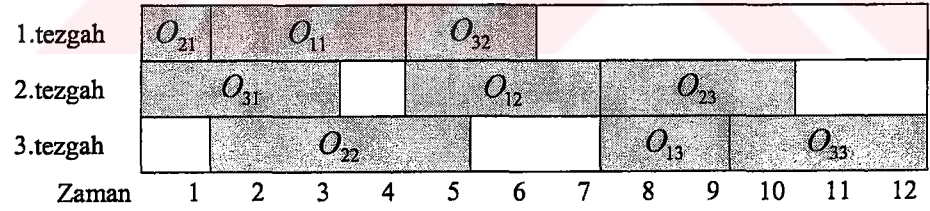
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 2-8 Öncelik Dağıtım Kuralı Tabanlı Gösterim de Çizelge Sırası

2.6.6 Ayırıcı Grafik Tabanlı Gösterim

Tamaki ve Nishikawa (1992) tarafından geliştirilen bu gösterim yöntemi, ayırıcı grafik kullanarak ifade edilebilmektedir. Bölüm 2.6.6’da da ifade edildiği gibi ayırıcı grafik $G=(V,C \cup D)$ şeklinde tanımlanmıştı. Burada, V bütün operasyonları gösteren düğümler kümesini, C aynı işin ardışık operasyonlarını, D ise aynı tezgahdaki operasyonları gösterir. Şekil 2-9’da 3-iş 3-tezgah örnek problemi ayırıcı grafikte görülmektedir. Şekildeki düz oklar C kümesini, kesikli oklar da D kümesini göstermektedir.

Tablo 2-10 Ayırıcı Grafik Tabanlı Gösterimde Kromozom Yapısı

İkili Değişken	e_{14}	e_{18}	e_{48}	e_{27}	e_{26}	e_{76}	e_{53}	e_{93}	e_{59}
	0	0	1	1	0	0	0	1	0

2.6.7 Tamamlama Zamanlı Tabanlı Gösterim

Yamada ve Nakano (1991) tarafından geliştirilen bu gösterimde kromozomun elemanları operasyonların tamamlanma zamanına göre sıralanmıştır. Örneğin ele alınan kromozom $[c_{111}, c_{122}, c_{133}, c_{211}, c_{223}, c_{232}, c_{312}, c_{321}, c_{333}]$ şeklinde olsun. c_{jir}, j işinin i . operasyonunun r . tezgahındaki tamamlanma zamanını gösterebilir. Bu gösterimden de görüldüğü gibi genetik operatörler için (çaprazlama ve mutasyon) olursuz çizelgeler ürettiği için fazla tercih edilen bir gösterim yöntemi değildir.

2.6.8 Rastgele Gösterim

Literatüre ilk kez Bean (1994) tarafından tanıtılan bu yöntemde kromozom belirtilen aralıkta rastgele sayılardan oluşur. Daha sonra bu rassal değerlerden oluşan kromozom tezgah sayısına bölünerek alt kromozomlara dönüşür. Alt kromozomlardaki bu rassal değerler küçükten büyüğe doğru sıralanarak her bir tezgahdaki iş sırası bulunur. Şöyle ki Tablo 2-9'deki örnek 3-tezgah 3-iş problemi için verilen kromozom $[1,34 \ 1,09 \ 1,88 \ 2,66 \ 2,91 \ 2,01 \ 3,23 \ 3,21 \ 3,44]$ şeklinde olsun. Bu kromozom tezgah sayısı kadar alt kromozomlara ayrıldığında 1. tezgah için (1,34 1,09 ve 1,88) değerleri, 2. tezgah için (2,66 2,91 2,01) değerleri ve 3. tezgah için (3,23 3,21 3,44) değerleri elde edilir. Bu değerler küçükten büyüğe sıralandığında 1. tezgahdaki iş sırası (2 1 3), 2. tezgahdaki iş sırası ise (3 1 2) ve 3. tezgahdaki iş sırası ise (2 1 3) şeklinde elde edilir. Rastgele gösterimde her kromozom öncelik kısıtlarından dolayı her kromozom olurlu çizelgeler üretmeyebilir.

2.7 Literatürdeki Atölye Tipi Çizelgeleme Test Problemleri

Literatürde araştırmacıların sunduğu çeşitli test problemleri(benchmark instances) yer almaktadır. Bu problemler Beasley (2004)'in internet sitesinden de ulaşılabilir. Bu problemler aşağıdaki gibi gruplara ayrılabilir.

- FT Problemleri
- LA Problemleri
- ABZ Problemleri
- ORB Problemleri
- SWV Problemleri
- YN Problemleri
- TA Problemleri
- DMU Problemleri

Bu problemlerin formatının aynı olması ve çokluğu nedeniyle örnek olarak FT10 problemi EK-D’de verilmiştir.

2.7.1 FT Problemleri

H. Fisher, G.L. Thompson tarafından 1963 yılında ortaya atılmıştır. FT06, FT10 ve FT20 olmak üzere 3 tip problem mevcuttur. Bu problemlerin yapısı Tablo 2-11’de görülmektedir. Bunların arasında en zor ve meşhur olanı FT10 problemidir. Bu problem 20 yılı aşkın bir sürede çözilememiştir.(Jain ve diğ., 1999). Tablo 2-11’de yer alan alt limit değeri tamamlanma zamanı kriterine göre problemin alması gereken alt sınır değerini, üst sınır değeri ise şu ana kadar yapılmış çalışmalar neticesinde elde edilmiş en iyi değeri göstermektedir. Diğer bir deyimle problemin tamamlanma performans ölçütüne göre alabileceği minimum değer alt sınır değeridir. Üst sınır değeri ise şu ana kadar yapılan çalışmalar sonucu elde edilmiş minimum değeri gösterir. Bu değerler bir birine eşit olduğu takdirde bu problemin optimum değeri elde edilmiş demektir.

Tablo 2-11 FT Problemlerinin Yapısı

Problem	n	m	LB	UB
ft06	6	6	55	55
ft10	10	10	930	930
ft20	20	5	1165	1165

<i>n</i>	İş Sayısı
<i>m</i>	Tezgah Sayısı
<i>LB</i>	Alt Limit Değeri
<i>UB</i>	Üst Limit Değeri

2.7.2 LA Problemleri

S. Lawrence tarafından 1984 yılında ortaya atılmıştır. LA01'den başlayıp LA40'a kadar toplam 40 adet problem mevcuttur. Bu problemlerden boyutları hakkında bilgi Tablo 2-12'de yer almaktadır. Bu problemler arasında en zor olarak la21, la24, la25, la38 ve la40 problemlerini sıralayabiliriz. Literatürde geliştirilen algoritmalar genellikle bu problemler üzerinde denenir.(Jain ve diğ., 1999).

Tablo 2-12 LA Problemlerinin Yapısı

Problem	n	m	LB	UB	Problem	n	m	LB	UB
la01	10	5	666	666	la21	15	10	1046	1046
la02	10	5	655	655	la22	15	10	927	927
la03	10	5	597	597	la23	15	10	1032	1032
la04	10	5	590	590	la24	15	10	935	935
la05	10	5	593	593	la25	15	10	977	977
la06	15	5	926	926	la26	20	10	1218	1218
la07	15	5	890	890	la27	20	10	1235	1235
la08	15	5	863	863	la28	20	10	1216	1216
la09	15	5	951	951	la29	20	10	1152	1152
la10	15	5	958	958	la30	20	10	1355	1355
la11	20	5	1222	1222	la31	30	10	1784	1784
la12	20	5	1039	1039	la32	30	10	1850	1850
la13	20	5	1150	1150	la33	30	10	1719	1719
la14	20	5	1292	1292	la34	30	10	1721	1721
la15	20	5	1207	1207	la35	30	10	1888	1888
la16	10	10	945	945	la36	15	15	1268	1268
la17	10	10	784	784	la37	15	15	1397	1397
la18	10	10	848	848	la38	15	15	1196	1196
la19	10	10	842	842	la39	15	15	1233	1233
la20	10	10	902	902	la40	15	15	1222	1222

2.7.3 ABZ Problemleri

J Adams, E.Balas ve D. Zawack tarafında 1988 de ortaya atılmıştır.(Jain ve diğ., 1999). Bu problemlerden ABZ08 ve ABZ09 problemleri hala çözülememiştir. Bu problemlerden yapısı Tablo 2-13'de görülmektedir.

Tablo 2-13 ABZ Problemlerinin Yapısı

Problem	n	m	LB	UB
abz5	10	10	1234	1234
abz6	10	10	943	943
abz7	20	15	656	656
abz8	20	15	646	665
abz9	20	15	662	679

2.7.4 ORB Problemleri

D. Applegate ve W. Cook tarafından 1991 yılında ortaya atılmıştır. (Jain ve diğ., 1999). Tablo 2-14'de bu problemlerin yapısı görülmektedir.

Tablo 2-14 ORB Problemlerinin Yapısı

Problem	n	m	LB	UB
orb01	10	10	1059	1059
orb02	10	10	888	888
orb03	10	10	1005	1005
orb04	10	10	1005	1005
orb05	10	10	887	887
orb06	10	10	1010	1010
orb07	10	10	397	397
orb08	10	10	899	899
orb09	10	10	934	934
orb10	10	10	944	944

2.7.5 SWV Problemleri

R.H. Storer, S.D. Wu ve R. Vaccari tarafından 1992 yılında ortaya atılmıştır. (Jain ve diğ., 1999). Tablo 2-15’de bu problemlerin yapısı görülmektedir.

Tablo 2-15 SWV Problemlerinin Yapısı

Problem	n	m	LB	UB
swv01	20	10	1407	1407
swv02	20	10	1475	1475
swv03	20	10	1398	1398
swv04	20	10	1450	1474
swv05	20	10	1424	1424
swv06	20	15	1591	1673
swv07	20	15	1447	1600
swv08	20	15	1641	1759
swv09	20	15	1605	1661
swv10	20	15	1632	1761

2.7.6 YN Problemleri

T. Yamada ve R. Nakano tarafından 1992 yılında ortaya atılmıştır. (Jain ve diğ., 1999). Tablo 2-16’de bu problemlerin yapısı görülmektedir.

Tablo 2-16 YN Problemlerinin Yapısı

Problem	n	m	LB	UB
yn1	20	20	846	885
yn2	20	20	870	909
yn3	20	20	840	892
yn4	20	20	920	968

2.7.7 TA Problemleri

Eric Taillard tarafından geliştirilen bu problemler Tablo 2-17’de görülmektedir Taillard (2004).

Tablo 2-17 TA Problemlerinin Yapısı

Problem	n	m	LB	UB	Problem	n	m	LB	UB
ta01	15	15	1231	1231	ta41	30	20	1859	2014
ta02	15	15	1244	1244	ta42	30	20	1867	1956
ta03	15	15	1218	1218	ta43	30	20	1809	1859
ta04	15	15	1175	1175	ta44	30	20	1927	1984
ta05	15	15	1224	1224	ta45	30	20	1997	2000
ta06	15	15	1238	1238	ta46	30	20	1940	2016
ta07	15	15	1227	1227	ta47	30	20	1789	1903
ta08	15	15	1217	1217	ta48	30	20	1912	1952
ta09	15	15	1274	1274	ta49	30	20	1915	1968
ta10	15	15	1241	1241	ta50	30	20	1807	1926
ta11	20	15	1323	1358	ta51	50	15	2760	2760
ta12	20	15	1351	1367	ta52	50	15	2756	2756
ta13	20	15	1282	1342	ta53	50	15	2717	2717
ta14	20	15	1345	1345	ta54	50	15	2839	2839
ta15	20	15	1304	1340	ta55	50	15	2679	2679
ta16	20	15	1302	1360	ta56	50	15	2781	2781
ta17	20	15	1462	1462	ta57	50	15	2943	2943
ta18	20	15	1369	1396	ta58	50	15	2885	2885
ta19	20	15	1297	1335	ta59	50	15	2655	2655
ta20	20	15	1318	1351	ta60	50	15	2723	2723
ta21	20	20	1539	1644	ta61	50	20	2868	2868
ta22	20	20	1511	1600	ta62	50	20	2869	2869
ta23	20	20	1472	1557	ta63	50	20	2755	2755
ta24	20	20	1602	1647	ta64	50	20	2702	2702
ta25	20	20	1504	1595	ta65	50	20	2725	2725
ta26	20	20	1539	1645	ta66	50	20	2845	2845
ta27	20	20	1616	1680	ta67	50	20	2825	2825
ta28	20	20	1591	1614	ta68	50	20	2784	2784
ta29	20	20	1514	1625	ta69	50	20	3071	3071
ta30	20	20	1472	1584	ta70	50	20	2995	2995
ta31	30	15	1764	1764	ta71	100	20	5464	5464
ta32	30	15	1774	1796	ta72	100	20	5181	5181
ta33	30	15	1778	1793	ta73	100	20	5568	5568
ta34	30	15	1828	1829	ta74	100	20	5339	5339
ta35	30	15	2007	2007	ta75	100	20	5392	5392
ta36	30	15	1819	1819	ta76	100	20	5342	5342
ta37	30	15	1771	1778	ta77	100	20	5436	5436
ta38	30	15	1673	1673	ta78	100	20	5394	5394
ta39	30	15	1795	1795	ta79	100	20	5358	5358
ta40	30	15	1631	1674	ta80	100	20	5183	5183

2.7.8 DMU Problemleri

Ebru Demirkol, Sanjay Mehta ve Reha Uzsoy tarafından oluşturulmuştur (Demirkol ve diğerleri 1998, 2004). Problemlerin yapısı Tablo 2-17’de görülmektedir.

Tablo 2-18 DMU Problemlerinin Yapısı

Problem	n	m	LB	UB	Problem	n	m	LB	UB
DMU01	20	15	2501	2563	DMU41	20	15	2839	3275
DMU02	20	15	2651	2706	DMU42	20	15	3066	3416
DMU03	20	15	2731	2731	DMU43	20	15	3121	3455
DMU04	20	15	2601	2669	DMU44	20	15	3112	3501
DMU05	20	15	2749	2749	DMU45	20	15	2930	3273
DMU06	20	20	2834	3252	DMU46	20	20	3425	4101
DMU07	20	20	2677	3063	DMU47	20	20	3353	3973
DMU08	20	20	2901	3199	DMU48	20	20	3317	3834
DMU09	20	20	2739	3092	DMU49	20	20	3369	3765
DMU10	20	20	2716	2985	DMU50	20	20	3379	3772
DMU11	30	15	3395	3457	DMU51	30	15	3839	4252
DMU12	30	15	3481	3519	DMU52	30	15	4012	4383
DMU13	30	15	3681	3698	DMU53	30	15	4108	4454
DMU14	30	15	3394	3394	DMU54	30	15	4165	4425
DMU15	30	15	3332	3343	DMU55	30	15	4099	4332
DMU16	30	20	3726	3787	DMU56	30	20	4366	5049
DMU17	30	20	3697	3854	DMU57	30	20	4182	4781
DMU18	30	20	3844	3852	DMU58	30	20	4214	4834
DMU19	30	20	3650	3814	DMU59	30	20	4199	4696
DMU20	30	20	3604	3740	DMU60	30	20	4259	4890
DMU21	40	15	4380	4380	DMU61	40	15	4886	5294
DMU22	40	15	4725	4725	DMU62	40	15	5004	5342
DMU23	40	15	4668	4668	DMU63	40	15	5049	5437
DMU24	40	15	4648	4648	DMU64	40	15	5130	5367
DMU25	40	15	4164	4164	DMU65	40	15	5072	5271
DMU26	40	20	4647	4670	DMU66	40	20	5357	5910
DMU27	40	20	4848	4848	DMU67	40	20	5484	6016
DMU28	40	20	4692	4692	DMU68	40	20	5423	5936
DMU29	40	20	4691	4691	DMU69	40	20	5419	5891
DMU30	40	20	4732	4732	DMU70	40	20	5492	6076
DMU31	50	15	5640	5640	DMU71	50	15	6050	6302
DMU32	50	15	5927	5927	DMU72	50	15	6223	6571
DMU33	50	15	5728	5728	DMU73	50	15	5935	6283
DMU34	50	15	5385	5385	DMU74	50	15	6015	6376
DMU35	50	15	5635	5635	DMU75	50	15	6010	6384
DMU36	50	20	5621	5621	DMU76	50	20	6329	6975
DMU37	50	20	5851	5851	DMU77	50	20	6399	6930
DMU38	50	20	5713	5713	DMU78	50	20	6508	6962
DMU39	50	20	5747	5747	DMU79	50	20	6593	7164
DMU40	50	20	5577	5577	DMU80	50	20	6435	6824

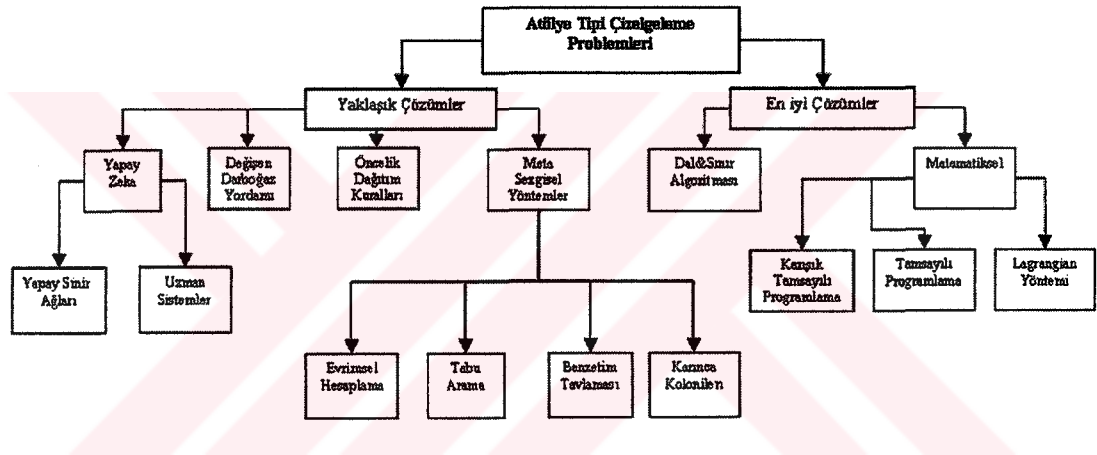
3 MEVCUT ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI

Bu bölümde, atölye tipi çizelgeleme problemlerinin literatürdeki mevcut çözüm yöntemleri sınıflandırılıp bunların performansları incelenmiştir.

Literatürdeki atölye tipi çizelgeleme problemlerine uygulanmış çözüm yaklaşımlarını Şekil 3-1'deki gibi iki kategoriye ayırabiliriz (Jain ve diğerleri, 1999)

-En İyi Çözümler

-Yaklaşık Çözümler



Şekil 3-1 Literatürdeki Mevcut Çözüm Yaklaşımları

3.1 En İyi Çözümler

Atölye tipi çizelgeleme problemlerinin en iyi çözümüne iki yolla erişilmektedir. Bunlar dal sınır algoritması ile matematiksel yöntemlerdir. Bu yöntemler problemlerin küçük olması durumunda yavaş olmalarına rağmen en iyi sonuçlar vermektedir. Problem büyüdükçe çözüm süresi üstel olarak gittikçe artmakta ve dolayısıyla hafıza kapasitesi sorunu ortaya çıkmaktadır. Hafıza kapasite sorunu, olurlu çözüm sayısının üstel olarak artmasından meydana gelmektedir. Şekil 3-1'de görüldüğü gibi en iyi çözüm yöntemleri de kendi aralarında Dal&Sınır algoritması ve matematiksel yöntemler olarak ayrılmaktadır. En önemli matematiksel yaklaşımlar ise şu şekilde sıralanabilir.

-Tamsayılı Programlama (Integer Programming)

-Karışık Tamsayılı Programlama (Mixed Integer Programming)

-Lagrangian Yöntemi (Lagrangian Relaxation)

Tablo 3-1’de en iyi çözüm tekniği kullanılarak yapılmış çalışmalar ve çalışma yapanların isimleri yer almaktadır. (Jain ve diğerleri, 1999)

Tablo 3-1 En İyi Çözüm Teknikleri Yaklaşımı Kullanarak Yapılmış Çalışmalar

Karışık Tamsayılı ve Tamsayılı Lineer Programlama	Bowman(1959) Wagner(1959) Balas(1965) Dyer and Wolsey(1990) Van dan Akker(1994)
Lagrangian Yöntemi	Fisher(1973,1976) Van de Velde(1991) Hoitomt(1993) Hoogeveen ve Van de Velde(1995)
Dal&Sınır	Brooks ve White(1965) Greenberg(1968) Balas(1969) Charlton ve Death(1970) Florian(1971) Nabeshima(1971) Ashour ve Hiremath(1973) Ashour ve Parker(1973) Bratley(1973) Mcmohan ve Florian(1975) Barker ve Mcmohan(1985) Applagate ve Cook(1991) Carlier ve Pinson(1989,1990,1994) Brucker(1994) Perregaard ve Clausen(1995) Boyd ve Burlingame(1996)

En iyi çözümler içerisinde önemli bir yer işgal eden dal-sınır algoritmasının genel işleyişi şöyledir; Öncelikle algoritma bir ağaç dallanma biçimi gibi temsil edilir. Başlangıçta ağaç sadece bir tek düğüm (yani, kök) içerir. Bütün olurlu çözümleri temsil eden bu düğümde henüz hiçbir tezgahta işlem sırası belirlenmemiştir. İlgili tezgahdaki işlemlerin kombinasyonu problemin bütün mümkün çözümlerini içine alır. Kökün ardılları ilgili tezgahdaki işlemlerin sırasının tespit edilmesiyle belirlenir. Bundan sonra her bir ardıl tekrarlı olarak aynı şekilde elde edilir. Arama ağacının bir düğümünün incelenmesi o düğümün sadece bir çözümü temsil ederse; veya optimal

çözüm içermediği görülürse durdurulur. Tablo 3-1’de belirtilen çalışmalardan bazı önemli çalışmalar şu şekilde özetlenebilir.

Dal-sınır yöntemi çalışmaları arasında en çok dikkat çekenlerden bir tanesi Carlier ve Pinson (1989) tarafından yapılmıştır. Bu yöntemde ilk olarak dallandırma yapılmaktadır. Bunun için aynı tezgah işlemlerini gösteren bir $[i,j]$ yayı seçilir ve $A \cup \{(i,j)\}$ ve $A \cup \{(j,i)\}$ seçimleriyle bu iki düğümden dallanma yapılır. Sonra sınırlar belirlenir: üst sınır atölyenin en iyi bilinen çizelgenin değerine eşittir ve alt sınır ise bir-tezgah problemlerinin optimal değerlerinin en büyük değeridir. Ardından kritik yol problemi çözüm yoluyla en erken ve en geç serbest bırakma zamanları hesaplanır. Sonra kritik tezgah olarak adlandırılan en büyük başlangıç alt sınırlı tezgahın işlemleri bir öncelik olarak seçilir. Böylece arama uzayı büyük ölçüde azaltılır.

Brucker ve diğerleri (1994) atölye tipi çizelgeleme problemini kritik-yol diyagramı olarak ifade etmiş ve hızlı bir dal-sınır algoritması geliştirerek meşhur FT10 test problemini bir mini bilgisayarda 19 dakikadan daha kısa sürede çözmüştür. Algoritma sabit bir zaman miktarında durdurularak bir sezgisel yöntem olarak da kullanılabilir.

3.2 Yaklaşık Çözümler

Atölye tipi çizelgeleme problemlerinin yaklaşık çözümlerinin en önemli avantajı çok hızlı çalışmalarıdır. Dolayısıyla istenen çözümü kabul edilebilir bir sürede verebilmektedir.

Literatürde yer alan önemli yaklaşık çözüm yöntemlerini dört ana başlık etrafında toplayabiliriz. Bunlar Şekil 3-1’de görüldüğü gibi

- Yapay Zeka Yaklaşımları
- Değişen Darboğaz Yordamı Yaklaşımı
- Öncelik Dağıtım Kuralları Yaklaşımı
- Yerel Arama Yöntemleri
- Sezgisel Yaklaşımlardır.

3.2.1 Yapay Zeka Yaklaşımları

Yapay Zeka yaklaşımları yakından incelendiğinde, en önemli yapay zeka yaklaşımlarını yapay sinir ağları ve uzman sistemler olarak ikiye ayrıldığı görülebilir. Tablo 3-2’de atölye tipi çizelgeleme problemlerine uygulanan yapay zeka yaklaşımları yer almaktadır.

Tablo 3-2 Atölye Tipi Çizelgeleme Problemlerine Uygulanan Yapay Zeka Yaklaşımları

Yapay Sinir Ağları	Wang ve Brunn(1955) Jain ve Meeran(1998)
• Hopfield Ağı	Foo ve Takefuji(1988) Zhou(1990,1991) Van Hulle(1991) Lo ve Bavarian(1993) Willems ve Rooda(1994) Satake(1994) Foo(1994,1995) Sabuncuoglu ve Gurgun(1996)
• Hatayı geriye-yayma(Back-Error Propagation)	Dagli(1991) Watanabe(1993) Cedimoglu(1993) Sim(1994) Kim(1995) Dagli ve Sittisathanchai(1995) Fonseca ve diğerleri, 2002
Uzman Sistemler	Alexander(1987) Fox ve Smith (1984) Orciuch ve Frost (1984) Kusiak ve Chen(1988) Biegel ve Wink(1989) Charalambous ve Hindi(1991) Shakhlevich(1996) Sotskov(1996)

Yapay Sinir Ağları; insan beyninin, bilindiği kadarıyla, biyolojik yapısından esinlenerek oluşturulan çeşitli bilgi işleme teknikleridir. Dağınık hesaplama sergileme yeteneklerinden dolayı öğrenme ve genelleştirme özelliğine sahiptirler.

Genel olarak atölye tipi çizelgeleme probleminde kullanılan yapay sinir ağları, Hopfield ağları ve hatayı geriye-yayma ağlarıdır. Hopfield ağları hafızada depolanan bilgi ile yeni girilen girdi arasında ilişki arayarak, benzerlikler bulmaya çalışır. Bunu yaparken bir enerji fonksiyonunu en küçüklemeyi amaçlar. Atölye tipi çizelgeleme için enerji fonksiyonu ise tamamlanma zamanını gösteren bir fonksiyondur.

Hopfield ve Tank (1985) NP-zor problemlerinin yapay sinir ağı ile çözülebileceğini gösterip, buna uyan çizelgeleme problemlerini çözmüşlerdir. Foo ve Takefuji (1988a) atölye tipi çizelgeleme problemini çözmek için olasılıklı sinir ağı yaklaşımını uygulamışlardır. Problem Hopfield ve Tank (1985)'in gezgin satıcı problemi formülasyonuna benzer şekilde modellenmiş, ancak yerel minimuma yakalanma olasılığını azaltmak için modele benzetim tavlama işlemi uygulanmıştır.

Foo ve Takefuji (1988b) tamsayılı doğrusal programlama sinir ağı modelini sunmuşlardır. Burada enerji fonksiyonu bütün işlerin başlama zamanlarının toplamı olarak temsil edilmiştir.

Sabuncuoğlu ve Gürgün (1994) yapay sinir ağlarının paralel işlem özelliğinin büyük ölçekli problemlerle uğraşmada belli avantajlar sağladığını belirttikten sonra, Hopfield ve yarış-tabanlı ağları kullanarak paralelleştirilmiş sinir ağı adı verilen bir ağın tasarımını sunmuşlardır.

Hatayı geriye-yayma ağları çok katmanlı sistemlerdir. Ağ öncelikle bir eğitim kümesi ile eğitilir. Eğitim esnasında ağın çıktıları ile harici olarak sağlanmış doğru şablonlar karşılaştırılır ve hatalar geriye doğru dağıtılarak her bir sinirin(neuron) ağırlıkları öğrenmesi gerçekleşinceye kadar ayarlanır.

Kim ve diğerleri (1995) öncelik kuralları ve sinir ağlarını bir arada kullanarak bir hatayı geriye-yayma modeli tasarlamışlardır. Bu modelde ağın eğitilmesi için kullanılan girdi verileri *görünen gecikme maliyeti* kuralından üretilmiştir.

Jain ve Meeran (1998) çalışmasında geleneksel hatayı geriye-yayma sinir ağı modellerinin, problem karmaşık olduğunda, eğitimin başarısız olması ve yerel en iyiye yakalanma gibi zorlukları olduğunu ifade etmektedir.

Fonseca ve diğerleri (2002), hatayı geriye-yayma sinir ağını kullanarak bir simülasyon modeli geliştirmişlerdir.

Çizelgeleme için geliştirilmiş uzman sistemler arasında literatürde en iyi bilineni Fox ve Smith (1984) tarafından geliştirilen ISIS'dir. ISIS atölye çizelgeleme yapısındaki ilgili bütün kısıtları birleştirme yeteneğine sahip bir çizelgeleme sistemidir. Bu kısıtlar beş kategoride ele alınmıştır. İlk kısıt kategorisi teslim tarihleri, yarı mamul envanteri, kaynak seviyeleri, maliyetler, üretim seviyesidir. İkinci kategori kısıtlar fiziksel kısıtlardır, ki bunlar tezgah fiziksel kısıtları, hazırlık zamanları, süreç süreleri

ve kalitedir. Üçüncü kategori kısıt işlem alternatifleri, tezgah alternatifleri, takım gereksinimleri, malzeme gereksinimleri, personel gereksinimleri ve işlemler arası taşıma zamanlarını içine alan nedensellik sınırlamalarıdır. Dördüncü kategori kaynak tahsisleri, tezgah bozulma zamanı ve vardiyalardan oluşan elde edilebilirlik kısıtlarıdır. Beşinci kategori işlem öncelikleri, tezgah öncelikleri ve öncelikleri sıralama şeklinde ki atölye yöneticisinin tercihlerini yansıtan öncelik kısıtlarıdır. Dört seviyeden oluşan bir kısıt-yönlendirmeli arama yaklaşımını kullanan ISIS olurlu atölye tipi çizelgeleri üretebilmektedir.

İyi bilinen bir diğer çizelgeleme uzman sistemi ise, Orciuch ve Frost (1984) tarafından geliştirilen ISA'dır.

3.2.2 Değişen Darboğaz Yordamı Yaklaşımı

Diğer bir yöntem olan değişen darboğaz yordamında (Shifting Bottleneck), atölye tipi çizelgeleme problemleri alt problemlere bölünüp ayrı ayrı çözülür. Problem ayrıştırma işlemi, tamamen etkin bir tam veya sezgisel algoritma tarafından çözülebilecek kadar yeterli küçüklükteki alt problemler oluşturuluncaya kadar devam eder. Bununla beraber, problem ayrıştırma yöntemi, alt problemlerin sayısı ve onların ele alınış sırası erişilen çözüm kalitesini büyük ölçüde etkilemektedir.

Tablo 3-3'de atölye tipi çizelgeleme problemlerine Değişen Darboğaz Yordamı yaklaşımı kullanarak yapılmış çalışmalar yer almaktadır.

Tablo 3-3 Atölye Tipi Çizelgeleme Problemlerine Değişen Darboğaz Yordamı Yaklaşımı Kullanarak Yapılmış Çalışmalar

Değişen Darboğaz Yordamı (SBI – Shifting Bothleneck)	Adams(1988) Applegate ve Cook(1991) Dauzzere Perez ve Lasserre(1993) Balas(1995) Balas ve Vazacopoulos(1998) Holtclaw ve Uzsoy(1996) Demirkol(1997) Dorndorf ve diğerleri, 1998 Wengi ve diğerleri, 2003
--	--

Bu çalışmalardan arasında yer alan Adams ve diğerleri (1988)'nin değişen darboğaz yordamı iki aşamalı bir yöntemdir. Birinci adımda, problem bir tezgah alt problemine dönüştürülerek henüz sıralanmamış tezgahlar arasında darboğaz (ki, en büyük çözüm değerine sahip tezgahdır) olarak tespit edilen bir tezgahı ele alır ve o tezgahdaki işlemleri $1|r_j|L_{max}$ problemine dönüştürür. Sonra bu tezgah alt problemi Carlier

(1982) yöntemiyle optimal olarak sıralanır. İkinci adımda da, önceden belirlenmiş sıralar korunurken, sırayla her kritik tezgahın sırası, yine bir tezgah probleminin çözülmesiyle, yerel olarak tekrar optimize edilir.

Bu yöntemde hedef, atölye tipi çizelgeleme problemini bir tezgah problemine küçülterek optimize etmeye çalışmak olduğundan, etkin sürede iyi çözüm elde eder. Ancak elde edilen çözümün kalitesi bir tezgah alt problemlerinin çözülme sırasına büyük ölçüde bağlıdır, yani sıradaki bir değişiklik esaslı bir iyileştirmeye neden olabilir. Bu olgu daha sonraları SBII (Shifting Bothleneck II) sezgisel yordamı olarak bilinen değişen darboğaz yordamının ikinci sürümünü ortaya çıkarmıştır (Dorndorf ve diğerleri, 1998).

Balas ve diğerleri (1998) çalışmalarında geliştirdikleri kılavuzlu yerel arama yöntemi (guided local search) ile değişen darboğaz yöntemini birleştirip tamamlanma zamanı başarımlar ölçütüne göre test problemlerine uygulamışlar ve etkili sonuçlar bulmuşlardır.

Wengi ve diğerleri (2003) değişen darboğaz yönteminin geliştirilmiş bir halini atölye tipi çizelgeleme test problemlerine uygulamışlar ve klasik değişen darboğaz yöntemine göre daha etkili sonuçlar elde etmişlerdir.

3.2.3 Öncelik Dağıtım Kuralları Yaklaşımı

Öncelik dağıtım kuralı(priority dispatch rule) basitçe bir önceliğin (yani bir sayı veya değerin) her bir bekleyen işe bazı yöntemlere göre atanması ya da seçilmesidir. Basit öncelik kuralları bazen teslim tarihi, işlem süresi, bağlı işlem sayısı, maliyetler, hazırlık süreleri, iş geliş zamanları ve aylıklık gibi belirli bir işe ilişkin bilgilere ve bazen de işin atanacağı tezgahdaki kuyruk uzunluğu gibi bilgilere dayandırılır. Bir kuralın etkisi yukarıda bahsedilen bilgilerden birkaçına birden bağlı olabilir. Bu yüzden öncelik dağıtım kuralları genel ve her zaman geçerli kurallar olmayabilirler. Bununla beraber, belirli koşullar için en iyi yöntemlerdir ve öncelik dağıtım kuralları belirlenen amaçlara uygun olarak seçilmelidirler (Pinedo, 1995). Tablo 3-4'de yapılan bazı çalışmalar listelenmiştir.

Tablo 3-4 Atölye Tipi Çizelgeleme Problemleri'ne Öncelik Dağıtım Kuralları Yaklaşımı Kullanarak Yapılmış Çalışmalar

Öncelik Dağıtım Kuralları(Priority Dispatch Rules)	Jackson(1995) Smith(1956) Giffler ve Thompson(1960) Fisher ve Thompson(1963) Crowston(1963) Jeremiah(1964) Gere(1966) Moore(1968) Panwalker ve Iskender(1977) Blackstone(1982) Lawrence(1984) Haupt(1989) Penz ve Dupont (1995) Chang(1996) Sabuncuoğlu ve Bayız(1999)
--	--

Bu çalışmalar arasında; Panwalker ve Iskender (1977)'in çalışması önceden uygulanmış 100'den fazla çizelgeleme kuralının bir özetini vererek çizelgeleme kurallarının bilinmesi konusunda literatüre önemli bir katkı yapmıştır.

Kim (1990) çalışmasında, bir atölye tipi çizelgeleme problemini ele alarak ortalama pozitif gecikme, ortalama akış zamanı ve geç kalan işler sayısı başarımlar ölçütlerine göre çeşitli dağıtım kurallarını mukayese etmiştir.

Penz ve Dupont (1995) yaptıkları çalışmada işlemler yerine işler göz önüne alınıp bir öncelik kuralına göre seçilerek kısmi çizelge oluşturulmuş daha sonra yeni bir iş geldiğinde yeni çözümü hesaplamaksızın bu iş kısmi çizelge ile birleştirilmiştir.

Sabuncuoğlu ve Bayız (1999) tarafından öne sürülen arama tekniğinde (beam search) ise bir grup öncelik kuralı kullanılarak en iyi açılım yerlerinin seçilmesi sağlanmıştır.

3.2.4 Sezgisel Yaklaşımlar

Atölye tipi çizelgeleme problemlerinin çözülmesinde sezgisel yöntem kullanarak yapılmış çalışmalar Şekil 3-1'den de görüldüğü gibi 4 ana kategoriye ayrılabilir.

- Evrimsel Hesaplama (Evolutionary Computing)
- Benzetim Tavlama(Simulated Annealing)
- Tabu Arama(Tabu Search)
- Karınca Kolonileri(Ant Colonies)

3.2.4.1 Evrimsel Hesaplama(Evolutionary Computing)

Atölye tipi çizelgeleme problemlerinde Evrimsel algoritma yaklaşımı kullanarak yapılmış çalışmalar Tablo 3-5’de özetlenmiştir. Evrimsel Algoritmanın önemli bir bölümünü genetik algoritmalar teşkil eder.

Tablo 3-5 Atölye Tipi Çizelgeleme Problemleri’ne Evrimsel Algoritmalar Yaklaşımı Kullanarak Yapılmış Çalışmalar

Evrimsel Hesaplama	Kim ve diğerleri(2003)
	Esquivel ve diğerleri(2002)
• Genetik Algoritma	Davis(1985)
	Falkenauer ve Bouffouix(1991)
	Nakano ve
	Yamada(1991,1992,1995,1996)
	Aarts ve diğerleri(1991,1994)
	Tamaki ve Nishikawa(1992)
	Pesch(1993)
	Davidor ve diğerleri(1993)
	Ross ve diğerleri (1993)
	Mattfeld ve diğerleri(1994)
	Della Croce ve diğerleri(1994,1995)
	Dondorf ve Pesch(1995)
	Kobayashi ve diğerleri(1995)
	Dagli ve diğerleri(1995)
	Croce ve diğerleri(1995)
	Norman ve Bean(1995)
	Bierwirth(1995)
	Bierwirth ve diğerleri(1996)
	Cheng ve diğerleri(1996)
	Mattfeld(1996)
	Kumar ve diğerleri(1996)
	Shi(1997)
	Min ve diğerleri (1999)
	Zhou ve diğerleri (2001)
	Wang ve diğerleri(2001)
	Steinhofel ve diğerleri(2002)
	Park ve diğerleri(2003)
	Murovec ve Suhel (2004)

Genetik algoritmalar atölye tipi çizelgeleme problemlerinde tek başlarına iyi sonuçlar vermez ancak, diğer algoritmalarla birleştirildiğinde etkili sonuçlar vermektedir. Yukarıda listelenen çalışmaların çoğu GA ile birlikte yerel arama, tabu arama, vb. gibi yöntemlerle birleştirilerek etkili sonuçlar elde edilmiştir. Bu konuda yapılmış çalışmaları ise şu şekilde özetlenebilir.

Dorndorf ve Pesch (1995) saf GA'la çizelgelemede bazı zorluklardan bahsederek, bunların üstesinden gelmek için, GA içerisine yerel aramayı yerleştiren Genetik Yerel Arama yöntemini önermektedirler.

Mattfeld(1996) Genetik arama ile yerel arama yaklaşımını kullanıp kendisine ait GA1, GA2 ve GA3 üç adet genetik yöntem geliştirmiş ve etkin sonuçlar bulmuştur.

Kim ve diğerleri(2003), yapay zeka arama tekniklerini kullanarak simbiyotik evrimsel algoritma adında bir evrimsel algoritma geliştirmişlerdir. Bu algorithmada yerelleştirilmiş etkileşim, durgun hal çoğalması ve rassal simbiyotik eş seçimi gibi stratejiler kullanılmışlar ve sonuçları literatürdeki evrimsel algoritmalarla yapılmış çözümlerle karşılaştırıp performansının iyi olduğunu göstermişlerdir.

Esquivel ve diğerleri(2002) değiştirilmiş evrimsel hesaplama algoritması geliştirip, her bir çift için çoklu çaprazlama uygulamışlardır. Böylece GA'nın erken yakınsama sorununu önlemişlerdir.

Dagli ve diğerleri(1995), genetik-neuro adını verdikleri GA ile yapay zekayı birleştiren bir algoritma geliştirmişlerdir daha sonra Lee ve Dagli (1997) bu algoritmayı paralel çalıştırarak sonuca gitmişlerdir.

Zhou ve diğerleri (2001) çalışmalarında GA'yı daha etkin yapmak için melez bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Bu çalışmada Genetik evrim işlemi olarak SPT ve MWR gibi çizelgeleme kuralları kullanmış ve etkili sonuçlar bulmuşlardır.

SteinHofel ve diğerleri(2002) çalışmalarında paralel bir benzetim tavlama kullanarak homojen markov zincirleri ve homojen olmayan markov zincirleri için iki soğutma çizelgesi tasarlamışlar ve etkili sonuçlar elde etmişlerdir.

Wang ve diğerleri (2001) ise çalışmalarında GA ve BT ile melez bir yöntem geliştirerek klasik GA işlemi gerçekleştikten sonra popülasyondaki her bir birey için benzetim tavlama yöntemi uygulanmışlar etkin sonuçlar elde etmişlerdir.

Park ve diğerleri (2003), yeni bir genetik operatör ve seçim stratejisi geliştirerek, GA'yı klasik ve paralel çalıştırıp sonuçları geleneksel GA ile karşılaştırmışlardır.

Murovec ve Suhel (2004), genetik algoritma tabanlı tabu arama yöntemi geliştirmişler ve tabu arama yöntemi içinde ise yeni ve çok etkin bir yerel arama yöntemi dizayn edip, 5000 defa tekrar yaparak çok etkin sonuçlar bulmuşlardır.

3.2.4.2 Benzetim Tavlama

Atölye tipi çizelgeleme problemlerinde Benzetim Tavlama yaklaşımı kullanarak yapılmış çalışmalar Tablo 3-6'da verilmiştir.

Tablo 3-6 Atölye Tipi Çizelgeleme Problemleri'nde Benzetimsel Tavlama Yaklaşımı Kullanarak Yapılmış Çalışmalar

Benzetim Tavlama	Matsuo ve diğerleri(1988) Van Laarhoven ve arkadaşları(1988,1992) Aarts ve diğerleri(1991,1994) Yamada ve diğerleri(1994) Sadeh ve Nakakuki(1996) Yamada ve Nakano(1995,1996) Kolonko(1999) Satake ve diğerleri(1999) Aydin ve Fogarty (2004)
-------------------------	---

Bu çalışmalardan Matsuo ve diğerleri (1988)'in benzetimsel tavlama çalışmasında başlangıç çözümü değişen darboğaz yöntemi ile elde etmişler. Komşuluk yapısı olarak da, kendilerinin geliştirdikleri bir yapı kullanılmışlardır.

Laarhoven ve diğerleri (1992) çizelgeleme için genel bir benzetim tavlama yaklaşımı amaçlamış, ancak elde edilen sonuçlar tam tatminkar olmamıştır. Bunun nedeni iyi çözümler elde etmek için aşırı bir süreye ihtiyaç duyulmasını belirtmişlerdir.

Alfano ve diğerleri (1994) geliştirdikleri benzetim tavlama yönteminde , aynı tezgah üzerindeki iki işin önceliğini değiştiren bir komşuluk yapısı ile Boltzmann olasılık yoğunluk fonksiyonunu ısı parametresi olarak kullanmışlardır.

Kolonko (1999) ise çalışmasında benzetim tavlama algoritmasının alt en iyi çizelgeye yaklaşmasını karşılaştırmış ve benzetim tavlama ve GA'yı birleştiren bir algoritma geliştirmiş bu algorithmada uyarlamalı sıcaklık kontrolünü GA işlemi ile gerçekleştirmiştir.

Satake ve diğerleri (1999), atölye tipi çizelgeleme problemlerini geriye doğru çizelgeleyerek benzetim tavlama yöntemini kullanmışlar ve etkin sonuçlar bulmuşlardır.

Aydin ve Fogarty (2004), benzetim tavlama yöntemine evrimsellik özelliği katarak yeni bir yöntem geliştirmişler ve atölye tipi çizelgeleme problemlerinde etkin sonuçlar bulmuşlardır.

3.2.4.3 Tabu Arama

Atölye tipi çizelgeleme problemlerine tabu arama(TA) yaklaşımı kullanarak yapılmış çalışmalar Tablo 3-7’de verilmiştir.

Tablo 3-7 Atölye Tipi Çizelgeleme Problemleri’ne Tabu Arama Yaklaşımı Kullanarak Yapılmış Çalışmalar

Tabu Arama	Tailard(1989,1994) Dell’Amico ve Trubian(1993) Barnes ve Chambers(1995) Sun ve diğerleri(1995) Nowicki ve Smutnicki(1996) Ten Eikelder ve diğerleri(1997) Thomsen(1997)
-------------------	---

Tailard (1994) aramayı hızlandıran bir TA algoritması öngörmektedir. Bununla beraber, kritik yol hesaplamasına ilişkin paralel bir algoritma işletimini de sunmaktadır. Ancak atölye tipi çizelgeleme problemi için paralelleştirmenin uygun olmadığı sonucuna varmıştır.

Dell'Amico ve Trubian (1993), ayırıcı grafik diyagramı kullanarak kompleks bir TA yaklaşımı geliştirmişlerdir. Yöntem, iki yönlü bir sevkette tekniği kullanarak bir tek başlangıç çözümü üretmektedir. Bu yaklaşımda geliştirilen iki tip komşuluk yapısı vardır. Birinci komşuluk yapısında ya j işi, i işi veya i işinin tezgah öndülü arasında ya da i işi, j işi ve j işinin tezgah ardılı ile değiştirilerek gerçekleştirilir. Eğer bu üç işlemin herhangi birisinin tersi tabu ise bütün taşıma tabu sayılır ve her zaman sadece bir taşıma yapılır. İkinci komşuluk, kritik blok oluşturan işlemlerin sırasının ters çevrilmesiyle komşular oluşturur.

Barnes ve Chambers (1995), atölye tipi çizelgeleme problemi için etkin bir tabu arama yaklaşımı sunmuşlardır. Bu yaklaşımda, bir başlangıç çözümü elde etmek için yedi öncelik kuralının aktif ve gecikmesiz çizelge üretim düzenekleri kullanılır. Başlangıç çözümü olarak en küçük en büyük tamamlanma zamanlı çizelge seçilir.

Nowicki ve Smutnicki (1996) atölye tipi çizelgeleme için çok hızlı bir TA yaklaşımı sunmuşlardır. Bu yaklaşımda başlangıç çözümü olarak Werner ve Winkler (1995)’in araya-ekleme algoritması kullanılmıştır. Komşuluk yapısı olarak ise; Ayırıcı grafik diyagramı üzerinde bir tek kritik yol üretilip, sonra bu yol üzerinde aynı tezgahı gerektiren bitişik işlemler bir araya getirilerek *bloklar* oluşturulmuştur ve bu blokların sadece (eğer varsa) ilk (ya da son) iki işlemi yer değiştirilerek komşular üretilmiştir. Dolayısıyla çok az sayıda araştırılacak komşu üretilmiştir.

Komşulukların değerlendirilmesi işleminde ise, bütün taşımalarla ilişkin oluşan komşu çizelgelerin hepsinin en büyük tamamlanma süresi hesaplanıp, bunlar arasından tabu olamayan en küçük tamamlanma zamanlı olanının yeni başlangıç çözümü olarak seçilmesi şeklinde olmaktadır. Sonuç olarak bu yöntemin belirli sürede ve etkin çözümler vermesi nedeniyle literatürde önemli algoritmalar arasında yer almaktadır.

3.2.4.4 Karınca Kolonileri(Ant Colonies)

Atölye tipi çizelgeleme problemlerine karınca kolonileri yaklaşımı kullanarak yapılmış çalışmalar çok azdır. Bu çalışmalardan birincisi, Colorni ve diğerleri(1994)'nin yapmış olduğu çalışmadır. Bu çalışma da, atölye tipi çizelgeleme problemlerinde tamamlanma ölçütüne göre incelendiğinde iyi sonuç vermediği görülmektedir. İkinci olarak Blum ve Sampels (2004), karınca kolonilerini tabu arama yöntemiyle melez bir şekilde çalıştırarak tamamlanma zamanı performans ölçütüne göre etkili sonuçlar elde etmişlerdir. Ayrıca yöntemde yerel arama yöntemi olarak ise Nowicki ve Smutnicki'nin (1996) yerel arama yöntemini kullanmıştır.

4 PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU

Bu bölüm, yeni bir sezgisel teknik olan parçacık sürü optimizasyonu tekniğinin gelişimi, genel yapısı ve işleyişi hakkında bilgiler vermektedir.

4.1 Gelişimi

Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), kuş ve balık sürülerinin iki boyutlu hareketlerinden esinlenerek ilk olarak 1995'te (Kennedy ve Eberhart, 1995) ve 1997 yıllarında (Kennedy ve Eberhart, 1997) geliştirilmiştir. Daha sonra 1998 ve 1999'da Shi ve Eberhart, 2001 de Kennedy, Shi ve Eberhart tarafından incelenmiştir. (Kennedy ve diğ., 2001). 2002 de Abido tarafından optimal güç akış problemlerine uygulanmıştır. (Abido, 2002). Aynı şekilde Salman ve diğ.(2002) NP-Tam (Complete) olarak bilinen iş atama problemlerine uygulamışlardır. PSO'nun ana fikri, popülasyondaki bireyler arasındaki sosyal bilgi paylaşımını (social sharing of information) geliştirmektir. PSO'da arama işlemi GA'da olduğu gibi popülasyondaki bireyler tarafından ve belirlenen nesil sayısınca yapılır. Her bir bireye parçacık denir ve parçacıklardan oluşan popülasyona da sürü (swarm) ismi verilir. Genetik algorithmada yer alan çaprazlama ve mutasyon operatörleri PSO'da yer almaz. PSO, bireyler arasındaki bilgi paylaşımını esas alır. Her bir parçacık kendi pozisyonunu, bir önceki tecrübesinden yararlanarak bir önceki sürüdeki en iyi pozisyona doğru ayarlar. Küresel komşular, sürü içerisindeki en iyi değeri veren parçacığın değerleridir. Her bir nesilde bir tane küresel komşu değerleri vardır. Yerel komşular ise ilk iterasyonda her bir parçacığın ayrı ayrı değerleridir ve her nesilde parçacık sayısı kadar yerel komşular vardır. Her bir parçacık bir önceki en iyi parçacığın pozisyonuna doğru hareket eder. Bu hareketi küresel ve yerel komşu değerlerini kullanarak gerçekleştirir.

4.2 Genel Yapısı

Genel PSO algoritmasının benzetim (pseudo) kodu Şekil 4-1'de gösterilmektedir. Bu algorithmada ilk olarak kullanılacak parametreler belirlenir. İkinci olarak popülasyon

değerleri rastgele belirlendikten sonra bu değerlere karşılık gelen amaç fonksiyon değeri hesaplanır. Amaç fonksiyon değeri en iyi olan parçacık küresel en iyi olarak atanır ve bu parçacık değerleri küresel komşular olarak saklanır. Aynı şekilde başlangıçtaki her bir parçacığın amaç fonksiyon değerleri yerel en iyiler olarak saklanıp parçacık değerleri de yerel komşular olarak saklanır. Bir sonraki nesili oluştururken hız vektörü, küresel ve yerel komşular değerleri kullanılır. Bu işlem bir durdurma kriterine kadar devam eder.

Parametreleri Belirle

Başlangıç Popülasyonunu Oluştur

Herbir Parçacık İçin{

Amaç Fonksiyon Değerlerini Bul

Yerel En İyiyi Bul

}

Küresel En İyiyi Bul

Yap{

Herbir Parçacık İçin{

Hız Vektörünü Güncelle

Pozisyon Vektörünü Güncelle

Amaç Fonksiyon Değerlerini Bul

Yerel En İyiyi Güncelle

}

Küresel En İyiyi Güncelle

} Durdurma Kriteri

Şekil 4-1 Parçacık Sürü Optimizasyonunun İşleyişi

4.3 Parçacık Sürü Optimizasyonunda Kullanılan Temel Unsurlar

- **Pozisyon Vektörü (Particle):** X_i^k ile ifade edilir, problem boyutu(j) kadar eleman içerir. Pozisyon vektörü, problemi ifade etmekte kullanılır. Parçacığın pozisyon vektörünün sürü 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. parçacığın pozisyon vektöründeki birinci elemanını gösterir. Öyle ki ρ parçacık sayısını ifade etmektedir. ($i=1,2,\dots,\rho$)
- **Hız Vektörü (Velocity):** Parçacığın bir sonraki konumunu belirleyen önemli parametrelerinden biri olan hız vektörü, V_i^k ile ifade edilir. Parçacığın hız

vektörü sürü içerisinde, $V_i^k = [v_{i1}^k, v_{i2}^k, \dots, v_{ij}^k]$ şeklinde gösterilir. Burada yer alan v_{ij}^k , k. iterasyonda i. parçacığın hız vektöründeki birinci elemanını gösterir.

- **Yerel En İyi Değer (Local Best):** i. parçacığın o ana kadar elde edilmiş en iyi amaç fonksiyon değeridir. $(f(P_i))$. Sürü içerisinde yerel en iyilerin sayısı parçacık sayısı kadardır.
- **Yerel En İyi Komşular (Local Best Neighbors):** Yerel en iyilere karşılık gelen vektördür. Bu vektör değerlerini pozisyon vektöründen alır. i. parçacığın yerel en iyi komşuları $P_i = [p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{ij}]$ şeklinde ifade edilir. Buradaki p_{i1} i. yerel en iyi vektörünün 1. değerini göstermektedir.
- **Küresel En İyi Değer (Küresel Best):** Elde edilen en iyi amaç fonksiyon değeridir. $f(G)$.
- **Küresel En İyi Komşular (Global Best Neighbors):** Küresel en iyi değerinin pozisyon değerleridir. $G = [g_1, g_2, \dots, g_j]$. Buradaki g_1 global en iyi vektörünün 1. değerini göstermektedir.
- **Atalet Ağırlığı (Inertia Weight):** Bir önceki hız vektörünün mevcut hız vektörü üzerindeki etkisini kontrol eden parametreye atalet ağırlığı denir ve w^k şeklinde gösterilir. Atalet ağırlığının parçacıkta küresel ve yerel araştırma kabiliyeti arasında değişim etkisi vardır. Eğer atalet ağırlığı yüksek bir değer alınırsa parçacık küresel bir şekilde arama gerçekleştirir, bu değer küçük alınması ise yerel bir arama gerçekleştirir (Kennedy ve diğ. 2001).

4.4 Parçacık Sürü Optimizasyonunun İşleyişi

Pozisyon vektör sayısı, parçacık 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 güncelleştirilmesidir. Hız vektörünün güncelleştirilmesi şu şekilde yapılır.

Öncelikle atalet ağırlığı belli bir sabit değerlerle çarpılarak, herbir iterasyonda azaltılır. Azaltma fonksiyonu şu şekildedir. $w^{k+1} = w^k \times \beta$.

Herbir parçacığın yeni hız vektörü değerini bulmak için şu formül uygulanır. $v_{ij}^{k+1} = (w^{k+1} \times v_{ij}^k) + c_1 \times r_1 \times (p_{ij} - x_{ij}^k) + c_2 \times r_2 \times (g_j - x_{ij}^k)$. Öncelikle azaltılan atalet ağırlığı değeri, herbir parçacığın hız vektörü değeri ile çarpılır. Daha sonra yerel komşu değerleri ve parçacığın pozisyon değerleri ile $c_1 \times r_1 \times (p_{ij} - x_{ij}^k)$ değeri hesaplanır, bir sonraki adım da ise küresel komşu ve pozisyon değerleri kullanılarak $c_2 \times r_2 \times (g_j - x_{ij}^k)$ değeri hesaplayıp yeni hız vektörü değerlerini bulmaktır. Burada yer alan r_1 ve r_2 , 0 ile 1 arasında düzgün dağılmış rassal değerleri, c_1 ve c_2 ise sosyal(social) ve kavramsal(cognitive) parametre değerlerini ifade eder.

Yeni oluşan hız vektör değeri, başlangıçta belirtilen aralıklar çerçevesinde kalması için h fonksiyonu ile kısıtlanır. Bu fonksiyon (4-1)'de verilmiştir.

$$h(v_{ij}^k) = \begin{cases} V_{\max}, & \text{if } v_{ij}^k > V_{\max} \\ v_{ij}^k, & \text{if } |v_{ij}^k| \leq V_{\max} \\ -V_{\max}, & \text{if } v_{ij}^k < -V_{\max} \end{cases} \quad (4-1)$$

Daha sonra yeni pozisyon vektörü elde edilen hız vektör değerleri ile bir önceki pozisyon vektörünün toplamı ile güncelleştirilir. Yani, $x_{ij}^{k+1} = x_{ij}^k + v_{ij}^{k+1}$ 'dir. Yeni oluşan bu pozisyon vektörü yardımıyla amaç fonksiyon değerleri, küresel en iyi ve komşuları ile yerel en iyi ve komşuları güncelleştirilir. Bu işlemler önceden belirlenen iterasyon sayısına ya da maksimum işlem zamanına ulaşıncaya kadar devam eder.

4.5 PSO'nun GA'ya göre Avantajları

Bir popülasyon temelli yaklaşım olan PSO modeli, Genetik Algoritmaya benzer yönlerinin yanında birtakım avantajları da vardır. Her iki yönteminde popülasyon temelli olması, başlangıç popülasyon sayısının ve uygulanacak gösterim şeklinin

belirlenmesi gibi parametreleri içermesi, her iki yöntemin benzer yanlarını gösterir. Bunun yanında PSO'nun Genetik Algoritmaya göre avantajları üç ana başlık etrafında toplanabilir.(Kennedy ve diğ., 2001)

Kullanılan Operatör: GA'da yeni çözümler üretmek için çaprazlama ve mutasyon işlemleri yapılır. Ancak seçilecek veya geliştirilecek çaprazlama ile mutasyon operatörünün performansı problem tipine göre değişiklik arzemesi ve bu iki parametrenin seçimi konusunda zaman harcanması, GA için bir dezavantaj sağlar. PSO'da ise yeni çözümler hız vektörü değerleri ile belirlenir ki mutasyon veya çaprazlama operatörü yer almaz

Parametre Seçimi: GA, mutasyon ve çaprazlama operatörü ve bunların oranları ile seçim stratejisinin belirlenmesi gibi PSO'ya göre daha fazla parametre kullanır, en iyi parametrelerin belirlenmesi hem zor ve zaman almasında dolayı PSO, GA'ya göre daha avantajlı olduğu söylenebilir.

Seçim Stratejisi: PSO' da bir sonraki nesil, pozisyon vektörü ve hız vektörü yardımıyla güncelleştirilerek popülasyon sayısı kadar yeni birey oluşturulur ve dolayısıyla seçim stratejisi uygulanmasına gerek yoktur. GA'da bir sonraki nesili oluşturabilmek için uygulanan seçim stratejisi eski popülasyon bireyleri ile mutasyon ve çaprazlama operatörü uygulanmış bireyler arasından seçilir ki bu hem seçim stratejisinin belirlenmesi ve hem de hafıza da daha fazla yer kaplamasından dolayı GA'nın PSO'ya göre önemli dezavantajını gösterir.

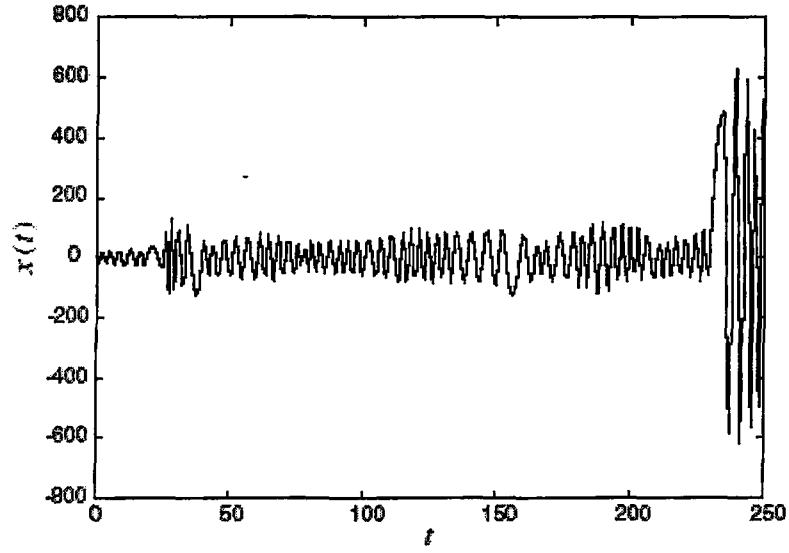
4.6 PSO'da Kullanılan Parametrelerin Etkileri

PSO'da algoritmanın yakınsaması ile alakalı üç önemli parametre sırasıyla atalet ağırlığı ve sosyal ve kavramsal parametreleridir.(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 dolaşmasını, küçük olması ise yerel bir şekilde dolaşmasını sağlar.

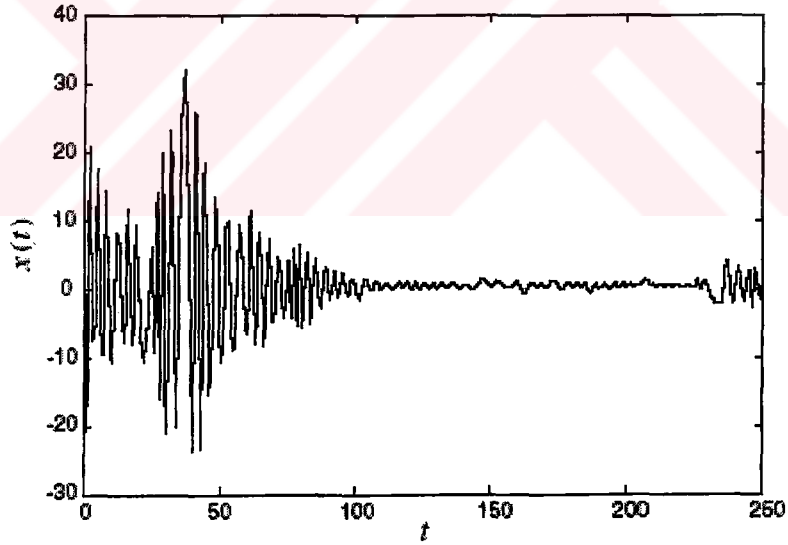
Sosyal ve kavramsal parametreler ise şu şekilde açıklanabilir. Sosyal parametre hız vektörünü güncelleştirirken yerel en iyinin etkisini gösterirken, kavramsal parametre ise küresel en iyinin yeni hız vektörüne katkısını gösterir.

Bu üç parametrenin farklı değerlerde pozisyon vektörüne etkisini aşağıdaki şekillerde açıklanabilir (Van den Bergh ve Engelbrecht,2005).



Şekil 4-2 PSO'da pozisyon vektörünün yörüngesi $w=1.0$ $c_1=c_2=2.0$

Yukardaki şekilde yatay eksen iterasyon sayısını, dikey eksen ise pozisyon vektöründeki değerleri göstermektedir.

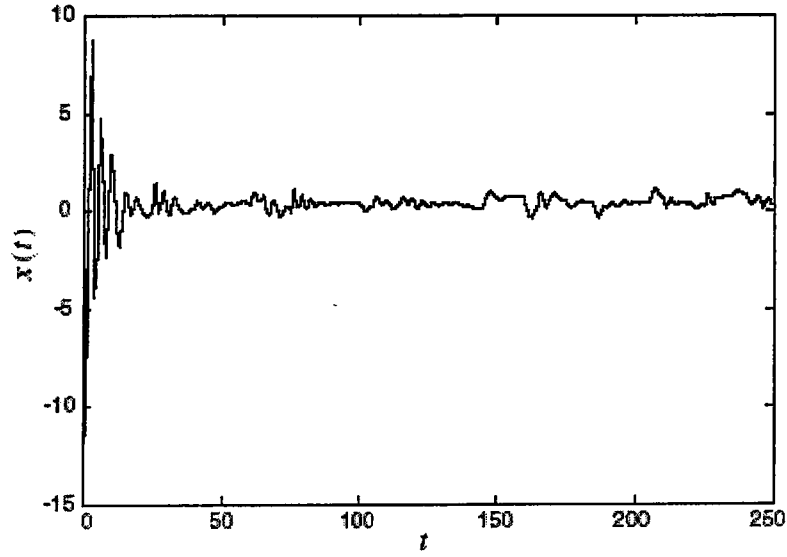


Şekil 4-3 PSO'da pozisyon vektörünün yörüngesi $w=0.9$ $c_1=c_2=2.0$

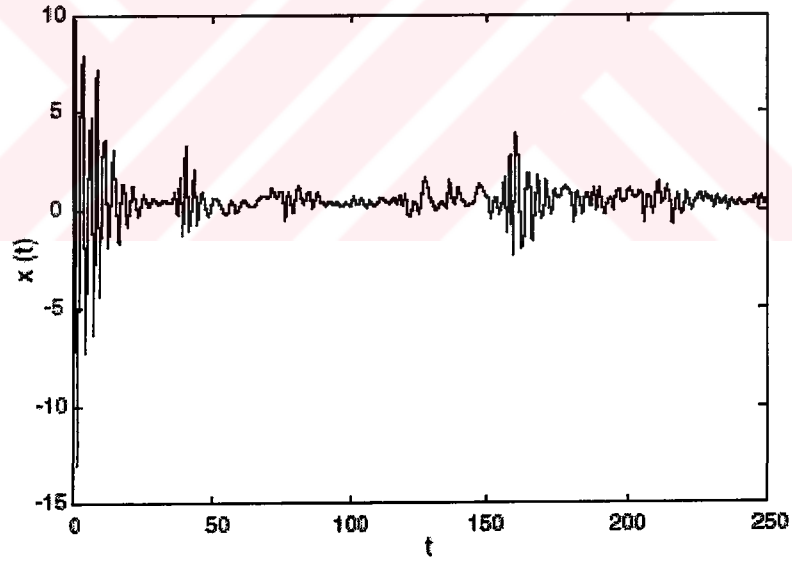
Atalet ağırlığının (w) 1.0, sosyal (c_1) ve kavramsal c_2 değerleri 2 alındığındaki pozisyon değerlerini aldığı değerleri Şekil 4-2 'de görülmektedir.

Atalet ağırlığının (w) 0.9, sosyal (c_1) ve kavramsal c_2 değerleri 2 alındığındaki pozisyon değerlerini aldığı değerleri Şekil 4-3 'de görülmektedir.

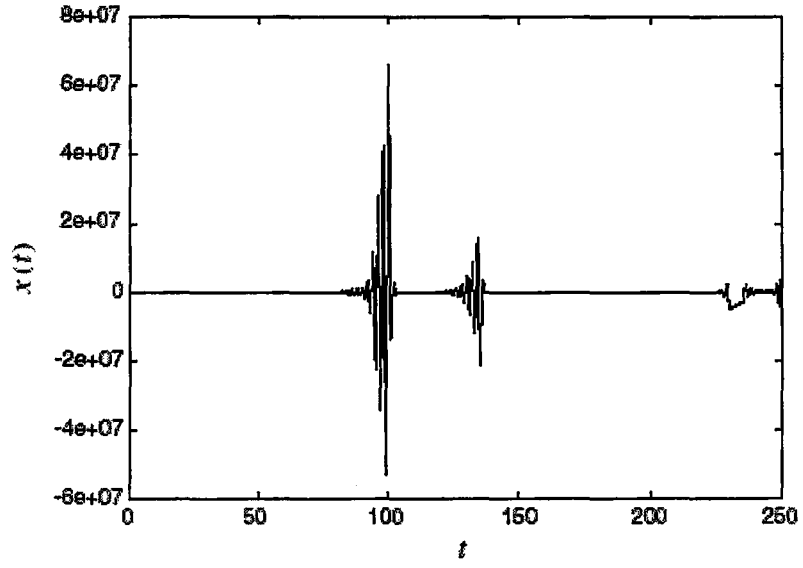
Aşağıdaki şekillerde farklı değerlerindeki atalet ağırlığı, sosyal ve kavramsal değerlerin, pozisyon vektörünün üzerindeki etkileri görülmektedir.



Şekil 4-4 PSO'da pozisyon vektörünün yörüngesi $w=0.7$ $c1=c2=1.4$



Şekil 4-5 PSO'da pozisyon vektörünün yörüngesi $w=0.7$ $c1=c2=2$



Şekil 4-6 PSO'da pozisyon vektörünün yörüngesi $w=0.001$ $c1=c2=2$

5 ATÖLYE TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ İÇİN PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU MODELİ

Bu bölüm, atölye tipi çizelgeleme problemleri için önerilen parçacık sürü optimizasyonu modelinin genel yapısını, gösterim şeklini, ve sonuçları sunmaktadır.

5.1 PSO Modelinin Yapısı

Atölye tipi çizelgeleme problemlerini PSO ile çözmek için öncelikle gösterim biçiminin seçilmesi gerekmektedir. Dördüncü bölümde bahsedildiği gibi PSO' da problem, pozisyon vektörü yardımıyla ifade edilmekteydi. Fakat bu vektör atölye tipi çizelgeleme problemini ifade etmemektedir. Dolayısıyla problemi ifade edebilmek için iki adet yardımcı vektöre ihtiyaç duyulmuştur. Bunlar sırasıyla operasyon sırası ve operasyon tabanlı gösterim sırası vektörleridir. Başlangıçta rastgele oluşturulan pozisyon değerlerinden bir ara vektör olan operasyon sırası vektörü oluşturulur. Daha bu vektör yardımıyla operasyon tabanlı gösterim sırasına(bkn. 2.6.1) dönüştürülür ve bunlara karşılık gelen her bir çizelgenin tamamlanma zamanı değeri bulunur. Bundan sonraki adım ise, bir sonraki nesildeki pozisyon vektörünü oluşturmak için küresel en iyi, yerel en iyi ve bu bunların komşuluklarını bulup, hız vektörünü güncellemektir. Önerilen PSO modelinin yapısı aşağıda verilmiştir.

```
Parametreleri Belirle
Her bir Parçacık İçin{
    Başlangıç Pozisyon ve Hız Vektörünü Rastgele Oluştur
    Pozisyon Vektöründen Operasyon Sırasını Elde Et
    Operasyon Sırasından Operasyon Tabanlı Gösterim Sırasını Elde Et
    Amaç Fonksiyon Değerlerini Bul
    Yerel En İyiyi Bul
}
Küresel En İyiyi Bul
Yap{
    Her bir Parçacık İçin{
        Hız Vektörünü Güncelle
        Pozisyon Vektörünü Güncelle
        Pozisyon Vektöründen Operasyon Sırasını Elde Et
        Operasyon Sırasından Operasyon Tabanlı Gösterim Sırasını Elde Et
        Amaç Fonksiyon Değerlerini Bul
        Yerel En İyiyi Güncelle
    }
    Küresel En İyiyi Güncelle
} Durdurma Kriteri
```

Şekil 5-1 Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi için Önerilen PSO Modelinin Yapısı

5.2 PSO Modelinde Kullanılan Yazılım

Önerilen PSO 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(seed number)
- Her bir tekrar(replication) için okunan probleme PSO 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 FT06 problemi ele alınırsa, program çıktısı (EK-E)'de verilmektedir.

5.3 PSO Modelinin Gösterimi

Bu tezde, atölye tipi çizelgeleme probleminin gösterim şekli olarak, tamamlanma zamanı başarımlı ölçütüne hem diğer gösterim yöntemlerine göre kolay olması hem de daha iyi performans vermesi (Ponnambalam ve diğ., 2001) açısından *Operasyon Tabanlı Gösterim* yöntemi seçilmiştir. (bkn. 2.6.1).

Önerilen modelde operasyon tabanlı gösterim şeklini elde etmek için öncelikle X_i^k ile ifade edilen j-boyutlu vektör değerleri belirlenen aralıklarda $[d_{\min}, d_{\max}]$ rassal olarak oluşturulur.

Tablo 5-1 X_i^k Parçacık 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
τ_{ij}^k	6	2	5	4	1	9	3	8	7
π_{ij}^k	2	1	2	2	1	3	1	3	3

Kullanılan gösterim şekli operasyon tabanlı olduğu için operasyon sayısı kadar vektör değeri yer alacaktır. Bu da n iş sayısını m de tezgah sayısını göstermek üzere $n \times m$ 'dir. (Bierwirth ve diğ., 1996). 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 T_i^k değerleri oluşturulur. Şöyle ki, Tablo 5-1'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. Uygulanan bu işlem (Bean, 1994) tarafından önerilen rastgele gösterim yönteminin permütasyonlu akış tipi çizelgeleme problemindeki uyarlamasıdır. Diğer bir deyişle rastgele oluşturulan gerçek sayıları bulundukları pozisyonlara göre sıralamaktır. Elde edilen T_i^k değerlerinden operasyon tabanlı sıra, (5-1)'de verilen formül kullanarak elde edilir. Bu formülde bir işin operasyon sayısı (m) kadar ortaya çıkması için çıkan değer bir üst sayıya yuvarlanır. Örneğin $\tau_{i3}^k = 5$ değerinin operasyon tabanlı gösterim değeri $\lceil (5/3) \rceil = \lceil 1.66 \rceil = 2$ 'dir.

$$\pi_{ij}^k = \left\lceil \frac{\tau_{ij}^k}{n} \right\rceil \quad (5-1)$$

Tablo 5-1'de π_{ij}^k vektörünün Operasyon tabanlı sırası verilmiştir. Bu değerler $[O_{21}, O_{11}, O_{22}, O_{23}, O_{12}, O_{31}, O_{13}, O_{32}, O_{33}]$ şeklinde ifade edilebilir. O_{nt} , n . işin t . operasyonunu göstermektedir. Tablo 2-3'deki problem için π_{ij}^k değerleri yardımıyla oluşturulan aktif çizelge Şekil 5-2'de görülmektedir.

1. Tezgah	O_{21}	O_{11}													O_{32}			
2. Tezgah					O_{23}				O_{12}			O_{31}						
3. Tezgah			O_{22}									O_{13}				O_{33}		
Zaman	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

Şekil 5-2 π_{ij}^k değerlerinden Elde Edilen Aktif Çizelge

5.4 PSO Modelin İşleyişi

PSO modelinin tüm hesaplama yöntemi aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

Adım 1: Başlangıç Değerlerini Oluştur.

- İterasyon sayısını 0'a eşitle ($k=0$) ve parçacık sayısını belirle
- Başlangıç pozisyon vektörü değerlerini $[-d_{\max}, d_{\max}]$ aralığında rastgele oluştur. $\{X_i^0, i=1,2,...,\rho\}$, $X_i^0 = [x_{i1}^0, x_{i2}^0, ..., x_{i(m \times n)}^0]$ Bu değerler kesikli değil sürekli dir. Diğer bir deyişle gerç ek sayılardır. Burada $i=1,2,3,...,\rho$, ve $r, 0$ ile 1 arasında düzgün dağılmış rassal sayıdır.
- Başlangıç hız vektörü değerlerini $[-V_{\max}, V_{\max}]$ aralığında rastgele oluştur. $\{V_i^0, i=1,2,...,\rho\}$, $V_i^0 = [v_{i1}^0, v_{i2}^0, ..., v_{i(m \times n)}^0]$ Bu değerler de gerç ek sayılardır.
- Pozisyon vektörünü kullanarak operasyon sırası vektörünü oluştur. (T_i^k) Başka bir deyişle sürekli olan başlangıç pozisyon değerlerini kesikli hale dönüştür. $T_i^0 = [t_{i1}^0, t_{i2}^0, ..., t_{i(m \times n)}^0]$. Burada $i=1,2,3,...,\rho$ ve $j=1,2,3,...,(n \times m)$ dir.
- Elde edilen operasyon sırası vektörünü (5-1)'deki formül yardımıyla operasyon tabanlı sıra vektörüne dönüştür. $\Pi_i^0 = [\pi_{i1}^0, \pi_{i2}^0, ..., \pi_{i(m \times n)}^0]$
- Amaç fonksiyon değerini elde edilen Π_i^k vektörü yardımıyla hesapla $f_i^k = f(\Pi_i^k)$
- Her bir parçacığın yerel en iyi değerlerini hesapla. Başlangıç parçacıklarının en iyi değerine P_i denirse bu değer başlangıçta $P_i = X_i^0$ değerine eşittir. $P_i = [p_{i1} = x_{i1}^0, p_{i2} = x_{i2}^0, ..., p_{ij} = x_{ij}^0]$ ve bu değerlere karşılık gelen amaç fonksiyonu değerleri ise $f_i^{pb}, i=1,2,...,\rho$ 'dir.
- En iyi amaç fonksiyon değerine sahip olan parçacığı küresel en iyi olarak al ve pozisyon değerlerini de küresel en iyi komşular olarak sakla.

$$f_b = \min\{f_i^0\}, \quad b \in \{i; i = 1, 2, \dots, \rho\} \quad \text{ve} \quad G_i = X_b^0,$$

$$G = [g_1 = x_{b1}, g_2 = x_{b2}, \dots, g_n = x_{bj}] \text{ amaç fonksiyon değeri de } f^{gb} = f_b \text{ 'dir.}$$

Adım 2: İterasyon Sayısını Güncelleştir

$$- \quad k=k+1$$

Adım 3: Atalet Ağırlığını Güncelleştir.

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

Adım 4: Hız Vektörünü Güncelleştir.

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

ve r_2 (0,1) arasında yer alan rassal değerler, c_1 ve c_2 ise sosyal (social) ve kavramsal (cognitive) parametre değerlerini ifade eder. Elde edilen v_{ij}^k değeri (5-2)'deki $h(v_{ij}^k)$ fonksiyonu yardımıyla kısıtlandır.

$$h(v_{ij}^i) = \begin{cases} V_{\max}, & \text{if } v_{ij}^i > V_{\max} \\ v_{ij}^i, & \text{if } |v_{ij}^i| \leq V_{\max} \\ -V_{\max}, & \text{if } v_{ij}^i < -V_{\max} \end{cases} \quad i = 0, 1, 2, \dots, \rho \quad (5-2)$$

Adım 5: Pozisyon Vektörünü Güncelleştir.

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

Adım 6: Operasyon Sırasını Oluştur

- Pozisyon vektörü değerlerini kullanarak operasyon sırası vektörünü oluştur.

$$T_i^k = [t_{i1}^k, t_{i2}^k, \dots, t_{ij}^k]$$

Adım 7: Operasyon Tabanlı Sırayı Oluştur

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

Adım 8: Değerlendir

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

Adım 9: Yerel En İyi Değerlerini Güncelleştir.

- Güncelleştirilen her bir parçacığı bir önceki amaç fonksiyonu değeri ile karşılaştır. Bir öncekinden daha iyi ise parçacığın değerlerini güncelleştir, aksi takdirde 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 10: Küresel En İyi Değeri Güncelleştir.

- Güncelleştirilen her bir parçacığı bir önceki sürüdeki amaç fonksiyonu değeri en iyi olan ile karşılaştır. Bir öncekinden daha iyi ise parçacığın değerlerini güncelleştir, aksi takdirde 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 11: Durdurma Kriteri

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

5.5 Önerilen PSO Modelinde Kullanılan Parametrelerin Belirlenmesi

Önerilen PSO modelinde kullanılan parametreler şu şekilde özetlenebilir.

-Başlangıç Popülasyon 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

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

Her bir parametrenin etkisini gözlemlemek için öncelikle aşağıdaki tablodaki değerler alınmıştır.

Tablo 5-2 Önerilen PSO Modelinde Kullanılan Başlangıç Parametre Değerleri

Popülasyon Sayısı	$n \times m \times 2$
Pozisyon Vektör Aralığı	$[0,1]$
Hız Vektör Aralığı	$[-4,+4]$
Başlangıç Atalet Ağırlığı	1.3
Azaltma Katsayısı	0.995
Sosyal Katsayı	2
Kavramsal Katsayı	2

Daha sonra bu parametreleri test etmek için 5 adet farklı boyutlarda problem ele alınıp ortalama bağıl hata başarımları ölçütüne göre performansları incelenmiştir. Kullanılan deney setinde yer alan problemler ve boyutları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 5-3 Önerilen PSO Modelinde Kullanılan Parametrelerin Belirlenmesinde Kullanılan Deney Seti

Problem	İş Sayısı	Tezgah Sayısı
FT06	6	6
LA01	10	5
LA06	15	5
LA15	20	15
LA17	10	10

Her bir parametrenin hangisinin daha iyi olduğu başarımları ölçütünün küçük olması ile ilgilidir. Başarımları ölçütü olarak ise literatürde çok yaygın olan ortalama bağıl hata ele alınmıştır. Ortalama bağıl hatanın bulunabilmesi için öncelikle bağıl hatanın bulunması gerekmektedir. Bağıl hatanın formülü (5-3)'de verilmiştir.

$$\text{Bağıl Hata} = RE = \frac{S - O}{O} \times 100 \quad (5-3)$$

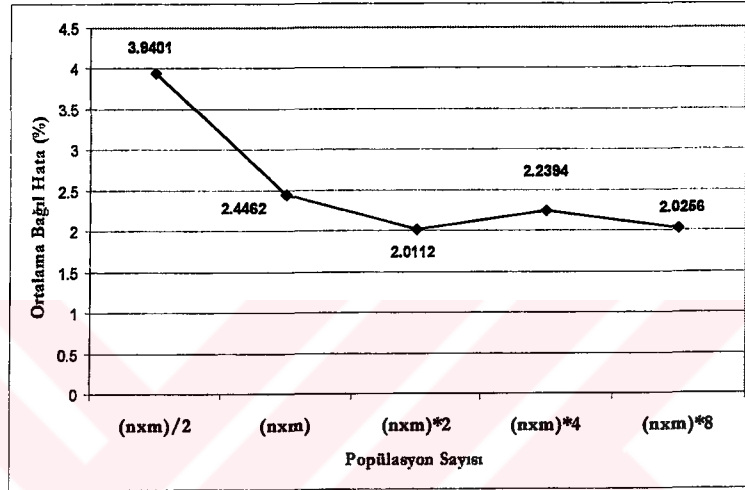
Burada yer alan “S” değeri önerilen algoritmanın bulduğu amaç fonksiyon değerini, “O” ise problemin en iyi çözüm değerini veya şu ana kadar bilinen en iyi değerini göstermektedir. Ortalama bağıl hata ise tekrar sayısı kadar (R) yapılan denemelerin toplam bağıl hataya bölünmesiyle elde edilir(5-4).

$$\text{Ortalama Bağıl Hata}=\text{MRE}=\frac{\sum RE}{R} \quad (5-4)$$

Bu deneyde toplam 5 tekrar yapılmıştır.

5.5.1 Popülasyon Sayısının Belirlenmesi

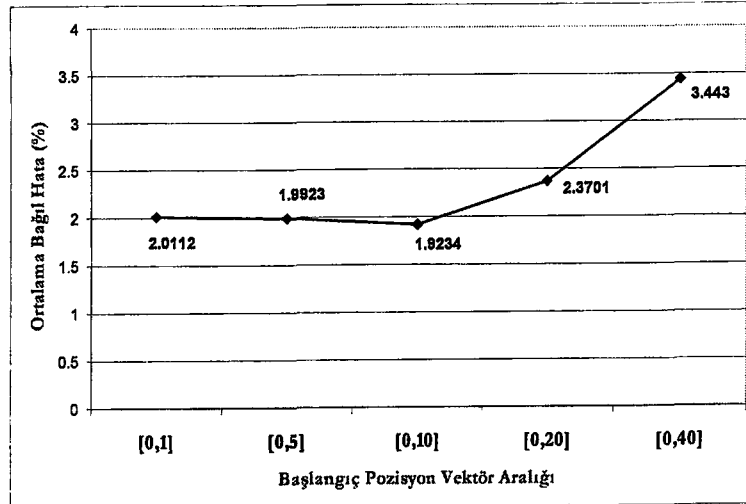
Önerilen modelde popülasyon sayısının belirlemek için 5 farklı alternatif toplam değerlendirme sayısı eşit olacak şekilde denenmiştir. Bunlar alternatifler arasından en iyi performansı, *problem boyutunun iki katı* vermiştir.



Şekil 5-3 Popülasyon Sayısının Belirlenmesi

5.5.2 Başlangıç Pozisyon Vektör Aralığının Belirlenmesi

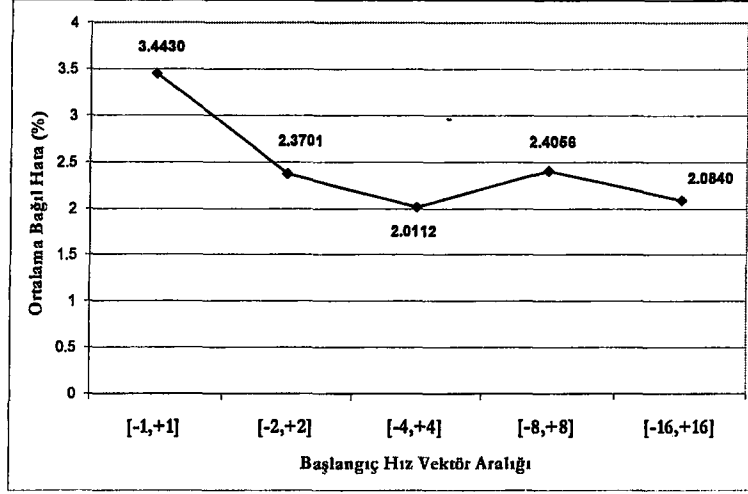
Başlangıç pozisyon vektör aralığı olarak ise 5 alternatif denenmiştir. Bunlar arasında en iyi performansı aşağıdaki şekilden de görüldüğü gibi [0, 10] aralığı vermiştir.



Şekil 5-4 Başlangıç Pozisyon Vektör Aralığının Belirlenmesi

5.5.3 Başlangıç Hız Vektör Aralığının Belirlenmesi

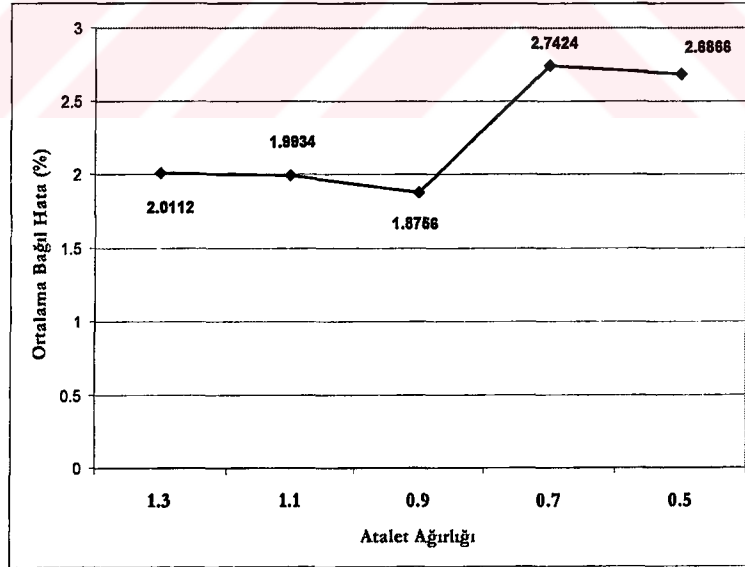
Başlangıç hız vektör aralığı olarak ise 5 alternatif denenmiştir. Bunların arasından Şekil 5-5'den de görüldüğü gibi en iyi performansı $[-4, 4]$ aralığı vermiştir.



Şekil 5-5 Başlangıç Hız Vektör Aralığının Belirlenmesi

5.5.4 Başlangıç Atalet Ağırlığının Belirlenmesi

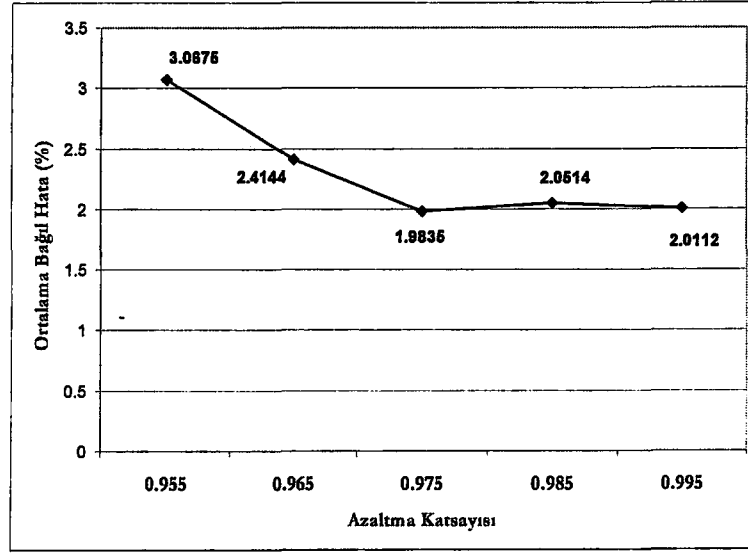
Başlangıç atalet aralığı olarak ise 5 alternatif denenmiştir. Bunların arasından en iyi performansı aşağıdaki şekilden de görüldüğü gibi 0.9 değeri vermiştir.



Şekil 5-6 Başlangıç Atalet Ağırlığının Belirlenmesi

5.5.5 Azaltma Katsayısının Belirlenmesi

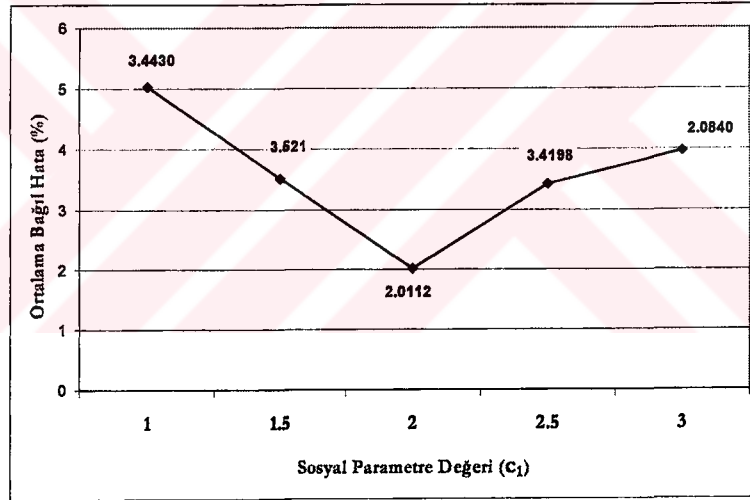
Azaltma katsayısı olarak ise yine beş alternatif denenmiştir. Bunların arasından Şekil 5-7'den de görüldüğü gibi en iyi performansı 0.975 değeri vermiştir.



Şekil 5-7 Azaltma Katsayısının Belirlenmesi

5.5.6 Sosyal Katsayısının Belirlenmesi

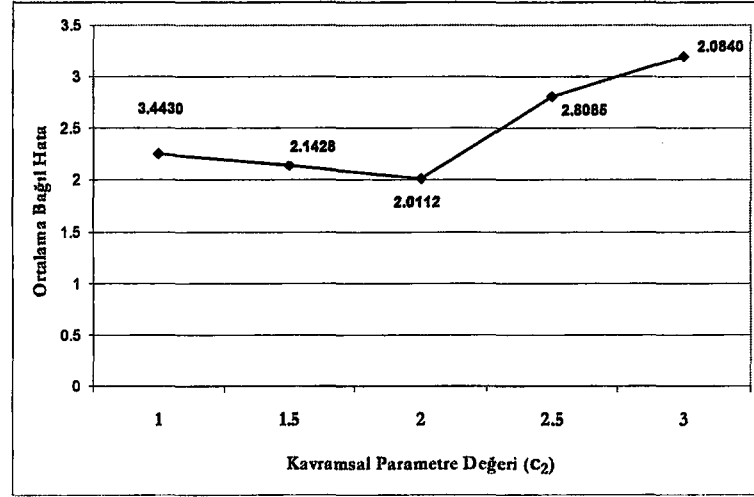
Sosyal katsayısı olarak ise yine beş alternatif denenmiştir. Bunların arasından aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi en iyi performansı 2 değeri vermiştir.



Şekil 5-8 Sosyal Katsayısının Belirlenmesi

5.5.7 Kavramsal Katsayısının Belirlenmesi

Kavramsal katsayısı olarak ise yine beş alternatif denenmiştir. Bunların arasından aşağıdaki Şekil 5-9'dan da görüldüğü gibi en iyi performansı 2 değeri vermiştir.



Şekil 5-9 Kavramsal Katsayısının Belirlenmesi

5.6 PSO Modelinin Sayısal Örneği

PSO modelinin sayısal bir uygulamasını adım adım göstermek için Tablo 2-3' deki örnek alınsın. Başlangıç parçacık sayısı 5 olarak kabul edilsin. İlk olarak Tablo 5-4'de görüldüğü gibi $X_i^0 = [x_{i1}^0, x_{i2}^0, x_{i3}^0, \dots, x_{i(m \times n)}^0]$ pozisyon vektör değerleri $[0, +10]$ arasında rassal olarak oluşturulur. Burada yer alan alt indis (i) parçacığı ifade etmekte, üst indis olan (0) ise iterasyon sayısını göstermektedir. X_i^0 her bir parçacığın pozisyon vektörünü belirtmekte, x_{ij}^0 değerleri ise vektörün içindeki elemanları ifade etmektedir. Burada yer alan (j) ise toplam iş sayısı ile tezgah sayısının çarpımı sonucu elde edilmektedir. Ele alınan örnek 3 iş 3 tezgah problemi olduğu için j değeri 9'dur.

Tablo 5-4 Başlangıç Pozisyon Vektörleri

Pozisyon	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X_1^0	6.030	1.491	3.353	5.306	7.877	2.876	8.370	8.415	0.854
X_2^0	8.389	9.376	1.441	9.373	5.127	8.325	6.658	3.387	9.828
X_3^0	0.664	5.33	5.855	6.633	0.916	8.61	6.452	1.117	4.519
X_4^0	4.689	1.526	0.561	5.914	2.192	0.315	0.474	2.873	9.830
X_5^0	7.404	7.367	7.096	2.295	1.435	7.776	1.035	2.411	0.071

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 5-5'de görülmektedir.

Tablo 5-5 Başlangıç Hız Vektörleri

V_1^0	0.704	-0.94	2.538	-0.12	-2.604	-0.613	1.641	-0.157	-3.485
V_2^0	1.718	1.300	-3.175	0.615	2.467	-3.393	1.363	-3.217	0.071
V_3^0	0.230	-1.308	0.979	-3.417	-0.741	2.836	-0.613	0.272	1.054
V_4^0	-0.297	2.750	-2.791	0.081	3.178	-2.278	3.867	1.765	0.219
V_5^0	3.206	0.711	-0.675	0.948	-0.300	2.792	-0.378	1.745	3.641

Daha sonra, pozisyon vektör değerleri kullanılarak başlangıç operasyon sırası elde edilir. Şöyle ki X_1^0 parçasığında yer alan en küçük değer $x_{19}^0 = 0.854$ ve bu değere karşılık gelen pozisyon değeri (9)'dur. Bu operasyon sırası oluşturulurken ilk önceliğe sahip değerdir. Dolayısıyla $\tau_{11}^0 = 9$ 'dur. Pozisyon vektöründe yer alan sonraki en küçük değer $x_{12}^0 = 1.491$ 'dir ve buna karşılık gelen pozisyon değeri (2) ise operasyon sırasındaki ikinci değerdir. ($\tau_{12}^0 = 1$.) Bu işlem pozisyon vektöründeki tüm elemanlar için uygulanır. Tablo 5-6'de sürü içerisindeki tüm pozisyon değerlerine karşılık gelen operasyon sıraları görülmektedir. Bu sonuçlardan operasyon tabanlı gösterim değerlerini elde edebilmek için T_i^0 vektör değerlerinin her birine (5-1)'deki formül uygulanır.

Tablo 5-6 Başlangıç Operasyon Sıraları

T_1^0	9	2	6	3	4	1	5	7	8
T_2^0	3	8	5	7	6	1	4	2	9
T_3^0	1	5	8	9	2	3	7	4	6
T_4^0	6	7	3	2	5	8	1	4	9
T_5^0	9	7	5	4	8	3	2	1	6

Örneğin π_{11}^0 değeri (5-1)'deki formül kullanılarak $\left\lceil \frac{\tau_{11}^0}{n} \right\rceil = \left\lceil \frac{9}{3} \right\rceil = 3$ değeri elde edilir.

Başlangıç operasyon tabanlı gösterim değerleri ve bunlara bağlı amaç fonksiyon değerleri (tamamlanma zamanı) Tablo 5-7'de görülmektedir.

Tablo 5-7 Başlangıç Operasyon Tabanlı Gösterim Değerleri

										$f(\Pi_i^1)$
Π_1^0	3	1	2	1	2	1	2	3	3	21
Π_2^0	1	3	2	3	2	1	2	1	3	17
Π_3^0	1	2	3	3	1	1	3	2	2	18
Π_4^0	2	3	1	1	2	3	1	2	3	18
Π_5^0	3	3	2	2	3	1	1	1	2	28

Bu sonraki adım ise bu neslin yerel en iyilerini ve küresel en iyi değerini bulmak olacaktır. Her bir popülasyon da parçacık sayısı kadar yerel en iyi değeri ve bir tane de küresel en iyi değeri vardır. Başlangıç popülasyonunun yerel en iyi değerleri her bir parçacığın değerlerine eşit olacağından P_i olarak ifade edilen yerel en değerleri ve bu değerler sonucu elde edilmiş amaç fonksiyon değerleri Tablo 5-8’de görülmektedir.

Tablo 5-8 Başlangıç Yerel En İyi Pozisyon Vektörleri

Pozisyon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	$f(P_i)$
P_1	6.030	1.491	3.353	5.306	7.877	2.876	8.37	8.415	0.854	21
P_2	8.389	9.376	1.441	9.373	5.127	8.325	6.658	3.387	9.828	17
P_3	0.664	5.330	5.855	6.633	0.916	8.61	6.452	1.117	4.519	18
P_4	4.689	1.526	0.561	5.914	2.192	0.315	0.474	2.873	9.83	18
P_5	7.404	7.367	7.096	2.295	1.435	7.776	1.035	2.411	0.071	28

Başlangıç popülasyonun da yer alan en iyi amaç fonksiyonuna sahip parçacık küresel en iyi olarak nitelendirilir. Tablo 5-9’de küresel en iyi parçacığa ait pozisyon ve buna bağlı amaç fonksiyon değeri görülmektedir.

Tablo 5-9 Başlangıç Küresel En İyi Değerleri

Pozisyon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	$f(G)$
G	8.389	9.376	1.441	9.373	5.127	8.325	6.658	3.387	9.828	17

Bundan sonraki adım ise oluşturulan bu parametreler eşliğinde her bir parçacığın bir sonraki iterasyondaki pozisyon ve hız vektörleri ile bunlara bağlı olarak operasyon sırası ve operasyon tabanlı gösterim değerlerini oluşturmaktır. Öncelikle her bir parçacığın hız vektörü değerleri atalet ağırlığının o iterasyondaki değeri ile çarpılır.

Yani öncelikle $w^{k+1} = w^k \times \beta$ formülü yardımıyla atalet ağırlığı β gibi bir sabit sayı ile çarpılarak azaltılır. β değeri bu örnekte 0.995 olarak alınır. İlk iterasyondaki atalet ağırlığı değeri $0.9 \times 0.995 = 0.8955$ 'dir. Böylece 1. parçacığın 1. pozisyonundaki hız vektörü değeri $v_{11}^0 = 0.704 \times 0.8955 = 0.634$ eşitliği ile elde edilir. Tablo 5-10'da atalet ağırlığı ile çarpılmış hız vektörleri görülmektedir.

Tablo 5-10 Atalet Ağırlığı ile Çarpılmış Hız Vektör Değerleri

V_1^1	0.634	-0.846	2.284	-0.108	-2.344	-0.552	1.477	-0.141	-3.137
V_2^1	1.546	1.170	-2.858	0.554	2.220	-3.054	1.227	-2.895	0.064
V_3^1	0.207	-1.177	0.881	-3.075	-0.667	2.552	-0.552	0.245	0.949
V_4^1	-0.267	2.475	-2.512	0.073	2.860	-2.050	3.480	1.589	0.197
V_5^1	2.885	0.640	-0.608	0.853	-0.270	2.513	-0.340	1.571	3.277

Daha sonra yerel en iyiler ve küresel en iyi komşu değerlerinden yararlanarak $\Delta v_{ij}^0 = c_1 r_1 (p_{ij} - x_{ij}^0) + c_2 r_2 (g_j - x_{ij}^0)$ değeri hesaplanır. Bu formülde yer alan r_1 ve r_2 değerleri rassal değerlerdir. c_1 ve c_2 değerleri ise sosyal(social) ve kavramsal(cognitive) parametre değerlerini ifade eder ki bu değerlerde bu örnekte 2 alınmıştır. Yeni hız vektörü değerleri, atalet ağırlığı çarpılmış vektör değerleri ile bu değerlerin toplanması ile elde edilir. Yani $v_{ij}^1 = h(v_{ij}^0 + \Delta v_{ij}^0)$ 'dir. Burada yer alan h fonksiyonu hız vektörünü kısıtlanması için geliştirilen bir fonksiyondur. Bu fonksiyonda hız vektörünün belirlenen aralıklar çerçevesinde kalmasını sağlar. Kısıtlanma işlemi de literatürde başlangıçta verilen aralıklar arasında olmasıyla yapılır. Bu fonksiyon (5-2)'de verilmiştir.

Elde edilen hız vektör değerleri ile başlangıç pozisyon vektörünün toplamı ile yeni pozisyon vektörü oluşturulur. $x_{ij}^1 = x_{ij}^0 + v_{ij}^1$

Yukarıdaki işlemler sayısal olarak şu şekilde hesaplanmaktadır. Örneğin 1. iterasyondaki 1. parçacığın 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 Δv_{ij}^1 değerini hesaplamaktır. Bu da,

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

$$\Delta v_{11}^0 = c_1 \times r_1 \times (p_{11} - x_{11}^1) + c_2 \times r_2 \times (g_1 - x_{11}^0)$$

$$\Delta v_{11}^0 = 2 \times 0.354 \times (6.03 - 6.03) + 2 \times 0.918 \times (8.389 - 6.03) = 4.331$$

değerine eşittir. 1. parçacığın 1. pozisyonundaki yeni hız vektörünün değeri ise;

$$v_{11}^1 = h(v_{11}^0 + \Delta v_{11}^0)$$

$$v_{11}^1 = h(0.634 + 4.331) = h(4.965)$$

$$v_{11}^1 = 4.000$$

olur.

Yeni pozisyon değeri ise

$$x_{11}^2 = x_{11}^1 + v_{11}^2$$

$$x_{11}^2 = 6.030 + 4.000 = 10.030$$

şeklinde bulunur.

Bu işlemin bütün pozisyon vektörü değerleri için uygulanmasıyla elde edilen birinci iterasyon pozisyon vektör değerleri Tablo 5-11'de hız vektörü değerleri Tablo 5-12'de ve bunlara bağlı olarak 2. iterasyon operasyon sırası , operasyon tabanlı gösterim değerleri ve amaç fonksiyon değerleri sırasıyla Tablo 5-13 ve Tablo 5-14'de görülmektedir.

Tablo 5-11 Pozisyon Vektörleri(1. İterasyon)

Pozisyon	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X_1^1	10.030	5.491	4.984	7.991	3.912	6.876	7.305	7.818	-1.685
X_2^1	9.927	10.540	-1.403	9.924	7.337	5.287	7.878	0.506	9.891
X_3^1	4.664	9.330	1.855	6.751	4.916	11.080	6.004	3.243	6.612
X_4^1	6.550	5.526	-0.624	9.364	6.192	3.309	4.474	4.653	10.025
X_5^1	10.889	10.384	3.096	6.295	5.435	11.119	5.035	3.982	4.071

Tablo 5-12 Hız Vektörleri (1. İterasyon)

V_1^1	4.000	4.000	1.631	2.685	-3.965	4.000	-1.065	-0.597	-2.539
V_2^1	1.539	1.165	-2.843	0.551	2.210	-3.038	1.221	-2.881	0.063
V_3^1	4.000	4.000	-4.000	0.118	4.000	2.469	-0.448	2.126	2.093
V_4^1	1.861	4.000	-1.185	3.450	4.000	2.994	4.000	1.780	0.195
V_5^1	3.485	3.017	-4.000	4.000	4.000	3.343	4.000	1.571	4.000

Tablo 5-13 Operasyon Sıraları (1.İterasyon)

T_1^1	9	5	3	2	6	7	8	4	1
T_2^1	3	8	6	5	7	9	4	1	2
T_3^1	3	8	1	5	7	9	4	2	6
T_4^1	3	6	7	8	2	5	1	4	9
T_5^1	3	8	9	7	5	4	2	1	6

Tablo 5-14 Operasyon Tabanlı Gösterim Değerleri (1. İterasyon)

										$f(\Pi_i^1)$
Π_1^1	3	2	1	1	2	3	3	2	1	17
Π_2^1	1	3	2	2	3	3	2	1	1	17
Π_3^1	1	3	1	2	3	3	2	1	2	22
Π_4^1	1	2	3	3	1	2	1	2	3	18
Π_5^1	1	3	3	3	2	2	1	1	2	18

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. Örneğin başlangıçta 1. yerel en iyinin amaç fonksiyon değeri 21 idi 1. iterasyon sonucunda 1. parçacığın amaç fonksiyon değeri 21'den daha iyi olduğu için 1. yerel en iyi komşu değerleri ile amaç fonksiyon değeri, 1. parçacığın pozisyon değerlerine ve amaç fonksiyonuna eşitlenir. Aynı şekilde bütün parçacıkların amaç fonksiyon değerleri karşılık gelen yerel en iyi değerlerinin amaç fonksiyon değerleri ile karşılaştırılır daha iyi amaç fonksiyonuna sahip parçacıklar yerel en iyi komşular olarak değiştirilir. Bu değişiklik farklı çözümlere ulaşabilmek için eşitlik durumunda da yapılır. Örneğin 2. parçacığın amaç fonksiyon değeri 17 iken bir önceki 2. yerel en iyinin amaç fonksiyon değeri de 17'dir. Dolayısıyla 2. yerel en iyi komşular değişmiş olur. Güncellenmiş yerel en iyi değerleri ve amaç fonksiyon değerleri Tablo 5-15'de görülmektedir.

Tablo 5-15 Yerel En İyi Pozisyon Vektörleri (1. İterasyon)

Pozisyon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	$f(P_i)$
P_1	10.030	5.491	4.984	7.991	3.912	6.876	7.305	7.818	-1.685	17
P_2	9.927	10.540	-1.403	9.924	7.337	5.287	7.878	0.506	9.891	17
P_3	0.664	5.330	5.855	6.633	0.916	8.610	6.452	1.117	4.519	18
P_4	6.550	5.526	-0.624	9.364	6.192	3.309	4.474	4.653	10.025	18
P_5	10.889	10.384	3.096	6.295	5.435	11.119	5.035	3.982	4.071	18

İkinci iterasyona kadar elde edilen en iyi amaç fonksiyon değeri birinci iterasyondaki gibi aynıdır. Fakat küresel en iyi komşuları da güncelleştirirken tıpkı yerel en iyi komşuların güncelleşmesinde olduğu gibi eşitlik durumunda da bu değişiklik yapılır. Bu değişiklik şu şeklide gerçekleşir. Popülasyona birinci parçacıktan 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 güncelleştirilmiş olur. 1. iterasyon sonucu elde edilen küresel en iyi komşu değerleri Tablo 5-16’de görülmektedir.

Tablo 5-16 Küresel En İyi Değerleri (1. İterasyon)

Pozisyon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	$f(G)$
G	9.927	10.540	-1.403	9.924	7.337	5.287	7.878	0.506	9.891	17

İkinci iterasyonda da birinci iterasyonda uygulanan işlemlerin aynısı pozisyon, hız vektörleri; operasyon sıraları ve operasyon tabanlı gösterim değerleri ile amaç fonksiyon değerleri, sırasıyla, Tablo 5-17, Tablo 5-18, Tablo 5-19 ve Tablo 5-20’de de, yerel en iyi komşu değerleri ve küresel en iyi komşular da Tablo 5-22 ve Tablo 5-22’de görülmektedir.

Tablo 5-17 Pozisyon Vektörleri (2. İterasyon)

Pozisyon	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X_1^2	13.574	9.491	6.093	11.121	3.511	9.390	6.690	3.818	2.315
X_2^2	11.299	11.578	-3.936	10.415	9.306	2.580	8.966	-2.062	9.948
X_3^2	8.664	13.330	-2.145	8.419	1.492	10.151	8.488	2.331	8.011
X_4^2	10.550	9.526	-1.836	13.120	10.192	7.309	8.474	1.470	10.124
X_5^2	13.301	13.357	-0.904	10.295	9.435	7.119	9.035	-0.018	8.071

Tablo 5-18 Hız Vektörleri (2. İterasyon)

V_1^2	3.544	4.000	1.109	3.130	-0.401	2.514	-0.615	-4.000	4.000
V_2^2	1.371	1.038	-2.534	0.491	1.969	-2.707	1.088	-2.567	0.056
V_3^2	4.000	4.000	-4.000	1.669	-3.424	-0.928	2.484	-0.913	1.398
V_4^2	4.000	4.000	-1.212	3.756	4.000	4.000	4.000	-3.183	0.099
V_5^2	2.412	2.973	-4.000	4.000	4.000	-4.000	4.000	-4.000	4.000

Tablo 5-19 Operasyon Sıraları (2.İterasyon)

T_1^2	9	5	8	3	7	6	2	4	1
T_2^2	3	8	6	7	5	9	4	1	2
T_3^2	3	5	8	9	4	7	1	6	2
T_4^2	3	8	6	7	2	9	5	1	4
T_5^2	3	8	6	9	7	5	4	1	2

Tablo 5-20 Operasyon Tabanlı Gösterim Değerleri (2. İterasyon)

										$f(\Pi_i^2)$
Π_1^2	3	2	3	1	3	2	1	2	1	17
Π_2^2	1	3	2	3	2	3	2	1	1	17
Π_3^2	1	2	3	3	2	3	1	2	1	16
Π_4^2	1	3	2	3	1	3	2	1	2	18
Π_5^2	1	3	2	3	3	2	2	1	1	17

Tablo 5-21 Yerel En İyi Pozisyon Vektörleri (3. İterasyon)

Pozisyon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	$f(P_i)$
P_1	13.574	9.491	6.093	11.121	3.511	9.390	6.690	3.818	2.315	17
P_2	11.299	11.578	-3.936	10.415	9.306	2.580	8.966	-2.062	9.948	17
P_3	8.664	13.330	-2.145	8.419	1.492	10.151	8.488	2.331	8.011	16
P_4	10.550	9.526	-1.836	13.120	10.192	7.309	8.474	1.470	10.124	18
P_5	13.301	13.357	-0.904	10.295	9.435	7.119	9.035	-0.018	8.071	17

Tablo 5-22 Küresel En İyi Değerleri (3. İterasyon)

Pozisyon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	$f(G)$
G	8.664	13.330	-2.145	8.419	1.492	10.151	8.488	2.331	8.011	16

Bu işlemler bir durdurma ölçütüne kadar devam ettirilir. Genellikle bu ölçüt işlem süresi(CPU time) veya belirlenen iterasyon sayısıdır. Durdurma ölçütünün 100 iterasyon kabul edilmesi durumunda 100. iterasyon sonucunda elde edilen pozisyon

vektör değerleri Tablo 5-23'de, hız vektör değerleri Tablo 5-24'de ve bunlara bağlı operasyon sırası değerleri Tablo 5-25, operasyon tabanlı gösterim değerleri Tablo 5-26'da, yerel en iyi komşu değerleri Tablo 5-27, ve küresel en iyi komşularda Tablo 5-28'de görülmektedir.

Tablo 5-23 Pozisyon Vektörleri (100. İterasyon)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X_1^{100}	43.086	34.031	-26.547	33.224	-30.669	-5.834	20.876	12.473	10.714
X_2^{100}	43.086	34.031	-26.547	33.224	-30.669	-5.834	20.876	12.473	10.710
X_3^{100}	43.086	34.031	-26.548	33.224	-30.669	-5.834	20.876	12.473	10.714
X_4^{100}	43.086	34.031	-26.551	33.224	-30.686	-5.834	20.876	12.473	10.713
X_5^{100}	43.086	34.031	-26.547	33.224	-30.669	-5.834	20.876	12.473	10.714

Tablo 5-24 Hız Vektörleri (100. İterasyon)

V_1^{100}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
V_2^{100}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.008
V_3^{100}	0.000	0.000	-0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
V_4^{100}	0.000	-0.001	0.007	0.000	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000
V_5^{100}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Hız vektörü değerlerinin sıfıra veya sıfıra yaklaşık olması algoritmanın yakınsadığını, o ana kadar elde edilen amaç fonksiyon değerinin bundan sonra değişmeyeceğini ifade eder.

Tablo 5-25 Operasyon Sıraları (100.İterasyon)

T_1^{100}	5	3	6	9	8	7	4	2	1
T_2^{100}	5	3	6	9	8	7	4	2	1
T_3^{100}	5	3	6	9	8	7	4	2	1
T_4^{100}	5	3	6	9	8	7	4	2	1
T_5^{100}	5	3	6	9	8	7	4	2	1

Tablo 5-26 Operasyon Tabanlı Gösterim Değerleri (100. İterasyon)

										$f(\Pi_i^{100})$
Π_1^{100}	2	1	2	3	3	3	2	1	1	16
Π_2^{100}	2	1	2	3	3	3	2	1	1	16
Π_3^{100}	2	1	2	3	3	3	2	1	1	16
Π_4^{100}	2	1	2	3	3	3	2	1	1	16
Π_5^{100}	2	1	2	3	3	3	2	1	1	16

Tablo 5-27 Yerel En İyi Pozisyon Vektörleri (100. İterasyon)

Pozisyon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	$f(P_i)$
P_1	43.086	34.031	-26.547	33.224	-30.669	-5.834	20.876	12.473	10.714	16
P_2	43.086	34.031	-26.547	33.224	-30.669	-5.834	20.876	12.473	10.710	16
P_3	43.086	34.031	-26.548	33.224	-30.669	-5.834	20.876	12.473	10.714	16
P_4	43.086	34.031	-26.551	33.224	-30.686	-5.834	20.876	12.473	10.713	16
P_5	43.086	34.031	-26.547	33.224	-30.669	-5.834	20.876	12.473	10.714	16

Tablo 5-28 Küresel En İyi Değerleri (100. İterasyon)

Pozisyon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	$f(G)$
G	43.086	34.031	-26.547	33.224	-30.669	-5.834	20.876	12.473	10.714	16

5.7 PSO Modelinin Test Problemlerine Uygulanması

Geliştirilen PSO modeli literatürde yer alan ve ikinci bölümde bahsedilen test problemlerine uygulamadan önce çıkan sonucun en iyiye ne kadar yakın olduğunu ölçen bir parametrenin tanımlanması gerekmektedir. Literatürde genellikle ortalama bağıl hata (Mean Relative Percent Deviation) kullanılır.

Ortalama Bağıl Hatanın nasıl hesaplandığı (5-4)'de verilmiştir.

Önerilen PSO'da kullanılan parametreler Tablo 5-29'da verilmiştir. Bu parametreler yardımıyla önerilen PSO modeli test problemlerine uygulandığında her bir problem grubu için sonuçlar EK-A'da verilmiştir.

Tablo 5-29 PSO Modelinde Kullanılan Parametreler

Popülasyon Sayısı	$n \times m \times 2$
Nesil(Generation) Sayısı	1000
Başlangıç Atalet Ağırlığı	0.9
Azaltma Katsayısı	0.975
Pozisyon Vektör Aralığı	[0,10]
Hız Vektör Aralığı	[- 4,+4]
Sosyal ve Kavramsal Değerler	2
Tekrar(Replication) Sayısı	30

EK-A’da verilen FT problem grubu aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Tablo 5-30 FT Problemlerinin Önerilen PSO Modeli ile Elde Edilen Sonuçları

Problem Hakkında Genel Bilgiler					PSO Sonuçları					
Problemler	İş Sayısı	Tezgah Sayısı	Alt Sınır Değeri	Üst Sınır değeri	En İyi Değer	En Kötü Değer	Ortalama	Standart Sapma	Ortalama Bağıl Hata	Ortalama CPU Değeri
ft06	6	6	55	55	55	59	57.03	1.81	3.70	1.40
ft10	10	10	930	930	996	1115	1052.63	29.90	13.19	35.96
ft20	20	5	1165	1165	1206	1369	1296.53	37.90	11.29	36.56

Tabloda yer alan ifadeler şu şekilde açıklanabilir.

- En İyi Değer; Algoritmanın 30 defa tekrar sonucunda bulunan en iyi değeri
- En Kötü Değer; Algoritmanın 30 defa tekrar sonucunda bulunan en kötü değeri
- Ortalama Standart Sapma; Algoritmanın 30 defa tekrar sonucunda bulunan sonuçların standart sapmasını
- Ortalama Bağıl Hata: Algoritmanın 30 defa tekrar sonucunda bulunan sonuçların ortalama bağıl hatasını
- Ortalama CPU Değeri Algoritmanın 30 defa tekrar sonucunda bulunan sonuçların saniye olarak ortalama işlem zamanını göstermektedir.

6 ATÖLYE TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ İÇİN GENETİK ALGORİTMA MODELİ

Bu bölümde, geliştirilen PSO modeli ile karşılaştırmak üzere bir evrimsel hesaplama yöntemi olan genetik algoritma(GA) modeli, atölye tipi çizelgeleme problemleri için tasarlanıp test problemleri üzerindeki performansı incelenmiştir.

6.1 GA Modelinin Gösterimi ve Yapısı

İlk olarak problemin genetik algoritma modelinde ifade şeklinin belirlenmesi gerekir. Önerilen GA modeli, PSO modeli ile karşılaştıracığı için PSO modelindeki gösterim şekli seçilmiştir. PSO modelinde operasyon sırası pozisyon vektörü değerleri dönüştürülerek elde edilmektedir. Genetik algoritma modelinde pozisyon vektörü yer almadığından operasyon sırası, rastgele oluşturulmuştur. Daha sonra PSO modelinde açıklandığı gibi (5-1)'deki formül yardımıyla operasyon tabanlı gösterim değeri elde edilmiştir.

Tablo 6-1 GA Modelindeki Gösterim Yöntemi

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

Modelin benzetim kodu aşağıda verilmiştir.

```
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 6-1 Önerilen GA Modelinin Yapısı

Burada yer alan M çaprazlama oranı sonucu oluşan aday sayısını, N ise toplam popülasyon sayısını göstermektedir.

6.2 Çaprazlama Operatörünün Seçimi

Kullanılan gösterimin permütasyon tabanlı olması sebebiyle kullanılacak çaprazlama yöntemi de, genellikle Akış Tipi Çizelgeleme ve Gezgin Satıcı Problemlerinde kullanılan çaprazlama operatörleri arasından seçilecektir. Literatürde yer alan bu çaprazlama operatörleri şu şekilde sıralanabilir. (Cheng ve diğerleri, 1997) .

6.2.1 Kısmi Eşlemeli Çaprazlama(PMX)

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

Rastgele seçilen iki kromozom için eşit uzunlukta iki alt kromozom dizisi eşlemek için alınır. Bu alt kromozom dizi değerleri iki kromozom arasında değiştirilerek aday bireyler oluşturulur. İki alt kromozom dizisinden eşleme ilişkisi hesaplanır. Yeni birey bu eşlemeye göre oluşturulur. Şekil 6-2’den de görüldüğü gibi 1, 2 ve 9 birinci aday birey de iki kere tekrarlanmaktadır ve 3, 4, 5 yer almamaktadır. Üçüncü adımdaki eşleşme ilişkisinden bu 1, 2 ve 9 un yerine sırasıyla 3, 5 ve 4 gelerek 1.çocuk oluşturulur. İkinci çocukta aynı şekilde oluşturulur.

Adım 1 Popülasyondan 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 Eşleme 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

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

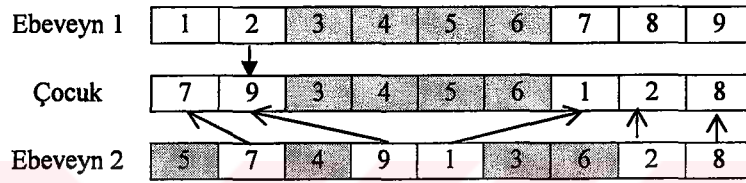
Şekil 6-2 Kısmi Eşlemeli Çaprazlama Gösterimi

6.2.2 Sıralı Çaprazlama(OX)

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. Bu alt kromozomda yer alan değerler ikinci ebeveynden silinir. Geri kalan değerler sırası ile boş kalan aday bireye kopyalanarak yeni bir çocuk oluşturulur.

Şekil 6-3'de bu adımlar görülmektedir. Alt kromozom dizisi ikinci ebeveynden aynı pozisyonlardan başlayarak seçilseydi yeni çocuk olarak [2 5 4 9 1 3 6 7 8] değerleri elde edilecekti.



Şekil 6-3 Sıralı Çaprazlama Gösterimi

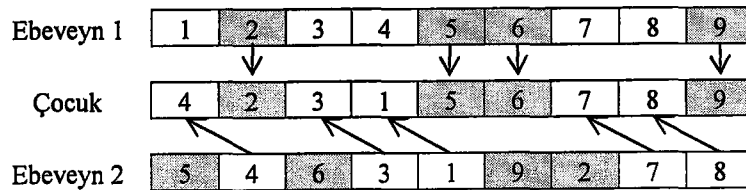
6.2.3 Pozisyon Tabanlı Çaprazlama(PBX)

Syswerda tarafından geliştirilen bu çaprazlama yöntemi sıralı çaprazlama yönteminin değiştirilmiş bir şeklidir. İşleyişi ise 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 çocuk oluşturulur.

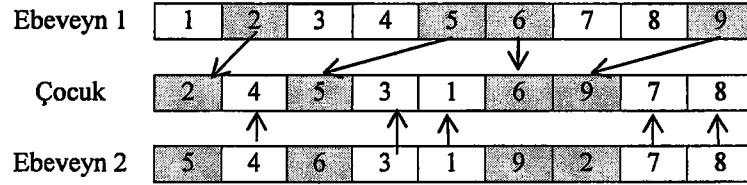
Şekil 6-4'de bu adımlar görülmektedir. Bu pozisyon değerleri ikinci ebeveynden de aynı pozisyonlardan seçilseydi yeni çocuk olarak [2 4 3 5 1 9 6 7 8] değerleri elde edilecekti.



Şekil 6-4 Pozisyon Tabanlı Çaprazlama Gösterimi

6.2.4 Sıraya Dayalı Çaprazlama(OBX)

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. Şekil 6-5’de sıraya dayalı çaprazlama örneği görülmektedir.

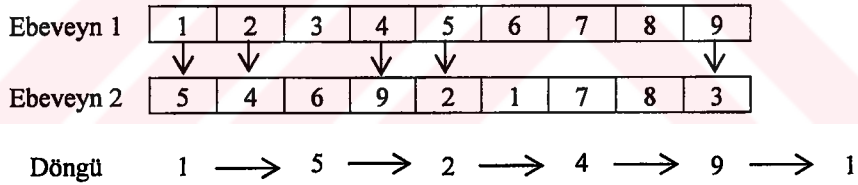


Şekil 6-5 Sıraya Dayalı Çaprazlama Gösterimi

6.2.5 Dairesel Çaprazlama(CX)

Oliver, Smith ve Holland tarafından geliştirilen bu çaprazlama yöntemi pozisyona dayalı çaprazlamadan tek farkı birinci adımda oluşturulan rassal pozisyonlar dizisi yerine sabit ve bütün adımlarda kullanılmak üzere döngü değerleri kullanılır. Şekil 6-6’de Dairesel Çaprazlama yönteminin adımları görülmektedir.

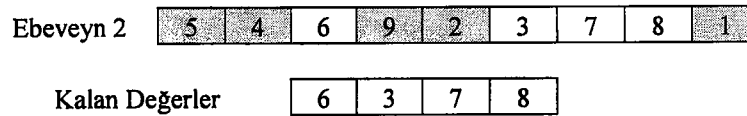
Adım 1: Rassal seçilen iki ebeveynden döngü oluşturun.



Adım 2: Döngüde bulunan değerleri aday bireye kopyala



Adım 3: Aday birey için kalan değerleri hesapla



Adım 4: Çocuk bireyini oluştur



Şekil 6-6 Dairesel Çaprazlama Gösterimi

6.2.6 Doğrusal Sıralı Çaprazlama(LOX)

Falkenauer ve Bouffouix tarafından geliştirilen bu çaprazlama sıralı çaprazlamanın değiştirilmiş bir şeklidir. İşleyiş biçimi şöyledir:

Rastgele seçilen iki ebeveynin aynı pozisyonlarda iki tane alt dizi kromozom oluşturulur. İkinci alt dizideki değerleri birinci ebeveyninden, birinci alt dizideki değerleri de ikinci ebeveyninden çıkartılıp ve kalan yerlere h yazılır. Daha sonra bu h 'leri çaprazlama pozisyonuna getirilir. Birinci alt dizideki değerler ikinci ebeveyndeki h 'lara eklenerek birinci çocuk, ikinci alt dizideki değerler birinci ebeveyndeki h 'lara eklenerek ikinci çocuk oluşturulur.

Şekil 6-7'da doğrusal sıralı çaprazlamanın adımları görülmektedir.

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

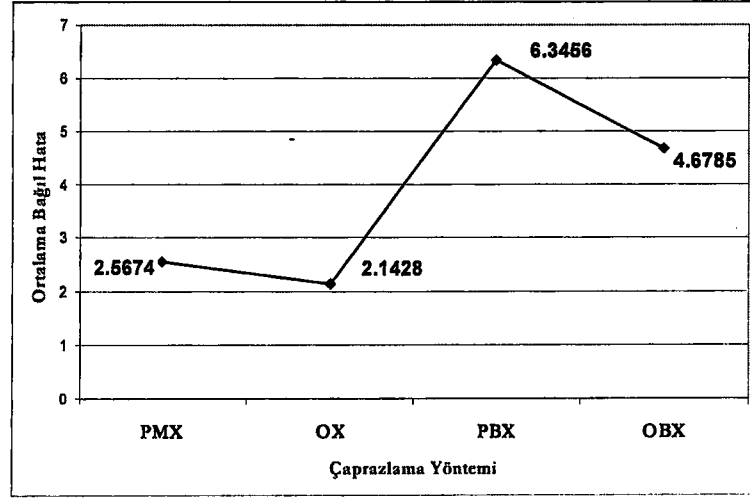
Adım 3:

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

Şekil 6-7 Doğrusal Sıralı Çaprazlama Gösterimi

Literatürde yer alan bu çaprazlama yöntemlerinden gezgin satıcı ve akış tipi çizelgeleme problemlerinde en iyi performans veren Sıralı Çaprazlama (OX)'dır. (Michalewicz,1994). Önerilen GA modeli, Tablo 5-3'de belirtilen problem seti ile yine ortalama bağıl hata dikkate alınarak en çok kullanılan dört çaprazlama operatörü denenmiş, bunların arasında en iyi performansı Şekil 6-8'de de görüldüğü gibi sıralı çaprazlama yöntemi vermiştir.

Burada bu diğer çaprazlama yöntemlerinin performansları incelenirken, mutasyon yöntemi değiştirme, mutasyon oranı %5, çaprazlama oranı %95 ve seçim stratejisi olarak derece yöntemi sabit tutulmuştur.



Şekil 6-8 Çaprazlama Yönteminin Belirlenmesi

Dolayısıyla bu GA modelinde çaprazlama operatörü olarak sıralı çaprazlama(OX) yöntemi kullanılmıştır.

6.3 Mutasyon Operatörünün Belirlenmesi

Genetik algoritma da mutasyon operatörünün seçimi önemli bir yeri teşkil eder. Permütasyon tabanlı gösterimde literatürde geçen popüler mutasyon operatörleri şunlardır.

6.3.1 Ters Mutasyon (Inversion)

Ters mutasyon yönteminde seçilen bir kromozomdaki alt kromozom dizisi ters çevrilerek yerine yazılır. Şekil 6-9'de ters mutasyon yöntemi görülmektedir.

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

Şekil 6-9 Ters Mutasyon Gösterimi

6.3.2 Ekleme Mutasyonu(Insert)

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

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

Şekil 6-10 Ekleme Mutasyonu Gösterimi

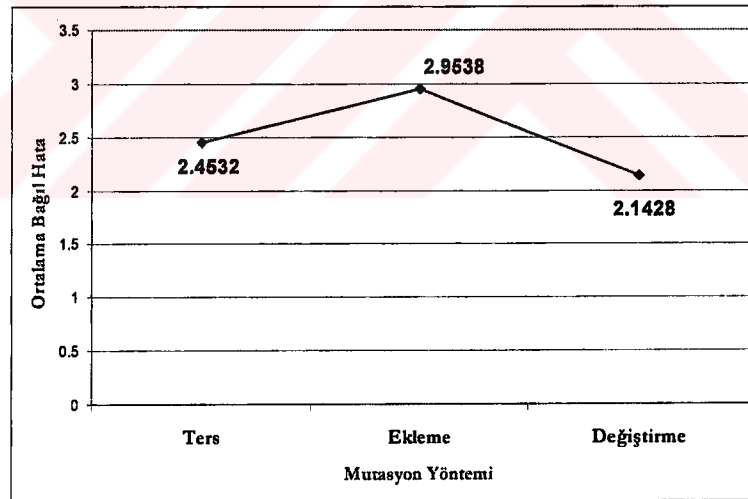
6.3.3 Değiştirme Mutasyonu (Exchange)

Rastgele seçilen iki pozisyonun yer değiştirilmesiyle gerçekleşir.

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

Şekil 6-11 Değiştirme Mutasyonu Gösterimi

Bu mutasyon operatörleri arasında çoğunlukla ekleme ve değiştirme mutasyon yöntemi değişik problemlere göre tercih edilmektedir. Önerilen GA modelinde ise Tablo 5-3'deki örnek deney seti ile her üç yöntemde incelenmiş, değiştirme mutasyon operatörünün diğerlerine göre daha iyi performans verdiği görülmüştür.(Şekil 6-12)

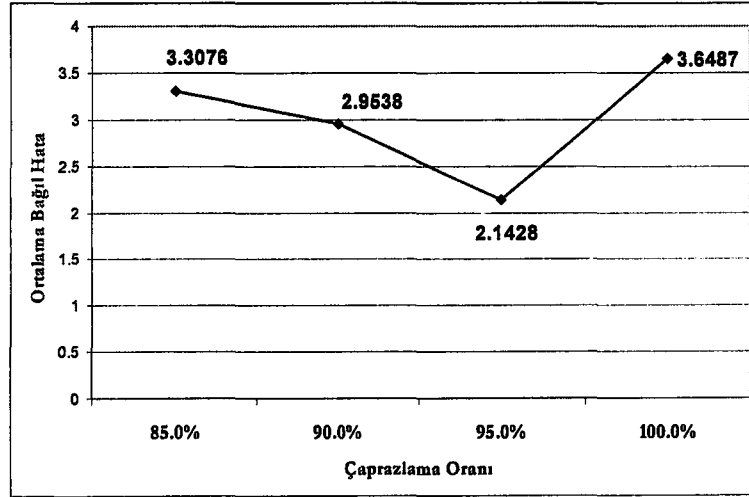


Şekil 6-12 Mutasyon Yönteminin Belirlenmesi

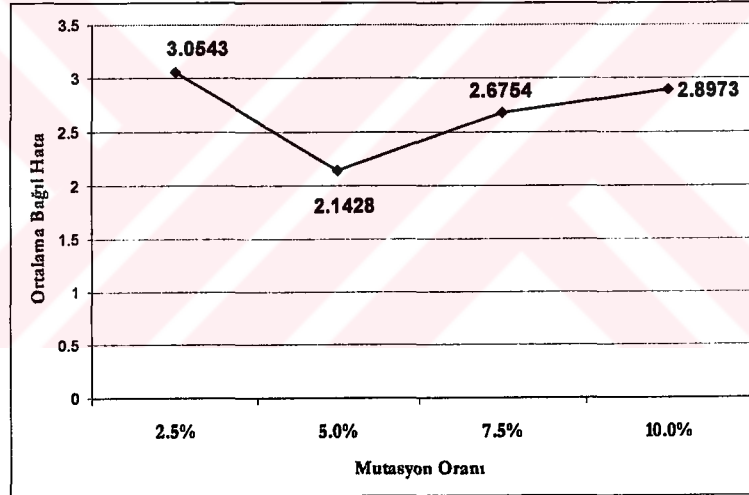
6.4 Çaprazlama ve Mutasyon Oranının Belirlenmesi

Araştırmacılar çaprazlama ve mutasyon oranı hakkında bir çok çalışma yapmış ve sonuç olarak ise çaprazlama oranının yüksek mutasyon oranının ise düşük seçilmesi yönünde görüş birliğine varmışlardır.(Croce ve diğ., 1995). Önerilen GA modelinde

Önerilen GA modelinde ise Tablo 5-3'deki örnek deney seti ile çaprazlama ve mutasyon oranı olarak 4 alternatif denenmiş, sonuç olarak çaprazlama oranı 95% (Şekil 6-13), mutasyon oranı ise 5% (Şekil 6-14) olarak alınmıştır.



Şekil 6-13 Çaprazlama Oranının Belirlenmesi



Şekil 6-14 Mutasyon Oranının Belirlenmesi

6.5 Seçim Stratejisinin Belirlenmesi

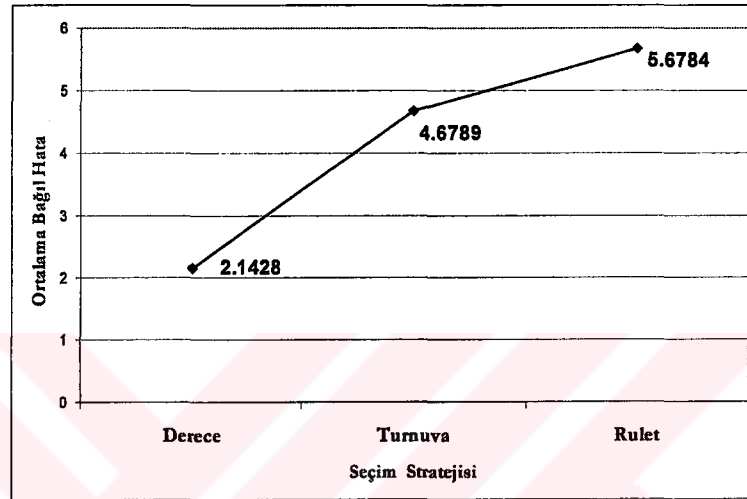
Genetik algoritmanın performansını etkileyen önemli parametreler arasında seçim stratejisinin belirlenmesi yer alır. Literatürde yer alan seçim stratejilerini en önemlileri şu şekilde sıralanabilir.

- Derece Seçimi (Rank Selection)
- Turnuva Seçimi (Tournament Selection)
- Rulet Seçimi(Roulette Wheel Selection)

-Boltzman Seçimi (Boltzman Selection)

-Kararlı Durum Seçimi (Steady State Selection)

Önerilen GA modelinde Önerilen GA modelinde Tablo 5-3'deki örnek deney seti ile ilk üç seçim stratejisi ele alınmış seçim stratejisi olarak derece seçimi yöntemi kullanılmıştır.(Şekil 6-15) Bu yöntemde, bir sonraki nesil oluşturulurken eski popülasyon bireyleri ile çaprazlama ve mutasyon sonucu oluşan yeni bireyler amaç fonksiyon değerine göre küçükten büyüğe sıralanır daha sonra ilk popülasyon sayısı kadar birey bir sonraki nesile aktarılır.



Şekil 6-15 Seçim Stratejisinin Belirlenmesi

6.6 GA Modelinin Test Problemlerine Uygulanması

Önerilen GA modeli, Tablo 5-29'da verilen parametreler ile test problemlerine uygulanmış sonuçlar EK-B' de verilmiştir. Önerilen her iki PSO ve GA modelinde toplam amaç fonksiyonu değerlendirme(number of evaluation) sayıları aynıdır.

Tablo 6-2 GA Modelinde Kullanılan Parametreler

Popülasyon Sayısı	$n \times m \times 2$
Nesil(Generation) Sayısı	1000
Çaprazlama Yöntemi	Sıralı
Mutasyon Yöntemi	Değiştirme
Çaprazlama Oranı	0.95
Mutasyon Oranı	0.05
Seçim Yöntemi	Derece Seçimi
Tekrar Sayısı	30

7 PSO ve GA MODELİNİN İSTATİSTİKSEL OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde, önerilen PSO ve GA modellerinin test problemlerindeki tamamlanma zamanı ölçütüne göre elde edilen sonuçlarını, belirlenen anlamlılık düzeylerine göre istatistiksel olarak karşılaştırılması amaçlanmıştır.

7.1 İstatistik Test Yöntemi

Önerilen iki 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 örnek problemlerin 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 (α hatası) olsun.

Buna göre,

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

$$\overline{s_D} = s_D / \sqrt{n}$$

$$t = \bar{d} / \overline{s_D}$$

İlk olarak LA01 probleminin her iki model tarafından elde edilen sonuçları istatistiksel olarak test edilsin. EK A ve Ek B 'de sırasıyla PSO ve GA modelleri ile elde edilmiş sonuçlar yer almaktadır. Bu sonuçlar Tablo 7-1'de ayrıca incelenmiştir.

Tablo 7-1 LA01 Probleminin PSO ve GA Modelindeki Sonuçları

Problem	LA01		
Tekrar Sayısı	PSO Sonucu	GA Sonucu	d_i
1	667	713	-46
2	666	713	-47
3	666	666	0
4	666	666	0
5	666	666	0
6	666	666	0
7	678	666	12
8	666	666	0
9	666	666	0
10	666	678	-12
11	688	678	10
12	685	678	7
13	666	678	-12
14	670	678	-8
15	688	678	10
16	666	678	-12
17	678	678	0
18	708	678	30
19	692	678	14
20	666	678	-12
21	688	678	10
22	666	678	-12
23	668	678	-10
24	667	678	-11
25	666	678	-12
26	671	678	-7
27	678	678	0
28	666	678	-12
29	666	678	-12
30	666	678	-12
$\bar{d}$			-4.80
s_D			15.37
$\overline{s_D}$			2.81
t değeri			-1.71

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

H_0 hipotezi GA ve PSO modellerinin 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 bulunan t değeri belirlen aralıklar dışında yer alırsa hipotez reddedilir.

H_1 hipotezi GA modelinin PSO 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 $t_{\alpha,n-1}$ değerinde küçükse hipotez reddedilir.

H_2 hipotezi ise PSO modelinin GA 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 $-t_{\alpha,n-1}$ değerinde büyükse hipotez reddedilir.

Karşılaştırmada kullanılacak anlamlılık düzeyleri $\alpha = \%5$ $\alpha = \%1$ ve $\alpha = \%0.5$ olarak seçilmiştir.

Çıkan bu t değeri, üç anlamlılık düzeyinde test edildiğinde, Tablo 7-2'de 0.05 anlam düzeyinde PSO modeli GA modeline göre daha iyi, 0.01 ve 0.005 anlam düzeylerinde ise bu iki model eşdeğer seviyede olduğu görülmektedir.

Tablo 7-2 LA01 Probleminin t Testi sonucu

Hipotezler	Anlamlılık Düzeyleri		
	$t_{0.05,29} = 1.699$	$t_{0.01,29} = 2.462$	$t_{0.005,29} = 2.756$
H_0 Hipotezi	Red	Kabul	Kabul
H_1 Hipotezi	Red	Red	Red
H_2 Hipotezi	Kabul	Red	Red

Diğer problemlerinin istatistiksel analizinde sadece t testinde kullanılacak parametrelerinin değerleri verilmiştir. Bu analizler problem grubuna göre sınıflandırıldığında şu sonuçlar elde edilmiştir.

-FT Problemleri

Tablo 7-3 FT Problemlerinin Sonuçlarının Anlamlılık Düzeyinde Karşılaştırılması

				Anlamlılık Düzeyi								
				$t_{0.05,29} = 1.699$			$t_{0.01,29} = 2.462$			$t_{0.005,29} = 2.756$		
Problem	$\bar{d}$	s_D	t	H_0	H_1	H_2	H_0	H_1	H_2	H_0	H_1	H_2
ft06	1.63	2.06	4.34	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
ft10	4.47	51.75	0.47	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red
ft20	-49.97	39.31	-6.96	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul
Toplam Kabul Sayısı				1	1	1	1	1	1	1	1	1

FT06 probleminin her iki modeldeki sonuçları incelendiğinde GA modeli her üç anlamlılık düzeyinde PSO modelinden daha iyi olmasına karşılık, FT20 probleminde PSO modeli üç anlamlılık düzeyinde GA modelinden daha iyidir. FT10 probleminde ise bu iki model eşdeğer seviyededir.

-LA Problemleri

LA problemlerinin PSO ve GA modelindeki sonuçları incelendiğinde, (Tablo 7-4) 0.05 anlam düzeyinde toplam kabul sayılarına bakıldığında PSO modelinin 14 problem üzerinde GA modelinden daha iyi olduğu buna karşılık 11 problemde de GA modelinin daha iyi olduğu ve geri kalan 15 problemde de iki modelin de eşdeğer olduğu gözükmemektedir. Bu rakamlar anlam düzeyi arttıkça eşdeğerlik sayısı 15 ten 23'e yükselmektedir.

Tablo 7-4 LA Problemlerinin Sonuçlarının Anlamlılık Düzeyinde Karşılaştırılması

Problem	$\bar{d}$	s_D	t	Anlamlılık Düzeyi								
				$t_{0.05,29} = 1.699$			$t_{0.01,29} = 2.462$			$t_{0.005,29} = 2.756$		
				H_0	H_1	H_2	H_0	H_1	H_2	H_0	H_1	H_2
la01	-4.80	15.37	-1.71	Red	Red	Kabul	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red
la02	-9.07	30.17	-1.65	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red
la03	26.27	27.05	5.32	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
la04	-1.70	12.79	-0.73	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red
la05	0.00	0.00	0.00	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red
la06	-0.10	0.55	-1.00	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red
la07	-6.97	19.31	-1.98	Red	Red	Kabul	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red
la08	1.40	6.95	1.10	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red
la09	-0.23	1.28	-1.00	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red
la10	0.00	0.00	0.00	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red
la11	-1.40	7.67	-1.00	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red
la12	-0.53	1.63	-1.79	Red	Red	Kabul	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red
la13	-3.27	12.87	-1.39	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red
la14	0.00	0.00	0.00	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red
la15	17.37	27.27	3.49	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
la16	18.47	20.95	4.83	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
la17	15.93	19.14	4.56	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
la18	-3.80	26.76	-0.78	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red
la19	10.17	54.89	1.01	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red
la20	-56.50	36.45	-8.49	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul
la21	-97.13	25.38	-20.96	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul
la22	-74.90	34.80	-11.79	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul
la23	-74.80	25.04	-16.36	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul
la24	6.93	47.35	0.80	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red
la25	-13.77	29.80	-2.53	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Kabul	Red	Red
la26	-23.87	67.54	-1.94	Red	Red	Kabul	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red
la27	-13.30	41.83	-1.74	Red	Red	Kabul	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red
la28	8.90	35.52	1.37	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red
la29	42.03	30.12	7.64	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
la30	37.43	39.11	5.24	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
la31	-19.77	62.30	-1.74	Red	Red	Kabul	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red
la32	45.57	79.11	3.15	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
la33	68.73	44.05	8.55	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
la34	97.50	41.66	12.82	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
la35	96.20	45.27	11.64	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
la36	-96.53	74.99	-7.05	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul
la37	-68.43	62.58	-5.99	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul
la38	-26.93	47.25	-3.12	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul
la39	-13.57	75.68	-0.98	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red
la40	24.70	75.01	1.80	Red	Kabul	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red
Toplam Kabul Sayısı				15	11	14	22	10	8	23	10	7

-ABZ Problemleri

Tablo 7-5 ABZ Problemlerinin Sonuçlarının Anlamlılık Düzeyinde Karşılaştırılması

				Anlamlılık Düzeyi								
				$t_{0.05,29} = 1.699$			$t_{0.01,29} = 2.462$			$t_{0.005,29} = 2.756$		
Problem	$\bar{d}$	s_D	t	H_0	H_1	H_2	H_0	H_1	H_2	H_0	H_1	H_2
abz5	-20.53	66.15	-1.70	Red	Red	Kabul	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red
abz6	22.60	21.00	5.90	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
abz7	-102.80	54.87	-10.26	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul
abz8	9.73	19.92	2.68	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Kabul	Red	Red
abz9	50.37	23.91	11.54	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
Toplam Kabul Sayısı				0	3	2	1	3	1	2	2	1

ABZ problemlerinin PSO ve GA modelindeki sonuçları incelendiğinde, Tablo 7-5’den de görüldüğü gibi 0.05 anlam düzeyinde, ABZ6, ABZ8 ve ABZ9 problemde GA modeli, PSO modeline göre ABZ5 be ABZ7 problemde ise PSO modeli GA modeline göre daha iyidir. Anlamlılık seviyesi 0.005’te ise bu beş problemde ikisinde bu iki model eşdeğer niteliktedir.

-ORB Problemleri

Tablo 7-6 ORB Problemlerinin Sonuçlarının Anlamlılık Düzeyinde Karşılaştırılması

				Anlamlılık Düzeyi								
				$t_{0.05,29} = 1.699$			$t_{0.01,29} = 2.462$			$t_{0.005,29} = 2.756$		
Problem	$\bar{d}$	s_D	t	H_0	H_1	H_2	H_0	H_1	H_2	H_0	H_1	H_2
orb01	-4.50	33.57	-0.73	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red
orb02	-3.47	27.41	-0.69	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red
orb03	-29.97	35.45	-4.63	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul
orb04	21.97	35.71	3.37	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
orb05	-28.97	41.14	-3.86	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul
orb06	-32.70	42.54	-4.21	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul
orb07	-15.87	18.17	-4.78	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul
orb08	-19.93	60.88	-1.79	Red	Red	Kabul	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red
orb09	11.50	29.90	2.11	Red	Kabul	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red
orb10	-10.47	61.67	-0.93	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red
Toplam Kabul Sayısı				3	2	5	5	1	4	5	1	4

Tablo 7-6’den da görüldüğü gibi toplam 10 problemde 0.05 anlamlılık düzeyinde 5 problemde PSO modeli, GA modelinden daha iyidir.

-SWV Problemleri

Tablo 7-7 SWV Problemlerinin Sonuçlarının Anlamlılık Düzeyinde Karşılaştırılması

				Anlamlılık Düzeyi								
				$t_{0.05,29} = 1.699$			$t_{0.01,29} = 2.462$			$t_{0.005,29} = 2.756$		
Problem	$\bar{d}$	s_D	t	H_0	H_1	H_2	H_0	H_1	H_2	H_0	H_1	H_2
swv01	148.43	73.06	11.13	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
swv02	143.90	49.12	16.04	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
swv03	75.93	60.89	6.83	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
swv04	123.57	60.77	11.14	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
swv05	112.97	49.90	12.40	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
swv06	-8.90	165.35	-0.29	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red
swv07	95.57	71.43	7.33	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
swv08	188.40	58.27	17.71	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
swv09	114.60	66.29	9.47	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
swv10	199.00	65.46	16.65	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
Toplam Kabul Sayısı				1	9	0	1	9	0	1	9	0

Toplam 10 adet SWV test probleminde bütün anlamlılık düzeylerinde 9 problemde GA modelinin, PSO modelinden daha iyi olduğu görülmektedir.

-YN Problemleri

Tablo 7-8 YN Problemlerinin Sonuçlarının Anlamlılık Düzeyinde Karşılaştırılması

				Anlamlılık Düzeyi								
				$t_{0.05,29} = 1.699$			$t_{0.01,29} = 2.462$			$t_{0.005,29} = 2.756$		
Problem	$\bar{d}$	s_D	t	H_0	H_1	H_2	H_0	H_1	H_2	H_0	H_1	H_2
yn1	-81.33	158.06	-2.82	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul
yn2	-26.50	32.77	-4.43	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul
yn3	43.53	26.14	9.12	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
yn4	11.63	51.10	1.25	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red
Toplam Kabul Sayısı				1	1	2	1	1	2	1	1	2

Toplam 4 adet YN test probleminde bütün anlamlılık düzeylerinde 2 problemde PSO modelinin, GA modelinden daha iyi olduğu görülmektedir.

-TA Problemleri

Tablo 7-9 TA Problemlerinin Sonuçlarının Anlamlılık Düzeyinde Karşılaştırılması

Problem	$\bar{d}$	s_D	t	Anlamlılık Düzeyi								
				$t_{0.05,29} = 1.699$			$t_{0.01,29} = 2.462$			$t_{0.005,29} = 2.756$		
				H_0	H_1	H_2	H_0	H_1	H_2	H_0	H_1	H_2
ta01	-109.33	88.31	-6.78	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul
ta02	-17.43	39.55	-2.41	Red	Red	Kabul	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red
ta03	-17.70	37.27	-2.60	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Kabul	Red	Red
ta04	-22.87	51.32	-2.44	Red	Red	Kabul	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red
ta05	-19.10	45.80	-2.28	Red	Red	Kabul	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red
ta06	29.93	38.37	4.27	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
ta07	-1.50	42.06	-0.20	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red
ta08	0.47	79.87	0.03	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red
ta09	36.07	52.98	3.73	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
ta10	42.53	49.01	4.75	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
ta11	-64.57	99.77	-3.54	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul
ta12	-16.10	51.16	-1.72	Red	Red	Kabul	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red
ta13	52.50	45.09	6.38	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
ta14	65.63	54.77	6.56	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
ta15	45.23	41.21	6.01	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
ta16	69.93	54.13	7.08	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
ta17	51.37	44.45	6.33	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
ta18	56.20	53.00	5.81	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
ta19	99.13	29.79	18.22	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
ta20	101.37	51.08	10.87	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
ta21	-378.93	268.06	-7.74	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul
ta22	-93.27	74.17	-6.89	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul
ta23	69.73	57.64	6.63	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
ta24	154.50	53.60	15.79	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
ta25	143.40	55.30	14.20	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
ta26	-543.23	291.32	-10.21	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul
ta27	46.30	61.95	4.09	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
ta28	43.33	89.08	2.66	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Kabul	Red	Red
ta29	43.07	69.64	3.39	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
ta30	107.03	79.04	7.42	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
Toplam Kabul Sayısı				2	18	10	6	18	6	8	17	5

Tablo 7-9'dan da görüldüğü gibi toplam 30 TA problemi için 0.05 anlamlılık düzeyinde 10 problemde PSO modeli, GA modelinden; 18 problemde GA modeli, PSO modelinden daha iyidir. 2 problemde ise iki model eşdeğer seviyededir.

-DMU Problemleri

Tablo 7-10 DMU Problemlerinin Sonuçlarının Anlamlılık Düzeyinde Karşılaştırılması

Problem	$\bar{d}$	s_D	t	Anlamlılık Düzeyi								
				$t_{0.05,29} = 1.699$			$t_{0.01,29} = 2.462$			$t_{0.005,29} = 2.756$		
				H_0	H_1	H_2	H_0	H_1	H_2	H_0	H_1	H_2
dmu01	-251.70	223.03	-6.18	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul
dmu02	-113.90	99.52	-6.27	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul
dmu03	252.07	98.22	14.06	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
dmu04	221.83	173.22	7.01	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
dmu05	274.50	103.93	14.47	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
dmu06	-4136.33	2788.39	-8.12	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul
dmu07	164.97	136.20	6.63	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
dmu08	90.90	122.92	4.05	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
dmu09	132.37	145.44	4.98	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
dmu10	271.37	118.07	12.59	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
dmu41	-26.50	189.25	-0.77	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red
dmu42	144.67	173.76	4.56	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
dmu43	228.07	139.00	8.99	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
dmu44	262.97	111.99	12.86	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
dmu45	335.57	158.15	11.62	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
dmu46	-950.23	2132.33	-2.44	Red	Red	Kabul	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red
dmu47	343.07	168.67	11.14	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
dmu48	510.43	176.65	15.83	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
dmu49	583.07	220.02	14.52	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
dmu50	380.83	152.63	13.67	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red
Toplam Kabul Sayısı				1	15	4	2	15	3	2	15	3

DMU problemlerinde de toplam 20 problemin 15'inde bütün anlamlılık düzeylerinde GA modeli PSO modelinden daha iyidir.

7.2 Sonuç

PSO ve GA modelinin sonuçları, toplam 122 test problemi açısından incelendiğinde sonuçlar Tablo 7-11'de özetlenmiştir. Buna göre 0.05 anlamlılık düzeyinde her iki model ele alındığında, toplam 38 problemde PSO modelinin, GA modeline göre daha iyi olduğu, buna karşılık 60 problemde ise GA modelinin daha iyi olduğu söylenebilir. Geri kalan toplam 24 problemde ise bu iki model eşdeğer seviyedir.

Tablo 7-11 Önerilen PSO ve GA Modelinin Sonuçlarının 122 Problemde Karşılaştırılması

	Anlamlılık Düzeyi								
	$t_{0.05,29} = 1.699$			$t_{0.01,29} = 2.462$			$t_{0.005,29} = 2.756$		
Problemler	H ₀	H ₁	H ₂	H ₀	H ₁	H ₂	H ₀	H ₁	H ₂
FT(3)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
LA(40)	15	11	14	22	10	8	23	10	7
ABZ(5)	0	3	2	1	3	1	2	2	1
ORB(10)	3	2	5	5	1	4	5	1	4
SWV(10)	1	9	0	1	9	0	1	9	0
YN(4)	1	1	2	1	1	2	1	1	2
TA(30)	2	18	10	6	18	6	8	17	5
DMU(20)	1	15	4	2	15	3	2	15	3
Toplam	24	60	38	39	58	25	43	56	23

Anlamlılık düzeyi 0.01 ve 0.005'e getirildiğinde ise yine GA modeli, PSO modelinden daha iyi olduğu görülmektedir.

Ancak PSO ve GA modeli, 122 test probleminin 30 tekrar sonucu oluşan ortalama bağıl hataları ele alınıp istatistiksel olarak analiz edildiğinde, Tablo 7-12'den de görüldüğü gibi PSO ve GA modeli üç anlamlılık düzeyinde de bir birine eşdeğer çıkmaktadır.

Tablo 7-12 122 Test Probleminin Ortalama Bağlı Hata Kriterine Göre İstatistiksel Analizi

	Ortalama Bağlı Hata			Anlamlılık Düzeyi								
				$t_{0.05,121} = 1.645$			$t_{0.01,121} = 2.326$			$t_{0.005,121} = 2.576$		
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
122	0.0472	13.4832	0.0387	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red	Kabul	Red	Red

8 ATÖLYE TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ İÇİN YEREL ARAMALI PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU VE GENETİK ALGORİTMA MODELİ

Bu bölümde, basit ve etkili ve daha önce atölye tipi çizelgeleme problemlerine uygulanmamış yerel arama yöntemi olan değişken komşuluk arama yöntemiyle mevcut PSO ve GA modeli birleştirilerek yeni bir yerel aramalı PSO (PSO_{vms}) ve yerel aramalı GA modelleri (GA_{vms}) geliştirilmiştir. Daha sonra PSO_{vms} ve GA_{vms} modellerinin sonuçları, kendi aralarında ve literatürdeki ün yapmış algoritmaların sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

8.1 Yerel Aramalı PSO ve GA Modellerinin Yapısı

Kullanılan modellerin yapısı, önerilen PSO ve GA modellerinin yapısından tek farkı yerel arama yönteminin eklenmiş olmasıdır. Yerel arama uygulanmasının sebebi ise elde edilen değerlerin daha da iyileştirip literatürde ün yapmış algoritmalarla karşılaştırmaktır. Yerel aramalı PSO ve GA modelinin benzetim kodları sırasıyla Şekil 8-1’de ve Şekil 8-2’de verilmiştir.

Parametreleri Belirle

Her bir Parçacık İçin{

Başlangıç Pozisyon ve Hız Vektörünü Rastgele Oluştur

Pozisyon Vektöründen Operasyon Sırası Elde Et

Operasyon Sırasından Operasyon Tabanlı Gösterim Sırasını Elde Et

Amaç Fonksiyon Değerlerini Bul

Yerel En İyiyi Bul

}

Küresel En İyiyi Bul

Yap {

Her bir Parçacık İçin{

Hız ve Pozisyon Vektörünü Güncelle

Pozisyon Vektöründen Operasyon Sırası Elde Et

Operasyon Sırasından Operasyon Tabanlı Gösterim Sırasını Elde Et

Amaç Fonksiyon Değerlerini Bul

Yerel En İyiyi Bul

}

Küresel En İyiyi Bul

Küresel En İyiye Yerel Arama Uygula

} Durdurma Kriteri

Şekil 8-1 Yerel Aramalı PSO Modeli

Parametreleri Belirle

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

En İyi Değere Yerel Arama Uygula

Toplam (N+M) bireyden N birey seç

} Durdurma Kriteri

Şekil 8-2 Yerel Aramalı GA Modeli

8.2 Yerel Aramalı PSO ve GA Modellerinin Komşuluk Yapısı

Komşuluk yapısı mevcut bir çözümü değiştirerek yeni çözümler üretme şeklidir. Atölye tipi çizelgeleme problemlerinde bu tür bir yapı mevcut bir çizelgeden, komşuluk yapısının içeriğine göre yeni çizelgeler üretmek için kullanılır ve bu tür çizelgelere komşu çizelgeler denmektedir. Dolayısıyla yerel algoritma uygulamadan önce komşuluk yapısının belirlenmesi gerekmektedir. Modelde komşuluk yapısı pozisyon vektörüne veya operasyon tabanlı sıraya uygulanabilir. Yerel Arama yöntemi olarak ise basit ekleme ve değiştirme yönteminin içeren değişken komşuluk arama(VNS) yöntemi seçilmiştir.

Örneğin Tablo 8-1’de pozisyon vektöründeki ikinci pozisyonda bulunan $x_{i2}^k = -0.99$ değerini beşinci pozisyona eklemekle yeni bir çizelge elde edilmiş olur.(Ekle Yöntemi)

Tablo 8-1 Pozisyon Vektöründe Komşuluk Yapısı (Ekle)

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
t_{ij}^k	6	2	5	4	1	9	3	8	7
π_{ij}^k	2	1	2	2	1	3	1	3	3
x_{ij}^k	1.8	3.01	0.72	-0.45	-2.25	-0.99	5.3	4.8	1.9
t_{ij}^k	5	6	4	3	1	9	2	8	7
π_{ij}^k	2	2	2	1	1	3	1	3	3

Tablo 8-1'den de görüldüğü gibi amaç fonksiyon değeri π_{ij}^k vektörü yardımıyla bulunmaktadır. Yerel arama yöntemi x_{ij}^k vektörüne uyguladığında amaç fonksiyonundaki değişimi görmek için t_{ij}^k ve π_{ij}^k değerlerinin bulunması gerekmektedir. Dolayısıyla fazla zaman harcanacağı için algoritmanın performansı düşecektir. Ancak yerel arama işlemi π_{ij}^k değerleri üzerinde yapılırsa daha az zamanda gerçekleştirilmiş olacaktır. Fakat bu işlem yapıldığında da en son elde edilen π_{ij}^k değerlerine karşılık gelen x_{ij}^k ve t_{ij}^k değerleri değişmiş olacaktır. Bu karışıklığı da engellemek için yerel arama ile elde edilen en son π_{ij}^k değerlerinden hareketle x_{ij}^k ve t_{ij}^k değerlerini elde eden bir fonksiyon geliştirilmiştir.

Tablo 8-2 Yerel Aramanın Operasyon Tabanlı Sıraya Uygulanışı (Önce)

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
t_{ij}^k	6	2	5	4	1	9	3	8	7
π_{ij}^k	2	1	2	2	1	3	1	3	3
x_{ij}^k	1.8	-0.99	3.01	0.72	-0.45	-2.25	5.3	4.8	1.9
t_{ij}^k	6	2	5	4	1	9	3	8	7
π_{ij}^k	2	3	2	2	1	1	1	3	3

Bu fonksiyon şu şekilde açıklanabilir, Tablo 8-2'den de görüldüğü gibi operasyon tabanlı gösterim sırası vektöründeki 1 ve 3 yer değiştirdiği halde (Değiştirme Yöntemi) bunlara karşılık gelen 2, 9 ve -0.99, 1.9 değerlerinin yeri değişmemiştir. Yerel arama işlemi bittiğinde operasyon tabanlı sıraya karşılık gelen t_{ij}^k ve x_{ij}^k değerleri yerine yazılır. (Düzenle Fonksiyonu ile).

Tablo 8-3 Yerel Aramanın Operasyon Tabanlı Sıraya Uygulanışı (Sonra)

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
t_{ij}^k	6	2	5	4	1	9	3	8	7
π_{ij}^k	2	1	2	2	1	3	1	3	3
x_{ij}^k	1.8	1.9	3.01	0.72	-0.45	-2.25	5.3	4.8	-0.99
t_{ij}^k	6	9	5	4	1	2	3	8	7
π_{ij}^k	2	3	2	2	1	1	1	3	3

Diğer bir deyişle π_{ij}^k değerlerine yerel arama uygulandıktan sonra sonuçta $\pi_{i2}^k = 1$ ve $\pi_{i4}^k = 3$ yer değişmiştir. Bunlara karşılık gelen permütasyon sırası ve pozisyon vektör değerleri de değiştirilir. Yani permütasyon sırası $\tau_{i2}^k = 2 \rightarrow 9$ ve $\tau_{i4}^k = 9 \rightarrow 2$ olarak pozisyon vektör değerleri ise $x_{i2}^k = -0.99 \rightarrow 1.9$ ve $x_{i4}^k = 1.9 \rightarrow -0.99$ olarak değiştirilir.

8.3 Kullanılan Yerel Arama Yöntemi

Ele alınan her iki yerel aramalı modelde yerel arama işlemi her bir iterasyonda GA_{vns} 'de o zamana kadar elde edilen en iyi operasyon tabanlı sıraya, PSO_{vns} 'de ise küresel en iyi değerlerinin operasyon tabanlı sırasına uygulanır. Yerel aramanın performansı seçilen iki tür komşuluk yapısına bağlıdır. Bunlar

- *Operasyon Tabanlı sıradaki rassal olarak oluşturulan η .ve κ .değerlerinin yer değiştirilmesi ile yapılır ki, $\eta \neq \kappa$ (Değiştirme)*
- *Operasyon Tabanlı sıradaki rassal olarak oluşturulan η . değer κ . değerinin arasına eklemekle yapılır ki yine $\eta \neq \kappa$ 'dir. (Ekle)*

PSO_{vns} ve GA_{vns} modelinde yerel arama yöntemi olarak daha önce atölye tipi çizelgeleme problemlerine uygulanmamış ve (Mladenovic ve diğ.,1997) tarafından geliştirilen değişken komşuluk arama (variable neighborhood search) yöntemi kullanılmıştır. Değişken komşuluk arama yönteminin de ekle+değiştir (insert+interchange) ve değiştir+ekle (interchange+ insert) olmak üzere iki çeşidi bulunmaktadır. Uygulanan bu yerel arama yönteminin benzetim kodu Şekil 8-3'de görülmektedir.

```

 $S_0 = \mathbb{I}^*$  Küresel En İyi Sırası (G)
 $S_1 = \text{Değiştir}(S_0)$ 
Yap{
    döngü=0;
    maks_metot=2;
    sayaç=0;
    Yap{
        Eğer (sayaç==0)  $S_2 = \text{Değiştir}(S_1)$ ;
        Eğer (sayaç==1)  $S_2 = \text{Ekle}(S_1)$ ;
        Eğer  $f(S_2) \leq f(S_1)$  {
             $S_1 = S_2$ ;
            sayaç=0;
        }
        Değilse
            sayaç++;
    }
    }sayaç < maks_metot;

}döngü <  $n \times m$ ;

Eğer  $f(S_1) \leq f(S_0)$  {
     $G = S_1$ ;
    Düzenle(G);
}

```

Şekil 8-3 Uygulanan Değişken Komşuluk Arama Yönteminin Benzetim Kodu

Burada yer alan s_0 değeri GA_{vns} modelinde o ana kadar elde edilen en iyi operasyon tabanlı sırayı, PSO_{vns} modelinde ise küresel en iyinin operasyon tabanlı sırasını ifade etmektedir. Stutzle (1998) en iyi değeri basit yerel arama yöntemleriyle bozup değişken komşuluk arama yöntemi kullanıldığında daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Dolayısıyla o ana kadar elde edilen en iyi operasyon tabanlı sıra, rassal olarak $n \times m$ arasında oluşturulan iki sayı ile ekleme ve değiştirme işlemi gerçekleştirilir ($\text{Değiştir}(S_0)$).

Daha sonra *sayaç* şeklinde parametre tanımlanır. Bu parametre yardımıyla ilk önce değiştirme(interchange) işlemi yapılır. Amaç fonksiyonunda iyileşme var ise *sayaç* parametresi sıfıra eşitlenir. İyileşme yok ise bu parametre bir artırılır. *Sayaç=1* olduğu zaman bu defa ekleme (insert) işlemi yapılır. Aynı şekilde iyileşme olduğu zaman bu işleme devam edilir iki defa üst üste iyileşme olmadığı zaman ise tekrar değiştirme işlemi gerçekleştirilir. Bu işlem $n \times m$ defa tekrar edilir. Sonuçta elde edilen operasyon tabanlı sıra ve bunlara karşılık gelen permütasyon sırası ve pozisyon vektör değerleri küresel en iyi olarak saklanır.

8.4 Değişken Komşuluk Arama Yapısının Seçimi

Şekil 8-3'de verilen benzetim kodunda değişken komşuluk aramada kullanılan komşuluk yapısı olarak değiştir+ekle verilmiştir. Burada değişken komşuluk arama yönteminin de ekle+değiştir (insert+interchange) ve değiştir+ekle (interchange+insert) yerel arama yapılarının hangisinin kullanılacağı önemli bir husustur. Dolayısıyla önerilen her iki algoritma için hangi iki alternatifin daha iyi sonuç verdiği incelenmiş sonuçlar aşağıdaki tabloda özetlenmiştir. Burada PSO_{vns} ve GA_{vns} modellerinin ekle+değiştir ve değiştir+ekle komşuluk yapıları incelenmiş ayrıca sadece değişken komşuluk arama yönteminin performansıda her iki komşuluk yapısı için incelenmiştir. Aşağıdaki tabloda her bir algoritmanın 20 tekrar sonucu bulunan en iyi değeri ve bu değere bağlı bağlı hatası verilmiştir. GA modeli, Ekle+Değiştir komşuluk yapısı incelendiğinde toplam 35 problem arasından 20 problemin en iyi değeri bulduğu ortalama bağlı hatasının 0.35 olduğu görülmektedir. Değiştir+ekle komşuluk yapısı olarak bakıldığında ise bu değerler sırası ile 19 ve 0.41 olarak görülmektedir. Buradan GA modeli, değişken komşuluk aramada Ekle+Değiştir komşuluk yapısı daha iyi sonuç vermiştir. Ama PSO modelinde ise en iyi performansı Değiştir+Ekle yöntemi vermiştir. PSO modelinde Değiştir+Ekle komşuluk yapısında toplam 35 problem arasından 24 en iyi değer bulunurken Ekle+Değiştir komşuluk yapısında bu rakam 23 olarak değişmektedir. Sonuç olarak literatürdeki diğer algoritmalarla karşılaştırmak için PSO modelinin Değiştir+Ekle komşuluk yapısı seçilmiştir.

Tablo 8-4 Farklı Komşuluk Yapılarının Performansları

	Problem	En İyi	GA Ekle+Değiştir		GA Değiştir+Ekle		PSO Ekle+Değiştir		PSO Değiştir+Ekle		VNS Değiştir+Ekle		VNS Ekle+Değiştir	
			En İyi	RPE	En İyi	RPE	En İyi	RPE	En İyi	RPE	En İyi	RPE	En İyi	RPE
1	la16	945	945	0.00	945	0.00	945	0.00	945	0.00	945	0.00	945	0.00
2	la19	842	842	0.00	842	0.00	842	0.00	842	0.00	842	0.00	842	0.00
3	ft10	930	930	0.00	930	0.00	930	0.00	930	0.00	930	0.00	930	0.00
4	ft20	1165	1165	0.00	1165	0.00	1165	0.00	1165	0.00	1172	0.60	1172	0.60
5	abz05	1234	1236	0.16	1236	0.16	1234	0.00	1234	0.00	1236	0.16	1236	0.16
6	abz06	943	943	0.00	943	0.00	943	0.00	943	0.00	943	0.00	943	0.00
7	orb01	1059	1077	1.70	1085	2.46	1064	0.47	1059	0.00	1089	2.83	1089	2.83
8	orb02	888	888	0.00	889	0.11	888	0.00	889	0.11	889	0.11	889	0.11
9	orb03	1005	1005	0.00	1024	1.89	1005	0.00	1005	0.00	1024	1.89	1024	1.89
10	orb04	1005	1005	0.00	1005	0.00	1005	0.00	1005	0.00	1005	0.00	1005	0.00
11	orb05	887	889	0.23	887	0.00	887	0.00	887	0.00	887	0.00	887	0.00
12	orb06	1010	1010	0.00	1010	0.00	1013	0.30	1013	0.30	1010	0.00	1010	0.00
13	orb07	397	397	0.00	397	0.00	397	0.00	397	0.00	397	0.00	397	0.00
14	orb08	899	911	1.33	923	2.67	899	0.00	899	0.00	923	2.67	923	2.67
15	orb09	934	934	0.00	934	0.00	934	0.00	934	0.00	934	0.00	934	0.00
16	orb10	944	944	0.00	944	0.00	944	0.00	944	0.00	944	0.00	944	0.00
17	la21	1046	1046	0.10	1046	0.00	1047	0.10	1046	0.10	1046	0.00	1046	0.00
18	la22	927	927	0.00	927	0.00	927	0.00	927	0.00	927	0.00	927	0.00
19	la24	935	938	0.32	935	0.00	935	0.00	935	0.00	935	0.00	938	0.32
20	la25	977	977	0.00	980	0.31	977	0.00	977	0.00	980	0.31	980	0.31
21	abz07	656	668	1.83	665	1.37	666	1.52	659	0.46	665	1.37	665	1.37
22	abz08	665	673	1.20	670	0.75	675	1.50	673	1.20	670	0.75	670	0.75
23	abz09	679	691	1.77	688	1.33	689	1.47	688	1.33	688	1.33	688	1.33
24	la27	1235	1240	0.40	1240	0.40	1235	0.00	1235	0.00	1240	0.40	1240	0.40
25	la28	1216	1216	0.00	1216	0.00	1216	0.00	1216	0.00	1216	0.00	1216	0.00
26	la29	1152	1164	1.04	1166	1.22	1164	1.04	1164	1.04	1166	1.22	1166	1.22
27	la36	1268	1268	0.00	1268	0.00	1268	0.00	1268	0.00	1268	0.00	1268	0.00
28	la37	1397	1397	0.00	1397	0.00	1397	0.00	1397	0.00	1397	0.00	1397	0.00
29	la38	1196	1196	0.00	1196	0.00	1196	0.00	1196	0.00	1196	0.00	1204	0.67
30	la39	1233	1233	0.00	1233	0.00	1233	0.00	1233	0.00	1233	0.00	1233	0.00
31	la40	1222	1226	0.33	1224	0.16	1224	0.16	1224	0.16	1224	0.16	1224	0.16
32	yn01	885	895	0.79	890	0.23	892	0.45	891	0.34	890	0.56	890	0.56
33	yn02	909	908	-0.11	911	0.22	911	0.22	910	0.11	911	0.22	911	0.22
34	yn03	892	902	1.01	896	0.34	897	0.45	900	0.78	896	0.45	896	0.45
35	yn04	968	969	0.10	975	0.72	975	0.72	971	0.31	975	0.72	975	0.72
Ortalama				0.35		0.41		0.24		0.18		0.45		0.48

8.5 PSO_{vns} ve GA_{vns} Modelinin Sonuçları

Yukarıda aşamaları belirtilen ve C programında yazılmış yerel aramalı PSO ve GA modeli (Jain ve diğerleri, 1999) tarafından belirtilen literatürde zor problem olarak bilinen problemlere Intel P4 2.6 Ghz, 512 RAM kapasiteli bilgisayarda ve 20 defa

tekrar edecek şekilde uygulanmıştır. Tablo 8-5’de PSO_{vns} modelinde kullanılan parametreler ve Tablo 8-6’de ise GA_{vns} modelinde kullanılan parametreler verilmiştir. PSO_{vns} ’in bulduğu sonuçlar Tablo 8-7 ve Tablo 8-8’de GA_{vns} ’in bulduğu sonuçlar ise Tablo 8-9 ve Tablo 8-10’da özetlenmiştir. Bu tablolardaki sonuçlar yine özet sonuçlardır ayrıntılı sonuçlar EK-C’de verilmiştir. Durdurma kriteri olarak ise problem tipine göre zaman kısıtlamasına gidilmiştir. Bu zaman kısıtları Tablo 8-11’de verilmektedir.

Tablo 8-5 Yerel Aramalı PSO Modelinde Kullanılan Parametreler

Popülasyon Sayısı	$n \times m$
Başlangıç Atalet Ağırlığı	0.9
Azaltma Fonksiyonu	$w = w \times 0.975$
Pozisyon Vektör Aralığı	$[0,10]$
Hız Vektör Aralığı	$[-4,+4]$
Tekrar(Replication) Sayısı	20
Sosyal ve Kavramsal Değerler	2

Tablo 8-6 Yerel Aramalı GA Modelinde Kullanılan Parametreler

Popülasyon Sayısı	$n \times m$
Nesil(Generation) Sayısı	1000
Çaprazlama Yöntemi	Sıralı
Mutasyon Yöntemi	Değiştirme
Çaprazlama Oranı	0.95
Mutasyon Oranı	0.05
Seçim Yöntemi	Derece Seçimi

Önerilen modellerde, en iyi değerden sapmaları göstermek için yine ortalama bağlı hata kullanılmıştır.

Tablo 8-7 PSO_{vms} ile elde edilen sonuçlar (a)

Problem Hakkında Genel Bilgiler					Sonuçlar					
Problemler	İş Sayısı	Tezgah Sayısı	Alt Sınır Değeri	Üst Sınır değeri	En İyi Değer	En Kötü Değer	Ortalama	Standart Sapma	Ortalama Bağlı Hata	Ortalama CPU Değeri
ft10	10	10	930	930	930	960	936,30	6,98	0,68	44,59
ft20	20	5	1165	1165	1165	1178	1174,70	5,75	0,83	22,18
abz05	10	10	1234	1234	1234	1239	1236,25	2,31	0,18	17,40
abz06	10	10	943	943	943	943	943,00	0,00	0,00	12,52
abz07	20	15	656	656	659	682	669,95	5,58	2,13	599,44
abz08	20	15	646	665	673	691	681,75	5,19	2,52	549,63
abz09	20	15	662	679	688	708	697,25	5,81	2,69	472,04
orb01	10	10	1059	1059	1059	1099	1075,90	10,28	1,60	29,42
orb02	10	10	888	888	889	897	889,45	1,79	0,16	10,18
orb03	10	10	1005	1005	1005	1074	1032,70	21,62	2,76	38,92
orb04	10	10	1005	1005	1005	1023	1011,30	6,42	0,63	41,69
orb05	10	10	887	887	887	904	891,50	4,41	0,51	36,27
orb06	10	10	1010	1010	1013	1031	1018,20	4,96	0,81	29,53
orb07	10	10	397	397	397	403	398,60	2,56	0,40	15,05
orb08	10	10	899	899	899	934	911,15	12,56	1,35	41,26
orb09	10	10	934	934	934	943	939,45	4,27	0,58	8,10
orb10	10	10	944	944	944	944	944,00	0,00	0,00	16,45

Tablo 8-8 PSO_{vms} ile elde edilen sonuçlar (b)

Problem Hakkında Genel Bilgiler					Sonuçlar					
Problemler	İş Sayısı	Tezgah Sayısı	Alt Sınır Değeri	Üst Sınır değeri	En İyi Değer	En Kötü Değer	Ortalama	Standart Sapma	Ortalama Bağlı Hata	Ortalama CPU Değeri
la16	10	10	945	945	945	976,00	948,50	9,08	0,37	21,26
la19	10	10	842	842	842	852,00	843,30	2,92	0,15	27,28
la21	15	10	1046	1046	1047	1071,00	1053,80	6,01	0,75	148,08
la22	15	10	927	927	927	935,00	930,20	2,93	0,35	116,91
la24	15	10	935	935	935	950,00	939,35	3,25	0,47	211,52
la25	15	10	977	977	977	998,00	981,10	4,80	0,42	175,38
la27	20	10	1235	1235	1235	1264,00	1246,00	9,30	0,89	467,33
la28	20	10	1216	1216	1216	1218,00	1216,15	0,49	0,01	212,45
la29	20	10	1152	1152	1164	1205,00	1176,05	10,36	2,09	409,26
la36	15	15	1268	1268	1268	1291,00	1278,50	7,70	0,83	481,45
la37	15	15	1397	1397	1397	1421	1410,75	7,70	0,98	382,50
la38	15	15	1196	1196	1196	1248	1211,75	14,86	1,32	456,54
la39	15	15	1233	1233	1233	1248	1238,95	4,27	0,48	531,65
la40	15	15	1222	1222	1224	1237	1227,25	3,93	0,43	464,36
yn01	20	20	846	885	891	913	900,20	5,73	1,72	1021,55
yn02	20	20	870	909	910	936	925,10	6,91	1,77	1224,91
yn03	20	20	840	892	900	918	907,50	5,21	1,74	1241,02
yn04	20	20	920	968	971	1010	986,30	9,00	1,89	1150,98

Tablo 8-9 GA_{vns} ile elde edilen sonuçlar (a)

Problem Hakkında Genel Bilgiler					Sonuçlar					
Problemler	İş Sayısı	Tezgah Sayısı	Alt Sınır Değeri	Üst Sınır değeri	En İyi Değer	En Kötü Değer	Ortalama	Standart Sapma	Ortalama Bağıl Hata	Ortalama CPU Değeri
ft10	10	10	930	930	930	938	935,60	3,37	0,60	13,80
ft20	20	5	1165	1165	1165	1178	1171,60	5,48	0,57	23,47
abz05	10	10	1234	1234	1236	1236	1236,00	0,00	0,16	0,88
abz06	10	10	943	943	943	943	943,00	0,00	0,00	9,28
abz07	20	15	656	656	665	679	667,50	3,48	1,75	136,67
abz08	20	15	646	665	670	678	672,80	1,26	1,17	137,45
abz09	20	15	662	679	688	703	692,30	4,13	1,96	185,64
orb01	10	10	1059	1059	1085	1085	1085,00	0,00	2,46	1,32
orb02	10	10	888	888	889	889	889,00	0,00	0,11	1,03
orb03	10	10	1005	1005	1024	1024	1024,00	0,00	1,89	2,50
orb04	10	10	1005	1005	1005	1011	1010,70	1,90	0,57	2,29
orb05	10	10	887	887	887	904	891,05	7,56	0,46	8,37
orb06	10	10	1010	1010	1010	1021	1017,25	0,00	0,72	9,62
orb07	10	10	397	397	397	404	398,90	2,95	0,48	19,72
orb08	10	10	899	899	923	923	923,00	0,00	2,67	2,99
orb09	10	10	934	934	934	943	935,60	4,35	0,17	22,90
orb10	10	10	944	944	944	951	944,35	2,21	0,04	20,62

Tablo 8-10 GA_{vns} ile elde edilen sonuçlar (b)

Problem Hakkında Genel Bilgiler					Sonuçlar					
Problemler	İş Sayısı	Tezgah Sayısı	Alt Sınır Değeri	Üst Sınır değeri	En İyi Değer	En Kötü Değer	Ortalama	Standart Sapma	Ortalama Bağıl Hata	Ortalama CPU Değeri
la16	10	10	945	945	945	946,00	945,75	0,42	0,08	8,47
la19	10	10	842	842	842	846,00	842,40	1,26	0,05	26,11
la21	15	10	1046	1046	1046	1055,00	1049,10	2,83	0,30	57,60
la22	15	10	927	927	927	932,00	930,25	2,42	0,35	50,89
la24	15	10	935	935	935	941,00	937,85	1,70	0,30	37,24
la25	15	10	977	977	980	984,00	980,90	1,93	0,40	9,96
la27	20	10	1235	1235	1240	1264,00	1241,20	7,59	0,50	47,08
la28	20	10	1216	1216	1216	1216,00	1216,00	0,00	0,00	7,31
la29	20	10	1152	1152	1166	1167,00	1166,05	0,32	1,22	20,75
la36	15	15	1268	1268	1268	1274,00	1269,30	2,95	0,10	135,25
la37	15	15	1397	1397	1397	1419	1404,75	8,22	0,55	114,82
la38	15	15	1196	1196	1196	1226	1202,65	9,12	0,56	154,18
la39	15	15	1233	1233	1233	1246	1234,30	5,48	0,11	38,49
la40	15	15	1222	1222	1224	1228	1224,30	1,26	0,19	99,34
yn01	20	20	846	885	890	897	894,90	0,00	1,12	345,90
yn02	20	20	870	909	911	930	919,75	5,38	1,18	149,57
yn03	20	20	840	892	896	909	901,75	2,95	1,09	218,28
yn04	20	20	920	968	975	987	977,25	3,02	0,96	375,51

Sonuçlardan da görüldüğü gibi PSO_{vns} ve GA_{vns} , PSO ve GA modelindeki sonuçlara göre daha iyi tamamlanma zamanı değerleri vermiştir. Bu da önerilen modellerin yerel aramayla daha iyi performans verdiğini göstermektedir. Örneğin FT10 problemi incelenirse PSO modelinde en iyi değer 996 iken (bkn. EK-A) PSO_{vns} modelinde bu süre değer optimum değer olan 930'a kadar inmiştir. Aynı şekilde GA modelinde en iyi değer 1055 iken (bkn. EK-A) GA_{vns} modelinde bu süre değer yine optimum değer olan 930'a kadar inmiştir. Bu da kullanılan yerel arama yönteminin çok etkili olduğunu göstermektedir.

Yukarıdaki tablolardaki CPU değerleri, en iyi değer en son güncelleştigi zaman değeridir. Örneğin yn01 problemi ele alınırsa, algoritmanın çalışma süresi 1800 sn dir. Fakat algoritma en iyi değeri 1250 sn sonucu bulduğu ve geri kalan saniyelerde iyileştiremediği kabul edilirse CPU değeri 1250 alınır.

Tablo 8-11 Yerel Aramalı Modellerde Uygulanan Zaman Kısıtları

Problemler	Zaman Kısıtı (sn)	Problemler	Zaman Kısıtı (sn)	Problemler	Zaman Kısıtı (sn)
ft10	90	la21	450	abz07	900
ft20	90	la22	450	abz08	900
abz05	90	la24	450	abz09	900
abz06	90	la25	450	la27	900
orb01	90			la28	900
orb02	90			la29	900
orb03	90			la36	900
orb04	90			la37	900
orb05	90			la38	900
orb06	90			la39	900
orb07	90			la40	900
orb08	90			yn01	1800
orb09	90			yn02	1800
orb10	90			yn03	1800
la16	90			yn04	1800
la19	90				

8.6 PSO_{vns} ve GA_{vns} Sonuçlarının İstatistiksel Olarak İncelenmesi

Her iki modelin Tablo 8-7, Tablo 8-8, Tablo 8-9 ve Tablo 8-10'daki sonuçların ortalama bağıl hataları hesaplandığında, PSO_{vns} modelinde 0.178, GA_{vns} modelinde 0.410 değerleri bulunur. Dolayısıyla PSO_{vns} modelinin, GA_{vns} modelinden daha iyi olduğu söylenebilir. Ancak bu sonuçların istatistiksel açıdan ne kadar anlamlı olduğu

incelenmek istenirse yedinci bölümde anlatıldığı gibi eşlendirilmiş t-testi kullanılması gerekecektir. Eşlendirilmiş t-testi için kullanılacak H_0 , H_1 ve H_2 hipotezlerini şu şekildedir.

H_0 hipotezi PSO_{vms} modeli ile GA_{vms} modeli ile 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 bulunan t değeri belirlen aralıklar dışında yer alırsa hipotez reddedilir.

H_1 hipotezi PSO_{vms} modelinin ile GA_{vms} 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 $t_{\alpha,n-1}$ değerinde küçükse hipotez reddedilir.

H_2 hipotezi GA_{vms} modelinin PSO_{vms} modelinden 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 büyükse hipotez reddedilir.

Anlamlık düzeyleri ise $\alpha = \%5$ $\alpha = \%1$ ve $\alpha = \%0.5$ olarak seçilmiştir.

Tablo 8-12 PSO_{vns} ve GA_{vns} Modellerinin Karşılaştırılması

Problemler	GA_{vns}	PSO_{vns}	d_i
abz05	1236	1234	2
abz06	943	943	0
abz07	665	659	6
abz08	670	673	-3
abz09	688	688	0
ft10	930	930	0
ft20	1165	1165	0
orb01	1085	1059	26
orb02	889	889	0
orb03	1024	1005	19
orb04	1005	1005	0
orb05	887	887	0
orb06	1010	1013	-3
orb07	397	397	0
orb08	923	899	24
orb09	934	934	0
orb10	944	944	0
la16	945	945	0
la19	842	842	0
la21	1046	1047	-1
la22	927	927	0
la24	935	935	0
la25	980	977	3
la27	1240	1235	5
la28	1216	1216	0
la29	1166	1164	2
la36	1268	1268	0
la37	1397	1397	0
la38	1196	1196	0
la39	1233	1233	0
la40	1224	1224	0
yn01	890	891	-1
yn02	911	910	1
yn03	896	900	-4
yn04	975	971	4
$\bar{d}$			2.29
s_D			6.78
$\overline{s_D}$			1.15
t değeri			2.00

Tablo 8-13 PSO_{vms} ve GA_{vms} Modellerinin Hipotez Testi

Hipotezler	Anlamlılık Düzeyleri		
	$t_{0.05,34} = 1.691$	$t_{0.01,34} = 2.441$	$t_{0.005,34} = 2.728$
H_0 Hipotezi	Red	Kabul	Kabul
H_1 Hipotezi	Kabul	Red	Red
H_2 Hipotezi	Red	Red	Red

Tablo 8-13'den de görüldüğü gibi %5 anlamlılık düzeyinde PSO_{vms} modeli GA_{vms} modelinden daha iyidir. %1 ve %0.5 anlamlılık düzeylerinde de her iki model eşdeğer seviyededir.

PSO_{vms} yöntemi ile sadece değişken komşuluk arama yöntemi istatistiksel olarak incelendiğinde ise yine Tablo 8-14'den de görüldüğü gibi %5 anlamlılık düzeyinde PSO_{vms} modeli değişken komşuluk arama yönteminden daha iyidir. %1 ve %0.5 anlamlılık düzeylerinde de her iki yöntem eşdeğer seviyededir.

Tablo 8-14 PSO_{vms} ve Değişken Komşuluk Arama Yönteminin Hipotez Testi

Hipotezler	Anlamlılık Düzeyleri		
	$t_{0.05,34} = 1.691$	$t_{0.01,34} = 2.441$	$t_{0.005,34} = 2.728$
H_0 Hipotezi	Red	Kabul	Kabul
H_1 Hipotezi	Kabul	Red	Red
H_2 Hipotezi	Red	Red	Red

Her iki algoritmanın yerel arama uygulamadan aynı problemler üzerindeki sonuçları istatistiksel olarak yedinci bölümde incelenmişti. Bu sonuçları tekrar şu şekilde özetlenebilir.

Tablo 8-15 GA ve PSO Modelinin Zor Problemlerdeki Performansı

Problem Sayısı	Anlamlılık Düzeyi								
	0.05			0.01			0.005		
	H_0	H_1	H_2	H_0	H_1	H_2	H_0	H_1	H_2
35	9	9	17	13	8	14	15	7	13

Yukarıdaki tablodan görüldüğü gibi toplam 35 problem arasından 0.05 anlamlılık düzeyinde PSO modeli 17 problemde, GA modeli ise toplam 9 problemde GA modeli daha iyidir. Sonuç olarak toplam 35 problemde PSO modeli, hem yerel aramalı hem de yerel aramasız GA modelinden daha iyidir denebilir.

8.7 Sonuçların Diğer Algoritmalarla İstatistiksel Olarak Karşılaştırılması

PSO_{vns} modelinin GA_{vns} modelinden hem ortalama bağıl hatasının daha düşük olması hem de %5 anlamlılık düzeyinde GA_{vns} modelinde daha iyi olması nedeniyle literatürdeki diğer algoritmalarla karşılaştırmak için PSO_{vns} modeli ele alınmıştır. Literatürde iyi performans veren sezgisel algoritmalar şu şekilde sıralanabilir;

- DT, Tabu Arama (Dell'Amico, 1993).
- TSAB, Tabu Arama (Nowicki ve Smunitcki, 1996).
- SB-RGLS2, Darboğaz yordamı tabanlı yerel arama yöntemi (Balas ve Vazacopoulos, 1998). (Guided local search with shifting bottleneck).
- KSA, Benzetim Tavlama (Kolonko, 1999).
- TSSB, Tabu Arama (Pezzella ve Merelli, 2000).
- TS_GSS, Tabu arama tabanlı karınca kolonileri yöntemi (Blum ve Sampel, 2004).
- dESA, Evrimsel benzetim tavlama (Aydın ve Fogarty, 2004).
- GA_TS, Genetik algoritma tabanlı tabu arama yöntemi (Murovec ve Suhel, 2004).

8.7.1 DT ile PSO_{vns} 'in Karşılaştırılması

Dell-Amico (1993) makalesinde geliştirdiği yöntemi, zor problemlerden bazısına uygulamıştır. Bu problemler Tablo 8-16'de görülmektedir. Aşağıdaki tabloda DT ile PSO_{vns} 'in elde edilmiş en iyi değerleri verilmiştir. d_i değeri ise iki yöntemin bulduğu en iyi değerlerin farkını göstermektedir. RE değeri ise bağıl hatayı göstermektedir.

Tablo 8-16 DT ile PSO_{vns} 'in Karşılaştırılması

Problemler	En İyi Değer	DT	RE	PSO_{vns}	RE	d_i
ft10	930	935	0.54	930	0.00	5
la19	842	842	0.00	842	0.00	0
la21	1046	1048	0.19	1047	0.10	1
la24	935	941	0.64	935	0.00	6
la25	977	979	0.20	977	0.00	2
la27	1235	1242	0.57	1235	0.00	7
la29	1152	1182	2.60	1164	1.04	18
la36	1268	1278	0.79	1268	0.00	10
la37	1397	1409	0.86	1397	0.00	12
la38	1196	1203	0.59	1196	0.00	7
la39	1233	1242	0.73	1233	0.00	9
la40	1222	1233	0.90	1224	0.16	9
Ortalama Değerler			0.72		0.11	7.17
s_D						5.02
$\overline{s_D}$						1.45
t değeri						4.94

Tablo 8-16'den de görüldüğü gibi her iki algoritmanın ortalama bağıl hata değerlerine bakıldığında PSO_{vns} (0.11) algoritması DT (0.72)'ye göre daha iyidir. Ayrıca elde edilen bu sonuçlar istatistiksel olarak incelendiğinde Tablo 8-17'de hipotez değerleri ve bunlara karşılık gelen t değerleri görülmektedir. Toplam 12 adet problem incelendiğinden serbestlik derecesi 11 alınmıştır.

Tablo 8-17 DT ve PSO_{vns} Modellerinin Hipotez Testi

Hipotezler	Anlamlılık Düzeyleri		
	$t_{0.05,11} = 1.796$	$t_{0.01,11} = 2.718$	$t_{0.005,11} = 3.106$
H_0 Hipotezi (DT = PSO_{vns})	Red	Red	Red
H_1 Hipotezi (DT < PSO_{vns})	Kabul	Kabul	Kabul
H_2 Hipotezi (DT > PSO_{vns})	Red	Red	Red

Tablo 8-17'de görüldüğü gibi her üç anlamlılık düzeyinde de önerilen PSO_{vns} modeli DT'ye göre daha iyidir.

8.7.2 TSAB ile PSO_{vns} 'in Karşılaştırılması

Literatürdeki en iyi yöntemlerden biri olan Nowitcki'nin tabu arama yöntemi (TSAB) ile PSO_{vns} karşılaştırıldığında aşağıdaki tablodaki değerler elde edilmiştir.

Her iki yöntemin ortalama bağıl hata değerlerine bakıldığında PSO_{vns} 'in(0.11) TSAB'dan (0.22) daha iyi olduğu görülmektedir.

Tablo 8-18 TSAB ile PSO_{vns} 'in Karşılaştırılması

Problemler	En İyi Değer	TSAB	RE	PSO_{vns}	RE	d_i
ft10-	930	930	0.00	930	0.00	0
la19	842	842	0.00	842	0.00	0
la21	1046	1047	0.10	1047	0.10	0
la24	935	939	0.43	935	0.00	4
la25	977	977	0.00	977	0.00	0
la27	1235	1236	0.08	1235	0.00	1
la29	1152	1160	0.69	1164	1.04	-4
la36	1268	1268	0.00	1268	0.00	0
la37	1397	1407	0.72	1397	0.00	10
la38	1196	1196	0.00	1196	0.00	0
la39	1233	1233	0.00	1233	0.00	0
la40	1222	1229	0.57	1224	0.16	5
Ortalama			0.22		0.11	1.33
s_D						3.52
$\overline{s_D}$						1.02
t değeri						1.31

Ayrıca elde edilen bu sonuçlar istatistiksel olarak incelendiğinde Tablo 8-19'da hipotez değerleri ve bunlara karşılık gelen t değerleri görülmektedir. Toplam 12 adet problem incelendiğinden serbestlik derecesi 11 alınmıştır.

Tablo 8-19 TSAB ve PSO_{vns} Modellerinin Hipotez Testi

Hipotezler	Anlamlılık Düzeyleri		
	$t_{0.05,11} = 1.796$	$t_{0.01,11} = 2.718$	$t_{0.005,11} = 3.106$
H_0 Hipotezi (TSAB= PSO_{vns})	Kabul	Kabul	Kabul
H_1 Hipotezi (TSAB< PSO_{vns})	Red	Red	Red
H_2 Hipotezi (TSAB> PSO_{vns})	Red	Red	Red

TSAB ve PSO_{vns} istatistiksel olarak incelendiğinde her üç anlamlılık düzeyinde PSO_{vns} modeli TSAB modeli ile eşdeğer seviyededir.

8.7.3 SB-RGLS2 ile PSO_{vns} 'in Karşılaştırılması

SB-RGLS2, Balas ve Vazacopoulos (Balas, 1998) tarafından geliştirilen darboğaz yordamı tabanlı yerel arama yöntemidir. Literatürdeki en iyi yöntemlerden biri

sayılmaktadır. SB-RGLS2 ile PSO_{vns} modeli karşılaştırıldığında aşağıdaki tablodaki değerler elde edilmiştir.

Tablo 8-20 SB-RGLS2 ile PSO_{vns} 'in Karşılaştırılması

Problemler	En İyi Değer	SB-RGLS2	RE	PSO_{vns}	RE	d_i
ft10	930	930	0.00	930	0.00	0
la19	842	842	0.00	842	0.00	0
la21	1046	1046	0.00	1047	0.10	-1
la24	935	935	0.00	935	0.00	0
la25	977	977	0.00	977	0.00	0
la27	1235	1235	0.00	1235	0.00	0
la29	1152	1164	1.04	1164	1.04	0
la36	1268	1268	0.00	1268	0.00	0
la37	1397	1397	0.00	1397	0.00	0
la38	1196	1196	0.00	1196	0.00	0
la39	1233	1233	0.00	1233	0.00	0
la40	1222	1224	0.16	1224	0.16	0
Ortalama			0.10		0.11	-0.08
s_D						0.29
$\overline{s_D}$						0.08
t değeri						-1

Her iki yöntemin ortalama bağıl hata değerlerine bakıldığında PSO_{vns} 'in(0.11) SB-RGLS2 ile (0.10) eşdeğer seviyede olduğu görülmektedir. İstatistiksel olarak incelendiğinde ise Tablo 8-21'den de görüldüğü gibi iki model üç anlamlılık düzeyinde de eşdeğerdir.

Tablo 8-21 SB-RGLS2 ve PSO_{vns} Modellerinin Hipotez Testi

Hipotezler	Anlamlılık Düzeyleri		
	$t_{0.05,11} = 1.796$	$t_{0.01,11} = 2.718$	$t_{0.005,11} = 3.106$
H_0 Hipotezi (SB-RGLS2= PSO_{vns})	Kabul	Kabul	Kabul
H_1 Hipotezi (SB-RGLS2< PSO_{vns})	Red	Red	Red
H_2 Hipotezi (SB-RGLS2> PSO_{vns})	Red	Red	Red

8.7.4 KSA ile PSO_{vns} 'in Karşılaştırılması

KSA, Kolonko (1998) 'nun benzetim tavlama yöntemi göstermektedir. KSA ile PSO_{vns} modeli karşılaştırıldığında aşağıdaki tablodaki değerler elde edilmiştir.

Tablo 8-22 KSA ile PSO_{vns} 'in Karşılaştırılması

Problemler	En İyi Değer	KSA	RE	PSO_{vns}	RE	d_i
la19	842	842	0.00	842	0.00	0
la21	1046	1047	0.10	1047	0.10	0
la24	935	938	0.32	935	0.00	3
la25	977	977	0.00	977	0.00	0
la27	1235	1236	0.08	1235	0.00	1
la29	1152	1167	1.30	1164	1.04	3
la36	1268	1268	0.00	1268	0.00	0
la37	1397	1401	0.29	1397	0.00	4
la38	1196	1201	0.42	1196	0.00	5
la40	1222	1226	0.33	1224	0.16	2
Ortalama			0.28		0.13	1.8
s_D						1.87
$\overline{s_D}$						0.59
t değeri						3.04

PSO_{vns} (0.13) ortalama bağıl hata değerine bakıldığında KSA (0.28)'dan daha iyi olduğu görülmektedir. İstatistiksel açıdan incelendiğinde ise Tablo 8-23'den de görüldüğü gibi %5 ve %10 anlamlılık düzeylerinde PSO_{vns} , KSA'dan daha iyidir. %05 anlamlılık düzeyinde ise her iki yöntem eşdeğer düzeydedir.

Tablo 8-23 KSA ve PSO_{vns} Modellerinin Hipotez Testi

Hipotezler	Anlamlılık Düzeyleri		
	$t_{0.05,9} = 1.796$	$t_{0.01,9} = 2.718$	$t_{0.005,9} = 3.106$
H_0 Hipotezi ($KSA = PSO_{vns}$)	Red	Red	Kabul
H_1 Hipotezi ($KSA < PSO_{vns}$)	Kabul	Kabul	Red
H_2 Hipotezi ($KSA > PSO_{vns}$)	Red	Red	Red

8.7.5 TSSB ile PSO_{vns} 'in Karşılaştırılması

TSSB, Pezzella ve Merelli'nin (Pezzella, 2000) tabu arama yöntemini göstermektedir. TSSB ile PSO_{vns} modeli karşılaştırıldığında aşağıdaki tablodaki değerler elde edilmiştir.

Tablo 8-24 TSSB ile PSO_{vns} 'in Karşılaştırılması

Problemler	En İyi Değer	TSSB	RE	PSO_{vns}	RE	d_i
ft10	930	930	0,00	930	0,00	0
la19	842	842	0,00	842	0,00	0
la21	1046	1046	0,00	1047	0,10	-1
la24	935	938	0,32	935	0,00	3
la25	977	979	0,20	977	0,00	2
la27	1235	1235	0,00	1235	0,00	0
la29	1152	1168	1,39	1164	1,04	4
la36	1268	1268	0,00	1268	0,00	0
la37	1397	1411	1,00	1397	0,00	14
la38	1196	1201	0,42	1196	0,00	5
la39	1233	1240	0,57	1233	0,00	7
la40	1222	1233	0,90	1224	0,16	9
Ortalama Değerler			0,40		0,11	3,58
s_D						4,54
$\overline{s_D}$						1,31
t değeri						2,73

PSO_{vns} (0.11) ortalama bağıl hata değerine bakıldığında TSSB (0.40)'dan daha iyi olduğu görülmektedir. İstatistiksel olarak incelendiğinde ise Tablo 8-25'den de görüldüğü gibi %5 ve %1 anlamlılık düzeylerinde PSO_{vns} , TSSB'ye göre daha iyi olduğu %0.5 anlamlılık düzeyinde ise eşdeğer seviyede olduğu görülmektedir.

Tablo 8-25 TSSB ve PSO_{vns} Modellerinin Hipotez Testi

Hipotezler	Anlamlılık Düzeyleri		
	$t_{0.05,11} = 1.796$	$t_{0.01,11} = 2.718$	$t_{0.005,11} = 3.106$
H_0 Hipotezi (TSSB = PSO_{vns})	Red	Red	Kabul
H_1 Hipotezi (TSSB < PSO_{vns})	Kabul	Kabul	Red
H_2 Hipotezi (TSSB > PSO_{vns})	Red	Red	Red

8.7.6 dESA ile PSO_{vns} 'in Karşılaştırılması

dESA, Aydın ve Fogarty'nin evrimsel benzetim tavlama yöntemi göstermektedir. dESA ile PSO_{vns} modeli karşılaştırıldığında aşağıdaki tablodaki değerler elde edilmiştir. Diğer tablolardan farklı olarak bu tabloda algoritmanın bulduğu en iyi ve en kötü değerlerinin yanında standart sapma değerleri de verilmiştir. Diğer tablolarda belirtilmemesinin sebebi makalelerde verilmemiş olmasındandır.

Tablo 8-26 dESA ile PSO_{vns} 'in Karşılaştırılması

Problemler	En İyi Değer	dESA				PSO_{vns}				
		En İyi Değer	En Kötü Değer	St. Sapma	RPE	En İyi Değer	En Kötü Değer	St. Sapma	RPE	d_i
abz07	656	672	678	8,113	2,439	659	682	5,577	0,457	13
abz08	665	681	692	7,337	2,406	673	691	5,190	1,203	8
abz09	679	699	706	6,059	2,946	688	708	5,812	1,325	11
la21	1046	1046	1053	4,169	0,000	1047	1071	6,014	0,096	-1
la24	935	938	941	2,974	0,321	935	950	3,249	0,000	3
la25	977	977	981	5,055	0,000	977	998	4,800	0,000	0
la27	1235	1240	1250	4,522	0,405	1235	1264	9,296	0,000	5
la29	1152	1176	1190	9,809	2,083	1164	1205	10,364	1,042	12
la38	1196	1201	1209	5,016	0,418	1196	1248	14,864	0,000	5
la40	1222	1228	1234	5,835	0,491	1224	1237	3,932	0,164	4
Ortalama				5,89	1,15			6,91	0,42	6,000
s_D										4,88
s_D										1,54
t değeri										3,16

Ortalama bağıl hata değerine bakıldığında PSO_{vns} (0.42), dESA (1.15)'dan daha iyi olduğu görülmektedir. İstatistiksel olarak incelendiğinde ise Tablo 8-27'dan da görüldüğü gibi her üç anlamlılık düzeyinde de PSO_{vns} , dESA'ya göre daha iyidir.

Tablo 8-27 dESA ve PSO_{vns} Modellerinin Hipotez Testi

Hipotezler	Anlamlılık Düzeyleri		
	$t_{0.05,9} = 1.796$	$t_{0.01,9} = 2.718$	$t_{0.005,9} = 3.106$
H_0 Hipotezi ($dESA = PSO_{vns}$)	Red	Red	Red
H_1 Hipotezi ($dESA < PSO_{vns}$)	Kabul	Kabul	Kabul
H_2 Hipotezi ($dESA > PSO_{vns}$)	Red	Red	Red

8.7.7 ACO_GSS ile PSO_{vns} 'in Karşılaştırılması

Blum ve Sample(2004) tarafından geliştirilen karınca koloni algoritması (ACO_GSS) Nowicki'nin (1996) yerel arama yöntemini kullanarak geliştirilmiştir. ACO_GSS ile PSO_{vns} modeli karşılaştırıldığında aşağıdaki tablodaki değerler elde edilmiştir. Diğer tablolardan farklı olarak bu tabloda algoritmanın bulduğu en iyi ve en kötü değerlerinin yanında standart sapma değerleri de verilmiştir. Ayrıca ortalama işlem sürelerine bakıldığında yarı yarıya bir fark görülmektedir.

Tablo 8-28 ACO_GSS ile PSO_{vns} 'in Karşılaştırılması

Problemler	En İyi Değer	ACO_GSS					PSO_vns				
		En İyi Değer	Ortalama	St. Sapma	RPE	En İyi Değer	Ortalama	St. Sapma	RPE	d_i	
abz07	656	674	681,2	3,155	2,744	659	669,95	5,577	0,457	15	
abz08	665	689	697,049	3,235	3,609	673	681,75	5,190	1,203	16	
abz09	679	702	709,35	4,158	3,387	688	697,25	5,812	1,325	14	
la21	1046	1047	1053,25	3,507	0,096	1047	1053,8	6,014	0,096	0	
la24	935	944	948,1	3,385	0,963	935	939,35	3,249	0,000	9	
la25	977	977	981,45	2,981	0,000	977	981,1	4,800	0,000	0	
la27	1235	1243	1255,5	5,898	0,648	1235	1246	9,296	0,000	8	
la29	1152	1168	1186,75	8,149	1,389	1164	1176,05	10,364	1,042	4	
la38	1196	1196	1235,45	4,173	0,000	1196	1211,75	14,864	0,000	0	
la40	1222	1228	1234,55	5,915	0,491	1224	1227,25	3,932	0,164	4	
ft10	930	930	938,899	7,608	0,000	930	936,3	6,982	0,000	0	
ft20	1165	1165	1168,55	5,114	0,000	1165	1174,7	5,750	0,000	0	
orb08	899	899	914,649	6,869	0,000	899	911,15	12,558	0,000	0	
orb09	934	934	935,149	2,924	0,000	934	939,45	4,273	0,000	0	
abz05	1234	1234	1237,2	1,361	0,000	1234	1236,25	2,314	0,000	0	
abz06	943	947	947,799	0,410	0,424	943	943	0,000	0,000	4	
Ortalama				4,456	0,86			6,91	0,43	4,63	
S_D										5,93	
$\overline{S_D}$										1,48	
t değeri										3,12	

PSO_{vns} (0.43) ortalama bağıl hata değerine bakıldığında ACO_GSS (0.86)'dan daha iyi olduğu görülmektedir. İstatistiksel olarak incelendiğinde ise Tablo 8-31'dan da görüldüğü gibi her üç anlamlılık düzeyinde de PSO_{vns} , ACO_GSS'ye göre daha iyidir.

Tablo 8-29 ACO_GSS ve PSO_{vns} Modellerinin Hipotez Testi

Hipotezler	Anlamlılık Düzeyleri		
	$t_{0.05,15} = 1.753$	$t_{0.01,15} = 2.602$	$t_{0.005,15} = 2.947$
H_0 Hipotezi ($ACO_GSS = PSO_{vns}$)	Red	Red	Red
H_1 Hipotezi ($ACO_GSS < PSO_{vns}$)	Kabul	Kabul	Kabul
H_2 Hipotezi ($ACO_GSS > PSO_{vns}$)	Red	Red	Red

8.7.8 GA_TS ile PSO_{vns} 'in Karşılaştırılması

Murovec ve Suhel tarafından (Murovec ve Suhel, 2004) geliştirilen GA_TS, genetik algoritma tabanlı tabu arama yöntemidir. GA_TS ile PSO_{vns} modelini karşılaştırıldığında aşağıdaki tablodaki değerler elde edilmiştir.

Tablo 8-30 GA_TS ile PSO_{vns} 'in Karşılaştırılması

Problemler	En İyi Değer	GA_TS					PSO_{vns}					d_i
		En İyi Değer	Ortalama	En Kötü	CPU	RPE	En İyi Değer	Ortalama	En Kötü	CPU	RPE	
abz05	1234	1234	1234,9	1238	0,61	0,00	1234	1236,25	1239	17,40	0,00	0
abz06	943	943	943	943	0,28	0,00	943	943	943	12,52	0,00	0
abz07	656	658	666,4	674	77,75	0,30	659	669,95	682	599,44	0,46	-3
abz08	665	669	674,3	685	104,88	0,60	673	681,75	691	549,63	1,20	-8
abz09	679	678	687,5	701	93,39	-0,15	688	697,25	708	472,04	1,33	-9
ft10	930	930	931,6	944	1,15	0,00	930	936,3	960	44,59	0,00	0
ft20	1165	1165	1165,2	1173	1,11	0,00	1165	1174,7	1178	22,18	0,00	0
orb01	1059	1059	1062,4	1077	1,01	0,00	1059	1075,9	1099	29,42	0,00	0
orb02	888	888	888,6	890	0,54	0,00	889	889,45	897	10,18	0,11	-1
orb03	1005	1005	1012,1	1035	1,44	0,00	1005	1032,7	1074	38,92	0,00	0
orb04	1005	1005	1008,1	1013	0,68	0,00	1005	1011,3	1023	41,69	0,00	0
orb05	887	887	888,3	891	0,91	0,00	887	891,5	904	36,27	0,00	0
orb06	1010	1010	1012,8	1023	1,39	0,00	1013	1018,2	1031	29,53	0,30	-3
orb07	397	397	397	397	0,39	0,00	397	398,6	403	15,05	0,00	0
orb08	899	899	902,4	927	1,6	0,00	899	911,15	934	41,26	0,00	0
orb09	934	934	934,7	943	0,74	0,00	934	939,45	943	8,10	0,00	0
orb10	944	944	944	944	0,46	0,00	944	944	944	16,45	0,00	0
la16	945	945	945	945	0,33	0,00	945	948,5	976	21,26	0,00	0
la19	842	842	842,1	848	0,38	0,00	842	843,3	852	27,28	0,00	0
la21	1046	1046	1048,7	1055	3,07	0,00	1047	1053,8	1071	148,08	0,10	-1
la22	927	927	927,7	935	3,34	0,00	927	930,2	935	116,91	0,00	0
la24	935	935	938,2	943	3,07	0,00	935	939,35	950	211,52	0,00	0
la25	977	977	978,2	984	3,71	0,00	977	981,1	998	175,38	0,00	0
la27	1235	1235	1236,8	1256	16,07	0,00	1235	1246	1264	467,33	0,00	0
la28	1216	1216	1216	1216	2,4	0,00	1216	1216,15	1218	212,45	0,00	0
la29	1152	1153	1165,2	1178	16,3	0,09	1164	1176,05	1205	409,26	1,04	-12
la36	1268	1268	1268,3	1278	15,28	0,00	1268	1278,5	1291	481,45	0,00	0
la37	1397	1397	1402,4	1418	30,2	0,00	1397	1410,75	1421	382,50	0,00	0
la38	1196	1196	1202,3	1212	24,51	0,00	1196	1211,75	1248	456,54	0,00	0
la39	1233	1233	1235,5	1248	25,18	0,00	1233	1238,95	1248	531,65	0,00	0
la40	1222	1222	1226	1234	22,9	0,00	1224	1227,25	1237	464,36	0,16	-2
yn01	888	886	896	905	220,78	-0,23	891	900,2	913	1021,55	0,34	-3
yn02	909	907	915,7	927	242,28	-0,22	910	925,1	936	1224,91	0,11	-1
yn03	893	895	900,6	909	228,23	0,22	900	907,5	918	1241,02	0,78	-7
yn04	968	969	978,5	991	263,36	0,10	971	986,3	1010	1150,98	0,31	-3
Ortalama					40,28	0,02				306,55	0,18	-1,51
s_D												2,97
s_D												0,50
t değeri												5,92

GA_TS (0.02) ortalama bağıl hata değerine bakıldığında PSO_{vns} (0.18)'den daha iyi olduğu görülmektedir. İstatistiksel olarak incelendiğinde ise Tablo 8-31'den de görüldüğü gibi her üç anlamlılık düzeyinde de GA_TS PSO_{vns} 'den daha iyidir.

Murovec ve suhel (2004) makalesinde elde edilen bu değerlerin 5000 defa tekrar sonucu elde edildiğini ifade etmektedir ki bu da önemli bir dezavantajı belirtmektedir.

Tablo 8-31 GA_TS ve PSO_{vns} Modellerinin Hipotez Testi

Hipotezler	Anlamlılık Düzeyleri		
	$t_{0.05,34} = 1.691$	$t_{0.01,34} = 2.441$	$t_{0.005,34} = 2.728$
H_0 Hipotezi ($GA_TS = PSO_{vns}$)	Red	Red	Red
H_1 Hipotezi ($GA_TS < PSO_{vns}$)	Red	Red	Red
H_2 Hipotezi ($GA_TS > PSO_{vns}$)	Kabul	Kabul	Kabul

9 SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde, zor problemler sınıfına giren ve üretimde önemli bir yeri teşkil eden atölye tipi çizelgeleme problemlerinin çözümünde alternatif bir sezgisel yöntem olan parçacık sürü optimizasyonu kullanılmıştır. Ayrıca geliştirilen bu modelin performansını artırmak için değişken komşuluk arama yöntemi kullanılarak PSO_{vns} modeli de geliştirilmiştir.

Geliştirilen PSO modeli literatürde yer alan test problemlerine 30 defa tekrar yapılarak uygulanmıştır. Popülasyon temelli bir yöntem olan PSO'nun yine popülasyon temelli olan ve literatürde bir çok kombinatoriyel optimizasyon problemlerine uygulamış olan GA'dan ne kadar iyi veya kötü olduğunu incelemek için aynı gösterim yöntemi ve toplam değerlendirme (number of evaluation) sayısı aynı olacak şekilde bir GA modeli de geliştirilip tek yönlü eşleştirilmiş t testi kullanılarak %5, %1 ve %5 anlamlılık düzeylerinde istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Geliştirilen PSO ve GA modelin sonuçlarına %5 anlamlılık düzeyinde bakıldığında 38 problemde PSO modelinin, GA modelinden daha iyi olduğu buna karşılık 60 problemde ise GA modelinin PSO modelinde daha iyi olduğu görülmüştür. Geri kalan gibi 24 problemde ise bu iki modelin eşdeğer seviyede olduğu görülmüştür. Anlamlılık düzeyleri %1 ve %5 olarak incelendiğinde ise bu değerler sırasıyla PSO modelinin 25 ve 23 problemde GA'dan daha iyi olduğu, 58 ve 56 problemde GA modelinin daha iyi olduğu ve 39 ve 43 problemde de ise eşit düzeyde olduğu görülmüştür. Daha sonra, PSO ve GA modelleri 122 test probleminin 30 defa tekrar sonucu elde edilen ortalama bağıl hata değerlerine bakılarak karşılaştırıldığında ise üç anlamlılık düzeyinde de eşdeğer seviyede olduğu görülmüştür.

Bunlara ilaveten PSO ve GA modeli sonuçları, işlem süreleri açısından (CPU time) incelendiğinde, küçük çaplı problemlerde PSO modelinin daha kısa sürede sonuca ulaştığı görülmüştür. Örneğin 6 iş 6 tezgah FT06 problemi ele alındığında PSO modelindeki ortalama işlem süresi 1.40 sn iken bu değer GA modelinde 1.97 olarak görülmüştür. Problem çapı büyüdüğünde GA modelinin daha kısa zamanda sonuca

ulaştığı söylenebilir. Genel olarak tüm test problemlerinin ortalama işlem sürelerinin ortalaması alındığında ise GA modelinin 154.3sn PSO modelinin ise 616.8sn de sonuca ulaşmıştır. PSO modelinin daha fazla sürede sonuca ulaşmasının nedeni, büyük problemlerde her bir pozisyon ve hız vektörünün birer birer güncellenmesindendir.

Önerilen PSO ve GA modelleri, literatürdeki diğer algoritmalarla aynı seviyede hatta daha iyi olabilmesi için ortalama bağıl hatanın sıfır yada sıfıra çok yakın olması yani en iyi çözüme ulaşması ya da ona çok yakın değerde olması gerekmektedir. Bunun için basit ve etkili ve daha önce atölye tipi çizelgeleme problemlerine uygulanmamış yerel arama yöntemi olan değişken komşuluk arama yöntemiyle mevcut yöntem birleştirilerek yeni bir yerel aramalı PSO (PSO_{vns}) ve yerel aramalı GA modelleri (GA_{vns}) geliştirilmiştir. Bu iki modelin 122 test problemlerindeki sonuçlarının, ortalama bağıl hatası incelediğinde PSO_{vns} 'in GA_{vns} 'den daha iyi olduğu ayrıca istatistiksel olarak karşılaştırıldığında ise yine %5 anlamlılık düzeyinde PSO_{vns} modeli GA_{vns} modelinden daha iyi olduğu, %1 ve %0.5 anlamlılık düzeylerinde de her iki modelin eşdeğer düzeyde olduğu görülmüştür. Dolayısıyla literatürdeki diğer algoritmalarla karşılaştırmak için PSO_{vns} modeli ele alınmıştır.

Önerilen PSO_{vns} modeli literatürdeki diğer sezgisel çalışmalarla (benzetim tavlama, tabu arama, karınca kolonileri ve genetik algoritma) karşılaştırıldığında hem ortalama bağıl hata hem de istatistiksel açıdan PSO_{vns} modelinin eşit seviyede veya daha iyi olduğu görülmüştür. Burada diğer algoritmaların sonuca ulaşmak için uyguladıkları yöntemler incelendiğinde başlangıç popülasyonu ya değişken darboğaz yordamını ile öncelik sevketme kuralları ya da değişik bir sezgisel yöntemle oluşturulmaktadır ki PSO_{vns} modelinde bunları yapmadan da sonuca gidildiği görülmüştür. Ayrıca kullanılan komşuluk yapısının basit ekleme veya değiştirme işlemleri yaparak gerçekleştirilmesiyle, kompleks komşuluk yapılarını kullanmadan da daha iyi sonuçlar elde edilebileceğini göstermektedir.

Bu çalışmanın literatüre katkılarını şu şekilde özetleyebiliriz.

-Parçacık Sürü Optimizasyonu atölye tipi çizelgeleme problemlerine literatürde ilk olarak uygulanmıştır.

-Atölye tipi çizelgeleme problemi için permütasyonlu sıradan operasyon tabanlı sıra elde edilerek literatüre yeni bir gösterim yöntemi kazandırılmıştır.

-Değişken komşuluk arama yönteminin ilk olarak atölye tipi çizelgeleme problemlerindeki performansı incelenmiştir.

Bu çalışmanın gelecekteki çalışma konuları ise şu şekilde sıralanabilir; Öncelikle benzetim tavlama ve tabu arama gibi meta sezgisel yöntemlerin geliştirilen gösterim yöntemi ile performansları incelenip PSO yöntemiyle karşılaştırma yapılabilir. İkinci olarak ise önerilen PSO yönteminde sürekli değişkenler yerine kesikli değişkenler kullanılıp yeni bir model geliştirilebilir.



KAYNAKLAR

- Abido, M. A.**, 2002. Optimal power flow using particle swarm optimization., *Electrical Power and Energy Systems*, **24**, 563-571.
- Adams, J. B., E. ,Zawack, D.**, 1988. The shifting bottleneck procedure for the job shop scheduling. *Management Science*, **34**, 391-401.
- Aydin, M. E., Fogarty, T. C.** 2004. A Distributed Evolutionary Simulated Annealing Algorithm for Combinatorial Optimisation Problems. *Journal of Heuristics*, **10**, 269-29
- Baker, K. R.**, 1974. Introduction to Sequencing & Scheduling, New York, John Wiley.
- Baker, K. R.**, 1994. Elements Of Sequencing and Scheduling, Hannover, Dartmouth College.
- Balas, E.**, 1969. Machine sequencing via disjunctive graph: an implicit enumeration algorithm, *Operational Research*, **17**, 941-957.
- Balas, E., Vazacopoulos, A.**, 1998. Guided local search with shifting bottleneck for job shop scheduling problem, *Management Science*, **44(2)**, 262-275.
- Barnes, J. W., Chambers, J.B.**, 1995. Technical Note "Solving the job shop scheduling problem with tabu search, *IEEE Transactions*, **27**, 257-263.
- Bean, J. C.**, 1994. Genetic algorithm and random keys for sequencing and optimization, *ORSA Journal on Computing*, **6(2)**, 154-160.
- Beasley, J. E.**, 2004. OR LIBRARY., <http://www.brunel.ac.uk/depts/ma/research/jeb/info.html>, 30 Aralık 2004
- Besten, M., Stutzle, T., Dorigo, M.**, 2001. Design of iterated local search algorithms, *In Proc. of Evo Workshops*, LNCS, Berlin.
- Bierwirth, C., Mattfeld, D., Kopfer, H.**, 1996. A generalized permutation approach to job shop scheduling with genetic algorithms, *OR-Spektrum*, **17**(Special issue: Applied Local Search), 87-92.
- Blazewicz, J., Erwin, P., Sterna, M.**, 2000, The disjunctive graph machine representation of the job shopscheduling problem., *European Journal of Operational Research*, **127**, 317-331.

- Blum, C., Roli, A., 2001.** Metaheuristic in Combinatorial optimization: Overview and Conceptual Comparison. Bruxelles.
- Blum, C., Sampels, M., 2004.** An Ant Colony Optimization Algorithm for Shop Scheduling Problems, *Journal of Mathematical Modelling and Algorithms*, **3**, 285-308.
- Brandstatter, B., Baumgartner, U., 2002.** Particle swarm optimization-mass-spring system analogon, *IEE Transactions on Magnetics*, **38**, 997-1000.
- Brucker, P., Jurish, B., Sievers, B., 1994.** A branch and bound algorithm for the job-shop scheduling problem. *Discrete Applied Mathematics*, **49**, 107-127.
- Carlier, J., Pinson, E., 1989.** An algorithm for solving the job shop problem, *Management Science*, **35**, 164-176.
- Cheng, R., Gen M., Tsujimura, Y., 1996.** A Tutorial Survey of Job-Shop Scheduling Problems Using Genetic Algorithms-I. Representation, *Computers&Industrial Engineering*, **30(4)**, 983-997.
- Cheng, R., Gen M., Tsujimura, Y., 1999.** A Tutorial Survey of Job Shop Scheduling Problems Using Genetic Algorithm: Part II. Hyrid Genetic Research Strategies., *Computers&Industrial Engineering*, **37**, 51-55.
- Colorni, A., Dorigo, M., Maniezzo, V., Trubian, M., 1994.** Ant System for Job Shop Scheduling, *Belgian Journal of Operations Research Statistics and Computer Science*, **3**, 35-50.
- Croce, D. F., Tadei, R., Volta G., 1995.** A Genetic Algorithm for the Job Shop Problem, *Computers Operations Research* **22(1)**, 15-24.
- Dağlı, C. H., Sittisathanchai, S., 1995.** Genetic Neuro-Scheduler: A new approach for job scheduling, *International Journal of Production Economics* **41**, 135-145.
- Davis, L., 1985.** Job Shop Scheduling with Genetic Algorithm. Grefenstette: 136-140.
- Dell'Amico, M., Trubian, M., 1993.** Applying tabu search to the job shop scheduling problem, *Annals of Operations Research* **41**, 231-252.
- Demirkol, E., Sanjay, M., Uzsoy, R., 1998.** Benchmark for shop scheduling problems., *European Journal of Operational Research* **109**, 137-141.
- Demirkol, E., Sanjay, M., Uzsoy, R., 2004.** Scheduling Research Group Homepage, <http://palette.ecn.purdue.edu/~uzsoy2/benchmark>, 30 Aralık 2004.

- Denby, B., Le Hegarat-Masclé, S.** 2003. Swarm Intelligence in Optimization Problems, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, **502**, 364-368.
- Devore, J. L.**, 2000. Probability and Statistics for Engineering and The Sciences, Duxbury Thomson Learning.
- Dondorf, U., Pesch, E.**, 1995. Evolution based learning in a job shop scheduling environment, *Computers and Operations Research*, **22**, 25-40.
- Dorigo, M., Caro, G.D., Gamberdella, L.M.**, 1999. Ant Algorithms for Discrete Optimization, *Artificial Life*, **5**, 137-172.
- Eberhard, R. C., Kennedy, J.**, 1995. A new optimizer using particle swarm theory. *Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science*, Nagoya, Japan.
- Eglese, R. W.**, 1990. Simulated annealing: a tool for operational research, *European Journal of Operational Research* **46**, 271-291.
- Engin, O.**, 2001. Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritma ile çözüm performanslarının artırılmasında parametre optimizasyonu, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Esquivel, S., Ferrero, S., Gallard, R., Salto, C., Alfonso, H., Schütz, M.**, 2002. Enhanced evolutionray algorithm for single and multiobjective optimization in the job shop scheduling problem, *Knowledge-Based Systems*, **15**: 13-25.
- Fleisher, M.**, 1995. Simulated Annealing: Past, Present, and Future, Winter Simulation Conference.
- Fonseca, D. J., Navarrese, D.**, 2002. Artificial neural networks for job shop simulation, *Advanced Engineering Informatics* **16**, 241-246.
- Foo, P. S., Takefuji, Y.**, 1988a. Stochastic neural networks for solving job-shop scheduling: Part 1 problem representation, *Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Network*.
- Foo, P. S., Takefuji, Y.**, 1988b. Stochastic neural networks for solving job-shop scheduling: Part 2 architecture and simulations, *Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Network*.
- Fox, M.S., Smith, F.**, 1984. ISIS: A knowledge-based system for factory scheduling, *Expert Systems*, **1**(1), 25-49.

- French, S.**, 1982. Sequencing and Scheduling - An Introduction to the Mathematics of the Job-Shop. New York, John Wiley.
- Gen, M., Tsujimura, Y., Kubota, E.**, 1994. Solving Job-shop scheduling problem using genetic algorithm. In Proc. of the 16th Int. Conf. on Computer and Industrial Engineering: 576-579.
- Gen, M., Cheng, R.**, 1997. Genetic Algorithm & Engineering Application, Wiley.
- Geyik, F.**, 2000. Atölye tipi çizelgeleme için uzman-tabu arama modeli. *Doktora Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Sakarya.
- Hopfield, J. J., Tank, D.W.**, 1985. Neural computational of decisions in optimization problems, *Biological Cybernetics* **52**, 141-152.
- Jain, A. S., Meeran, S.**, 1998. Job-shop scheduling using neural networks, *International Journal of Production Research*, **305**, 1249-1272.
- Jain, A. S., Meeran, S.**, 1999. Deterministic job-shop scheduling: Past, Present and Future, *European Journal of Operational Research*, **113**, 390-434.
- 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.**, 1997. A Discrete Binary Version of the Particle Swarm Optimization. *Proc. Of the conference on Systems, Man, and Cybernetics SMC97*.
- Kennedy, J., Eberhard, R.C. , Shi, Y.** 2001. Swarm Intelligence. San Mateo, Morgan Kaufmann.
- Kim, S. Y., Lee, Y.H, Agnihotri, D.** 1995. A hybrid approach for sequencing jobs using heuristic rules and neural networks. *Production Planning and Control*, **6**, 445-454.
- Kim, Y. D.**, 1990. A comparison of dispatching rules for job shops with multiple identical jobs and alternative routings, *International Journal of Production Research*, **285**, 953-962.
- Kim, Y. K., Park, P., Ko, J.**, 2003. A symbiotic evolutionray algorithm for the integration of process planning and job shop scheduling, *Computers Operations Research*, **30**, 1151-1171.

- Kirkpartrick, S. G., Vecchi, M.P.** 1983. Optimization by Simulated Annealing, *Science* **220**, 671-680.
- Kolonko, M.**, 1999. Some new results on simulated annealing applied to the job shop scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, **113**, 123-136.
- Kumar, N. S. H., Srinivasan G.**, 1996. A Genetic Algorithm For Job Shop - Scheduling-A case Study. *Computers in Industry*, **31**, 155-160.
- Laarhoven, P. J., Aarts, M.V., Lenstra, J.K.**, 1992. Job Shop Scheduling by Simulated Annealing. *Operational Research*, **401**, 113-125.
- Lee, H. C., Dağlı, C.H.**, 1997. A paralel genetic-neuro scheduler for job-shop scheduling. *International journal of production economics*, **51**, 115-122.
- Lourenço, H. R.**, 1995. Job-Shop Scheduling:Computational study of local search and large-step optimization methods. *European Journal of Operational Research*, **83**, 347-364.
- Matsuo, H., Suh, C.J., Sullivan, R.S.**, 1988. A controlled search simulated annealing method for the general job-shop scheduling problem. Austin, Graduate School of Business, The University of Texas at Austin.
- Michalewicz, Z.**, 1994. Genetic Algorithm+Data Structure=Evolution Programs. Newyork, Springer and Verlag.
- Mladenovic, N., Hansen, P.**, 1997. Variable Neighborhood Search. *Computers and Operations Research*, **24**, 1097-1100.
- Murovec, B., Suhel, P.**, 2004. A reparing technique for the local search of the jop-shop problem. *European Journal of Operational Research*, **153**, 220-238.
- Nowicki, E., Smutnicki, C.**, 1996. A fast taboo search algorithm for the job shop problem, *Management Science*, **42**, 797-813.
- 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.
- Orciuch, E., Frost, J.**, 1984. ISA: Intelligent scheduling assistant.

- Park, B. J., Choi, R.C., Kim, S.Y.**, 2003. A hybrid genetic algorithm for the job shop scheduling problems. *Computers&Industrial Engineering*, **45**, 597-613.
- Pezzella, P., Merelli, E.**, 2000. A tabu search method guided by shifting bottleneck for the job shop scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, **120**, 297-310. .
- Pinedo, M.**, 1995. *Scheduling: Theory, Algorithms and Systems*. New Jersey, Prentice-Hall.
- Ponnambalam, S. G., Aravindan, P., Rao, P.S.**, 2001. Comparative evaluation of genetic algorithms for job-shop scheduling. *Production Planning and Control*, **126**, 560-574.
- Preux, P., Talbi, E.G.**, 1999. Towards hybrid evolutionary algorithms, *International Transactions in Operational Research*, **6**, 557-570.
- Ram, D. J., Sreenivas, T.H., Subramanian, K.G.**, 1996. Parallel Simulated Annealing Algorithms, *Journal of parallel and distributed computing*, **37**, 207-212.
- Rinnooy, K.**, 1976. *Machine Scheduling Problems: Classification, Complexity, and Computations*. Nijhoff, The Hague.
- Sabuncuoğlu, İ., Bayiz, M.**, 1994. A neural network model for scheduling problems. *European Journal of Operational Research*, **78**, 56-78.
- Sabuncuoğlu, İ., Bayiz, M.**, 1999. Job shop scheduling with beam search. *European Journal of Operational Research*, **118**, 390-412.
- Salman, A., Ahmad, I., Sabah, A.**, 2002. Particle swarm optimization for task assignment problem. *Microprocessors and Microsystems*, **26**, 363-371.
- Satake, T., Morikawa, K., Takahashi, K., Nakamura, N.**, 1999. Simulated annealing approach for minimizing the makespan of the general job-shop. *International Journal of Production Economics*, **60**, 515-522.
- Schmitt, L. M.**, 2001. Fundamental Study Theory of Genetic Algorithm. *Theoretical Computer Science*, **259**, 1-61.
- Siman, F.**, 1982. *Sequencing and scheduling: An introduction to the mathematics of the job-shop*. Chichester:Ellis Horwood.

- Steinhöfel, K., Albrecht, A., Wong, C.K., 2002.** Fast parallel heuristic for the job shop scheduling problem, *Computers&Industrial Engineering*, **29**, 151-169.
- Stützle, T., 1998.** Applying iterated local search to the permutation flowshop problem. Darmstad, Germany, Darmstad University of Technology, Computer Science Department, Intellectics Group.
- Tailard, E., 1994.** Parallel taboo search techniques for the job shop scheduling. *ORSA Journal on Computing*, **16(2)**, 108-117.
- Tailard, E., 2004.** Eric Taillard Page,
<http://ina.eivd.ch/collaborateurs/etd/problemes.dir/ordonnancement.dir/ordonnancement.html>, 30 Aralık 2004.
- Trelea, I. C., 2003.** The particle swarm optimization algorithm: convergence analysis and parameter selection. *Information Processing Letters*, **85**, 317-325.
- Van Den Bergh, F., Engelbecht, P. 2000.** Cooperative learning in neural networks using particle swarm optimizers. *South African Computer Journal*, **26** 84-90.
- Van Den Bergh, F., Engelbecht, P. 2005.** A study of particle swarm optimization particle trajectories, *Information Letters*.
- Wang, L., Zheng, D., 2001.** An effective hybrid optimization strategy for job-shop scheduling problems. *Computers&Industrial Engineering* **28**, 585-596.
- Wengi, H., Aihua, Y. 2003.** An improved shifting bottleneck procedure for the job shop scheduling problem. *Computers and Operations Research*.
- Yang, R., Donglas, I., 1998.** Simple genetic algorithm with local turning-efficient global optimization technique. *Journal of optimization theory and application*, **2(98)**, 449-465.
- Yoshida, K., Kawata, K., Fukuyama, Y., Nakanishi, Y., 2000.** A particle swarm optimization for reactive power and voltage control considering voltage security assessment. *IEEE Transactions on Power Systems*, **15**, 1232-1239.
- Youssef, H., Sait, S.M., Adiche, H., 2001.** Evolutionary Algorithms, Simulated Annealing and Tabu Search: A Comparative Study. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, **14**, 167-181.

Zhou, H., Feng,Y., Han,L., 2001. The hybrid heuristic genetic algorithm for job shop scheduling, *Computers&Industrial Engineering*, **40**, 191-200.





EK-A: ÖNERİLEN PSO MODELİ İLE ELDE EDİLEN SONUÇLAR

Tablo A-1 FT Problemlerinin PSO Modeli ile Elde Edilen Sonuçları

		Problemler		
		ft06	ft10	ft20
İş Sayısı		6	10	20
Tezgah Sayısı		6	10	5
Alt Sınır Değeri		55	930	1165
Üst Sınır değeri		55	930	1165
Tekrar Sayısı	Kullanılan Kök Sayı (Seed Number)			
1	8569	57	1082	1334
2	8570	59	1038	1294
3	8571	58	1006	1307
4	8572	55	996	1233
5	8573	55	1024	1275
6	8574	55	1032	1358
7	8575	55	1012	1287
8	8576	59	1084	1273
9	8577	55	1070	1267
10	8578	59	1052	1206
11	8579	57	1086	1332
12	8580	55	1045	1319
13	8581	55	1115	1369
14	8582	59	1042	1314
15	8583	58	1085	1263
16	8584	59	1009	1264
17	8585	58	1044	1323
18	8586	55	1044	1269
19	8587	55	1081	1293
20	8588	57	1036	1327
21	8589	55	1082	1332
22	8590	55	1047	1274
23	8591	57	1024	1301
24	8592	59	1044	1324
25	8593	59	1085	1292
26	8594	59	1091	1303
27	8595	59	1045	1271
28	8596	59	1066	1284
29	8597	55	1082	1246
30	8598	59	1030	1362
En İyi Değer		55	996	1206
En Kötü Değer		59	1115	1369
Ortalama		57.03	1052.63	1296.53
Standart Sapma		1.81	29.89	37.90
Ortalama Bağıl Hata		3.70	13.19	11.29
Ortalama CPU Değeri		1.40	35.96	36.56

Tablo A-2 LA Problemlerinin PSO Modeli ile Elde Edilen Sonuçları (a)

		Problemler									
		la01	la02	la03	la04	la05	la06	la07	la08	la09	la10
İş Sayısı		10	10	10	10	10	15	15	15	15	15
Tezgah Sayısı		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Alt Sınır Değeri		666	655	597	590	593	926	890	863	951	958
Üst Sınır değeri		666	655	597	590	593	926	890	863	951	958
Tekrar Sayısı	Kullanılan Kök Sayı (Seed Number)										
1	8569	667	665	632	620	593	926	890	863	951	958
2	8570	666	686	619	615	593	926	912	863	951	958
3	8571	666	682	620	632	593	926	890	863	951	958
4	8572	666	676	662	618	593	926	897	863	951	958
5	8573	666	692	606	595	593	926	890	863	951	958
6	8574	666	676	696	598	593	926	893	863	951	958
7	8575	678	736	649	607	593	926	910	867	951	958
8	8576	666	706	664	628	593	926	894	863	951	958
9	8577	666	710	617	611	593	926	890	863	951	958
10	8578	666	704	640	639	593	926	906	863	951	958
11	8579	688	667	654	607	593	926	896	863	951	958
12	8580	685	691	639	632	593	926	890	863	951	958
13	8581	666	703	664	632	593	926	890	863	951	958
14	8582	670	732	635	618	593	926	933	863	951	958
15	8583	688	663	626	615	593	926	893	863	951	958
16	8584	666	665	655	607	593	926	904	863	951	958
17	8585	678	667	643	619	593	926	890	863	951	958
18	8586	708	701	682	616	593	926	906	863	951	958
19	8587	692	686	649	607	593	926	890	863	951	958
20	8588	666	658	689	620	593	926	890	901	951	958
21	8589	688	667	628	611	593	926	899	863	951	958
22	8590	666	698	674	611	593	926	893	863	951	958
23	8591	668	672	626	619	593	926	910	863	951	958
24	8592	667	728	633	613	593	926	894	863	951	958
25	8593	666	655	648	607	593	926	890	863	951	958
26	8594	671	717	638	611	593	926	890	863	951	958
27	8595	678	667	606	639	593	926	894	863	951	958
28	8596	666	699	656	611	593	926	894	863	951	958
29	8597	666	713	642	598	593	926	890	863	951	958
30	8598	666	738	676	598	593	926	910	863	951	958
En İyi Değer		666	655	606	595	593	926	890	863	951	958
En Kötü Değer		708	738	696	639	593	926	933	901	951	958
Ortalama		672.73	690.67	645.60	615.13	593.00	926.00	897.27	864.40	951.00	958.00
Standart Sapma		10.78	24.44	23.29	11.68	0.00	0.00	10.02	6.95	0.00	0.00
Ortalama Bağlı Hata		1.01	5.45	8.14	4.26	0.00	0.00	0.82	0.16	0.00	0.00
Ortalama CPU Değeri		2.69	5.05	5.19	5.35	0.06	0.55	10.36	2.56	0.73	0.24

Tablo A-3 LA Problemlerinin PSO Modeli ile Elde Edilen Sonuçları (b)

		Problemler									
		la11	la12	la13	la14	la15	la16	la17	la18	la19	la20
İş Sayısı		20	20	20	20	20	10	10	10	10	10
Tezgah Sayısı		5	5	5	5	5	10	10	10	10	10
Alt Sınır Değeri		1222	1039	1150	1292	1207	945	784	848	842	902
Üst Sınır değeri		1222	1039	1150	1292	1207	945	784	848	842	902
Tekrar Sayısı	Kullanılan Kök Sayı (Seed Number)										
1	8569	1222	1039	1150	1292	1233	1046	820	901	890	939
2	8570	1222	1039	1150	1292	1212	1047	811	923	891	952
3	8571	1222	1039	1150	1292	1216	1018	809	861	912	934
4	8572	1222	1039	1150	1292	1273	1008	789	910	925	922
5	8573	1222	1039	1150	1292	1207	1007	803	890	915	991
6	8574	1222	1039	1150	1292	1241	993	793	916	875	953
7	8575	1222	1039	1150	1292	1207	1026	797	869	889	1022
8	8576	1222	1039	1150	1292	1243	1015	828	902	928	926
9	8577	1222	1039	1150	1292	1207	985	809	883	887	932
10	8578	1222	1039	1150	1292	1227	1002	799	892	886	920
11	8579	1222	1039	1150	1292	1207	982	831	887	884	1052
12	8580	1222	1039	1150	1292	1269	998	816	932	875	943
13	8581	1222	1039	1150	1292	1209	1022	818	873	891	914
14	8582	1222	1039	1150	1292	1214	1040	796	873	931	945
15	8583	1222	1039	1150	1292	1214	985	811	920	901	959
16	8584	1222	1039	1150	1292	1220	1032	815	942	889	922
17	8585	1222	1039	1150	1292	1209	1015	793	894	927	943
18	8586	1222	1039	1150	1292	1211	998	840	940	924	972
19	8587	1222	1039	1150	1292	1224	1002	793	894	950	942
20	8588	1222	1039	1150	1292	1241	1001	837	934	915	963
21	8589	1222	1039	1150	1292	1242	985	793	905	954	1002
22	8590	1222	1039	1150	1292	1207	1002	793	891	909	950
23	8591	1222	1039	1150	1292	1213	993	840	924	924	947
24	8592	1222	1039	1150	1292	1207	1031	821	861	910	1027
25	8593	1222	1039	1150	1292	1226	1058	818	946	922	956
26	8594	1222	1039	1150	1292	1248	1015	787	868	895	942
27	8595	1222	1039	1150	1292	1315	999	793	871	874	949
28	8596	1222	1039	1150	1292	1242	1020	793	892	939	955
29	8597	1222	1039	1150	1292	1246	995	800	896	915	938
30	8598	1222	1039	1150	1292	1243	1005	858	881	888	956
En İyi Değer		1222	1039	1150	1292	1207	982	787	861	874	914
En Kötü Değer		1222	1039	1150	1292	1315	1058	858	946	954	1052
Ortalama		1222.00	1039.00	1150.00	1292.00	1229.10	1010.83	810.13	899.03	907.17	955.60
Standart Sapma		0.00	0.00	0.00	0.00	24.86	19.99	18.23	24.96	22.25	32.83
Ortalama Bağıl Hata		0.00	0.00	0.00	0.00	1.83	6.97	3.33	6.02	7.74	5.94
Ortalama CPU Değeri		2.34	1.70	2.14	0.50	32.00	35.31	34.22	35.44	35.46	36.51

Tablo A-4 LA Problemlerinin PSO Modeli ile Elde Edilen Sonuçları (c)

		Problemler									
		la21	la22	la23	la24	la25	la26	la27	la28	la29	la30
İş Sayısı		15	15	15	15	15	20	20	20	20	20
Tezgah Sayısı		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Alt Sınır Değeri		1046	927	1032	935	977	1218	1235	1216	1152	1355
Üst Sınır değeri		1046	927	1032	935	977	1218	1235	1216	1152	1355
Tekrar Sayısı	Kullanılan Kök Sayı (Seed Number)										
1	8569	1159	1034	1153	1067	1149	1365	1482	1388	1378	1474
2	8570	1159	1014	1096	1018	1090	1376	1389	1368	1405	1505
3	8571	1164	1105	1109	1035	1141	1396	1366	1337	1378	1542
4	8572	1203	1019	1076	1066	1092	1411	1376	1334	1344	1538
5	8573	1175	1092	1084	1023	1076	1402	1406	1407	1416	1614
6	8574	1162	1071	1072	1080	1148	1360	1428	1387	1402	1497
7	8575	1168	1043	1084	1056	1058	1391	1449	1335	1370	1529
8	8576	1199	976	1094	1073	1112	1321	1425	1377	1373	1524
9	8577	1150	1059	1094	1061	1164	1339	1447	1350	1341	1514
10	8578	1168	1060	1093	1049	1097	1447	1442	1374	1387	1509
11	8579	1125	1100	1073	1017	1076	1344	1445	1421	1414	1497
12	8580	1184	1083	1093	1023	1071	1303	1377	1348	1385	1457
13	8581	1187	1029	1117	1036	1107	1393	1391	1414	1344	1485
14	8582	1126	1088	1063	1092	1140	1332	1433	1339	1436	1510
15	8583	1181	1054	1081	1006	1101	1390	1439	1393	1364	1509
16	8584	1110	1043	1065	1127	1087	1324	1433	1417	1350	1482
17	8585	1143	1004	1116	1092	1111	1364	1479	1435	1350	1546
18	8586	1164	1031	1108	1055	1096	1371	1349	1403	1347	1492
19	8587	1143	1103	1086	1075	1075	1385	1389	1396	1379	1466
20	8588	1149	1099	1079	1103	1114	1376	1317	1352	1370	1486
21	8589	1220	1049	1154	1033	1064	1412	1398	1366	1404	1552
22	8590	1160	1037	1054	1066	1116	1383	1458	1348	1362	1591
23	8591	1149	1058	1108	1089	1103	1354	1456	1381	1398	1497
24	8592	1167	1030	1075	1023	1050	1338	1428	1382	1357	1473
25	8593	1173	1022	1114	1046	1103	1351	1441	1347	1383	1466
26	8594	1153	1034	1095	1046	1140	1409	1412	1362	1370	1535
27	8595	1206	1015	1078	1005	1104	1431	1444	1310	1364	1479
28	8596	1150	1017	1075	1065	1117	1358	1459	1374	1367	1437
29	8597	1145	1054	1068	1075	1136	1359	1457	1349	1420	1527
30	8598	1176	1048	1090	1063	1113	1332	1462	1453	1361	1475
En İyi Değer		1110	976	1054	1005	1050	1303	1317	1310	1341	1437
En Kötü Değer		1220	1105	1154	1127	1164	1447	1482	1453	1436	1614
Ortalama		1163.93	1049.03	1091.57	1055.50	1105.03	1370.57	1422.57	1374.90	1377.30	1506.93
Standart Sapma		24.50	32.51	23.43	29.91	28.78	34.11	39.36	33.57	25.13	38.58
Ortalama Bağıl Hata		11.27	13.16	5.77	12.89	13.10	12.53	15.19	13.07	19.56	11.21
Ortalama CPU Değeri		104.59	103.95	106.10	104.56	102.10	232.04	234.53	232.26	228.17	233.49

Tablo A-5 LA Problemlerinin PSO Modeli ile Elde Edilen Sonuçları (d)

		Problemler									
		la31	la32	la33	la34	la35	la36	la37	la38	la39	la40
İş Sayısı		30	30	30	30	30	15	15	15	15	15
Tezgah Sayısı		10	10	10	10	10	15	15	15	15	15
Alt Sınır Değeri		1784	1850	1719	1721	1888	1268	1397	1196	1233	1222
Üst Sınır değeri		1784	1850	1719	1721	1888	1268	1397	1196	1233	1222
Tekrar Sayısı	Kullanılan Kök Sayı (Seed Number)										
1	8569	1891	1878	1809	1861	2086	1403	1672	1423	1412	1415
2	8570	1787	1988	1815	1931	2016	1412	1558	1402	1472	1381
3	8571	1915	1878	1812	1812	2038	1402	1546	1420	1420	1459
4	8572	1867	1965	1863	1894	2003	1463	1611	1391	1360	1393
5	8573	1847	2007	1783	1866	1959	1440	1621	1356	1433	1373
6	8574	1915	1966	1804	1870	2026	1471	1644	1408	1415	1405
7	8575	1848	1893	1800	1864	2039	1470	1609	1481	1482	1362
8	8576	1829	1957	1817	1800	2012	1417	1561	1355	1376	1429
9	8577	1898	1990	1788	1857	1988	1408	1680	1455	1399	1425
10	8578	1898	2039	1860	1850	2017	1420	1751	1335	1421	1373
11	8579	1880	1975	1793	1898	2068	1423	1651	1452	1415	1373
12	8580	1870	1960	1832	1870	2053	1444	1600	1480	1480	1397
13	8581	1831	2067	1770	1866	1993	1411	1590	1381	1482	1347
14	8582	1826	1972	1801	1830	2012	1519	1572	1409	1515	1356
15	8583	1818	1915	1860	1890	2003	1357	1559	1431	1451	1346
16	8584	1831	1918	1813	1860	1939	1422	1626	1427	1387	1449
17	8585	1844	1965	1769	1891	1901	1368	1605	1410	1419	1426
18	8586	1877	2017	1812	1845	2055	1484	1562	1423	1460	1468
19	8587	1874	1997	1803	1831	1982	1452	1623	1369	1435	1396
20	8588	1909	1971	1836	1835	1974	1395	1643	1417	1419	1427
21	8589	1821	1972	1829	1874	1942	1489	1584	1408	1469	1455
22	8590	1927	1944	1776	1836	2022	1438	1610	1416	1309	1463
23	8591	1906	1977	1806	1905	1978	1386	1606	1334	1445	1426
24	8592	1811	2015	1727	1804	2034	1404	1621	1331	1385	1416
25	8593	1864	1980	1770	1893	2041	1455	1648	1298	1470	1409
26	8594	1908	1895	1747	1947	2051	1435	1598	1428	1408	1447
27	8595	1930	1971	1777	1889	2024	1413	1691	1389	1488	1425
28	8596	1830	1962	1760	1906	2042	1447	1537	1487	1459	1451
29	8597	1844	1974	1778	1853	1975	1450	1613	1386	1450	1412
30	8598	1869	1991	1826	1873	1964	1469	1668	1346	1476	1419
En İyi Değer		1787	1878	1727	1800	1901	1357	1537	1298	1309	1346
En Kötü Değer		1930	2067	1863	1947	2086	1519	1751	1487	1515	1468
Ortalama		1865.50	1966.63	1801.20	1866.70	2007.90	1432.23	1615.33	1401.60	1433.73	1410.77
Standart Sapma		38.45	44.26	32.51	34.65	41.90	36.49	47.70	46.73	44.29	35.15
Ortalama Bağıl Hata		4.57	6.30	4.78	8.47	6.35	12.95	15.63	17.19	16.28	15.45
Ortalama CPU Değeri		747.28	753.82	749.02	754.93	749.77	332.98	332.14	331.53	322.35	321.78

Tablo A-6 ABZ Problemlerinin PSO Modeli ile Elde Edilen Sonuçları

		Problemler				
		abz5	abz6	abz7	abz8	abz9
İş Sayısı		10	10	20	20	20
Tezgah Sayısı		10	10	15	15	15
Alt Sınır Değeri		1234	943	656	646	662
Üst Sınır değeri		1234	943	656	665	679
Tekrar Sayısı	Kullanılan Kök Sayı (Seed Number)					
1	8569	1307	995	811	841	806
2	8570	1282	991	792	806	856
3	8571	1305	1003	799	808	840
4	8572	1271	979	813	860	879
5	8573	1350	999	809	831	833
6	8574	1280	998	759	817	852
7	8575	1261	997	841	831	830
8	8576	1290	989	795	818	863
9	8577	1332	987	759	864	876
10	8578	1326	997	770	806	835
11	8579	1319	994	767	824	807
12	8580	1333	966	783	799	824
13	8581	1313	996	776	818	824
14	8582	1329	1026	779	786	859
15	8583	1334	1015	785	791	823
16	8584	1308	1008	816	828	825
17	8585	1301	1022	804	820	850
18	8586	1261	1043	796	793	817
19	8587	1283	979	801	819	808
20	8588	1295	995	797	784	850
21	8589	1268	975	802	800	814
22	8590	1276	1005	796	831	817
23	8591	1277	1014	780	797	856
24	8592	1245	1025	780	837	814
25	8593	1285	983	775	813	830
26	8594	1276	993	764	815	831
27	8595	1307	979	805	830	822
28	8596	1324	1005	812	802	813
29	8597	1316	1005	797	809	829
30	8598	1261	999	769	804	808
En İyi Değer		1245	966	759	784	806
En Kötü Değer		1350	1043	841	864	879
Ortalama		1297.17	998.73	791.07	816.07	833.03
Standart Sapma		26.97	16.71	19.31	19.53	20.65
Ortalama Bağıl Hata		5.12	5.91	20.59	22.72	22.69
Ortalama CPU Değeri		35.02	34.49	753.70	747.66	757.01

Tablo A-7 ORB Problemlerinin PSO Modeli ile Elde Edilen Sonuçları

		Problemler									
		orb01	orb02	orb03	orb04	orb05	orb06	orb07	orb08	orb09	orb10
İş Sayısı		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Tezgah Sayısı		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Alt Sınır Değeri		1059	888	1005	1005	887	1010	397	899	934	944
Üst Sınır değeri		1059	888	1005	1005	887	1010	397	899	934	944
Tekrar Sayısı	Kullanılan Kök Sayı (Seed Number)										
1	8569	1209	917	1155	1100	1108	1110	435	1020	996	1020
2	8570	1180	954	1156	1073	951	1169	439	1073	1021	1027
3	8571	1146	994	1245	1115	993	1112	440	1002	970	971
4	8572	1168	950	1161	1067	993	1222	456	975	1018	1059
5	8573	1166	983	1189	1097	1040	1155	437	1041	1021	1002
6	8574	1147	962	1179	1066	992	1141	445	1018	987	1055
7	8575	1228	961	1163	1164	1028	1181	419	1139	978	1053
8	8576	1209	954	1192	1083	955	1091	440	1034	1024	1144
9	8577	1216	953	1192	1076	1072	1099	450	1087	993	1058
10	8578	1197	970	1260	1122	1013	1087	436	1030	1004	1074
11	8579	1198	926	1161	1052	990	1164	427	1049	1053	1045
12	8580	1198	1008	1203	1037	1006	1147	444	1038	1021	1012
13	8581	1240	975	1173	1104	997	1078	433	1072	975	1138
14	8582	1185	946	1176	1127	982	1093	416	1060	1024	1028
15	8583	1218	951	1164	1076	987	1128	457	1072	970	1021
16	8584	1215	979	1117	1062	1014	1204	435	1033	1006	1001
17	8585	1164	954	1165	1034	1041	1169	442	1050	1001	1014
18	8586	1228	941	1138	1062	1010	1074	443	994	1011	1039
19	8587	1185	954	1142	1118	1061	1138	416	1093	1016	1000
20	8588	1207	957	1139	1110	928	1162	422	997	970	1077
21	8589	1141	941	1141	1039	993	1112	450	1039	1047	1034
22	8590	1241	962	1156	1132	1052	1097	411	984	1021	967
23	8591	1148	939	1198	1113	1018	1203	438	1042	971	1039
24	8592	1187	977	1147	1151	964	1095	464	977	989	1058
25	8593	1176	1005	1215	1100	979	1111	438	1029	1052	1068
26	8594	1144	910	1182	1110	983	1147	437	975	1009	1060
27	8595	1179	938	1174	1094	976	1128	440	1063	996	1054
28	8596	1199	979	1169	1125	963	1077	461	1029	1039	999
29	8597	1181	975	1208	1089	1059	1156	426	1025	1015	989
30	8598	1204	941	1127	1102	974	1154	448	1059	1024	1023
En İyi Değer		1141	910	1117	1034	928	1074	411	975	970	967
En Kötü Değer		1241	1008	1260	1164	1108	1222	464	1139	1053	1144
Ortalama		1190.13	958.53	1172.90	1093.33	1004.07	1133.47	438.17	1036.63	1007.40	1037.63
Standart Sapma		28.71	23.20	32.23	32.69	39.92	40.45	13.19	37.87	24.33	40.42
Ortalama Bağıl Hata		12.38	7.94	16.71	8.79	13.20	12.22	10.37	15.31	7.86	9.92
Ortalama CPU Değeri		34.34	35.23	35.70	35.73	36.96	36.01	36.40	36.23	35.60	37.20

Tablo A-8 SWV Problemlerinin PSO Modeli ile Elde Edilen Sonuçları

		Problemler									
		swv01	swv02	swv03	swv04	swv05	swv06	swv07	swv08	swv09	swv10
İş Sayısı		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Tezgah Sayısı		10	10	10	10	10	15	15	15	15	15
Alt Sınır Değeri		1407	1475	1398	1450	1424	1591	1447	1641	1605	1632
Üst Sınır değeri		1407	1475	1398	1474	1424	1673	1600	1759	1661	1761
Tekrar Sayısı	Kullanılan Kök Sayı (Seed Number)										
1	8569	1843	1927	1773	1773	1832	2378	1978	2356	2398	2306
2	8570	1901	1945	1835	1835	1741	2208	2068	2259	2185	2261
3	8571	1824	1889	1800	1800	1916	2195	2083	2310	2199	2191
4	8572	1798	1794	1870	1870	1813	2253	2081	2309	2268	2156
5	8573	1812	1834	1851	1851	1833	2156	2125	2322	2172	2260
6	8574	1821	1918	1818	1818	1840	2245	2096	2483	2233	2176
7	8575	1901	1884	1736	1736	1763	2231	2049	2328	2214	2325
8	8576	1803	1862	1935	1935	1798	2185	2085	2243	2108	2385
9	8577	1882	1968	1864	1864	1855	2175	2182	2399	2267	2221
10	8578	1763	1959	1887	1887	1775	2246	2153	2410	2207	2342
11	8579	1917	1824	1868	1868	1824	2238	2150	2333	2201	2224
12	8580	1818	1909	1773	1773	1756	2151	2105	2337	2060	2227
13	8581	1927	1873	1842	1842	1886	2198	2074	2291	2189	2237
14	8582	1910	1832	1902	1902	1845	2234	2131	2398	2123	2219
15	8583	1947	1927	1816	1816	1845	2117	2116	2248	2180	2267
16	8584	1861	1837	1757	1757	1886	2189	2019	2343	2201	2264
17	8585	1870	1860	1887	1887	1871	2296	2070	2279	2190	2258
18	8586	1918	1922	1833	1833	1848	2227	2037	2350	2335	2204
19	8587	1767	1812	1776	1776	1805	2215	2055	2296	2160	2215
20	8588	1778	1871	1759	1759	1840	2249	2018	2322	2131	2258
21	8589	1792	1879	1724	1724	1814	2278	2081	2368	2193	2294
22	8590	2027	1868	1769	1769	1757	2194	2114	2371	2183	2271
23	8591	1839	1776	1779	1779	1807	2296	2003	2312	2124	2200
24	8592	1805	1824	1854	1854	1814	2247	2036	2354	2178	2237
25	8593	1863	1907	1921	1921	1856	2217	1975	2276	2163	2272
26	8594	1945	1906	1898	1898	1782	2138	2154	2269	2116	2283
27	8595	1835	1829	1714	1714	1875	2304	2073	2292	2155	2232
28	8596	1762	1879	1803	1803	1822	2174	2089	2242	2209	2297
29	8597	1838	1898	1800	1800	1875	2117	2132	2222	2148	2299
30	8598	1837	1938	1841	1841	1828	2232	2063	2324	2134	2268
En İyi Değer		1762	1776	1714	1714	1741	2117	1975	2222	2060	2156
En Kötü Değer		2027	1968	1935	1935	1916	2378	2182	2483	2398	2385
Ortalama		1853.47	1878.37	1822.83	1822.83	1826.73	2219.43	2079.83	2321.53	2187.47	2254.97
Standart Sapma		63.61	49.40	59.33	59.33	42.75	57.78	51.80	57.38	66.78	49.73
Ortalama Bağıl Hata		31.73	27.35	30.39	23.67	28.28	32.66	29.99	31.98	31.70	28.05
Ortalama CPU Değeri		224.92	224.02	224.89	224.87	222.96	706.81	702.88	701.83	716.22	697.42

Tablo A-9 YN Problemlerinin PSO Modeli ile Elde Edilen Sonuçları

		Problemler			
		yn1	yn2	yn3	yn4
İş Sayısı		20	20	20	20
Tezgah Sayısı		20	20	20	20
Alt Sınır Değeri		846	870	840	920
Üst Sınır değeri		885	909	892	968
Tekrar Sayısı	Kullanılan Kök Sayı (Seed Number)				
1	8569	1105	1133	1126	1198
2	8570	1135	1038	1130	1215
3	8571	1079	1104	1107	1285
4	8572	1106	1131	1121	1183
5	8573	1097	1134	1142	1217
6	8574	1116	1143	1130	1271
7	8575	1116	1075	1134	1323
8	8576	1088	1106	1123	1232
9	8577	1093	1099	1107	1241
10	8578	1052	1128	1082	1235
11	8579	1080	1181	1154	1243
12	8580	1053	1118	1134	1220
13	8581	1117	1165	1104	1208
14	8582	1076	1134	1085	1229
15	8583	1078	1139	1073	1323
16	8584	1078	1138	1105	1249
17	8585	1145	1145	1074	1194
18	8586	1176	1090	1076	1232
19	8587	1096	1169	1094	1210
20	8588	1149	1087	1094	1248
21	8589	1040	1099	1099	1232
22	8590	1084	1165	1113	1318
23	8591	1124	1166	1132	1268
24	8592	1095	1160	1137	1202
25	8593	1070	1095	1121	1292
26	8594	1120	1143	1115	1201
27	8595	1089	1095	1112	1213
28	8596	1117	1138	1151	1188
29	8597	1149	1104	1063	1256
30	8598	1092	1090	1081	1208
En İyi Değer		1040	1038	1063	1183
En Kötü Değer		1176	1181	1154	1323
Ortalama		1100.50	1123.73	1110.63	1237.80
Standart Sapma		31.09	32.90	24.56	39.38
Ortalama Bağıl Hata		24.35	23.62	24.51	27.87
Ortalama CPU Değeri		1757.27	1738.68	1739.66	1749.21

Tablo A-10 TA Problemlerinin PSO Modeli ile Elde Edilen Sonuçları (a)

		Problemler									
		ta01	ta02	ta03	ta04	ta05	ta06	ta07	ta08	ta09	ta10
İş Sayısı		15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Tezgah Sayısı		15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Alt Sınır Değeri		1231	1244	1218	1175	1224	1238	1227	1217	1274	1241
Üst Sınır değeri		1231	1244	1218	1175	1224	1238	1227	1217	1274	1241
Tekrar Sayısı	Kullanılan Kök Sayı (Seed Number)										
1	8569	1489	1433	1378	1464	1466	1404	1355	1398	1558	1442
2	8570	1484	1437	1410	1454	1519	1415	1407	1379	1482	1475
3	8571	1418	1427	1411	1452	1371	1426	1370	1380	1494	1491
4	8572	1483	1413	1427	1456	1465	1400	1416	1416	1543	1455
5	8573	1492	1496	1422	1352	1426	1366	1423	1484	1477	1452
6	8574	1404	1459	1399	1433	1455	1419	1412	1426	1511	1407
7	8575	1428	1507	1393	1415	1434	1425	1351	1368	1525	1463
8	8576	1437	1438	1370	1359	1389	1373	1418	1416	1589	1362
9	8577	1358	1420	1491	1387	1396	1368	1450	1343	1501	1409
10	8578	1450	1445	1420	1362	1392	1413	1407	1393	1411	1429
11	8579	1472	1418	1353	1291	1399	1480	1443	1406	1496	1436
12	8580	1443	1414	1413	1385	1434	1381	1424	1429	1451	1461
13	8581	1398	1417	1435	1471	1373	1430	1394	1389	1497	1389
14	8582	1409	1401	1393	1421	1420	1422	1421	1386	1546	1387
15	8583	1439	1385	1370	1372	1392	1396	1424	1392	1452	1374
16	8584	1474	1427	1383	1381	1523	1454	1483	1432	1427	1417
17	8585	1479	1377	1406	1389	1396	1474	1381	1436	1526	1450
18	8586	1464	1451	1368	1434	1452	1384	1363	1445	1451	1416
19	8587	1471	1404	1458	1399	1359	1444	1366	1435	1514	1436
20	8588	1410	1450	1382	1413	1402	1403	1428	1473	1467	1434
21	8589	1436	1325	1438	1449	1533	1333	1308	1407	1435	1387
22	8590	1474	1411	1469	1497	1419	1421	1391	1429	1609	1371
23	8591	1404	1408	1421	1406	1465	1443	1326	1393	1464	1449
24	8592	1349	1480	1426	1461	1449	1400	1426	1477	1503	1446
25	8593	1399	1420	1418	1375	1414	1454	1445	1395	1497	1436
26	8594	1405	1494	1408	1386	1405	1390	1406	1475	1547	1401
27	8595	1391	1394	1382	1406	1444	1418	1389	1461	1530	1441
28	8596	1430	1462	1400	1435	1394	1437	1439	1465	1419	1475
29	8597	1358	1381	1315	1370	1405	1450	1429	1392	1517	1412
30	8598	1417	1375	1401	1434	1467	1371	1402	1393	1476	1434
En İyi Değer		1349	1325	1315	1291	1359	1333	1308	1343	1411	1362
En Kötü Değer		1492	1507	1491	1497	1533	1480	1483	1484	1609	1491
Ortalama		1432.17	1425.63	1405.33	1410.30	1428.60	1413.13	1403.23	1417.10	1497.17	1427.90
Standart Sapma		40.72	39.56	35.01	44.13	44.48	33.93	38.12	35.90	48.05	32.87
Ortalama Bağıl Hata		16.34	14.60	15.38	20.03	16.72	14.15	14.36	16.44	17.52	15.06
Ortalama CPU Değeri		332.59	326.79	320.30	333.92	331.54	331.80	325.76	326.46	330.96	318.94

Tablo A-11 TA Problemlerinin PSO Modeli ile Elde Edilen Sonuçları (b)

		Problemler									
		ta11	ta12	ta13	ta14	ta15	ta16	ta17	ta18	ta19	ta20
İş Sayısı		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Tezgah Sayısı		15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Alt Sınır Değeri		1323	1351	1282	1345	1304	1302	1462	1369	1297	1318
Üst Sınır değeri		1358	1367	1342	1345	1340	1360	1462	1396	1335	1351
Tekrar Sayısı	Kullanılan Kök Sayı (Seed Number)										
1	8569	1678	1706	1622	1587	1661	1569	1687	1751	1640	1661
2	8570	1632	1803	1665	1608	1634	1611	1718	1732	1701	1694
3	8571	1768	1740	1682	1557	1634	1682	1789	1687	1633	1706
4	8572	1696	1822	1604	1618	1621	1651	1678	1717	1693	1607
5	8573	1669	1761	1670	1607	1673	1665	1758	1665	1701	1765
6	8574	1671	1677	1664	1556	1682	1649	1690	1773	1646	1652
7	8575	1755	1687	1567	1638	1669	1633	1735	1692	1632	1645
8	8576	1655	1683	1678	1509	1723	1612	1780	1665	1712	1601
9	8577	1657	1682	1650	1568	1623	1687	1693	1601	1670	1656
10	8578	1629	1749	1643	1573	1692	1643	1741	1762	1617	1669
11	8579	1709	1707	1586	1631	1714	1626	1766	1672	1598	1655
12	8580	1581	1747	1590	1609	1677	1679	1698	1672	1661	1652
13	8581	1693	1685	1630	1533	1677	1641	1763	1680	1603	1625
14	8582	1670	1680	1653	1614	1672	1653	1778	1659	1632	1657
15	8583	1602	1608	1648	1657	1598	1642	1673	1744	1627	1664
16	8584	1769	1705	1642	1534	1708	1706	1666	1758	1630	1590
17	8585	1689	1674	1663	1595	1684	1654	1683	1774	1602	1641
18	8586	1715	1694	1685	1586	1714	1743	1763	1727	1610	1590
19	8587	1606	1673	1687	1613	1702	1654	1780	1685	1643	1693
20	8588	1694	1599	1591	1552	1684	1653	1701	1690	1638	1617
21	8589	1638	1727	1550	1613	1672	1631	1749	1712	1615	1600
22	8590	1761	1700	1567	1692	1691	1712	1730	1704	1687	1584
23	8591	1668	1625	1582	1616	1644	1680	1711	1735	1665	1630
24	8592	1656	1654	1639	1693	1703	1614	1762	1727	1654	1701
25	8593	1617	1702	1645	1612	1636	1661	1712	1752	1607	1696
26	8594	1650	1645	1717	1643	1686	1659	1763	1640	1598	1778
27	8595	1641	1683	1712	1564	1659	1553	1743	1700	1648	1604
28	8596	1685	1688	1584	1653	1637	1751	1700	1719	1664	1682
29	8597	1659	1706	1603	1631	1680	1721	1746	1675	1656	1656
30	8598	1630	1674	1599	1622	1632	1669	1767	1767	1633	1699
En İyi Değer		1581	1599	1550	1509	1598	1553	1666	1601	1598	1584
En Kötü Değer		1769	1822	1717	1693	1723	1751	1789	1774	1712	1778
Ortalama		1671.43	1696.20	1633.93	1602.80	1669.40	1656.80	1730.77	1707.90	1643.87	1655.67
Standart Sapma		48.42	49.06	44.84	44.23	31.68	43.99	37.19	42.78	32.31	48.13
Ortalama Bağıl Hata		23.08	24.08	21.75	19.17	24.58	21.82	18.38	22.34	23.14	22.55
Ortalama CPU Değeri		742.90	753.84	755.08	753.13	747.95	745.72	742.95	751.47	747.78	742.97

Tablo A-12 TA Problemlerinin PSO Modeli ile Elde Edilen Sonuçları (c)

		Problemler									
		ta21	ta22	ta23	ta24	ta25	ta26	ta27	ta28	ta29	ta30
İş Sayısı		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Tezgah Sayısı		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Alt Sınır Değeri		1539	1511	1472	1602	1504	1539	1616	1591	1514	1472
Üst Sınır değeri		1644	1600	1557	1647	1595	1645	1680	1614	1625	1584
Tekrar Sayısı	Kullanılan Kök Sayı (Seed Number)										
1	8569	1955	1910	1946	2046	1970	2078	2057	1963	1988	2023
2	8570	1961	1980	1902	2042	1969	2096	2198	1946	2099	1982
3	8571	2091	2014	2029	2060	1966	2004	2035	2034	2166	1954
4	8572	2004	2116	2022	2011	2093	2060	2121	1975	1894	1965
5	8573	2015	2012	2077	2131	2068	2031	2121	1937	2031	2020
6	8574	2037	1941	1886	1935	1987	2012	1948	2089	1989	2050
7	8575	1978	2027	1903	1989	1914	2060	2140	1975	1999	2100
8	8576	2030	2011	1911	2054	2054	1992	2042	1946	1950	1971
9	8577	2052	2012	1962	2013	1964	2104	2100	2003	2085	2008
10	8578	2049	1945	2062	1952	1959	1987	2096	1960	1909	1953
11	8579	2101	2031	1985	2031	1979	2033	2097	2045	2058	2007
12	8580	2041	1927	1962	2030	2093	2058	2079	1946	2019	1929
13	8581	1975	1931	2049	2036	1959	1956	2100	2108	1978	1948
14	8582	2018	1954	2017	2056	2020	2139	2056	1963	1954	2194
15	8583	2045	1999	1944	1969	1904	2126	2046	2046	2017	1963
16	8584	2049	1961	1869	1981	1912	2140	2106	2019	2040	2020
17	8585	1994	2010	1939	2043	1941	2035	2088	1977	1997	2095
18	8586	2004	1974	1924	2094	1931	2135	2172	2015	2006	2072
19	8587	1953	2043	1888	2003	1975	2005	2114	1954	1912	1985
20	8588	2075	2049	2011	1983	1933	2094	2168	2051	2125	1939
21	8589	1951	2048	1951	1995	1954	2075	2252	2053	1945	2045
22	8590	2069	2060	1956	2166	2014	2064	2196	2011	2096	2029
23	8591	2006	2028	1908	2079	1961	1978	2068	2076	2001	1924
24	8592	2043	1975	2029	1967	2016	1983	2095	2012	2024	1884
25	8593	2014	2036	2022	2064	1992	2092	2087	2011	2009	1932
26	8594	2023	1971	2031	1960	2032	2009	2114	2022	2005	1980
27	8595	2079	2035	1971	2020	1924	2103	2071	2048	1924	2042
28	8596	2146	2027	1966	1971	1955	2030	2080	2042	1990	1924
29	8597	2104	2063	1965	1980	1910	2080	2138	1994	2089	1961
30	8598	2068	2048	2007	2052	1996	2029	2136	1997	2051	2021
En İyi Değer		1951	1910	1869	1935	1904	1956	1948	1937	1894	1884
En Kötü Değer		2146	2116	2077	2166	2093	2140	2252	2108	2166	2194
Ortalama		2031.00	2004.60	1969.80	2023.77	1978.17	2052.93	2104.03	2007.27	2011.67	1997.33
Standart Sapma		48.78	47.91	56.69	52.88	51.87	51.83	57.94	45.87	65.57	64.85
Ortalama Bağıl Hata		23.54	25.29	26.51	22.88	24.02	24.80	25.24	24.37	23.79	26.09
Ortalama CPU Değeri		1768.51	1738.55	1750.89	1743.06	1759.31	1770.64	1755.84	1753.27	1748.39	1774.53

Tablo A-13 DMU Problemlerinin PSO Modeli ile Elde Edilen Sonuçları (a)

		Problemler									
		dmu01	dmu02	dmu03	dmu04	dmu05	dmu06	dmu07	dmu08	dmu09	dmu10
İş Sayısı		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Tezgah Sayısı		15	15	15	15	15	20	20	20	20	20
Alt Sınır Değeri		2501	2651	2731	2601	2749	2834	2677	2901	2739	2716
Üst Sınır değeri		2563	2706	2731	2669	2749	3252	3063	3199	3092	2985
Tekrar Sayısı	Kullanılan Kök Sayı (Seed Number)										
1	8569	3284	3440	3286	3404	3343	4512	3862	3711	3803	4010
2	8570	3274	3316	3303	3119	3492	4131	3946	4001	3826	3671
3	8571	3248	3460	3322	3377	3414	3856	3717	4058	3750	3950
4	8572	3326	3430	3522	3301	3381	3962	3912	3946	3802	3554
5	8573	3314	3524	3256	3236	3376	3927	3822	3798	3783	3734
6	8574	3207	3332	3222	3200	3292	3992	3865	3984	3843	3624
7	8575	3052	3445	3216	3360	3288	4410	3779	4079	3840	3814
8	8576	3256	3511	3380	3336	3559	4101	3757	3823	3989	3578
9	8577	3088	3354	3388	3215	3418	3896	3966	3918	3848	3684
10	8578	3268	3362	3375	3214	3422	3921	3726	4140	3844	3876
11	8579	3373	3164	3618	3230	3427	4026	3825	3761	3883	3727
12	8580	3210	3398	3282	3361	3352	3935	3993	3794	4007	3761
13	8581	2973	3221	3210	3311	3423	4039	3978	3812	3797	3799
14	8582	3136	3240	3187	3327	3367	4184	3880	3939	3761	3682
15	8583	3272	3345	3265	3299	3500	4011	3903	4028	3865	3711
16	8584	3072	3346	3307	3248	3393	4317	3911	3853	3811	3609
17	8585	3089	3254	3418	3175	3296	4042	3689	3841	4004	3681
18	8586	3151	3244	3322	3321	3497	4065	3941	3952	3739	3737
19	8587	3309	3453	3233	3323	3504	4128	3818	4002	3915	3718
20	8588	3194	3485	3256	3387	3528	3947	3838	3740	3782	3694
21	8589	3150	3284	3385	3340	3370	4113	3906	4001	3849	4029
22	8590	3281	3520	3362	3246	3396	4385	3780	3896	3693	3758
23	8591	3157	3402	3291	3346	3413	4109	3911	4075	3798	3794
24	8592	3250	3359	3333	3363	3329	4055	4032	4037	3969	3907
25	8593	3147	3380	3327	3298	3417	4311	3809	4067	4072	3631
26	8594	3267	3464	3252	3428	3325	4079	4065	3891	3926	3726
27	8595	3099	3427	3406	3229	3526	4063	4063	3859	4032	3519
28	8596	3254	3297	3370	3389	3455	4081	3970	3699	3661	3689
29	8597	2990	3341	3291	3347	3331	3727	3867	3943	3858	3721
30	8598	3091	3183	3269	3331	3276	4022	3870	3960	3911	3927
En İyi Değer		2973	3164	3187	3119	3276	3727	3689	3699	3661	3519
En Kötü Değer		3373	3524	3618	3428	3559	4512	4065	4140	4072	4029
Ortalama		3192.73	3366.03	3321.80	3302.03	3403.67	4078.23	3880.03	3920.27	3855.37	3743.83
Standart Sapma		103.06	99.54	92.37	74.85	77.89	171.11	98.41	118.87	100.09	127.01
Ortalama Bağıl Hata		24.57	24.39	21.63	23.72	23.81	25.41	26.67	22.55	24.69	25.42
Ortalama CPU Değeri		754.63	751.00	751.26	755.85	751.10	1771.19	1767.88	1758.96	1772.37	1758.18

Tablo A-14 DMU Problemlerinin PSO Modeli ile Elde Edilen Sonuçları (b)

		Problemler									
		dmu41	dmu42	dmu43	dmu44	dmu45	dmu46	dmu47	dmu48	dmu49	dmu50
İş Sayısı		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Tezgah Sayısı		15	15	15	15	15	20	20	20	20	20
Alt Sınır Değeri		2839	3066	3121	3112	2930	3425	3353	3317	3369	3379
Üst Sınır değeri		3275	3416	3455	3501	3273	4101	3973	3834	3765	3772
Tekrar Sayısı	Kullanılan Kök Sayı (Seed Number)										
1	8569	4246	4382	4489	4700	4426	5566	5500	5117	4971	5005
2	8570	4298	4399	4426	4515	4182	5324	5445	4937	5124	5241
3	8571	4235	4634	4574	4625	4234	5299	5047	4980	5026	5036
4	8572	4151	4464	4331	4634	4097	5208	5277	4973	5101	4918
5	8573	4177	4689	4622	4509	4200	5218	5094	4922	5168	4943
6	8574	4339	4377	4488	4547	4392	5465	5178	5155	5323	5117
7	8575	4201	4379	4610	4369	4316	5153	5290	4900	5027	5210
8	8576	4175	4311	4327	4508	4288	5241	5206	4887	5090	5102
9	8577	4368	4346	4646	4497	4325	5337	4952	5161	4985	4982
10	8578	4328	4673	4393	4417	4380	5267	5355	4947	5171	5165
11	8579	4039	4669	4486	4593	4531	5305	5288	5070	5257	5173
12	8580	4377	4456	4375	4298	4501	5504	5293	4789	4792	5096
13	8581	4370	4561	4408	4578	4245	5365	4883	4859	4983	4985
14	8582	4280	4273	4165	4603	4477	5591	5324	5099	5035	5067
15	8583	4174	4906	4622	4744	4672	5537	5160	5086	5186	4830
16	8584	4136	4491	4331	4448	4368	5598	5319	4854	5182	4935
17	8585	4146	4597	4512	4592	4481	5230	5155	5098	4797	5043
18	8586	4357	4448	4402	4451	4488	5534	5199	5198	5434	4978
19	8587	4316	4264	4599	4417	4240	5132	5462	4897	4961	5121
20	8588	4137	4521	4397	4356	4605	5263	5324	4776	5081	5241
21	8589	4319	4514	4520	4420	4427	5303	5242	5093	4702	5107
22	8590	4407	4494	4286	4593	4408	5460	5175	5121	4856	5113
23	8591	4398	4470	4455	4457	4380	5175	5355	5330	5046	5149
24	8592	4235	4606	4605	4463	4239	5345	5360	5201	5351	5115
25	8593	4190	4540	4405	4559	4327	5387	5379	4809	5013	5088
26	8594	4319	4384	4369	4465	4442	5348	5151	5336	5171	5268
27	8595	4099	4535	4457	4488	4577	5466	5125	4956	5141	5248
28	8596	4269	4469	4646	4473	4329	5702	5252	4869	4712	4720
29	8597	4389	4405	4312	4700	4408	5399	5225	4945	5218	4908
30	8598	4424	4653	4563	4561	4353	5327	5087	5028	5017	5120
En İyi Değer		4039	4264	4165	4298	4097	5132	4883	4776	4702	4720
En Kötü Değer		4424	4906	4646	4744	4672	5702	5500	5336	5434	5268
Ortalama		4263.30	4497.00	4460.70	4519.33	4377.93	5368.30	5236.73	5013.10	5064.03	5067.47
Standart Sapma		104.24	141.29	123.34	105.61	132.06	146.09	142.21	150.58	176.76	129.00
Ortalama Bağıl Hata		30.18	31.65	29.11	29.09	33.76	30.90	31.81	30.75	34.50	34.34
Ortalama CPU Değeri		740.13	753.54	760.86	755.42	752.32	1767.38	1790.94	1764.28	1761.73	1764.04

EK-B: GA MODELİ İLE ELDE EDİLEN SONUÇLAR

Tablo B-1 FT Problemlerinin GA Modeli ile Elde Edilen Sonuçları

		Problemler		
		ft06	ft10	ft20
İş Sayısı		6	10	20
Tezgah Sayısı		6	10	5
Alt Sınır Değeri		55	930	1165
Üst Sınır değeri		55	930	1165
Tekrar Sayısı	Kullanılan Kök Sayı (Seed Number)			
1	8569	57	1113	1398
2	8570	55	1113	1363
3	8571	55	1113	1351
4	8572	55	1113	1343
5	8573	57	1113	1343
6	8574	57	1064	1343
7	8575	55	1064	1342
8	8576	57	1045	1342
9	8577	57	1045	1342
10	8578	57	1045	1342
11	8579	55	1045	1342
12	8580	55	1045	1342
13	8581	55	1045	1342
14	8582	55	1045	1342
15	8583	55	1032	1342
16	8584	55	1032	1342
17	8585	55	1032	1342
18	8586	55	1032	1340
19	8587	55	1019	1340
20	8588	55	1019	1340
21	8589	55	1043	1392
22	8590	55	1038	1392
23	8591	55	1038	1351
24	8592	55	1038	1336
25	8593	55	1019	1336
26	8594	55	1019	1336
27	8595	55	1019	1336
28	8596	55	1019	1331
29	8597	55	1019	1331
30	8598	55	1019	1331
En İyi Değer		55	1019	1331
En Kötü Değer		57	1113	1398
Ortalama		55.40	1048.17	1346.50
Standart Sapma		0.81	32.04	17.27
Ortalama Bağıl Hata		0.73	12.71	15.58
Ortalama CPU Değeri		1.97	20.25	20.44

Tablo B-2 LA Problemlerinin GA Modeli ile Elde Edilen Sonuçları (a)

		Problemler									
		la01	la02	la03	la04	la05	la06	la07	la08	la09	la10
İş Sayısı		10	10	10	10	10	15	15	15	15	15
Tezgah Sayısı		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Alt Sınır Değeri		666	655	597	590	593	926	890	863	951	958
Üst Sınır değeri		666	655	597	590	593	926	890	863	951	958
Tekrar Sayısı	Kullanılan Kök Sayı (Seed Number)										
1	8569	713	723	674	632	593	926	933	863	951	958
2	8570	713	723	630	601	593	926	933	863	951	958
3	8571	666	720	617	601	593	926	933	863	951	958
4	8572	666	701	617	601	593	926	933	863	951	958
5	8573	666	701	617	601	593	926	933	863	951	958
6	8574	666	701	617	601	593	926	933	863	951	958
7	8575	666	701	617	601	593	926	922	863	951	958
8	8576	666	701	617	627	593	926	922	863	951	958
9	8577	666	699	617	620	593	926	897	863	951	958
10	8578	678	699	617	620	593	929	897	863	951	958
11	8579	678	699	617	620	593	926	897	863	951	958
12	8580	678	699	617	620	593	926	897	863	951	958
13	8581	678	699	617	620	593	926	897	863	951	958
14	8582	678	699	617	620	593	926	897	863	951	958
15	8583	678	699	617	620	593	926	897	863	951	958
16	8584	678	699	617	620	593	926	897	863	951	958
17	8585	678	699	617	620	593	926	897	863	951	958
18	8586	678	699	617	620	593	926	897	863	958	958
19	8587	678	699	617	620	593	926	897	863	951	958
20	8588	678	699	617	620	593	926	897	863	951	958
21	8589	678	699	617	620	593	926	897	863	951	958
22	8590	678	699	617	620	593	926	897	863	951	958
23	8591	678	699	617	620	593	926	897	863	951	958
24	8592	678	699	617	620	593	926	890	863	951	958
25	8593	678	699	617	620	593	926	890	863	951	958
26	8594	678	699	617	620	593	926	890	863	951	958
27	8595	678	699	617	620	593	926	890	863	951	958
28	8596	678	699	617	620	593	926	890	863	951	958
29	8597	678	674	617	620	593	926	890	863	951	958
30	8598	678	667	617	620	593	926	890	863	951	958
En İyi Değer		666	667	617	601	593	926	890	863	951	958
En Kötü Değer		713	723	674	632	593	929	933	863	958	958
Ortalama		677.53	699.73	619.33	616.83	593.00	926.10	904.23	863.00	951.23	958.00
Standart Sapma		10.91	10.58	10.59	8.42	0.00	0.55	16.40	0.00	1.28	0.00
Ortalama Bağıl Hata		1.73	6.83	3.74	4.55	0.00	0.01	1.60	0.00	0.02	0.00
Ortalama CPU Değeri		5.47	5.69	5.85	5.83	0.57	3.94	11.65	6.65	8.02	2.76

Tablo B-3 LA Problemlerinin GA Modeli ile Elde Edilen Sonuçları (b)

		Problemler									
		la11	la12	la13	la14	la15	la16	la17	la18	la19	la20
İş Sayısı		20	20	20	20	20	10	10	10	10	10
Tezgah Sayısı		5	5	5	5	5	10	10	10	10	10
Alt Sınır Değeri		1222	1039	1150	1292	1207	945	784	848	842	902
Üst Sınır değeri		1222	1039	1150	1292	1207	945	784	848	842	902
Tekrar Sayısı	Kullanılan Kök Sayı (Seed Number)										
1	8569	1264	1039	1150	1292	1265	1008	804	956	999	1054
2	8570	1222	1039	1150	1292	1225	1001	804	901	999	1017
3	8571	1222	1039	1150	1292	1218	1001	804	901	999	1017
4	8572	1222	1039	1150	1292	1218	1001	804	901	999	1017
5	8573	1222	1039	1150	1292	1218	1001	797	901	940	1017
6	8574	1222	1039	1150	1292	1218	1001	797	901	940	1017
7	8575	1222	1045	1214	1292	1218	1001	797	901	921	1017
8	8576	1222	1044	1182	1292	1218	1001	797	901	921	1017
9	8577	1222	1044	1150	1292	1207	1001	797	901	898	1017
10	8578	1222	1039	1150	1292	1207	1001	797	901	884	1017
11	8579	1222	1039	1150	1292	1207	1001	797	901	884	1017
12	8580	1222	1039	1150	1292	1207	1001	797	901	884	1017
13	8581	1222	1039	1150	1292	1207	1001	793	901	884	1017
14	8582	1222	1039	1150	1292	1207	1001	793	901	884	1017
15	8583	1222	1039	1150	1292	1207	1001	793	901	884	1017
16	8584	1222	1039	1150	1292	1207	1001	793	901	884	1017
17	8585	1222	1039	1150	1292	1207	982	793	901	884	1017
18	8586	1222	1039	1150	1292	1207	982	793	901	884	1017
19	8587	1222	1039	1150	1292	1207	982	793	901	884	1017
20	8588	1222	1039	1150	1292	1207	982	793	901	884	1017
21	8589	1222	1039	1150	1292	1207	982	789	901	857	1017
22	8590	1222	1039	1150	1292	1207	982	789	901	857	1017
23	8591	1222	1039	1150	1292	1207	982	789	901	857	994
24	8592	1222	1039	1150	1292	1207	982	789	901	857	994
25	8593	1222	1039	1150	1292	1207	982	789	901	857	994
26	8594	1222	1039	1152	1292	1207	982	789	901	857	994
27	8595	1222	1039	1150	1292	1207	982	789	901	857	994
28	8596	1222	1039	1150	1292	1207	982	789	901	857	994
29	8597	1222	1039	1150	1292	1207	982	789	901	857	994
30	8598	1222	1039	1150	1292	1207	982	789	901	857	994
En İyi Değer		1222	1039	1150	1292	1207	982	789	901	857	994
En Kötü Değer		1264	1045	1214	1292	1265	1008	804	956	999	1054
Ortalama		1223.40	1039.53	1153.27	1292.00	1211.73	992.37	794.20	902.83	897.00	1012.10
Standart Sapma		7.67	1.63	12.87	0.00	11.36	9.94	5.01	10.04	47.10	12.97
Ortalama Bağlı Hata		0.11	0.05	0.28	0.00	0.39	5.01	1.30	6.47	6.53	12.21
Ortalama CPU Değeri		8.65	12.30	11.56	3.01	20.32	20.02	20.02	19.99	19.96	20.01

Tablo B-4 LA Problemlerinin GA Modeli ile Elde Edilen Sonuçları (c)

		Problemler									
		la21	la22	la23	la24	la25	la26	la27	la28	la29	la30
İş Sayısı		15	15	15	15	15	20	20	20	20	20
Tezgah Sayısı		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Alt Sınır Değeri		1046	927	1032	935	977	1218	1235	1216	1152	1355
Üst Sınır değeri		1046	927	1032	935	977	1218	1235	1216	1152	1355
Tekrar Sayısı	Kullanılan Kök Sayı (Seed Number)										
1	8569	1274	1151	1205	1113	1129	1552	1457	1432	1424	1484
2	8570	1274	1151	1204	1107	1129	1525	1457	1388	1343	1469
3	8571	1274	1122	1204	1081	1129	1525	1457	1365	1339	1469
4	8572	1262	1122	1204	1081	1129	1470	1455	1365	1339	1469
5	8573	1262	1122	1173	1081	1124	1452	1455	1365	1332	1469
6	8574	1262	1122	1173	1078	1124	1452	1455	1365	1332	1469
7	8575	1262	1122	1173	1078	1124	1437	1446	1365	1332	1469
8	8576	1262	1122	1173	1078	1124	1414	1436	1365	1332	1469
9	8577	1262	1122	1173	1075	1124	1407	1429	1365	1332	1469
10	8578	1262	1122	1173	1066	1124	1405	1429	1365	1332	1469
11	8579	1262	1122	1157	1066	1124	1405	1429	1365	1332	1469
12	8580	1262	1122	1157	1066	1124	1405	1429	1365	1331	1469
13	8581	1262	1122	1157	1066	1124	1403	1429	1365	1331	1469
14	8582	1262	1122	1157	1025	1124	1403	1429	1365	1331	1469
15	8583	1262	1122	1157	1025	1124	1375	1429	1365	1331	1469
16	8584	1262	1122	1157	1014	1124	1375	1429	1365	1331	1469
17	8585	1262	1122	1157	1014	1124	1350	1429	1365	1331	1469
18	8586	1262	1122	1157	1031	1124	1346	1429	1365	1331	1469
19	8587	1262	1122	1157	1031	1124	1346	1429	1365	1331	1469
20	8588	1262	1122	1157	1031	1108	1346	1429	1365	1331	1469
21	8589	1262	1122	1157	1028	1108	1346	1429	1365	1331	1469
22	8590	1262	1122	1157	1028	1108	1346	1429	1365	1331	1469
23	8591	1254	1122	1157	1028	1108	1346	1429	1365	1331	1469
24	8592	1254	1122	1157	1026	1108	1346	1429	1365	1331	1469
25	8593	1254	1122	1157	1026	1108	1346	1429	1356	1331	1469
26	8594	1254	1122	1157	1026	1108	1346	1429	1356	1331	1469
27	8595	1254	1122	1157	1026	1108	1341	1429	1356	1331	1469
28	8596	1254	1122	1157	1026	1108	1341	1429	1356	1331	1469
29	8597	1254	1122	1157	1022	1108	1341	1439	1355	1331	1469
30	8598	1254	1122	1153	1014	1108	1341	1439	1351	1331	1469
En İyi Değer		1254	1122	1153	1014	1108	1341	1429	1351	1331	1469
En Kötü Değer		1274	1151	1205	1113	1129	1552	1457	1432	1424	1484
Ortalama		1261.07	1123.93	1166.37	1048.57	1118.80	1394.43	1435.87	1366.00	1335.27	1469.50
Standart Sapma		5.63	7.36	16.45	29.58	8.52	61.41	10.99	13.91	17.00	2.74
Ortalama Bağıl Hata		20.56	21.24	13.02	12.15	14.51	14.49	16.26	12.34	15.91	8.45
Ortalama CPU Değeri		44.44	44.43	44.41	44.24	44.46	80.97	80.82	80.85	81.07	80.96

Tablo B-5 LA Problemlerinin GA Modeli ile Elde Edilen Sonuçları (d)

		Problemler									
		la31	la32	la33	la34	la35	la36	la37	la38	la39	la40
İş Sayısı		30	30	30	30	30	15	15	15	15	15
Tezgah Sayısı		10	10	10	10	10	15	15	15	15	15
Alt Sınır Değeri		1784	1850	1719	1721	1888	1268	1397	1196	1233	1222
Üst Sınır değeri		1784	1850	1719	1721	1888	1268	1397	1196	1233	1222
Tekrar Sayısı	Kullanılan Kök Sayı (Seed Number)										
1	8569	2151	2086	1877	1858	2006	1757	1772	1488	1548	1537
2	8570	1928	2015	1822	1857	2006	1598	1772	1437	1548	1474
3	8571	1892	1996	1791	1820	1951	1598	1772	1437	1548	1464
4	8572	1889	1996	1759	1811	1951	1598	1754	1437	1548	1458
5	8573	1888	1996	1734	1767	1944	1598	1700	1437	1548	1458
6	8574	1888	1981	1720	1759	1912	1598	1687	1437	1548	1458
7	8575	1888	1970	1720	1759	1912	1598	1669	1437	1505	1434
8	8576	1888	1934	1720	1759	1912	1598	1669	1437	1458	1406
9	8577	1888	1933	1720	1759	1912	1554	1669	1437	1453	1406
10	8578	1888	1914	1720	1759	1912	1546	1669	1437	1415	1406
11	8579	1888	1896	1720	1759	1912	1491	1669	1437	1415	1404
12	8580	1877	1893	1720	1759	1912	1491	1669	1437	1415	1393
13	8581	1877	1892	1719	1759	1912	1491	1669	1437	1415	1386
14	8582	1872	1890	1720	1759	1912	1491	1669	1437	1415	1386
15	8583	1872	1890	1720	1759	1901	1491	1669	1429	1415	1382
16	8584	1872	1890	1719	1759	1898	1491	1669	1429	1415	1363
17	8585	1872	1890	1720	1759	1898	1491	1669	1429	1415	1360
18	8586	1872	1890	1720	1759	1898	1491	1669	1429	1415	1357
19	8587	1872	1890	1720	1759	1898	1491	1669	1429	1415	1357
20	8588	1872	1890	1720	1759	1898	1491	1669	1429	1415	1348
21	8589	1872	1890	1719	1759	1898	1491	1669	1429	1415	1348
22	8590	1872	1890	1719	1759	1892	1491	1669	1429	1415	1348
23	8591	1872	1890	1719	1759	1888	1491	1669	1429	1415	1348
24	8592	1872	1890	1719	1759	1888	1491	1669	1429	1415	1348
25	8593	1869	1890	1719	1759	1888	1491	1669	1402	1415	1343
26	8594	1869	1890	1719	1759	1888	1491	1669	1399	1415	1326
27	8595	1866	1890	1720	1756	1888	1491	1669	1399	1415	1321
28	8596	1844	1890	1719	1756	1888	1491	1669	1399	1415	1321
29	8597	1844	1890	1720	1756	1888	1491	1669	1399	1415	1321
30	8598	1844	1890	1720	1756	1888	1491	1669	1399	1415	1321
En İyi Değer		1844	1890	1719	1756	1888	1491	1669	1399	1415	1321
En Kötü Değer		2151	2086	1877	1858	2006	1757	1772	1488	1548	1537
Ortalama		1885.27	1921.07	1732.47	1769.20	1911.70	1528.77	1683.77	1428.53	1447.30	1386.07
Standart Sapma		52.73	51.82	35.80	28.04	31.10	63.00	34.14	18.13	54.53	55.25
Ortalama Bağıl Hata		5.68	3.84	0.78	2.80	1.26	20.57	20.53	19.44	17.38	13.43
Ortalama CPU Değeri		198.80	198.71	198.97	198.85	198.81	103.72	103.65	103.89	103.78	103.71

Tablo B-6 ABZ Problemlerinin GA Modeli ile Elde Edilen Sonuçları

		Problemler				
		abz5	abz6	abz7	abz8	abz9
İş Sayısı		10	10	20	20	20
Tezgah Sayısı		10	10	15	15	15
Alt Sınır Değeri		1234	943	656	646	662
Üst Sınır değeri		1234	943	656	665	679
Tekrar Sayısı	Kullanılan Kök Sayı (Seed Number)					
1	8569	1441	989	1044	856	837
2	8570	1441	989	1012	843	813
3	8571	1441	989	995	821	798
4	8572	1440	989	966	821	798
5	8573	1440	989	966	820	795
6	8574	1387	989	962	820	789
7	8575	1350	989	927	820	779
8	8576	1350	989	895	820	777
9	8577	1303	989	895	820	777
10	8578	1303	978	895	820	777
11	8579	1296	978	891	805	777
12	8580	1281	978	886	801	777
13	8581	1281	978	886	801	777
14	8582	1281	978	886	801	777
15	8583	1281	978	886	796	777
16	8584	1281	978	886	795	777
17	8585	1281	967	878	795	777
18	8586	1281	967	872	795	777
19	8587	1281	967	858	795	777
20	8588	1281	967	856	795	777
21	8589	1281	967	856	795	777
22	8590	1281	967	856	795	777
23	8591	1281	967	856	795	777
24	8592	1281	967	856	795	777
25	8593	1281	967	856	795	777
26	8594	1281	967	856	795	777
27	8595	1281	967	856	795	777
28	8596	1281	967	831	795	777
29	8597	1281	967	830	795	777
30	8598	1281	966	821	795	777
En İyi Değer		1281	966	821	795	777
En Kötü Değer		1441	989	1044	856	837
Ortalama		1317.70	976.13	893.87	806.33	782.67
Standart Sapma		61.28	9.65	55.71	16.06	13.50
Ortalama Bağıl Hata		6.78	3.51	36.26	21.25	15.27
Ortalama CPU Değeri		20.84	20.79	203.48	203.43	203.28

Tablo B-7 ORB Problemlerinin GA Modeli ile Elde Edilen Sonuçları

		Problemler									
		orb01	orb02	orb03	orb04	orb05	orb06	orb07	orb08	orb09	orb10
İş Sayısı		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Tezgah Sayısı		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Alt Sınır Değeri		1059	888	1005	1005	887	1010	397	899	934	944
Üst Sınır değeri		1059	888	1005	1005	887	1010	397	899	934	944
Tekrar Sayısı	Kullanılan Kök Sayı (Seed Number)										
1	8569	1263	993	1271	1087	1067	1207	482	1132	1073	1169
2	8570	1215	993	1214	1087	1067	1202	482	1132	998	1099
3	8571	1192	993	1214	1087	1067	1178	463	1132	998	1099
4	8572	1192	991	1201	1087	1043	1178	461	1132	998	1099
5	8573	1192	962	1201	1070	1040	1178	461	1132	998	1099
6	8574	1192	962	1201	1070	1040	1178	461	1118	998	1099
7	8575	1192	962	1201	1070	1040	1178	461	1118	998	1099
8	8576	1192	962	1201	1070	1040	1178	461	1118	992	1099
9	8577	1192	962	1201	1070	1040	1178	458	1118	992	1099
10	8578	1192	962	1201	1070	1024	1178	458	1080	992	1099
11	8579	1192	962	1201	1070	1024	1172	457	1077	992	1099
12	8580	1192	962	1201	1070	1024	1170	453	1077	992	1099
13	8581	1192	962	1201	1070	1024	1170	453	1053	992	1099
14	8582	1192	962	1201	1070	1024	1170	453	1053	992	1066
15	8583	1192	962	1201	1070	1024	1170	453	1053	992	1066
16	8584	1192	962	1201	1070	1024	1170	453	1053	992	967
17	8585	1192	962	1201	1070	1024	1153	453	1053	992	967
18	8586	1192	962	1201	1070	1024	1153	453	1053	992	967
19	8587	1192	962	1201	1070	1024	1153	453	1053	992	967
20	8588	1192	962	1201	1070	1024	1153	453	1053	992	967
21	8589	1220	953	1199	1088	1052	1153	453	1026	992	1026
22	8590	1220	953	1199	1065	1035	1153	453	1001	992	1011
23	8591	1207	953	1199	1065	1035	1153	453	985	992	1011
24	8592	1207	953	1199	1065	1035	1153	440	985	992	1011
25	8593	1188	953	1199	1065	1035	1153	440	985	992	1011
26	8594	1188	953	1195	1065	1035	1153	440	985	992	1011
27	8595	1180	945	1195	1065	1035	1153	440	985	992	1011
28	8596	1165	945	1195	1065	1018	1153	440	985	992	1011
29	8597	1165	945	1195	1065	1013	1153	440	985	992	1008
30	8598	1165	945	1195	1065	990	1141	440	985	992	1008
En İyi Değer		1165	945	1195	1065	990	1141	440	985	992	967
En Kötü Değer		1263	993	1271	1088	1067	1207	482	1132	1073	1169
Ortalama		1194.63	962.00	1202.87	1071.37	1033.03	1166.17	454.03	1056.57	995.90	1048.10
Standart Sapma		18.33	13.60	13.56	7.54	16.15	15.61	10.70	55.72	14.76	56.50
Ortalama Bağıl Hata		12.81	8.33	19.69	6.60	16.46	15.46	14.37	17.53	6.63	11.03
Ortalama CPU Değeri		20.23	20.04	20.27	20.11	20.07	20.16	20.06	20.28	20.10	20.05

Tablo B-8 SWV Problemlerinin GA Modeli ile Elde Edilen Sonuçları

		Problemler									
		swv01	swv02	swv03	swv04	swv05	swv06	swv07	swv08	swv09	swv10
İş Sayısı		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Tezgah Sayısı		10	10	10	10	10	15	15	15	15	15
Alt Sınır Değeri		1407	1475	1398	1450	1424	1591	1447	1641	1605	1632
Üst Sınır değeri		1407	1475	1398	1474	1424	1673	1600	1759	1661	1761
Tekrar Sayısı	Kullanılan Kök Sayı (Seed Number)										
1	8569	1811	1823	1784	1727	1780	2931	2129	2182	2120	2100
2	8570	1778	1759	1766	1727	1737	2772	2053	2154	2117	2100
3	8571	1746	1759	1766	1727	1737	2312	2022	2139	2117	2129
4	8572	1746	1754	1766	1727	1735	2258	2022	2139	2117	2126
5	8573	1746	1754	1766	1727	1730	2258	2022	2130	2117	2123
6	8574	1725	1754	1766	1727	1730	2255	2022	2130	2113	2123
7	8575	1725	1754	1766	1727	1730	2244	2017	2130	2113	2095
8	8576	1706	1754	1761	1727	1730	2238	1967	2130	2113	2095
9	8577	1706	1754	1743	1722	1730	2235	1967	2130	2113	2095
10	8578	1697	1754	1743	1696	1730	2210	1967	2130	2113	2091
11	8579	1693	1754	1743	1690	1730	2201	1967	2130	2113	2064
12	8580	1688	1719	1743	1690	1730	2201	1967	2130	2113	2052
13	8581	1688	1719	1743	1690	1730	2163	1967	2130	2093	2027
14	8582	1688	1719	1743	1690	1730	2160	1967	2130	2076	2027
15	8583	1688	1719	1743	1690	1730	2160	1967	2130	2062	2027
16	8584	1688	1719	1743	1690	1730	2159	1967	2130	2062	2027
17	8585	1688	1719	1743	1690	1730	2159	1967	2130	2062	2027
18	8586	1688	1719	1743	1690	1730	2158	1967	2130	2043	2027
19	8587	1688	1719	1743	1690	1730	2158	1967	2130	2036	2027
20	8588	1688	1719	1743	1690	1680	2158	1967	2130	2036	2027
21	8589	1688	1719	1743	1690	1678	2158	1967	2130	2036	2027
22	8590	1688	1719	1743	1690	1678	2158	1967	2130	2036	2027
23	8591	1688	1719	1743	1690	1678	2143	1967	2130	2036	2027
24	8592	1688	1719	1743	1682	1678	2143	1967	2130	2033	2027
25	8593	1688	1719	1743	1682	1678	2143	1967	2130	2033	2027
26	8594	1688	1719	1727	1682	1678	2143	1967	2130	2033	2027
27	8595	1688	1719	1727	1682	1678	2143	1967	2130	2033	2027
28	8596	1688	1719	1727	1682	1678	2143	1967	2130	2033	2027
29	8597	1688	1719	1727	1682	1685	2143	1967	2130	2032	2027
30	8598	1688	1719	1727	1682	1685	2143	1967	2130	2032	2027
En İyi Değer		1688	1719	1727	1682	1678	2143	1967	2130	2032	2027
En Kötü Değer		1811	1823	1784	1727	1780	2931	2129	2182	2120	2129
Ortalama		1705.03	1734.47	1746.90	1699.27	1713.77	2228.33	1984.27	2133.13	2072.87	2055.97
Standart Sapma		31.13	23.95	14.39	18.46	28.10	176.87	36.81	10.42	37.61	38.99
Ortalama Bağlı Hata		21.18	17.59	24.96	15.28	20.35	33.19	24.02	21.27	24.80	16.75
Ortalama CPU Değeri		81.69	81.51	81.61	81.60	81.61	197.09	197.30	197.07	197.46	196.94

Tablo B-9 YN Problemlerinin GA Modeli ile Elde Edilen Sonuçları

		Problemler			
		yn1	yn2	yn3	yn4
İş Sayısı		20	20	20	20
Tezgah Sayısı		20	20	20	20
Alt Sınır Değeri		846	870	840	920
Üst Sınır değeri		885	909	892	968
Tekrar Sayısı	Kullanılan Kök Sayı (Seed Number)				
1	8569	1817	1159	1128	1295
2	8570	1524	1155	1099	1256
3	8571	1404	1155	1099	1256
4	8572	1267	1155	1093	1256
5	8573	1246	1155	1083	1256
6	8574	1246	1155	1063	1256
7	8575	1246	1155	1063	1256
8	8576	1238	1155	1063	1256
9	8577	1177	1155	1063	1256
10	8578	1172	1155	1063	1256
11	8579	1139	1155	1063	1256
12	8580	1137	1155	1063	1245
13	8581	1109	1155	1063	1245
14	8582	1108	1155	1063	1245
15	8583	1107	1155	1063	1237
16	8584	1107	1155	1063	1220
17	8585	1107	1155	1063	1220
18	8586	1107	1155	1059	1220
19	8587	1107	1155	1059	1220
20	8588	1107	1155	1059	1220
21	8589	1107	1155	1059	1220
22	8590	1107	1155	1059	1202
23	8591	1107	1155	1059	1181
24	8592	1107	1144	1059	1181
25	8593	1105	1135	1059	1180
26	8594	1097	1135	1059	1180
27	8595	1089	1135	1056	1180
28	8596	1088	1130	1056	1180
29	8597	1088	1130	1056	1180
30	8598	1088	1129	1056	1174
En İyi Değer		1088	1129	1056	1174
En Kötü Değer		1817	1159	1128	1295
Ortalama		1181.83	1150.23	1067.10	1226.17
Standart Sapma		156.63	9.43	16.56	33.78
Ortalama Bağıl Hata		33.54	26.54	19.63	26.67
Ortalama CPU Değeri		390.06	389.93	390.58	390.93

Tablo B-10 TA Problemlerinin GA Modeli ile Elde Edilen Sonuçları (a)

		Problemler									
		ta01	ta02	ta03	ta04	ta05	ta06	ta07	ta08	ta09	ta10
İş Sayısı		15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Tezgah Sayısı		15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Alt Sınır Değeri		1231	1244	1218	1175	1224	1238	1227	1217	1274	1241
Üst Sınır değeri		1231	1244	1218	1175	1224	1238	1227	1217	1274	1241
Tekrar Sayısı	Kullanılan Kök Sayı (Seed Number)										
1	8569	2002	1445	1444	1465	1548	1442	1462	1510	1602	1509
2	8570	1654	1443	1439	1464	1458	1434	1403	1510	1555	1405
3	8571	1574	1443	1439	1447	1449	1434	1403	1509	1491	1405
4	8572	1569	1443	1439	1447	1449	1384	1403	1509	1491	1405
5	8573	1554	1443	1439	1447	1449	1377	1403	1509	1462	1396
6	8574	1554	1443	1439	1447	1449	1377	1403	1472	1462	1396
7	8575	1554	1443	1439	1447	1449	1377	1403	1472	1462	1396
8	8576	1554	1443	1439	1447	1449	1377	1403	1472	1462	1396
9	8577	1554	1443	1417	1447	1449	1377	1403	1472	1462	1396
10	8578	1548	1443	1417	1447	1449	1377	1403	1472	1462	1396
11	8579	1508	1443	1417	1447	1449	1377	1403	1444	1448	1396
12	8580	1507	1443	1417	1447	1449	1377	1403	1440	1446	1396
13	8581	1507	1443	1417	1447	1449	1377	1403	1416	1446	1396
14	8582	1507	1443	1417	1447	1449	1377	1403	1413	1446	1396
15	8583	1507	1443	1417	1447	1449	1377	1403	1413	1446	1396
16	8584	1507	1443	1417	1447	1444	1377	1403	1385	1446	1396
17	8585	1507	1443	1417	1447	1444	1377	1403	1385	1446	1396
18	8586	1506	1443	1417	1447	1444	1377	1403	1385	1446	1396
19	8587	1506	1443	1417	1447	1438	1377	1403	1385	1446	1396
20	8588	1506	1443	1417	1417	1438	1377	1403	1376	1446	1396
21	8589	1506	1443	1417	1405	1438	1377	1403	1355	1446	1396
22	8590	1506	1443	1417	1405	1438	1377	1403	1355	1446	1396
23	8591	1506	1443	1417	1405	1438	1377	1403	1355	1446	1343
24	8592	1506	1443	1417	1405	1438	1377	1403	1355	1446	1338
25	8593	1506	1443	1417	1405	1438	1377	1403	1355	1446	1338
26	8594	1506	1443	1417	1405	1438	1377	1403	1355	1446	1338
27	8595	1506	1443	1417	1405	1438	1377	1403	1355	1446	1338
28	8596	1506	1443	1417	1405	1438	1377	1403	1355	1446	1338
29	8597	1506	1443	1417	1405	1438	1377	1402	1355	1446	1338
30	8598	1506	1443	1417	1405	1438	1377	1397	1355	1446	1338
En İyi Değer		1506	1443	1417	1405	1438	1377	1397	1355	1446	1338
En Kötü Değer		2002	1445	1444	1465	1548	1442	1462	1510	1602	1509
Ortalama		1541.50	1443.07	1423.03	1433.17	1447.70	1383.20	1404.73	1416.63	1461.10	1385.37
Standart Sapma		93.22	0.37	10.21	21.51	19.79	18.21	10.87	59.69	34.72	35.22
Ortalama Bağıl Hata		25.22	16.00	16.83	21.97	18.28	11.73	14.49	16.40	14.69	11.63
Ortalama CPU Değeri		103.96	103.67	103.72	103.87	104.08	103.92	103.84	103.96	104.18	103.74

Tablo B-11 TA Problemlerinin GA Modeli ile Elde Edilen Sonuçları (b)

		Problemler									
		ta11	ta12	ta13	ta14	ta15	ta16	ta17	ta18	ta19	ta20
İş Sayısı		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Tezgah Sayısı		15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Alt Sınır Değeri		1323	1351	1282	1345	1304	1302	1462	1369	1297	1318
Üst Sınır değeri		1358	1367	1342	1345	1340	1360	1462	1396	1335	1351
Tekrar Sayısı	Kullanılan Kök Sayı (Seed Number)										
1	8569	2105	1857	1638	1653	1723	1652	1720	1792	1571	1627
2	8570	1928	1857	1638	1626	1638	1633	1709	1771	1570	1622
3	8571	1928	1818	1617	1537	1638	1619	1709	1699	1565	1590
4	8572	1874	1722	1603	1537	1638	1619	1705	1695	1565	1593
5	8573	1772	1717	1601	1537	1634	1603	1705	1644	1565	1566
6	8574	1724	1717	1595	1537	1634	1586	1705	1644	1563	1563
7	8575	1724	1717	1595	1537	1634	1586	1705	1644	1546	1555
8	8576	1699	1717	1595	1537	1634	1586	1705	1644	1539	1555
9	8577	1699	1717	1588	1537	1634	1586	1686	1644	1539	1554
10	8578	1699	1717	1578	1537	1634	1586	1686	1644	1539	1554
11	8579	1699	1717	1578	1527	1634	1586	1686	1644	1539	1552
12	8580	1699	1717	1578	1527	1634	1586	1686	1644	1539	1552
13	8581	1699	1717	1578	1527	1634	1586	1677	1644	1539	1552
14	8582	1699	1717	1578	1527	1634	1576	1677	1638	1539	1552
15	8583	1699	1717	1578	1527	1634	1576	1677	1635	1539	1552
16	8584	1699	1708	1578	1527	1634	1576	1677	1635	1539	1542
17	8585	1699	1700	1578	1527	1634	1576	1677	1635	1539	1542
18	8586	1699	1700	1578	1527	1634	1576	1670	1635	1539	1542
19	8587	1699	1684	1578	1527	1601	1576	1660	1635	1539	1542
20	8588	1699	1684	1563	1527	1601	1576	1660	1635	1539	1542
21	8589	1699	1684	1563	1527	1601	1576	1660	1635	1539	1542
22	8590	1699	1684	1563	1527	1601	1576	1660	1635	1539	1542
23	8591	1699	1684	1563	1527	1601	1576	1660	1635	1539	1542
24	8592	1699	1684	1563	1527	1601	1576	1660	1635	1539	1542
25	8593	1699	1674	1563	1527	1601	1576	1660	1635	1539	1542
26	8594	1695	1674	1563	1527	1601	1576	1660	1635	1539	1536
27	8595	1687	1674	1563	1527	1601	1576	1660	1635	1539	1536
28	8596	1687	1674	1563	1527	1601	1576	1660	1635	1539	1536
29	8597	1687	1660	1563	1527	1601	1576	1660	1635	1539	1531
30	8598	1687	1660	1563	1527	1601	1576	1660	1635	1539	1531
En İyi Değer		1687	1660	1563	1527	1601	1576	1660	1635	1539	1531
En Kötü Değer		2105	1857	1638	1653	1723	1652	1720	1792	1571	1627
Ortalama		1736.00	1712.30	1581.43	1537.17	1624.17	1586.87	1679.40	1651.70	1544.73	1554.30
Standart Sapma		95.85	49.08	21.14	28.39	25.01	19.22	19.90	38.60	11.22	23.84
Ortalama Bağlı Hata		27.84	25.26	17.84	14.29	21.21	16.68	14.87	18.32	15.71	15.05
Ortalama CPU Değeri		196.58	196.23	196.10	196.01	196.16	196.30	196.05	196.21	196.45	196.19

Tablo B-12 TA Problemlerinin GA Modeli ile Elde Edilen Sonuçları (c)

		Problemler									
		ta21	ta22	ta23	ta24	ta25	ta26	ta27	ta28	ta29	ta30
İş Sayısı		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Tezgah Sayısı		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Alt Sınır Değeri		1539	1511	1472	1602	1504	1539	1616	1591	1514	1472
Üst Sınır değeri		1644	1600	1557	1647	1595	1645	1680	1614	1625	1584
Tekrar Sayısı	Kullanılan Kök Sayı (Seed Number)										
1	8569	3463	2177	1929	1933	1940	3999	2143	2123	2066	2033
2	8570	2918	2167	1909	1926	1837	2784	2133	2109	2026	1963
3	8571	2633	2140	1909	1879	1837	2747	2091	2109	2010	1956
4	8572	2633	2140	1909	1866	1837	2635	2065	2100	2010	1956
5	8573	2448	2140	1909	1866	1837	2630	2050	2021	2010	1940
6	8574	2448	2140	1909	1866	1835	2630	2050	2021	1967	1940
7	8575	2448	2140	1909	1866	1835	2607	2050	2011	1967	1927
8	8576	2448	2140	1909	1866	1835	2607	2050	1968	1967	1927
9	8577	2446	2140	1909	1866	1835	2599	2050	1932	1967	1927
10	8578	2392	2140	1909	1866	1835	2599	2050	1932	1967	1918
11	8579	2392	2140	1909	1866	1835	2599	2050	1932	1967	1911
12	8580	2388	2140	1909	1866	1835	2599	2050	1932	1967	1911
13	8581	2358	2127	1909	1866	1835	2599	2050	1932	1967	1911
14	8582	2358	2072	1908	1866	1835	2599	2050	1932	1967	1889
15	8583	2350	2072	1904	1866	1835	2599	2050	1932	1967	1889
16	8584	2322	2072	1904	1866	1835	2599	2050	1932	1967	1851
17	8585	2320	2072	1892	1863	1832	2599	2050	1932	1967	1851
18	8586	2320	2072	1889	1863	1826	2599	2050	1932	1967	1851
19	8587	2309	2072	1889	1863	1826	2599	2050	1932	1967	1851
20	8588	2274	2072	1889	1863	1826	2599	2050	1932	1967	1851
21	8589	2263	2072	1889	1863	1826	2599	2050	1932	1956	1851
22	8590	2263	2057	1889	1863	1826	2532	2050	1932	1952	1851
23	8591	2263	2054	1889	1863	1826	2483	2050	1932	1952	1845
24	8592	2263	2054	1889	1863	1826	2417	2050	1932	1952	1845
25	8593	2263	2054	1889	1863	1826	2355	2050	1924	1949	1845
26	8594	2263	2054	1889	1863	1826	2338	2050	1924	1934	1845
27	8595	2263	2054	1889	1863	1826	2338	2050	1924	1934	1845
28	8596	2263	2054	1889	1863	1826	2338	2050	1924	1934	1845
29	8597	2263	2054	1889	1863	1826	2329	2050	1924	1934	1842
30	8598	2263	2054	1889	1863	1826	2329	2050	1924	1934	1842
En İyi Değer		2263	2054	1889	1863	1826	2329	2050	1924	1934	1842
En Kötü Değer		3463	2177	1929	1933	1940	3999	2143	2123	2066	2033
Ortalama		2409.93	2097.87	1900.07	1869.27	1834.77	2596.17	2057.73	1963.93	1968.60	1890.30
Standart Sapma		245.81	42.37	11.06	16.68	20.43	292.43	23.23	64.47	29.55	50.21
Ortalama Bağlı Hata		46.59	31.12	22.03	13.50	15.03	57.82	22.48	21.68	21.14	19.34
Ortalama CPU Değeri		392.35	392.12	392.10	392.46	392.76	392.28	391.84	391.92	392.04	391.63

Tablo B-13 DMU Problemlerinin GA Modeli ile Elde Edilen Sonuçları (a)

		Problemler									
		dmu01	dmu02	dmu03	dmu04	dmu05	dmu06	dmu07	dmu08	dmu09	dmu10
İş Sayısı		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Tezgah Sayısı		15	15	15	15	15	20	20	20	20	20
Alt Sınır Değeri		2501	2651	2731	2601	2749	2834	2677	2901	2739	2716
Üst Sınır değeri		2563	2706	2731	2669	2749	3252	3063	3199	3092	2985
Tekrar Sayısı	Kullanılan Kök Sayı (Seed Number)										
1	8569	4455	3590	3195	3437	3333	10000	3866	3869	3874	3784
2	8570	3831	3508	3132	3401	3273	10000	3853	3853	3836	3623
3	8571	3606	3475	3064	3401	3192	10000	3853	3853	3836	3590
4	8572	3606	3475	3064	3401	3189	10000	3853	3853	3836	3451
5	8573	3606	3475	3064	3313	3189	10000	3853	3853	3816	3451
6	8574	3606	3475	3064	3194	3189	10000	3792	3853	3816	3451
7	8575	3579	3475	3064	3114	3174	10000	3735	3844	3812	3451
8	8576	3484	3475	3064	3035	3160	10000	3735	3844	3812	3451
9	8577	3420	3475	3064	3035	3149	10000	3735	3844	3812	3451
10	8578	3340	3475	3064	3035	3149	10000	3735	3839	3812	3451
11	8579	3340	3475	3064	3002	3149	10000	3698	3844	3812	3451
12	8580	3340	3475	3064	3002	3149	10000	3698	3844	3812	3451
13	8581	3340	3475	3064	3002	3149	10000	3677	3835	3773	3451
14	8582	3340	3475	3064	3002	3113	10000	3677	3844	3767	3451
15	8583	3340	3475	3064	3002	3110	10000	3677	3844	3747	3451
16	8584	3340	3475	3064	3002	3109	10000	3677	3835	3646	3451
17	8585	3340	3475	3064	3002	3109	10000	3677	3835	3646	3451
18	8586	3340	3475	3064	3002	3103	10000	3677	3835	3644	3451
19	8587	3340	3475	3064	3002	3103	10000	3677	3805	3634	3451
20	8588	3340	3475	3064	3002	3074	10000	3677	3805	3634	3451
21	8589	3340	3475	3064	3002	3071	10000	3677	3805	3631	3451
22	8590	3340	3475	3064	3002	3071	4373	3677	3805	3634	3451
23	8591	3340	3475	3064	3002	3071	4285	3677	3805	3631	3451
24	8592	3340	3475	3064	3002	3071	4241	3677	3805	3631	3451
25	8593	3340	3475	3064	3002	3071	4081	3677	3805	3631	3451
26	8594	3340	3475	3064	3002	3071	4065	3649	3805	3631	3451
27	8595	3340	3475	3064	3002	3071	3868	3649	3805	3631	3451
28	8596	3340	3475	3055	3002	3071	3854	3649	3805	3631	3451
29	8597	3340	3475	3055	3002	3071	3835	3649	3805	3631	3451
30	8598	3340	3475	3055	3002	3071	3835	3649	3805	3631	3451
En İyi Değer		3340	3475	3055	3002	3071	3835	3649	3805	3631	3451
En Kötü Değer		4455	3590	3195	3437	3333	10000	3866	3869	3874	3784
Ortalama		3444.43	3479.93	3069.73	3080.20	3129.17	8214.57	3715.07	3829.37	3723.00	3472.47
Standart Sapma		229.27	21.64	26.94	147.71	64.74	2776.16	71.35	21.34	92.66	70.95
Ortalama Bağıl Hata		34.39	28.60	12.40	15.41	13.83	152.60	21.29	19.71	20.41	16.33
Ortalama CPU Değeri		195.98	193.94	195.33	192.49	193.25	373.43	373.01	372.31	372.55	372.53

Tablo B-14 DMU Problemlerinin GA Modeli ile Elde Edilen Sonuçları (b)

		Problemler									
		dmu41	dmu42	dmu43	dmu44	dmu45	dmu46	dmu47	dmu48	dmu49	dmu50
İş Sayısı		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Tezgah Sayısı		15	15	15	15	15	20	20	20	20	20
Alt Sınır Değeri		2839	3066	3121	3112	2930	3425	3353	3317	3369	3379
Üst Sınır değeri		3275	3416	3455	3501	3273	4101	3973	3834	3765	3772
Tekrar Sayısı	Kullanılan Kök Sayı (Seed Number)										
1	8569	4912	4724	4468	4594	4185	10000	5287	4809	4931	4869
2	8570	4649	4429	4441	4449	4111	10000	5060	4638	4819	4826
3	8571	4465	4429	4294	4311	4111	10000	5052	4638	4786	4757
4	8572	4367	4429	4290	4280	4096	10000	5052	4638	4599	4757
5	8573	4367	4429	4220	4262	4096	10000	5052	4592	4564	4757
6	8574	4359	4413	4214	4262	4096	10000	5052	4539	4505	4757
7	8575	4286	4364	4213	4262	4096	10000	5043	4537	4472	4754
8	8576	4286	4364	4213	4262	4096	6353	4949	4537	4442	4752
9	8577	4286	4364	4213	4262	4096	6116	4878	4537	4428	4742
10	8578	4272	4359	4213	4262	4096	5824	4878	4523	4428	4742
11	8579	4272	4319	4213	4262	4096	5669	4863	4523	4428	4724
12	8580	4272	4319	4213	4262	4061	5481	4862	4502	4425	4723
13	8581	4272	4319	4213	4262	4046	5176	4855	4468	4425	4723
14	8582	4272	4313	4213	4243	4046	5095	4855	4447	4425	4723
15	8583	4252	4313	4213	4216	4046	5076	4817	4447	4422	4717
16	8584	4207	4313	4213	4216	4046	5040	4817	4447	4422	4657
17	8585	4207	4313	4213	4216	4046	5012	4817	4447	4422	4624
18	8586	4207	4313	4213	4216	4046	4978	4817	4447	4422	4615
19	8587	4207	4312	4213	4216	4023	4978	4817	4447	4422	4615
20	8588	4207	4312	4213	4216	3976	4978	4817	4447	4422	4615
21	8589	4207	4312	4207	4216	3976	4978	4817	4447	4422	4615
22	8590	4207	4312	4207	4216	3976	4978	4817	4447	4422	4615
23	8591	4207	4312	4207	4216	3976	4978	4817	4447	4422	4615
24	8592	4207	4312	4207	4216	3976	4978	4817	4447	4422	4615
25	8593	4207	4312	4207	4216	3976	4978	4817	4447	4422	4615
26	8594	4207	4312	4207	4216	3976	4978	4817	4447	4422	4615
27	8595	4207	4312	4207	4216	3976	4978	4817	4447	4422	4615
28	8596	4207	4312	4207	4216	3976	4978	4817	4447	4422	4615
29	8597	4207	4312	4207	4216	3976	4978	4817	4447	4422	4615
30	8598	4207	4312	4207	4216	3976	4978	4817	4447	4422	4615
En İyi Değer		4207	4312	4207	4216	3976	4978	4817	4447	4422	4615
En Kötü Değer		4912	4724	4468	4594	4185	10000	5287	4809	4931	4869
Ortalama		4289.80	4352.33	4232.63	4256.37	4042.37	6318.53	4893.67	4502.67	4480.97	4686.63
Standart Sapma		151.94	82.29	63.88	79.04	59.31	2095.41	118.54	86.37	132.13	75.48
Ortalama Bağıl Hata		30.99	27.41	22.51	21.58	23.51	54.07	23.17	17.44	19.02	24.25
Ortalama CPU Değeri		197.42	197.49	197.23	197.25	197.20	375.90	376.07	375.92	376.62	376.19

**EK-C: YEREL ARAMALI PSO VE GA MODELİ İLE ELDE EDİLEN
SONUÇLAR**

Tablo C-1 Yerel Aramalı PSO Modeli ile Elde Edilen Sonuçlar (a)

		Problemler						
		ft10	ft20	abz05	abz06	abz07	abz08	abz09
İş Sayısı		10	20	10	10	20	20	20
Tezgah Sayısı		10	5	10	10	15	15	15
Alt Sınır Değeri		930	1165	1234	943	656	646	662
Üst Sınır değeri		930	1165	1234	943	656	665	679
Zaman Limiti (CPU) sn		90	90	90	90	900	900	900
Tekrar Sayısı	Kullanılan Kök Sayı (Seed Number)							
1	8569	930	1165	1239	943	674	686	703
2	8570	936	1178	1239	943	674	681	696
3	8571	930	1178	1239	943	670	673	702
4	8572	930	1178	1234	943	664	674	698
5	8573	936	1178	1239	943	664	678	689
6	8574	960	1178	1239	943	672	674	703
7	8575	938	1178	1238	943	669	682	700
8	8576	937	1178	1234	943	668	680	689
9	8577	944	1165	1234	943	674	675	691
10	8578	937	1177	1239	943	675	689	695
11	8579	940	1178	1236	943	669	680	708
12	8580	938	1178	1234	943	659	683	689
13	8581	930	1178	1234	943	670	689	696
14	8582	930	1165	1234	943	666	685	695
15	8583	938	1178	1239	943	680	682	700
16	8584	930	1165	1236	943	667	691	698
17	8585	937	1178	1234	943	664	687	704
18	8586	930	1165	1234	943	667	682	688
19	8587	937	1178	1234	943	671	682	698
20	8588	938	1178	1236	943	682	682	703
En İyi Değer		930	1165	1234	943	659	673	688
En Kötü Değer		960	1178	1239	943	682	691	708
Ortalama		936,30	1174,70	1236,25	943,00	669,95	681,75	697,25
Standart Sapma		6,98	5,75	2,31	0,00	5,58	5,19	5,81
Ortalama Bağlı Hata		0,68	0,83	0,18	0,00	2,13	2,52	2,69
Ortalama CPU Değeri		44,59	22,18	17,40	12,52	599,44	549,63	472,04

Tablo C-2 Yerel Aramalı PSO Modeli ile Elde Edilen Sonuçlar (b)

		Problemler									
		orb01	orb02	orb03	orb04	orb05	orb06	orb07	orb08	orb09	orb10
İş Sayısı		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Tezgah Sayısı		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Alt Sınır Değeri		1059	888	1005	1005	887	1010	397	899	934	944
Üst Sınır değeri		1059	888	1005	1005	887	1010	397	899	934	944
Zaman Limiti (CPU) sn		90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
Tekrar Sayısı	Kullanılan Kök Sayı (Seed Number)										
1	8569	1071	889	1062	1011	890	1021	403	931	943	944
2	8570	1094	889	1005	1021	889	1021	403	911	943	944
3	8571	1085	889	1005	1021	890	1021	397	927	943	944
4	8572	1077	889	1024	1011	894	1013	397	899	934	944
5	8573	1099	889	1041	1016	891	1013	397	927	934	944
6	8574	1082	889	1030	1016	889	1013	397	899	943	944
7	8575	1085	889	1074	1021	890	1021	403	899	934	944
8	8576	1071	889	1058	1013	899	1013	401	912	934	944
9	8577	1077	889	1005	1005	887	1013	397	899	943	944
10	8578	1071	897	1028	1005	899	1021	397	912	943	944
11	8579	1085	889	1005	1011	887	1021	401	899	934	944
12	8580	1071	889	1025	1005	889	1019	397	912	939	944
13	8581	1071	889	1030	1005	889	1021	397	931	939	944
14	8582	1059	889	1028	1011	894	1013	397	899	943	944
15	8583	1065	889	1022	1005	890	1013	397	911	943	944
16	8584	1077	890	1024	1005	890	1019	397	934	943	944
17	8585	1077	889	1071	1005	890	1013	397	911	943	944
18	8586	1059	889	1045	1005	904	1031	397	899	934	944
19	8587	1071	889	1020	1011	890	1021	397	912	934	944
20	8588	1071	889	1052	1023	889	1023	403	899	943	944
En İyi Değer		1059	889	1005	1005	887	1013	397	899	934	944
En Kötü Değer		1099	897	1074	1023	904	1031	403	934	943	944
Ortalama		1075,90	889,45	1032,70	1011,30	891,50	1018,20	398,60	911,15	939,45	944,00
Standart Sapma		10,28	1,79	21,62	6,42	4,41	4,96	2,56	12,56	4,27	0,00
Ortalama Bağıl Hata		1,60	0,16	2,76	0,63	0,51	0,81	0,40	1,35	0,58	0,00
Ortalama CPU Değeri		29,42	10,18	38,92	41,69	36,27	29,53	15,05	41,26	8,10	16,45

Tablo C-3 Yerel Aramalı PSO Modeli ile Elde Edilen Sonuçlar (c)

		Problemler						
		la16	la19	la21	la22	la24	la25	la27
İş Sayısı		10	10	15	15	15	15	20
Tezgah Sayısı		10	10	10	10	10	10	10
Alt Sınır Değeri		945	842	1046	927	935	977	1235
Üst Sınır değeri		945	842	1046	927	935	977	1235
Zaman Limiti (CPU) sn		90	90	450	450	450	450	900
Tekrar Sayısı	Kullanılan Kök Sayı (Seed Number)							
1	8569	946	842	1053	935	941	977	1241
2	8570	946	842	1053	930	941	983	1255
3	8571	945	842	1071	935	938	979	1264
4	8572	945	846	1053	927	941	982	1254
5	8573	946	842	1053	927	938	983	1256
6	8574	945	842	1047	927	935	982	1235
7	8575	945	842	1060	930	938	982	1250
8	8576	976	852	1047	932	935	982	1235
9	8577	946	842	1053	933	941	984	1257
10	8578	946	842	1047	930	938	977	1238
11	8579	945	842	1055	933	938	982	1258
12	8580	946	842	1065	930	938	977	1248
13	8581	946	842	1053	927	939	980	1240
14	8582	946	842	1058	932	938	984	1241
15	8583	945	842	1053	927	939	982	1235
16	8584	974	850	1053	927	938	977	1245
17	8585	946	842	1052	927	938	977	1235
18	8586	946	842	1047	930	950	977	1244
19	8587	945	842	1050	930	944	998	1253
20	8588	945	846	1053	935	939	977	1236
En İyi Değer		945	842	1047	927	935	977	1235
En Kötü Değer		976	852	1071	935	950	998	1264
Ortalama		948,50	843,30	1053,80	930,20	939,35	981,10	1246,00
Standart Sapma		9,08	2,92	6,01	2,93	3,25	4,80	9,30
Ortalama Bağlı Hata		0,37	0,15	0,75	0,35	0,47	0,42	0,89
Ortalama CPU Değeri		21,26	27,28	148,08	116,91	211,52	175,38	467,33

Tablo C-4 Yerel Aramalı PSO Modeli ile Elde Edilen Sonuçlar (d)

		Problemler						
		la28	la29	la36	la37	la38	la39	la40
İş Sayısı		20	20	15	15	15	15	15
Tezgah Sayısı		10	10	15	15	15	15	15
Alt Sınır Değeri		1216	1152	1268	1397	1196	1233	1222
Üst Sınır değeri		1216	1152	1268	1397	1196	1233	1222
Zaman Limiti (CPU) sn		900	900	900	900	900	900	900
Tekrar Sayısı	Kullanılan Kök Sayı (Seed Number)							
1	8569	1216	1172	1291	1397	1207	1240	1225
2	8570	1216	1164	1281	1418	1220	1240	1235
3	8571	1216	1179	1278	1418	1196	1237	1228
4	8572	1216	1181	1278	1397	1201	1233	1224
5	8573	1216	1205	1268	1418	1223	1237	1228
6	8574	1216	1171	1278	1411	1202	1238	1225
7	8575	1216	1175	1281	1421	1207	1246	1225
8	8576	1216	1172	1274	1418	1207	1240	1228
9	8577	1216	1169	1268	1412	1209	1248	1234
10	8578	1218	1177	1278	1407	1207	1238	1224
11	8579	1216	1173	1281	1418	1206	1233	1224
12	8580	1216	1189	1291	1418	1240	1241	1224
13	8581	1216	1171	1278	1407	1207	1237	1224
14	8582	1216	1164	1291	1418	1241	1239	1228
15	8583	1216	1187	1278	1407	1202	1233	1228
16	8584	1216	1165	1291	1407	1202	1240	1237
17	8585	1216	1174	1274	1407	1207	1233	1228
18	8586	1216	1169	1274	1407	1201	1240	1224
19	8587	1216	1172	1269	1412	1202	1240	1228
20	8588	1217	1192	1268	1397	1248	1246	1224
En İyi Değer		1216	1164	1268	1397	1196	1233	1224
En Kötü Değer		1218	1205	1291	1421	1248	1248	1237
Ortalama		1216,15	1176,05	1278,50	1410,75	1211,75	1238,95	1227,25
Standart Sapma		0,49	10,36	7,70	7,70	14,86	4,27	3,93
Ortalama Bağıl Hata		0,01	2,09	0,83	0,98	1,32	0,48	0,43
Ortalama CPU Değeri		212,45	409,26	481,45	382,50	456,54	531,65	464,36

Tablo C-5 Yerel Aramalı PSO Modeli ile Elde Edilen Sonuçlar (e)

		Problemler			
		yn01	yn02	yn03	yn04
İş Sayısı		20	20	20	20
Tezgah Sayısı		20	20	20	20
Alt Sınır Değeri		846	870	840	920
Üst Sınır değeri		885	909	892	968
Zaman Limiti (CPU) sn		1800	1800	1800	1800
Tekrar Sayısı	Kullanılan Kök Sayı (Seed Number)				
1	8569	906	910	914	978
2	8570	897	921	918	980
3	8571	902	919	908	1002
4	8572	896	919	902	979
5	8573	897	932	911	991
6	8574	904	930	904	990
7	8575	907	928	903	983
8	8576	896	913	907	987
9	8577	891	929	910	982
10	8578	913	930	913	979
11	8579	902	929	904	1010
12	8580	895	932	913	998
13	8581	905	935	908	984
14	8582	896	923	906	985
15	8583	896	923	902	971
16	8584	908	927	903	990
17	8585	902	936	903	985
18	8586	895	921	916	979
19	8587	894	923	900	988
20	8588	902	922	905	985
En İyi Değer		891	910	900	971
En Kötü Değer		913	936	918	1010
Ortalama		900,20	925,10	907,50	986,30
Standart Sapma		5,73	6,91	5,21	9,00
Ortalama Bağlı Hata		1,72	1,77	1,74	1,89
Ortalama CPU Değeri		1021,55	1224,91	1241,02	1150,98

Tablo C-6 Yerel Aramalı GA Modeli ile Elde Edilen Sonuçlar (a)

		Problemler						
		ft10	ft20	abz05	abz06	abz07	abz08	abz09
İş Sayısı		10	20	10	10	20	20	20
Tezgah Sayısı		10	5	10	10	15	15	15
Alt Sınır Değeri		930	1165	1234	943	656	646	662
Üst Sınır değeri		930	1165	1234	943	656	665	679
Zaman Limiti (CPU) sn		90	90	90	90	900	900	900
Tekrar Sayısı	Kullanılan Kök Sayı (Seed Number)							
1	8569	938	1165	1236	943	668	678	703
2	8570	938	1178	1236	943	668	675	702
3	8571	938	1178	1236	943	668	675	694
4	8572	938	1178	1236	943	668	675	693
5	8573	938	1178	1236	943	668	675	693
6	8574	938	1178	1236	943	668	675	693
7	8575	938	1178	1236	943	668	675	693
8	8576	938	1178	1236	943	668	675	693
9	8577	930	1178	1236	943	668	675	693
10	8578	930	1165	1236	943	679	678	691
11	8579	930	1165	1236	943	669	670	688
12	8580	930	1173	1236	943	667	670	690
13	8581	930	1175	1236	943	668	670	690
14	8582	930	1175	1236	943	665	670	690
15	8583	938	1165	1236	943	665	670	690
16	8584	938	1165	1236	943	665	670	690
17	8585	938	1165	1236	943	665	670	690
18	8586	938	1165	1236	943	665	670	690
19	8587	938	1165	1236	943	665	670	690
20	8588	938	1165	1236	943	665	670	690
En İyi Değer		930	1165	1236	943	665	670	688
En Kötü Değer		938	1178	1236	943	679	678	703
Ortalama		935,60	1171,60	1236,00	943,00	667,50	672,80	692,30
Standart Sapma		3,37	5,48	0,00	0,00	3,48	1,26	4,13
Ortalama Bağıl Hata		0,60	0,57	0,16	0,00	1,75	1,17	1,96
Ortalama CPU Değeri		13,80	23,47	0,88	9,28	136,67	137,45	185,64

Tablo C-7 Yerel Aramalı GA Modeli ile Elde Edilen Sonuçlar (b)

		Problemler									
		orb01	orb02	orb03	orb04	orb05	orb06	orb07	orb08	orb09	orb10
İş Sayısı		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Tezgah Sayısı		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Alt Sınır Değeri		1059	888	1005	1005	887	1010	397	899	934	944
Üst Sınır değeri		1059	888	1005	1005	887	1010	397	899	934	944
Zaman Limiti (CPU) sn		90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
Tekrar Sayısı	Kullanılan Kök Sayı (Seed Number)										
1	8569	1085	889	1024	1011	904	1021	397	923	943	944
2	8570	1085	889	1024	1011	904	1021	397	923	943	944
3	8571	1085	889	1024	1005	904	1021	397	923	943	944
4	8572	1085	889	1024	1011	889	1021	404	923	934	944
5	8573	1085	889	1024	1011	889	1021	397	923	934	944
6	8574	1085	889	1024	1011	889	1021	397	923	934	944
7	8575	1085	889	1024	1011	889	1021	397	923	934	951
8	8576	1085	889	1024	1011	889	1021	404	923	934	944
9	8577	1085	889	1024	1011	887	1021	397	923	934	944
10	8578	1085	889	1024	1011	887	1021	397	923	934	944
11	8579	1085	889	1024	1011	889	1021	397	923	934	944
12	8580	1085	889	1024	1011	889	1013	397	923	939	944
13	8581	1085	889	1024	1011	889	1013	397	923	934	944
14	8582	1085	889	1024	1011	889	1010	397	923	934	944
15	8583	1085	889	1024	1011	889	1013	397	923	934	944
16	8584	1085	889	1024	1011	889	1013	397	923	934	944
17	8585	1085	889	1024	1011	889	1013	403	923	934	944
18	8586	1085	889	1024	1011	889	1013	403	923	934	944
19	8587	1085	889	1024	1011	889	1013	403	923	934	944
20	8588	1085	889	1024	1011	889	1013	403	923	934	944
En İyi Değer		1085	889	1024	1005	887	1010	397	923	934	944
En Kötü Değer		1085	889	1024	1011	904	1021	404	923	943	951
Ortalama		1085,00	889,00	1024,00	1010,70	891,05	1017,25	398,90	923,00	935,60	944,35
Standart Sapma		0,00	0,00	0,00	1,90	7,56	0,00	2,95	0,00	4,35	2,21
Ortalama Bağıl Hata		2,46	0,11	1,89	0,57	0,46	0,72	0,48	2,67	0,17	0,04
Ortalama CPU Değeri		1,32	1,03	2,50	2,29	8,37	9,62	19,72	2,99	22,90	20,62

Tablo C-8 Yerel Aramalı GA Modeli ile Elde Edilen Sonuçlar (c)

		Problemler						
		la16	la19	la21	la22	la24	la25	la27
İş Sayısı		10	10	15	15	15	15	20
Tezgah Sayısı		10	10	10	10	10	10	10
Alt Sınır Değeri		945	842	1046	927	935	977	1235
Üst Sınır değeri		945	842	1046	927	935	977	1235
Zaman Limiti (CPU) sn		90	90	450	450	450	450	900
Tekrar Sayısı	Kullanılan Kök Sayı (Seed Number)							
1	8569	945	842	1055	927	938	981	1264
2	8570	946	842	1053	927	938	981	1240
3	8571	946	842	1053	932	941	984	1240
4	8572	946	842	1053	932	938	984	1240
5	8573	946	842	1053	932	938	984	1240
6	8574	946	846	1051	932	938	984	1240
7	8575	946	842	1051	927	938	980	1240
8	8576	945	842	1051	932	935	980	1240
9	8577	946	842	1046	932	935	980	1240
10	8578	946	842	1047	932	938	980	1240
11	8579	946	842	1047	932	938	980	1240
12	8580	946	842	1047	932	938	980	1240
13	8581	946	846	1047	932	938	980	1240
14	8582	946	842	1047	932	938	980	1240
15	8583	945	842	1047	932	938	980	1240
16	8584	945	842	1046	932	938	980	1240
17	8585	946	842	1047	927	938	980	1240
18	8586	946	842	1047	927	938	980	1240
19	8587	946	842	1047	927	938	980	1240
20	8588	945	842	1047	927	938	980	1240
En İyi Değer		945	842	1046	927	935	980	1240
En Kötü Değer		946	846	1055	932	941	984	1264
Ortalama		945,75	842,40	1049,10	930,25	937,85	980,90	1241,20
Standart Sapma		0,42	1,26	2,83	2,42	1,70	1,93	7,59
Ortalama Bağıl Hata		0,08	0,05	0,30	0,35	0,30	0,40	0,50
Ortalama CPU Değeri		8,47	26,11	57,60	50,89	37,24	9,96	47,08

Tablo C-9 Yerel Aramalı GA Modeli ile Elde Edilen Sonuçlar (d)

		Problemler						
		la28	la29	la36	la37	la38	la39	la40
İş Sayısı		20	20	15	15	15	15	15
Tezgah Sayısı		10	10	15	15	15	15	15
Alt Sınır Değeri		1216	1152	1268	1397	1196	1233	1222
Üst Sınır değeri		1216	1152	1268	1397	1196	1233	1222
Zaman Limiti (CPU) sn		900	900	900	900	900	900	900
Tekrar Sayısı	Kullanılan Kök Sayı (Seed Number)							
1	8569	1216	1167	1274	1419	1220	1246	1228
2	8570	1216	1166	1274	1419	1220	1246	1225
3	8571	1216	1166	1274	1419	1206	1233	1225
4	8572	1216	1166	1274	1419	1207	1233	1224
5	8573	1216	1166	1269	1407	1206	1233	1224
6	8574	1216	1166	1269	1411	1226	1233	1224
7	8575	1216	1166	1268	1411	1202	1233	1224
8	8576	1216	1166	1268	1404	1202	1233	1224
9	8577	1216	1166	1268	1399	1202	1233	1224
10	8578	1216	1166	1268	1399	1202	1233	1224
11	8579	1216	1166	1268	1399	1196	1233	1224
12	8580	1216	1166	1268	1399	1196	1233	1224
13	8581	1216	1166	1268	1399	1196	1233	1224
14	8582	1216	1166	1268	1399	1196	1233	1224
15	8583	1216	1166	1268	1399	1196	1233	1224
16	8584	1216	1166	1268	1399	1196	1233	1224
17	8585	1216	1166	1268	1399	1196	1233	1224
18	8586	1216	1166	1268	1399	1196	1233	1224
19	8587	1216	1166	1268	1399	1196	1233	1224
20	8588	1216	1166	1268	1397	1196	1233	1224
En İyi Değer		1216	1166	1268	1397	1196	1233	1224
En Kötü Değer		1216	1167	1274	1419	1226	1246	1228
Ortalama		1216,00	1166,05	1269,30	1404,75	1202,65	1234,30	1224,30
Standart Sapma		0,00	0,32	2,95	8,22	9,12	5,48	1,26
Ortalama Bağıl Hata		0,00	1,22	0,10	0,55	0,56	0,11	0,19
Ortalama CPU Değeri		7,31	20,75	135,25	114,82	154,18	38,49	99,34

Tablo C-10 Yerel Arama GA Modeli ile Elde Edilen Sonuçlar (e)

		Problemler			
		yn01	yn02	yn03	yn04
İş Sayısı		20	20	20	20
Tezgah Sayısı		20	20	20	20
Alt Sınır Değeri		846	870	840	920
Üst Sınır değeri		885	909	892	968
Zaman Limiti (CPU) sn		1800	1800	1800	1800
Tekrar Sayısı	Kullanılan Kök Sayı (Seed Number)				
1	8569	897	930	909	987
2	8570	897	930	909	980
3	8571	897	930	907	980
4	8572	897	930	905	978
5	8573	897	930	905	978
6	8574	897	930	902	978
7	8575	897	930	902	980
8	8576	897	930	902	979
9	8577	897	930	902	977
10	8578	897	913	902	976
11	8579	897	913	902	976
12	8580	897	911	902	976
13	8581	895	911	902	975
14	8582	895	911	902	975
15	8583	893	911	902	975
16	8584	891	911	896	975
17	8585	890	911	896	975
18	8586	890	911	896	975
19	8587	890	911	896	975
20	8588	890	911	896	975
En İyi Değer		890	911	896	975
En Kötü Değer		897	930	909	987
Ortalama		894,90	919,75	901,75	977,25
Standart Sapma		0,00	5,38	2,95	3,02
Ortalama Bağıl Hata		1,12	1,18	1,09	0,96
Ortalama CPU Değeri		345,90	149,57	218,28	375,51

EK-D: UYGULANAN TEST PROBLEMLERİNDEN BİR ÖRNEK

Tablo D-1 Örnek: FT10 Problemi

Problem Adı:	FT10									
Üst Sınır Değeri:	930									
Alt Sınır Değeri:	930									
İş sayısı:	10									
Tezgah Sayısı:	10									
	Tezgah Sırası									
1.İş	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2.İş	1	3	5	10	4	2	7	6	8	9
3.İş	2	1	4	3	9	6	8	7	10	5
4.İş	2	3	1	5	7	9	8	4	10	6
5.İş	3	1	2	6	4	5	9	8	10	7
6.İş	3	2	6	4	9	10	1	7	5	8
7.İş	2	1	4	3	7	6	10	9	8	5
8.İş	3	1	2	6	5	7	9	10	8	4
9.İş	1	2	4	6	3	10	7	8	5	9
10.İş	2	1	3	7	9	10	6	4	5	8
	İşlem Zamanları									
1.İş	29	78	9	36	49	11	62	56	44	21
2.İş	43	90	75	11	69	28	46	46	72	30
3.İş	91	85	39	74	90	10	12	89	45	33
4.İş	81	95	71	99	9	52	85	98	22	43
5.İş	14	6	22	61	26	69	21	49	72	53
6.İş	84	2	52	95	48	72	47	65	6	25
7.İş	46	37	61	13	32	21	32	89	30	55
8.İş	31	86	46	74	32	88	19	48	36	79
9.İş	76	69	76	51	85	11	40	89	26	74
10.İş	85	13	61	7	64	76	47	52	90	45

Problem Adı....=ft06

Tekrar Sayısı.....=1

Seed=8569 İterasyon=1000 Populasyon Sayısı=72 Problem Boyutu=36

İşlem zamanı(CPU).....=2.27

Bağıl Hata.....=3.64

Optimal Değer.....=55

Küresel En İyi Değer.....=57.00

Parçacık Değerleri:

Pozisyon Vektörü:

8.57	0.39	2.34	6.74	9.66	-2.40	0.43	1.26	6.54	-3.45	7.06	
	11.43	10.79	-1.04	8.28	3.10	-4.69	5.46	6.01	13.10	-0.19	5.60
	2.78	5.12	13.89	5.38	5.56	4.93	9.76	11.43	2.62	-3.07	
	10.50	2.81	1.58	8.47							

Hız Vektörü:

0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00									

Operasyon Sırası:

16	9	31	5	13	20	1	6	7	34	2	30
	22	33	15	27	23	25	17	26	21	18	8
	3	10	14	35	0	4	28	32	12	29	11
	19	24									

Operasyon Tabanlı Sıra:

2	1	5	0	2	3	0	1	1	5	0	5
	3	5	2	4	3	4	2	4	3	3	1
	0	1	2	5	0	0	4	5	2	4	1
	3	4									

ÖZGEÇMİŞ

Kayseri’de 1976 yılında doğdu. İlk, orta ve lise tahsilini aynı yerde tamamladı. 1997 yılında Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2000 yılında Fatih Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünde yüksek lisansını tamamladı.

Halen Fatih Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.

