

156637

**ÇOK ÖLÇÜTLÜ AKIŞ TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ İÇİN
ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI**

Tamer EREN

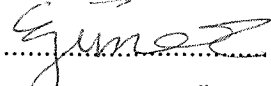
**DOKTORA TEZİ
(ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ)**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ekim 2004

ANKARA

Tamer EREN tarafından hazırlanan ÇOK ÖLÇÜTLÜ AKIŞ TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİN İÇİN ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.



Doç. Dr. Ertan GÜNER

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan:

: Prof. Dr. Akif EYLER



Üye

: Prof. Dr. Hasan BAL



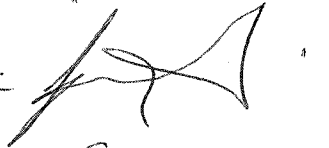
Üye

: Prof. Dr. Hadi GÖRGÜN



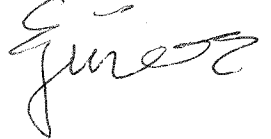
Üye

: Doç. Dr. Fulya Altıparmak

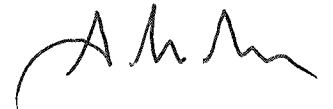


Üye

: Doç. Dr. Ertan Güner



Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.



İÇİNDEKİLER

	sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	viii
EKLERİN LİSTESİ.....	xi
KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ	1
2. ÇİZELGELEMENİN ÖNEMİ VE ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI.....	6
2.1. Çizelgelemenin Önemi ve Organizasyondaki Yeri	6
2.2. Çizelgeleme Problemlerinin sınıflandırılması	8
3. AKIŞ TİPİ ÇİZELGELEMEDE YAPILAN ÇALIŞMALARIN GÖZDEN GEÇİRİLMESİ	22
3.1. Akış Tipi Çizelgelemede Hazırlık Zamanı İşlem Zamanına Dahil Edilmeyen (Hazırlık Zamansız) Problemler	22
3.1.1. Tek ölçütlü hazırlık zamansız akış tipi çizelgelemede yapılan çalışmalar	22

3.1.2. Çok ölçütlü hazırlık zamansız akış tipi çizelgelemede yapılan çalışmalar	27
3.2. Akış Tipi Çizelgelemede Hazırlık Zamanlı Problemler	36
3.2.1. Tek ölçütlü hazırlık zamanlı akış tipinde yapılan çalışmalar	37
3.2.2. Çok ölçütlü hazırlık zamanlı akış tipinde yapılan çalışmalar	41
3.3. Yapılan Çalışmaların Değerlendirilmesi ve Bu Çalışmada Ele Alınacak Problemler	42
4. ÇOK ÖLÇÜTLÜ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ İÇİN ÖNERİLEN TAMSAYILI PROGRAMLAMA MODELLERİ	47
4.1. Hazırlık Zamanının İşlem Zamanına Dahil Edildiği (I. Grup) Problemler İçin Tamsayılı Programlama Modeli	47
4.2. Hazırlık Zamanının İşlem Zamanına Dahil Edilmediği (II. Grup) Problemler İçin Tamsayılı Programlama Modeli	53
5. KULLANILAN SEZGİSEL YÖNTEMLER VE PROBLEMLERE UYARLANMASI	60
5.1. Sezgisel Yöntemler	60
5.1.1. NEH yöntemi	60
5.1.2. Tabu arama yöntemi	61
5.1.3. Rassal arama yöntemi	64
5.1.4. En küçük teslim tarihi (EDD) kuralı	65
5.2. Sezgisel Yöntemlerin Problemlere Uygulanması	65

5.2.1. NEH yönteminin problemlere uyarlanması	65
5.2.2. Tabu arama yönteminin problemlere uyarlanması.....	69
5.2.3. Rassal Arama Yöntemi	72
6. DENEY SONUÇLARI.....	73
6.1. Eniyi Çözüm Sonuçları.....	73
6.1.1. I. Gruptaki problemlerin eniyi çözüm sonuçları	73
6.1.2. II. gruptaki problemlerin eniyi çözüm sonuçları.....	86
6.2. Sezgisel yöntem sonuçlarının eniyi çözüm sonuçları ile karşılaştırılması ...	95
6.2.1. I. Gruptaki problemlerin sezgisel yöntem sonuçlarının eniyi çözüm sonuçları ile karşılaştırılması	96
6.2.2. II. Gruptaki problemlerin sezgisel yöntem sonuçlarının eniyi çözüm sonuçları ile karşılaştırılması	103
6.3. Büyük Boyutlu Problemlerin Sezgisel Yöntemlerle Çözülmesi.....	108
6.3.1. I. Grupta yer alan büyük boyutlu problemlerin sezgisel yöntemlere çözülmesi	109
6.3.2. II. Grupta yer alan büyük boyutlu problemlerin sezgisel yöntemlere çözülmesi	117
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	128
KAYNAKLAR	133

EKLER..... 150

ÖZGEÇMİŞ..... 225



ÇOK ÖLÇÜTLÜ AKIŞ TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ İÇİN ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI

(Doktora Tezi)

Tamer EREN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ekim 2004

ÖZET

Çok ölçütlü akış tipi çizelgeleme problemleri son yıllarda en çok ilgi çeken konulardan biridir. Çok ölçütlü çizelgeleme problemleri arasında gecikme ölçütünün dahil edildiği problemler üzerinde oldukça sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır. Bu tezde gecikme ölçütünün de yer aldığı altı problem ele alınmıştır. Bu problemlerden ilk üçü hazırlık zamanının işlem zamanına dahil edildiği problemlerdir. Bunlar; toplam tamamlanma zamanı ($\sum C$) ve toplam gecikmenin ($\sum T$) ağırlıklı toplamını enküçükleme problemi, toplam gecikmenin ve maksimum tamamlanma zamanının ($C_{\max}$) ağırlıklı toplamını enküçükleme problemi, üçüncüsü ise toplam tamamlanma zamanı, toplam gecikme ve maksimum tamamlanma zamanının ağırlıklı toplamını enküçükleme problemidir. Literatürde hazırlık zamanlı çok ölçütlü akış tipi çizelgeleme problemleri üzerinde çok durulmamıştır. Bu nedenle yukarıda ele alınan üç problem hazırlık zamanının işlem zamanına dahil edilmediği durumda incelenmiştir. Bu problemlerin eniyi çözümlerini bulmak için iki tane tamsayılı programlama modeli kurularak 20 işe kadar çözülebilmektedir. Ayrıca uyarlanmış NEH yöntemi, tabu arama ve rassal arama yöntemleri kullanılarak 2500 işe kadar olan problemlerin çözümleri gerçekleştirilmiştir.

Bilim Kodu : 919
Anahtar Kelimeler : Akış tipi çizelgeleme, çok ölçüt, tamsayılı programlama, sezgisel yöntemler, sıra-bağımsız hazırlık zamanı.
Sayfa Adedi : 225
Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Ertan GÜNER



**THE SOLUTION APPROACHES FOR MULTICRITERIA FLOWSHOP
SCHEDULING PROBLEMS**

(Ph.D. Thesis)

Tamer EREN

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

October 2004

ABSTRACT

Multicriteria flowshop scheduling problems have been one of the most attractive subjects in recent years. Among the multicriteria flowshop scheduling problems, very limited number of studies were performed on the problems which include tardiness criterion. In this thesis, six problems which include tardiness criterion were tackled. The first three of these problems are those in which the setup time was included in process time. The first one was the minimization problem of sum of weighted total completion time ($\sum C$) and total tardiness ($\sum T$), the second problem was the minimization problem of sum of weighted total tardiness and makespan ($C_{\max}$). The third one was the minimization problem of sum of weighted total completion time, total tardiness and makespan. In literature, multicriteria flowshop scheduling problems including setup time were not considered much. For this reason, the three problems described above were studied by not including the setup time in the process time. In order to obtain the optimum solutions of these problems, up to 20 jobs were solved by setting up two integer programming models. In addition, the solutions of the problems with up to 2500 jobs were obtained by using the modified NEH method, tabu search and random search methods.

Science Code : 919
Key Words : Flowshop scheduling, multicriteria, integer programming,
heuristic methods, sequence-independent setup time.
Page Number : 225
Adviser : Assoc. Prof. Dr. Ertan GÜNER



TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, en iyisini yapmam için elinden geleni hiçbir zaman esirgemeyen değerli Hocam Doç. Dr. Ertan GÜNER'e yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım tez izleme kurulu üyeleri Prof. Dr. M. Akif EYLER ve Doç. Dr. Fulya Altıparmak'a ayrıca bana her konuda maddi ve manevi yardımcı olan aileme ve tüm araştırma görevlisi arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	sayfa
Çizelge 2.1. Çok ölçütlü akış tipi çizelgeleme problemlerinin sınıflandırılması.....	9
Çizelge 2.2. Bu çalışmada kullanılan temel performans ölçütleri ve notasyonlar.....	21
Çizelge 3.1. Tek ölçütlü akış tipinde yapılan çalışmalar	27
Çizelge 3.2. Çok ölçütlü akış tipinde yapılan çalışmalar	37
Çizelge 3.3. Hazırlık zamanlı tek ölçütlü akış tipinde yapılan çalışmalar.....	42
Çizelge 3.4. Literatürde ve bu tezde yapılanlar	46
Çizelge 5.1. Sayısal örneğin verileri.....	67
Çizelge 5.2. Deney tasarımı verileri	70
Çizelge 6.1. Senaryolara göre teslim tarihi aralıkları	74
Çizelge 6.2. I.Grupta çözölen problem sayıları	76
Çizelge 6.3. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminin iş sayılarına göre ortalama CPU zamanları (sn)	77
Çizelge 6.4. $n/2/\beta\sum T+\gamma C_{max}$ probleminin iş sayılarına göre ortalama CPU zamanları (sn)	81
Çizelge 6. 5. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{max}$ probleminin iş sayılarına göre ortalama CPU zamanları (sn)	84
Çizelge 6.6. II. grupta çözölen problem sayısı	87
Çizelge 6.7. $n/2/sji/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminin iş sayılarına göre CPU zamanları (sn)	88
Çizelge 6.8. $n/2/sji/\beta\sum T+\gamma C_{max}$ probleminin iş sayılarına göre CPU zamanları (sn)...	90
Çizelge 6.9. $n/2/sji/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{max}$ probleminin iş sayılarına göre CPU zamanları (sn)	92
Çizelge 6.10. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminin çözüm kalitesi	97
Çizelge 6.11. $n/2/\beta\sum T+\gamma C_{max}$ probleminin çözüm kalitesi	99

Çizelge 6.12. $n/2/ \alpha \sum C + \beta \sum T + \gamma C_{max}$ probleminin çözüm kalitesi ve çözüm zamanları.....	101
Çizelge 6.13. $n/2/sji/\alpha \sum C + \beta \sum T$ probleminin çözüm kalitesi	103
Çizelge 6.14. $n/2/sji/\beta \sum T + \gamma C_{max}$ probleminin çözüm kalitesi	105
Çizelge 6.15. $n/2/sji/\alpha \sum C + \beta \sum T + \gamma C_{max}$ probleminin çözüm kalitesi.....	107
Çizelge 6.16. $n/2/\alpha \sum C + \beta \sum T$ probleminin $\alpha=0,25$ ve $\beta=0,75$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda çözüm kalitesi ve CPU zamanları (sn)	110
Çizelge 6.17. $n/2/ \beta \sum T + \gamma C_{max}$ probleminin $\beta =0,25$ ve $\gamma=0,75$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda çözüm kalitesi ve CPU zamanları (sn)	113
Çizelge 6.18. $n/2/ \alpha \sum C + \beta \sum T + \gamma C_{max}$ probleminin $\alpha=0,33$; $\beta=0,33$ ve $\gamma=0,33$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda çözüm kalitesi ve CPU zamanları (sn)	115
Çizelge 6.19. $n/2/\alpha \sum C + \beta \sum T + \gamma C_{max}$ probleminin büyük boyutluların çözüm süresi	117
Çizelge 6.20. $n/2/sji/\alpha \sum C + \beta \sum T$ probleminin $\alpha=0,25$ ve $\beta=0,75$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda çözüm kalitesi ve CPU zamanları (sn)	118
Çizelge 6. 21. $n/2/sji/\beta \sum T + \gamma C_{max}$ probleminin $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,75$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda çözüm kalitesi ve CPU zamanları (sn)	121
Çizelge 6.22. $n/2/sji/\alpha \sum C + \beta \sum T + \gamma C_{max}$ probleminin $\alpha=0,25$; $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,50$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda çözüm kalitesi ve CPU zamanları (sn)	124

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	sayfa
Şekil 2. 1. İmalat sisteminde bilgi akış diyagramı	7
Şekil 2. 2. Çizelgelemede bir işin hazırlık zamanı (a) ayrılabilir (b) ayrılamaz	14
Şekil 3. 1. Çok ölçütlü çizelgeleme problemlerinin makine tiplerine göre dağılımı ...	43
Şekil 3. 2. Çok ölçütlü akış tipi çizelgeleme problemlerinin ölçütlere göre dağılımı ..	44
Şekil 3. 3. Akış tipi çizelgeleme problemlerinde yapılan çalışmalar ve bu tezde dikkate alınan problemler	45
Şekil 3. 4. Hazırlık zamanlı akış tipi çizelgeleme problemlerinde yapılan çalışmalar ve bu tezde dikkate alınan problemler	46
Şekil 4. 1. Model I'in Gantt şeması	52
Şekil 4. 2. Model II'nin Gantt şeması	59
Şekil 6. 1. Senaryolara göre teslim tarihi aralıkları	75
Şekil 6. 2. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminde $\alpha=0,50$ ve $\beta=0,50$ ağırlık değerleri için τ ve R değerlerinde iş sayılarına göre ortalama CPU zaman grafiği.....	79
Şekil 6. 3. $n/2/\beta\sum T+\gamma C_{max}$ probleminde $\alpha=0,50$ ve $\beta=0,50$ ağırlık değerleri için τ ve R değerlerinde iş sayılarına göre ortalama CPU zaman grafiği	80
Şekil 6. 4. $n/2/\beta\sum T+\gamma C_{max}$ probleminde $\alpha=0,33$; $\beta=0,33$ ve $\gamma=0,33$ ağırlık değerleri için τ ve R değerlerinde iş sayılarına göre ortalama CPU zaman grafiği ..	83
Şekil 6. 5. $n/2/sji/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminin $\alpha=0,50$ ve $\beta=0,50$ ağırlık değerleri için hazırlık zaman aralıklarına göre iş sayısı işlem zaman grafiği	89
Şekil 6. 6. $n/2/sji/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminin hazırlık zamanlarının [0-9] aralığında, ağırlık değerlerine göre iş sayıları işlem zaman grafiği.....	89
Şekil 6. 7. $n/2/sji/\beta\sum T+\gamma C_{max}$ probleminin $\alpha=0,50$ ve $\beta=0,50$ ağırlık değerleri hazırlık zaman aralıklarına göre iş sayısı işlem zaman grafiği	91
Şekil 6. 8. $n/2/sji/\beta\sum T+\gamma C_{max}$ probleminin hazırlık zamanlarının [0-9] aralığında, ağırlık değerlerine göre iş sayıları işlem zaman grafiği.....	91

Şekil 6. 9. $n/2/sji/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{max}$ probleminin $\alpha=0,33$; $\beta=0,33$ ve $\gamma=0,33$ ağırlık değerleri hazırlık zamanlarına göre iş sayısı işlem zaman grafiği.....	94
Şekil 6. 10. $n/2/sji/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{max}$ probleminin hazırlık zamanlarının [0-49] aralığında, ağırlık değerlerine göre iş sayıları işlem zaman grafiği.....	94
Şekil 6. 11. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminde $\alpha=0,50$ ve $\beta=0,50$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi	98
Şekil 6. 12. $n/2/\beta\sum T+\gamma C_{max}$ probleminde $\beta=0,50$ ve $\gamma=0,50$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi	100
Şekil 6. 13. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{max}$ probleminde $\alpha=0,33$; $\beta=0,33$ ve $\gamma=0,33$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi	102
Şekil 6. 14. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{max}$ probleminde sezgisellerin çözüm zamanları.....	102
Şekil 6. 15. $n/2/sji/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminde $\alpha=0,50$ ve $\beta=0,50$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi	104
Şekil 6. 16. $n/2/sji/\beta\sum T+\gamma C_{max}$ probleminde $\beta=0,50$ ve $\gamma=0,50$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi	106
Şekil 6. 17. $n/2/sji/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{max}$ probleminde $\alpha=0,33$; $\beta=0,33$ ve $\gamma=0,33$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi.....	108
Şekil 6. 18. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminin $\alpha=0,25$ ve $\beta=0,75$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi	111
Şekil 6. 19. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminin $\alpha=0,25$ ve $\beta=0,75$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm zamanı	111
Şekil 6. 20. $n/2/\beta\sum T+\gamma C_{max}$ probleminin $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,75$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi	113
Şekil 6. 21. $n/2/\beta\sum T+\gamma C_{max}$ probleminin sezgisellerin çözüm zamanları	114
Şekil 6. 22. $n/2/\beta\sum T+\gamma C_{max}$ probleminin $\alpha=0,33$; $\beta=0,33$ ve $\gamma=0,33$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi	116
Şekil 6. 23. $n/2/\beta\sum T+\gamma C_{max}$ probleminin $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{max}$ probleminin de sezgisellerin çözüm zamanları	116
Şekil 6. 24. $n/2/sji/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminin $\alpha=0,25$ ve $\beta=0,75$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi	119

Şekil 6. 25. $n/2/sji/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminin de sezgisellerin çözüm süresi.....	119
Şekil 6. 26. $n/2/sji/\beta\sum T+\gamma C_{max}$ probleminin $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,75$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi	122
Şekil 6. 27. $n/2/sji/\beta\sum T+\gamma C_{max}$ probleminin $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,75$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm süresi	122
Şekil 6. 28. $n/2/sji/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{max}$ probleminin $\alpha=0,25$; $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,50$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi.....	125
Şekil 6. 29. $n/2/sji/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{max}$ probleminin $\alpha=0,25$; $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,50$ Ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm süresi	125



EKLERİN LİSTESİ

Ek	sayfa
Ek-1. $n/2/\alpha \sum C + \beta \sum T$ probleminde $\alpha=0,25$ ve $\beta=0,75$ ağırlık değerleri için τ ve R değerlerinde iş sayılarına göre ortalama CPU zaman grafiği	151
Ek-2. $n/2/\alpha \sum C + \beta \sum T$ probleminde $\alpha=0,75$ ve $\beta=0,25$ ağırlık değerleri için τ ve R değerlerinde iş sayılarına göre ortalama CPU zaman grafiği	152
Ek-3. $n/2/\beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminde $\alpha=0,25$ ve $\beta=0,75$ ağırlık değerleri için τ ve R değerlerinde iş sayılarına göre ortalama CPU zaman grafiği	153
Ek-4. $n/2/\beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminde $\alpha=0,75$ ve $\beta=0,25$ ağırlık değerleri için τ ve R değerlerinde iş sayılarına göre ortalama CPU zaman grafiği	154
Ek-5. $n/2/\alpha \sum C + \beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,25$; $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,50$ ağırlık değerleri için τ ve R değerlerinde iş sayılarına göre ortalama CPU zaman grafiği	155
Ek-6. $n/2/\alpha \sum C + \beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,25$; $\beta=0,50$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerleri için τ ve R değerlerinde iş sayılarına göre ortalama CPU zaman grafiği	156
Ek-7. $n/2/\alpha \sum C + \beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,50$; $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerleri için τ ve R değerlerinde iş sayılarına göre ortalama CPU zaman grafiği	157
Ek-8. $n/2/s_{ji}/\alpha \sum C + \beta \sum T$ probleminin $\alpha=0,25$ ve $\beta=0,75$ ağırlık değerleri için hazırlık zaman aralıklarına göre iş sayısı işlem zaman grafiği	158
Ek-9. $n/2/s_{ji}/\alpha \sum C + \beta \sum T$ probleminin $\alpha=0,75$ ve $\beta=0,25$ ağırlık değerleri için hazırlık zaman aralıklarına göre iş sayısı işlem zaman grafiği	159
Ek-10. $n/2/s_{ji}/\alpha \sum C + \beta \sum T$ probleminin hazırlık zamanlarının $[0-24]$ aralığında, ağırlık değerlerine göre iş sayıları işlem zaman grafiği	160
Ek-11. $n/2/s_{ji}/\alpha \sum C + \beta \sum T$ probleminin hazırlık zamanlarının $[0-49]$ aralığında, ağırlık değerlerine göre iş sayıları işlem zaman grafiği	161
Ek-12. $n/2/s_{ji}/\alpha \sum C + \beta \sum T$ probleminin hazırlık zamanlarının $[0-99]$ aralığında, ağırlık değerlerine göre iş sayıları işlem zaman grafiği	162
Ek-13. $n/2/s_{ji}/\beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,25$ ve $\beta=0,75$ ağırlık değerleri hazırlık zamanlarına göre iş sayısı işlem zaman grafiği	163
Ek-14. $n/2/s_{ji}/\beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,75$ ve $\beta=0,25$ ağırlık değerleri hazırlık zamanlarına göre iş sayısı işlem zaman grafiği	164

Ek-15. $n/2/s_{ji}/\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin hazırlık zamanlarının [0-24] aralığında, ağırlık değerlerine göre iş sayıları işlem zaman grafiği	165
Ek-16. $n/2/s_{ji}/\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin hazırlık zamanlarının [0-49] aralığında, ağırlık değerlerine göre iş sayıları işlem zaman grafiği	166
Ek-17. $n/2/s_{ji}/\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin hazırlık zamanlarının [0-99] aralığında, ağırlık değerlerine göre iş sayıları işlem zaman grafiği	167
Ek-18. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,25$; $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,50$ ağırlık değerlerinde hazırlık zamanlarına göre iş sayısı işlem zaman grafiği	168
Ek-19. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,25$; $\beta=0,50$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerleri hazırlık zamanlarına göre iş sayısı işlem zaman grafiği.....	169
Ek-20. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,50$; $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerleri hazırlık zamanlarına göre iş sayısı işlem zaman grafiği.....	170
Ek-21. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin hazırlık zamanlarının [0-9] aralığında, ağırlık değerlerine göre iş sayıları işlem zaman grafiği.....	171
Ek-22. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin hazırlık zamanlarının [0-24] aralığında, ağırlık değerlerine göre iş sayıları işlem zaman grafiği.....	172
Ek-23. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin hazırlık zamanlarının [0-99] aralığında, ağırlık değerlerine göre iş sayıları işlem zaman grafiği.....	173
Ek-24. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminde $\alpha=0,25$ ve $\beta=0,75$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi	174
Ek-25. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminde $\alpha=0,75$ ve $\beta=0,25$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi	175
Ek-26. $n/2/\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminde $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,75$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi	176
Ek-27. $n/2/\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminde $\beta=0,75$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi	177
Ek-28. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminde $\alpha=0,25$; $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,50$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi	178
Ek-29. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminde $\alpha=0,25$; $\beta=0,50$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi	179

Ek-30. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminde $\alpha=0,50$; $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi	180
Ek-31. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminde $\alpha=0,25$ ve $\beta=0,75$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi	181
Ek-32. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminde $\alpha=0,75$ ve $\beta=0,25$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi	182
Ek-33. $n/2/s_{ji}/\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminde $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,75$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi	183
Ek-34. $n/2/s_{ji}/\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminde $\beta=0,75$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi	184
Ek-35. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminde $\alpha=0,25$; $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,50$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi	185
Ek-36. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminde $\alpha=0,25$; $\beta=0,50$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi	186
Ek-37. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminde $\alpha=0,50$; $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi	187
Ek-38. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminin $\alpha=0,50$ ve $\beta=0,50$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda çözüm kalitesi ve CPU zamanları (sn)	188
Ek-39. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminin $\alpha=0,50$ ve $\beta=0,50$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi	189
Ek-40. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminin $\alpha=0,50$ ve $\beta=0,50$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm süresi	190
Ek-41. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminin $\alpha=0,75$ ve $\beta=0,25$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda çözüm kalitesi ve CPU zamanları (sn)	191
Ek-42. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminin $\alpha=0,75$ ve $\beta=0,25$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi	192
Ek-43. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminin $\alpha=0,75$ ve $\beta=0,25$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm süresi	193
Ek-44. $n/2/\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\beta=0,50$ ve $\gamma=0,50$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda çözüm kalitesi ve CPU zamanları (sn)	194
Ek-45. $n/2/\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\beta=0,50$ ve $\gamma=0,50$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi	195

Ek-46. $n/2/\beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin $\beta=0,75$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda çözüm kalitesi ve CPU zamanları (sn)	196
Ek-47. $n/2/\beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin $\beta=0,75$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde sezgiselilerin çözüm kalitesi	197
Ek-48. $n/2/\alpha \sum C + \beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,25$; $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,50$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda çözüm kalitesi ve CPU zamanları (sn) ...	198
Ek-49. $n/2/\alpha \sum C + \beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,25$; $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,50$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi	199
Ek-50. $n/2/\alpha \sum C + \beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,25$; $\beta=0,50$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda çözüm kalitesi ve CPU zamanları (sn) ...	200
Ek-51. $n/2/\alpha \sum C + \beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,25$; $\beta=0,50$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi	201
Ek-52. $n/2/\alpha \sum C + \beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,50$; $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda çözüm kalitesi ve CPU zamanları (sn) ...	202
Ek-53. $n/2/\alpha \sum C + \beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,50$; $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda sezgisellerin çözüm kalitesi	203
Ek-54. $n/2/s_{ji}/\alpha \sum C + \beta \sum T$ probleminin $\alpha=0,50$ ve $\beta=0,50$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda çözüm kalitesi ve CPU zamanları (sn)	204
Ek-55. $n/2/s_{ji}/\alpha \sum C + \beta \sum T$ probleminin $\alpha=0,50$ ve $\beta=0,50$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi	205
Ek-56. $n/2/s_{ji}/\alpha \sum C + \beta \sum T$ probleminin $\alpha=0,50$ ve $\beta=0,50$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm süresi	206
Ek-57. $n/2/s_{ji}/\alpha \sum C + \beta \sum T$ probleminin $\alpha=0,75$ ve $\beta=0,25$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda çözüm kalitesi ve CPU zamanları (sn)	207
Ek-58. $n/2/s_{ji}/\alpha \sum C + \beta \sum T$ probleminin $\alpha=0,75$ ve $\beta=0,25$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi	208
Ek-59. $n/2/s_{ji}/\alpha \sum C + \beta \sum T$ probleminin $\alpha=0,75$ ve $\beta=0,25$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm süresi	209
Ek-60. $n/2/s_{ji}/\beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin $\beta=0,50$ ve $\gamma=0,50$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda çözüm kalitesi ve CPU zamanları (sn)	210

Ek-61. $n/2/s_{ji}/\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\beta=0,50$ ve $\gamma=0,50$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi	211
Ek-62. $n/2/s_{ji}/\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\beta=0,50$ ve $\gamma=0,50$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm süresi	212
Ek-63. $n/2/s_{ji}/\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\beta=0,75$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda çözüm kalitesi ve CPU zamanları (sn)	213
Ek-64. $n/2/s_{ji}/\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\beta=0,75$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi	214
Ek-65. $n/2/s_{ji}/\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\beta=0,75$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm süresi	215
Ek-66. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,25$; $\beta=0,50$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda çözüm kalitesi ve CPU zamanları (sn) ...	216
Ek-67. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,25$ ve $\beta=0,50$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi	217
Ek-68. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,25$ ve $\beta=0,50$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm süresi	218
Ek-69. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,33$; $\beta=0,33$ ve $\gamma=0,33$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda çözüm kalitesi ve CPU zamanları (sn) ...	219
Ek-70. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,33$; $\beta=0,33$ ve $\gamma=0,33$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi	220
Ek-71. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,33$; $\beta=0,33$ ve $\gamma=0,33$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm süresi	221
Ek-72. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,50$; $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda çözüm kalitesi ve CPU zamanları (sn) ...	222
Ek-73. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,50$; $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi	223
Ek-74. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,50$; $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm süresi	224

KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar

Açıklama

API	Bitişik iş çiftlerinin yer değiştirmesi
EDD	En küçük teslim tarihi
MİP	Malzeme ihtiyaç planlama
NP	Non-deterministic polinomial
PI	Tüm iş çiftlerinin yer değiştirmesi
SPT	En kısa işlem zamanı

1. GİRİŞ

Çizelgeleme, kısıtlı kaynakların uygun görevlere tahsis edilmesi faaliyetidir. Çizelgeleme problemlerinin en önemli elemanları kaynaklar, işler ve amaçlardan oluşur. Çizelgeleme çalışmalarında ortak amaç olarak mevcut kapasiteyi yüksek seviyede kullanmak, talepleri hızlı bir şekilde karşılamak ve işleri zamanında teslim etmek olarak ifade edilebilir.

Çizelgeleme problemleri içinde akış tipi sistemler yarım yüzyıldır araştırmacıların en çok ilgilendiği konulardan biridir. İki makineli akış tipinde maksimum tamamlanma zamanını enküçüklemek için Johnson'ın bulduğu algoritma bu konudaki en önemli sonuçlardan biridir. İmalat veya montaj ortamlarında işler, çok farklı makineler üzerinde işlem görmek zorunda olabilir. Gelen işlerin rotası aynı ise, yani tüm işler aynı makineleri aynı sıra da takip ediyorlar ise, bu ortam akış tipi olarak adlandırılır ve işlerin sırası makineden makineye değişebilir.

Üretim sisteminde amaçlar farklı olabilir. Bu amaçlar; işi zamanında teslim etmek, ara stokları mümkün olduğunca azaltmak, işin sistemdeki kalış süresini azaltmak, makine ve işçiyi verimli kullanmak (makine ve işçi boş zamanını azaltmak), işi istenildiği gibi yapmak, makine hazırlık zamanlarını azaltmak ve üretimle işçi maliyetlerini azaltmak sayılabilir. Şirketin bölümleri arasındaki amaçların farklılığı yüzünden karar vericiler genellikle bu amaçları gerçekleştirmede zorlanmaktadırlar. Çizelgeleme ölçütü, çizelgeleme problemlerinin amacını ifade eder. Tek ölçütlü çizelgelemede, çizelgeleme performansı tek yönüyle ele alınır. Çizelgeleme problemleriyle uğraşan araştırmacılar en çok bu tip problemlerin modelleri ile uğraşmışlardır. Diğer taraftan çizelgelemede birden fazla ölçütü dikkate alan çalışmalara olan ilgi de gittikçe artmaktadır. Ancak bu tür çok ölçütlü çizelgeleme problemlerini çözmek tek ölçütlülere göre daha zordur. Çünkü ölçütler arasında genellikle çelişkiler mevcuttur. Bir ölçüt performansı eniyilenmeye çalışılırken muhtemelen diğer ölçütlerin performansı bozulabilmektedir. Bu çalışmada çok ölçütlü akış tipi çizelgeleme problemleri dikkate alınacaktır. Ele alınan performans

ölçütleri toplam tamamlanma zamanı, maksimum tamamlanma zamanı ve gecikme ölçütleridir.

Bir imalat sisteminde, sipariş çevrim hızının artırılması son derece önemlidir. Sipariş çevrim hızının artması ile yeni siparişlerin daha çabuk alınması mümkün olur. Böylece yarı ürün stoklarının azaltılması da sağlanır. Çizelgeleme de bu faaliyetler, toplam tamamlanma zamanı ve maksimum tamamlanma zamanı ölçütleri ile ifade edilmektedir. İşin gecikmesi ile de müşterinin hoşnutsuzluğunu, ve daha sonra gelebilecek işlerin kaybedilebilmesine, eğer tam zamanında üretim sisteminde ise montajın gecikmesine ve dolayısı ile ekstra maliyetlerin doğmasına sebep olabilir. Bu çizelgeleme de gecikme ölçütü ile ifade edilmektedir.

Akış tipi çizelgeleme problemleri incelendiğinde gecikme ölçütünü (tek ölçüt olarak dahi) dikkate alan çalışmalar oldukça azdır. Çok ölçütlü çalışmalar ise çok daha sınırlıdır. Bu çalışmada gecikme ölçütünün dikkate alındığı altı adet problem incelenmiştir. Bu problemlerin ilk üçünde hazırlık zamanı işlem zamanına dahil edilmiştir. Diğer problemlerde ise hazırlık zamanı işlem zamanına dahil edilmemiştir.

Bir ürün çevriminin üretimini gerçekleştirmek için makine, proses veya tezgahlar üzerinde yapılan işlemler hazırlık faaliyetleri olarak ifade edilir. Bunlar gerekli ekipmanların tespiti, temini, ayarlanması, takılması gibi faaliyetlerden oluşur. Çizelgeleme problemleri ile ilgili yapılan çalışmalarda genellikle hazırlık zamanı işlem zamanına dahil edilerek problemler çözülmeye çalışılmıştır. Ancak akış tipi çizelgelemede, hazırlık zamanının işlem zamanına dahil edilmediği ve ayrık olduğu problemler için daha iyi çözümler de elde edilebilmektedir. Ancak bu durum problemleri daha da zorlaştırmaktadır. Çok ölçütlü problemlerde bu konu üzerinde bizim incelemelerimize göre sadece iki çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada üretim sistemlerindeki hazırlık zamanının en genel şekli olan sıra-bağımsız hazırlık zamanı çok ölçütlü akış tipi çizelgeleme problemleri ele alınmıştır.

Çalışmada ele alınan çok ölçütlü iki makineli akış tipi çizelgeleme problemleri şunlardır:

1. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T$: Toplam tamamlanma zamanı ve toplam gecikmenin ağırlıklı toplamının enküçüklenmesi,
2. $n/2/\beta\sum T+\gamma C_{\max}$: Toplam gecikmenin ve maksimum tamamlanma zamanının ağırlıklı toplamının enküçüklenmesi,
3. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$: Toplam tamamlanma zamanı, toplam gecikme ve maksimum tamamlanma zamanının ağırlıklı toplamının enküçüklenmesi,
4. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T$: Toplam tamamlanma zamanı ve toplam gecikmenin ağırlıklı toplamının hazırlık zamanlı olarak enküçüklenmesi,
5. $n/2/s_{ji}/\beta\sum T+\gamma C_{\max}$: Toplam gecikmenin ve maksimum tamamlanma zamanının ağırlıklı toplamının hazırlık zamanlı olarak enküçüklenmesi,
6. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$: Toplam tamamlanma zamanı, toplam gecikme ve maksimum tamamlanma zamanının ağırlıklı toplamının hazırlık zamanlı olarak enküçüklenmesidir.

Çok ölçütlü çizelgeleme problemleri üç şekilde çözülmektedir. Birincisi, ölçütlerin ağırlıkları eşit olduğunda problemin bütün etkin çözümleri üretilir. Daha sonra çok ölçütlü karar verme teknikleri kullanılır ve çözümler arasında ödünleşimler yapılır. İkincisi, ölçütlerin ağırlık değerleri farklı olduğunda bir amaç fonksiyonunda toplam ağırlık fonksiyonu tanımlanır. Sonuncusu ise, problemde ölçütler birincil ve ikincil olarak ayrılmakta önce birincil ölçüt ikincil ölçüt ihmal edilerek eniyilenmekte, sonra ikincil ölçüt birincil ölçütün performansını azaltmama kısıtı altında eniyi edilmektedir. Bu çalışmada da ikinci durum ele alınmıştır.

Bu çalışmada ele alınan problemlerin hepsi NP-zor yapıdadır. Bu nedenle bu problemlerin eniyi çözümlerini bulmak oldukça zordur. Ancak küçük boyutlu problemler için eniyi çözümler bulunabilmektedir. Çalışmada ele alınan problemleri çözmek için iki tane tamsayılı programlama modeli geliştirilmiştir. Bu modellerle ancak 20 işe kadar olan problemlerin eniyi çözüm sonuçları bulunabilmektedir. Ancak üretim ortamlarında genellikle daha büyük boyutlu problemlerle ilgilenmek ve çözmek gerekebilir. Bu tür problemleri çözmek için etkin sezgisel yöntemlere ihtiyaç duyulur. Sezgisel yöntemler, özellikle zor kombinatoriyal problemlere uygulanan, eniyi veya eniyiye çok yakın sonuçlar veren pratik ve etkin yöntemlerdir. Problemlerin eniyi çözümleri bulunamadığında veya eniyi çözümlerini bulmak için oldukça fazla bir zamana ihtiyaç olduğunda bu tekniklere başvurulur. Bu çalışmada büyük boyutlu problemleri çözmek için çizelgelemede sıkça kullanılan ve kaliteli çözümler veren tabu arama, NEH, rassal arama ve bazı problemlerde EDD yöntemleri kullanılmış ve performansları karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmayla incelenen 6 tip problem; $n/2/\alpha \sum C + \beta \sum T + \gamma C_{\max}$, $n/2/s_{ji}/\beta \sum T + \gamma C_{\max}$ ve $n/2/s_{ji}/\alpha \sum C + \beta \sum T + \gamma C_{\max}$ problemleri literatürde ilk defa ele alınmıştır. $n/2/s_{ji}/\alpha \sum C + \beta \sum T$ problemi için de ilk defa eniyi çözümler bulunurken $n/2/\alpha \sum C + \beta \sum T$ ve $n/2/\beta \sum T + \gamma C_{\max}$ problemleri için de ilk defa sezgisel yaklaşımlar geliştirilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümde genel olarak çizelgelemenin önemi ve çizelgeleme problemlerinin sınıflandırılması yapılmıştır.

Üçüncü bölümde, akış tipinde çizelgeleme problemleri tek ve çok ölçütlülere göre gruplandırılarak yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir. Bu çalışmalar toplu olarak çizelge ve grafiklerle gösterilmiştir.

Dördüncü bölümde, ele alınacak çok ölçütlü çizelgeleme problemleri tanımlanarak varsayımlar hakkında bilgi verilmiştir. Yine bu bölümde çok ölçütlü çizelgeleme problemlerinin eniyi çözümlerini bulmak için geliştirilen tamsayılı programlama modelleri verilerek parametreleri, değişkenleri ve kısıtları açıklanmıştır.

Beşinci bölümde ise, daha büyük boyutlu problemleri çözmek için kurucu yöntemlerden problemlere uyarlanan NEH yöntemi, meta-sezgisel yöntemlerden tabu arama yöntemi ve rassal arama yöntemlerinden genel olarak bahsedilip ele alınan çok ölçütlü çizelgeleme problemlerine nasıl uyarlandığı gösterilmiştir.

Altıncı bölümde de ele alınan altı problem iki grupta incelenmiştir. Birinci grupta hazırlık zamanının işlem zamanına dahil edildiği problemlerdir. Bu problemler 12 farklı teslim tarihi aralığına göre çözümleri yapılmıştır. İkinci grupta ise hazırlık zamanının işlem zamanına dahil edilmediği problemler olup bunların çözümleri 4 farklı hazırlık zaman aralıklarına göre yapılmıştır. Ele alınan problemler 20 işe kadar eniyi çözümleri bulunduktan sonra geliştirilen sezgisel yöntemlerin çözüm kaliteleri hesaplanmıştır. Geliştirilen sezgisel yöntemlerle problemler 2500 işe kadar çözülüp çözüm sonuçları karşılaştırılmıştır.

Yedinci bölümdeki sonuç ve öneriler kısmında, yapılan çalışma değerlendirilmiş ve ileride neler yapılabileceği hakkında bilgi verilmiştir.

2. ÇİZELGELEMENİN ÖNEMİ VE ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

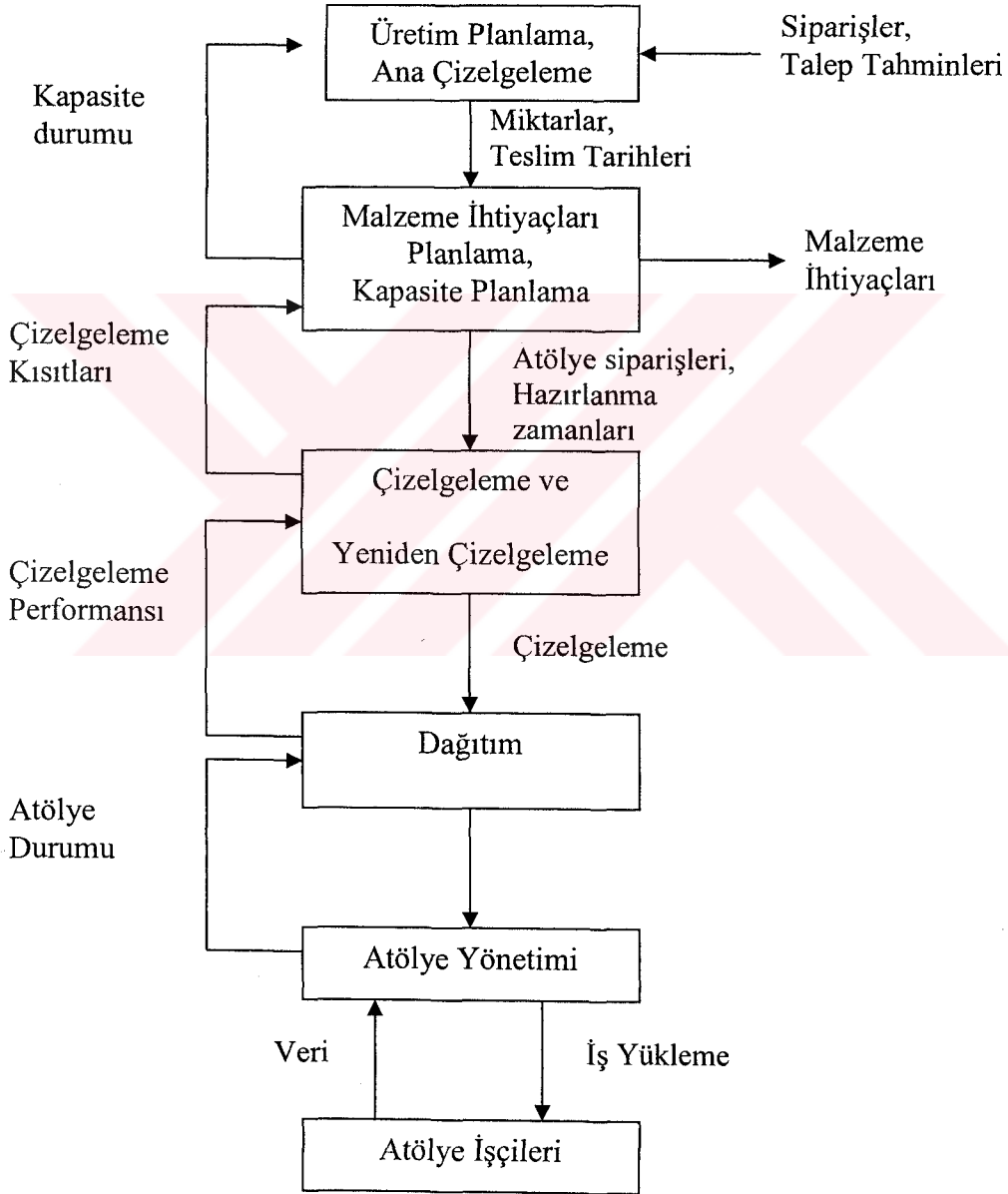
2.1. Çizelgelemenin Önemi ve Organizasyondaki Yeri

Çizelgeleme, imalat ve hizmet sektöründe önemli bir role sahip olan karar verme sürecidir. Tedarik ve üretimde, taşıma ve dağıtımda, bilgi işleme ve iletişimde kullanılır. Bir işletmedeki çizelgeleme çalışmaları görevleri (işlerin) yapılması için matematiksel veya sezgisel yöntemler kullanarak görevlerin yapılması için eldeki kısıtlı kaynakların dağıtılmasını sağlar. Bu kaynakların uygun dağıtımı, firmanın amaçlarını eniyiler ve işletmeyi hedeflerine ulaştırır. Kaynaklar bir atölyedeki makineler, bir hava alanındaki pistler, inşaat sahasındaki çalışanlar yada bir hesaplama ortamındaki işleyici üniteleri olabilir. Görevler ise atölyedeki işlemler, hava alanında kalkış ve inişler, bir inşaat projesindeki aşamalar ya da uygulanan bilgisayar programları olabilir. Her görevin bir öncelik seviyesi, bir mümkün en erken başlama zamanı ve teslim tarihi vardır. Amaçlar da çok farklı şekillerde ortaya çıkabilir. Örneğin tüm görevlerin (işlerin) tamamlanma zamanının ya da teslim tarihinde yetiştirilemeyen işlerin sayısının enküçüklenmesi gibi.

İmalata gönderilen siparişler öncelikle teslim tarihleriyle ilgili işlere çevrilirler. Bu işler genellikle atölyedeki makinelerde verilen sırayla işlenmelidir. İşlerin yapılması, ilgili makine doluysa ya da makineye yüksek öncelikli bir iş gelmişse geciktirilebilir. Çizelgeleme çalışmasında, imalat alanındaki beklenmedik olaylar, makine arızalanmaları ya da beklenenden daha uzun süren işlem zamanları gibi etkenler göz önünde bulundurulmalıdır. Çünkü bu unsurlar çizelgeler üzerinde önemli etkilere sahiptirler. Görevlerin yapılması için ayrıntılı çizelgeler oluşturmak işlemlerin etkinliğini ve kontrolünü artırır.

İmalat alanı, organizasyonun çizelgeleme işlevini etkileyen tek faktör değildir. Tüm organizasyon için orta ve uzun dönem planlamayı sağlayan üretim planlama süreci

de çizelgelemeyi etkiler. Üretim planlama, işletmenin ürün karışımını ve uzun dönem kaynak dağıtımını, stok seviyeleri, talep tahminleri ve kaynak ihtiyaçlarına göre eniyiler. Yüksek planlama seviyesinde verilmiş kararlar çizelgeleme işlerini doğrudan etkiler Şekil 2.1’de imalat sistemindeki bilgi akışını göstermektedir.



Şekil 2.1. İmalat sisteminde bilgi akış diyagramı

İmalat sistemindeki çizelgeleme işlevi tesis için kullanılan karar verme yöntemleri ile ilişkili olmak zorundadır. Buna örnek olarak yaygın bir şekilde kullanılan Malzeme İhtiyaç Planlama (MİP) sistemi verilebilir. Bir çizelgenin oluşturulmasından sonra, tüm hammaddeler ve kaynaklar belirlenen zamanda hazır olmalıdır. Tüm işlerin hazır olma zamanları üretim planlama, çizelgeleme sistemi ve MİP tarafından bütünlük şeklinde belirlenmelidir.

MİP sistemleri genellikle ayrıntılı olarak hazırlanırlar. Her işin bir malzeme fişi vardır ve bu üretim için gereken parçaları içerir. MİP sistemi her parçanın envanterini tutar. Bunlardan başka her malzemenin satın alma zamanını belirler. Bunları yaparken MİP sistemi çizelgeleme sisteminde kullanılanlara benzer olarak parti büyüklüğü belirleme ve parti çizelgeleme teknikleri kullanır. Bunlar için bir çok MİP paket yazılımları mevcuttur. Sonuç olarak bir çok imalat tesisi MİP sistemleri kullanır. Eğer bir tesisin çizelgeleme sistemi yoksa üretim planlama amacıyla MİP sistemi kullanılabilir. Ancak karmaşık sistemlerde tatmin edici detaylı çizelgeleme yapmak MİP sistemleri için oldukça zordur.

Modern tesisler, merkezi bilgisayar ve veri tabanı içeren imalat bilgi sistemleri kullanmaktalar. Kişisel bilgisayarlardan oluşan yerel ağlar, iş istasyonları ve veri giriş terminalleri bu merkezi bilgisayara bağlanmakta ve böylece veri tabanlarından istenilen veri kullanılabilenekte yada yeni veri girilebilmektedir. Çizelgeleme genellikle bu kişisel bilgisayarlarda yada iş istasyonlarında yapılmaktadır. Anahtar pozisyonundaki terminallerde çizelgeleme bilgisayarına bağlanabilir ve böylece ilgili bölümler o anki çizelgeleme bilgisine ulaşabilirler. Bu bölümler çizelgeleme sistemine geri besleme olarak ilgili bilgileri aktarabilirler. Örneğin iş ve makinelerin durumundaki değişiklikler (1).

2.2. Çizelgeleme Problemlerinin sınıflandırılması

Çizelgeleme problemlerinin genel olarak sınıflandırılması Çizelge 2.1’de verilmiş olup sınıflandırmaya esas olan maddeler tek tek aşağıda açıklanmıştır.

Çizelge 2.1. Çok ölçütlü akış tipi çizelgeleme problemlerinin sınıflandırılması

Problemin Yapısı
Deterministik
Stokastik
Makine Biçimi
Tek makineli sistemler
Paralel makineli sistemler
Akış tipi sistemler
Atölye tipi sistemler
Performans ölçütleri
Düzenli ölçütler
Düzenli olmayan ölçütler
İş özellikleri
Öncelik Kısıtları
Rotalama Kısıtları
Malzeme Taşıma Kısıtları
Hazırlık zamanları ve maliyetleri
Öncüllükler
Depolama Alanı ve Bekleme Zamanı Kısıtları
Stoğa-Üretim ve Sipariş-Üretim
Takım Kısıtları ve Kaynak Kısıtları
Çözüm yöntemleri
Geleneksel optimizasyon yöntemleri
Dinamik programlama
Dal-sınır yöntemi
Ödünleşim eğrileri
Tamsayılı programlama formülasyonları
Yeni yaklaşımlar
Tabu arama
Genetik algoritma
Tavlama benzetimi
Karıncalar kolonisi
Ölçüt sayısı
Tek ölçüt
Çok ölçüt

Problemin yapısı: Çizelgeleme problemlerinin yapısı deterministik ve stokastik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. İşlerin işlem zamanları, hazırlık zamanları, teslim tarihleri gibi parametreleri kesin olarak önceden biliniyor ise bu tip problemler deterministik çizelgeleme problemleri olarak ifade edilir. Eğer parametreler kesin olarak önceden bilinmiyor ve bir olasılık dağılımına uyuyor ise bu tip problemler de stokastik çizelgeleme problemleri olarak tanımlanır.

Makine biçimi: Çizelgeleme problemleri kullanılan makine sayısı açısından 4 şekilde sınıflandırılabilir (2-4).

Tek makineli sistemler; bir çok üretim sistemi tek makineli modellere yol açar. Örneğin çok makineli bir modelde darboğaz bir makine varsa, darboğaz makinede ki iş sırası tüm sistemin performansını belirler. Darboğaz makine çizelgelendikten sonra bunun yukarıdaki ve aşağıdaki işlemler çizelgelenir. Bu yaklaşım orijinal problemi önce tek makineli çizelgeleme problemine indirgeyecektir. Tek makineli modeller ayrıca ayrıştırma yaklaşımlarında da önemlidir. Çünkü karmaşık ortamlarda çizelgeleme problemleri daha küçük sayıda tek makineli çizelgeleme problemlerine bölünür. Tek makineli modeller çok çeşitli özel koşullar ve kısıtlar altında ve farklı bir çok amaç fonksiyonu için analiz edilmiştir. Tek makineli bir ortamda eniyi çözümleri sağlamak, uygulamak ve belirlemek daha kolaydır.

Paralel makineli sistemler; tek makineli sistemlerin genelleştirilmişidir. Birçok üretim çevresi, birçok aşama veya iş merkezlerinden oluşmuştur. Her aşamada paralel olarak bir çok makine vardır. Bir iş merkezindeki makineler özdeş olabilir ve ne zaman bir iş geldiğinde mevcut makinelerin herhangi birinde işlem görebilir. Paralel makineli modeller tek makineli modellerlerdeki sebeplerden dolayı önemlidir. Özel bir iş merkezi darboğaz olduğunda bu iş merkezinde çizelgeleme tüm sistemin performansını belirleyecektir. Bu darboğaz paralel makinelerin bir yığını olarak modellenenebilir ve analiz edilir. Her zaman paralel makineler benzer olmayabilir. Bazı makineler diğerinden daha eski, daha yavaş hızda çalışır olabilir, veya diğerinden daha iyi, daha yüksek kalitede iş yapabilir. Bazen bazı işler m

paralel makinenin herhangi biri üzerinde işlem görebilirken diğerleri sadece m makinenin özel bir alt seti üzerinde işlem görebilir.

Akış tipi sistemler; bir çok imalat veya montaj ortamlarında işler, bir çok farklı makine üzerinde bir çok işlemi gerçekleştirmek zorundadır. Şayet tüm işlerin rotası aynı olursa, yani tüm işler aynı makineleri aynı sırada takip ediyorlar ise, bu ortam akış tipi olarak adlandırılır. Makineler seri bir şekilde kurulur ve ne zaman bir iş bir makine üzerinde işlemini tamamlarsa bu iş bir sonraki kuyruğa bağlanır. İşlerin sırası makineden makineye değişebilir. Çünkü işler makineler arasında yeniden sıralanabilir. Ancak bir malzeme taşıma sistemi işleri makineden makineye aktarıyor ise sistemde aynı iş sırası sürdürülür. Permütasyon akış tipi çizelgeleme problemlerinde eniyi çizelgeyi belirlemek için $(n!)^m$ tane farklı çizelgenin incelenmesi gerekir. Bu çizelgelerden bazılarını elimine ederek eniyi çözüme ulaşmak daha kolay olur. Bazı akış tipi sistemlerde, bir iş özel bir makinede işleme ihtiyaç duymuyor ise bu makineyi atlayabilir ve diğer işlemleri için ilerleyerek işlemlerini gerçekleştirir. Diğer akış tiplerinde bu tür atlamaya izin yoktur. Akış tiplerinin genelleştirilmiş esnek akış tipleridir. Çok sayıda seri aşama ve her aşamada paralel pek çok makineye sahiptir. İşler her aşamada paralel makinelerin herhangi biri üzerinde işlem görebilir.

Atölye tipi sistemlerde; çok işlemli atölyelerde işler farklı rotalara sahiptir. Bu ortam atölye tipi olarak ifade edilir ve akış tipinin bir genelleştirilmişidir. En basit atölye tipi modellerinde bir işin özel bir makine üzerindeki rotasında en fazla bir kez işlem görebileceği varsayımı vardır. Diğerlerinde ise bir iş bir makineyi sistemdeki rotasına bağlı olarak bir çok kez ziyaret edebilir. Bu atölyenin yeniden devir kısıtı altında olduğu ifade edilir. Bu özellik modelin karmaşıklığını önemli ölçüde artırır. Atölye tipinin genelleştirilmiş esnek atölye tipleridir. Bu atölyedeki iş merkezleri birden fazla paralel makineye sahiptir. Kombinatoriyal bakış açısından yeniden devire sahip esnek atölye tipi en karmaşık makine ortamıdır ve mikro işlemci üretim endüstrisinde çok yaygındır.

Günlük hayatta bir çok makine ortamları burada tarif edilen modellerden daha karmaşıktır. Ancak burada belirtilen modeller daha karmaşık modellerin analizi için esas teşkil ederler.

Performans ölçütleri: Çizelgeleme problemlerinde performans ölçütleri düzenli performans ölçütleri ve düzenli olmayan performans ölçütleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Çizelgeleme amacı iş tamamlanma zamanlarının azalmayan bir fonksiyonu ise, performans ölçütü düzenlidir. Düzenli olmayan performans ölçütleri genellikle iş tamamlanma zamanlarının monoton olmayan fonksiyonlarıdır. Düzenli performans ölçütüne örnek olarak akış zamanı, maksimum tamamlanma zamanı ve gecikme ile ilgili ölçütler verilebilir. Düzenli olmayan performans ölçütüne özellikle tam zamanında üretimde öne çıkan erken bitirme ölçütü örnek olarak verilebilir.

İş özellikleri ve kısıtları: Çizelgeleme problemlerinde işe ait bazı özellikler ve kısıtlar bulunabilir (1)

Öncelik Kısıtları: Çizelgeleme problemlerinde bir iş genellikle kendinden önce verilen iş seti tamamlandıktan sonra başlayabilir. Bu kısıtlar öncelik kısıtları olarak tanımlanır.

Rotalama Kısıtları: Rotalama kısıtları sistemdeki bir işin rotasını belirler. Bir iş belirli makinelerde verilen sırada yapılması gereken bir grup işlemden oluşur. Bir çok imalat firmasında bu tip kısıtlar yaygındır. Bir iş bir aşamada işlem görmeden, bir sonraki aşamaya geçebilir. Bir işin uğraması gereken aşamalar ve atlayabileceği aşamaların bilgisi rotalama kısıtları tarafından sağlanır.

Malzeme Taşıma Kısıtları: Modern montaj sistemlerinde genellikle işleri bir istasyondan diğerine taşıyacak malzeme taşıma sistemleri bulunmaktadır. Malzeme taşıma sisteminin otomasyonu iş istasyonlarının otomasyon seviyesine bağlıdır. Eğer iş istasyonları yüksek bir otomasyon seviyesine sahipse işlem zamanları deterministiktir ve değişkenlik göstermezler. Bu durumda malzeme taşıma sistemi de otomatik olmalıdır. Ancak elle yapılan bir iş istasyonunda çevrim zamanı işin

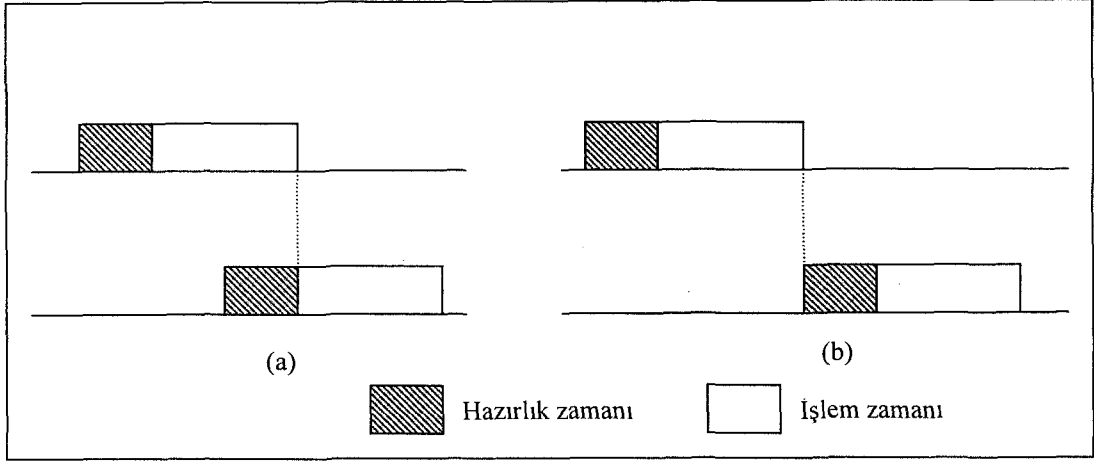
işlenme zamanına bağlı olduğu için malzeme taşıma sistemleri de ayarlanabilir olabilir.

Malzeme taşıma sistemi bir işlemin başlama zamanı ile öncüllerinin tamamlanma zamanları arasında bağımlılığı zorunlu kılar. Ayrıca malzeme taşıma sisteminin bulunması stok alanlarını kısıtlar bu da yarı ürün stoklarını azaltır.

Hazırlık zamanları ve maliyetleri: Bir ürün çevriminin üretimini gerçekleştirmek için makine, proses veya tezgahları üzerinde yapılan işlemler hazırlık faaliyetleri olarak ifade edilir. Bunlar gerekli ekipmanların tespiti, temini, ayarlanması, takılması gibi faaliyetlerden oluşur (5,6).

Hazırlık işlemi uzun zamandır ihmal edilmiş veya işlem zamanının bir parçası olarak düşünülmüştür. Bazı çizelgeleme problemleri için bu tatmin edici olabilirken diğer bir çok durumda ayrık hazırlık zamanı göz önüne alınır. Ayrık hazırlık zamanı için iki tip problem mevcuttur. Birinci tipte hazırlık zamanı sadece işlem göreceğ işe bağlıdır ve sıra-bağımsız olarak tanımlanır. İkinci tipte ise hazırlık zamanı hem işlem göreceğ işe ve hem de ondan önce yapılan işe bağlıdır ve sıra-bağımlı olarak ifade edilir (5,6). Hazırlık zamanının önemi üzerinde pek çok çalışma yapılmıştır. Wilbrecht ve Prescott (7)'a göre sıra-bağımlı hazırlık zamanlarının atölyenin nerede ise tam kapasite ile çalıştığı ortamlarda önemli olduğunu tespit etmiştir.

Şekil 2.2 (a)'da görüldüğü gibi hazırlık zamanı ayrılabilir olduğu zaman birinci makinede işin işlemi tamamlanmadan ikinci makinede işin hazırlık zamanı başlayabilmektedir. Şekil 2.2 (b)'de ise işlem zamanı hazırlık zamanından ayıramadığında birinci makinede işin işlemi bitmeden ikinci makinede işin hazırlık zamanı başlamamaktadır (8).



Şekil 2.2. Çizelgelemede bir işin hazırlık zamanı (a) ayrılabilir (b) ayrılmaz

Öncüllükler: Bir işin işlenmesi sırasında işin akışı başka bir iş için yarıda kesilebilir. Örneğin, o makineye yüksek öncelikli ani bir iş siparişi gelebilir. Makineden alınan iş ertelenmiştir. Öncüllüğün değişik şekilleri vardır. Bir şekli ertelenen işin o zamana kadar yapılan işlemleri kaybolmaz yani ertelenen iş tekrar işleme alındığında kalınan yerden devam edilir. Bu öncüllük süren-öncüllük olarak adlandırılır. Öncüllüğün diğer bir şeklinde ise o zamana kadar yapılan işlem yok olur. Bu da tekrarlı- öncüllük olarak adlandırılır.

Depolama Alanı ve Bekleme Zamanı Kısıtları: Bir çok üretim sisteminde özellikle çok yer kaplayan ürün üreten sistemlerde yarı ürün stokları için ayrılan alan sınırlandırılmıştır. Bu kısıt makine önünde işlenmek için bekleyen işler için bir üst sınır çizer. Akış tipi sistemlerde alan kısıtı tıkanıklıklara yol açabilir. İki makine arasındaki depolama alanının sınırlandırıldığını varsayalım. Alan dolduğunda ilk makine tamamladığı ürünü alana aktaramaz. Bunun yerine iş makinede kalır bu da o makinenin başka bir işi işlemesine engel olur.

Stoğa-Üretim ve Sipariş-Üretim: Bir imalat tesisi talebin sabit olduğu ve ürünün modasının geçmesi riskinin olmadığı durumlarda stok tutabilir. Bu stoğa üretim yapma kararı çizelgeleme işlemini etkiler çünkü stoğa yapılan üretimin kesin teslim tarihi olamaz. Talep oranları sabit olduğu durumda, üretim parti büyüklüğü hazırlık

maliyeti ve stoğa tutma maliyeti ile belirlenir. Stok sıfıra düştüğünde firma stoğu yeniler. Stokastik talep durumunda ise stok miktarı belirli bir değerin altına düştüğünde firma stoğu yeniler. Siparişe göre üretimde ise belirli teslim tarihleri vardır ve üretilecek miktar müşteri tarafından belirlenir. Bir çok üretim tesisi kısmen stoğa-üretim kısmen de siparişe-üretimde göre çalışır.

Takım Kısıtları ve Kaynak Kısıtları: Makineler genellikle bir işi işleyebilmek için bir ya da daha fazla takıma ihtiyaç duyarlar. Bu takımlar değişik tiplerde olabilir. Paralel makineli sistemlerde takım ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için işler çizelgelenmelidir. Bir makine sadece bir tip takıma ihtiyaç duyuyor ancak onlardan R adet varsa bunlar kaynak olarak adlandırılır. Uygulamadaki bilinen kaynaklardan biri de personeldir. Bir atölyede belirli bir makineyi çalıştırabilmek için az sayıda operatör olabilir. Makinede işlenmesi gereken iş operatör uygun olana kadar beklemelidir. Bu noktada makine çizelgeleme ve personel çizelgeleme ortak zeminde buluşur .

Çözüm Yöntemleri: Araştırmacılar çizelgeleme problemlerini çözmek için iki yol izlemişlerdir. Birincisin de geleneksel optimizasyon yöntemlerini, ikincisinde ise son zamanlarda yaygınlaşan meta sezgisel yöntemlerdir.

Geleneksel optimizasyon yöntemleri üç grupta toplanabilir:

Dinamik programlama tekniği bir birerleme tekniğidir. Bu yöntem çizelgeleme ve diğer kombinatorial problemler için kullanılan çok aşamalı karar problemidir. Bu yöntemle ilgili en önemli ilk çalışmalar, Held ve Karp (9), Lawler (10) ile Lawler ve Moore (11) tarafından yapılmıştır. Bu teknik belli kısıtlayıcı kuralları akılcı bir şekilde uygulayarak çok sayıda aday çözümü elimine ederler. Ancak bu teknik büyük boyutlu problemler için etkin değildir. Çünkü durum değişkenlerinin sayısı artarken problemleri çözmek için gereken işlemlerde artar ve bu özellik büyük boyutlu problemlerin çözümünde dinamik programlama yaklaşımının kullanımını kısıtlar (3,12-13).

Dal-sınır yöntemi: kombinatorial problemlerin çözümünde en sık kullanılan yöntemlerden biridir. İlk olarak gezgin satıcı probleminde uygulanmıştır (14). Bu yöntemde, çözüm zamanları farklı veri setlerine göre önemli derecede değişkenlik gösterir. Dallanan değişken ile sınırlama yaklaşımının seçimi algoritmanın performansını önemli derecede etkiler. Dal-sınır tekniği ile çizelgeleme problemlerinin çözümü, problem boyutu arttıkça zorlaşmaktadır (3,13).

Ödünleşim eğrileri; ölçütlerin ağırlıkları eşit olduğunda problemin bütün etkin çözümleri üretilir. Daha sonra çok ölçütlü karar verme teknikleri kullanılır ve çözümler arasında ödünleşimler yapılır (15).

Tamsayılı programlama formülasyonları; Bir çok araştırmacı, çizelgeleme problemlerinin değişik versiyonları için tamsayılı programlama modelleri geliştirmişlerdir. Bir çizelgeleme problemi tamsayılı programlama modeli olarak formüle edilebileceği için mevcut tamsayılı programlama algoritmalarıyla çözülebilir. Ancak böyle bir yaklaşım sadece küçük ölçekli problemlere uygulanabilir. Çizelgeleme problemlerinin matematiksel programlama formülasyonları genellikle çok sayıda değişken ve kısıta ihtiyaç duyar. Mevcut tamsayılı programlama algoritmaları bu tür problemleri etkin bir şekilde çözmede başarılı değildir. Ancak bu tür formülasyonların bir avantajı birden fazla ölçütü tek bir amaç fonksiyonu altında birleştirebilmesidir.

Diğer bir yaklaşım da tamsayılı programlamaya göre modellenmiş bir problemi tamsayı kısıtsız çözmektir. Böylece mevcut doğrusal programlama algoritmalarının kullanımı mümkün olur. Bu algoritmalar aşırı hafızaya ihtiyaç duymaksızın büyük boyutlu problemleri çözebilir. Ancak bu tür bir yaklaşımın dezavantajı tamsayı olmayan çözümler en yakın tamsayıya yuvarlatılmak zorunda kalmasıdır. Bir çok durumda eniyi çözümlerle karşılaştırıldığında bu yuvarlamanın kötü çözümlere yol açtığı gösterilmiştir (3,12,13,15-17).

Çizelgeleme problemlerinin eniyi çözümü, dal-sınır, dinamik programlama veya tamsayılı programlama yöntemler ile bulunabilir. Ancak bu yöntemler güçlü bir

bilgisayara ve çok fazla hesaplama zamanına ihtiyaç duymaktadır ve büyük boyutlu problemlerin çözümünde kullanılmaları uygun olmamaktadır. Son yıllarda yeni sezgisel teknikler geliştirilmiştir. Bu sezgiseller; tavlama benzetimi, tabu arama, genetik algoritma ve karınca kolonisi gibi yaklaşımlardır (9,18,19).

Tavlama benzetimi, kombinatoriyal optimizasyon problemleri için iyi çözümler veren olasılıklı bir arama yöntemidir. “Tavlama Benzetimi” ismi, katıların fiziksel tavlama süreci ile olan benzerlikten ileri gelmektedir. Tavlama benzetimi algoritması, birbirlerinden bağımsız olarak, Kirkpatrick vd. (20) ve Cerny (21) tarafından ortaya konmuştur. Günümüze kadar, farklı alanlardaki bir çok eniyileme problemine uygulanmıştır. Tavlama benzetimi, bir katının minimum enerji durumu elde edilene kadar yavaş yavaş soğutulduğu fiziksel tavlama sürecini taklit eden olasılıklı bir arama yöntemidir. Bu yöntem ile üretilen çözümler sırasının amaç fonksiyon değerleri genel bir azalma eğilimindedir. Fakat bazı durumlarda amaç fonksiyonu değerleri yüksek olan çözümler de kabul edilebilmektedir. Bu yolla, yerel bir enküçük etrafında yapılan aramadan çıkılıp, daha iyi bir yerel veya belki de mutlak bir enküçük için aramaya devam etmek amaçlanır. Tavlama benzetiminin kombinatoriyal eniyileme problemleri için eniyiye yakın çözümler veren kullanışlı bir yöntem olarak dikkate alındığı söylenebilir (22-25).

Tabu arama, kombinatoriyal optimizasyon problemlerini çözmek için geliştirilmiş bir sezgisel tekniktir ve başka metotlarla birlikte kullanılarak, bu metotları yerel optimum tuzacağına düşmekten koruyan uyarlanabilir bir yaklaşımdır. Tabu aramanın bugünkü modern şeklini Glover (26-28) ortaya koymuştur.

Tabu arama, başlangıç çözümü, hareket mekanizması, aday liste stratejileri, hafıza, tabu yıkma kriterleri, durdurma koşulları olarak adlandırılan temel elemanlara sahiptir. Tabu aramada başlangıç çözümü rassal olarak seçilebileceği gibi, başlangıç çözümünün belirlenmesinde herhangi başka bir algoritma da kullanılabilir. Hareket mekanizması ise, mevcut çözümde yapılan bir değişiklik ile elde edilebilecek yeni çözümleri belirler ve mümkün hareketler, mevcut çözümün tüm komşularını oluştururlar. Hareket mekanizmasının, problem yapısına bağlı olmasının yanı sıra

uygun bir şekilde belirlenmesi bu metodun performansı açısından oldukça önemlidir. Komşu arama yönteminde her yeni çizelge amaç fonksiyonun daha düşük bir değerini temsil ettiği için bir iniş tekniği olarak da bilinir (amaç fonksiyonu enküçükleme olduğunda). Çizelge sayısının bir fonksiyonu olarak amaç fonksiyon değeri azalan bir fonksiyonu gösterecektir. Büyük boyutlu problemlerde aramanın erken safhalarında amaç fonksiyon değerinde hızlı bir düşüş olabilirken aramanın sonuna doğru ise bu düşüş daha yavaştır. Komşu arama yöntemlerinin problemlerinden biri, bu yöntemlerin yerel bir eniyi değere yakalanma eğilimleridir. Çözümleri iyileştiren her yol takip edildiğinde, bu yol mutlak eniyiye gitmeyebilir. Eğer eski çizelgeden daha kötü olan yeni bir çizelge denemesine izin verilirse, yöntem tuzaktan kurtulabilir ve eniyi çözüme giden yolu bulabilir. Daha kötü görünen bir çözüme ara sıra yönelme esnekliği tabu aramanın bir özelliğidir (28-32).

Genetik algoritmalar, tavlama benzetimi ve tabu aramadan daha geneldir. Tavlama benzetimi ve tabu arama, genetik algoritmaların özel durumlarıdır. Genetik algoritmaların öncüleri Holland (33), De Jong (34) ve Goldberg (35)'dir. Genetik algoritmada çözüm uzayı, dizi veya kromozom olarak gösterilen aday çözümlerden oluşturulmaktadır. Her kromozomun bir amaç fonksiyonu değeri yani uygunluk değeri bulunmaktadır. Seçilen bir kromozom kümesi ve bunların uygunluk değerleri bir yığın oluşturmaktadır. Genetik algoritmanın her iterasyonunda üretilen bir yığın hacmi, o iterasyonun neslini oluşturur.

Genetik algoritmalar çizelgeleme problemlerine uygulandığında çizelgeler bir yığının üyeleri veya bireyleri olarak dikkate alınır. Her bireyin uygunluğu vardır. Bir bireyin uygunluğu ilgili problemin amaç fonksiyon değeri ile ölçülür. Yöntem iterativ olarak çalışır ve her iterasyon bir nesle karşılık gelir. Bir neslin genişliği önceki nesilden yaşayan bireyler ile önceki neslin çocuklarından (veya yeni çizelgelerden) oluşur. Algoritmada nesile karşılık gelen yığın genişliği bir iterasyondan diğerine genellikle sabittir. Çocuklar önceki neslin bir bölümüne ait bireylerin mutasyonu ve çaprazlaması ile elde edilir. Bireyler, kromozomlar olarak ifade edilir. Çok makineli bir sistemde bir kromozom alt kromozomlardan oluşur. Bu kromozomların her biri bir makine üzerindeki iş sırası ile ilgilidir. Bir aile kromozomundaki bir mutasyon

ilgili sıradaki eşdeğer iş çiftlerin yer değiştirmesine eşdeğer olabilir. Her nesilde uygunluğu yüksek olan bireyler çoğalırken düşük olanlar ölür. Yeni neslin oluşumunu belirleyen doğum, ölüm, üreme prosesleri karmaşık olabilir ve genellikle mevcut nesil bireylerinin uygunluk seviyelerine bağlıdır (36-40).

Karınca sistemi, farklı kombinatoriyal optimizasyon problemlerin çözümünde kullanılabilen genel amaçlı sezgisel bir algoritmadır. Karınca sisteminde, arama aktiviteleri, gerçek karıncaların karakteristiklerini taklit eden basit temel yeteneklere sahip "karınca" olarak adlandırılan ajanlara yaptırılmıştır. Gerçek karıncaların davranışlarına ilişkin araştırmalar çalışmanın büyük bir kısmını oluşturur. Bu çalışmalarda üzerinde durulan problemlerden biri de karıncalar gibi neredeyse kör olan hayvanların kolonileri içinde besin kaynaklarından geriye doğru en kısa yolu nasıl bulduklarıdır. Yolları gösteren ve nereye gidileceğine karar vermekte kullanılan medya, fenomen izden oluşur. Hareket eden bir karınca, yolu belirlemek üzere bir miktar (değişen miktarlarda) fenomeni yüzeye bırakır. Tek başına bir karınca genellikle rassal olarak hareket etmesine rağmen, yola daha önceden bırakılan bir miktar fenomen ize rastlarsa bu karınca bunu inceler ve bunu takip edip etmemeye karar verir bu yolla da fenomen izi kendi fenomeni ile güçlendirir. Bu kollektif davranış, bir otokatalitik davranış formudur, karıncalar izi daha çok takip ederlerse, bu iz takip edilmek için daha çekici bir hale gelir. Bu süreç bu yüzden pozitif geri besleme olarak adlandırılır. Bir karıncanın bir yolu seçme olasılığı, o yoldan daha önceden geçen karıncaların sayısı arttıkça artar (41-46).

Ölçüt sayısı, çizelgeleme problemlerinde karar verici tek bir amacı eniyilemek isteyebileceği gibi birden çok amacı da aynı anda eniyilemek isteyebilir. Eğer tek bir ölçüt kullanarak amacı optimize etmek istiyorsa problem tek ölçütlü, eğer birden fazla ölçütü dikkate alarak eniyileme gerçekleştiriliyorsa, çok ölçütlü çizelgeleme problemi olarak tanımlanır (15,18).

Çizelgeleme problemleri $n/m/A/C_1$ şeklinde ifade edilir. Burada n iş sayısını, m makine sayısını, A ise makine tipini, C_1 ise performans ölçütünü göstermektedir. Eğer

problem çok ölçütlü ise $n/m/A/\alpha C_1 + \beta C_2$ veya $n/m/\alpha C_1 + \beta C_2$ olarak ifade edilir. Burada C_1 ve C_2 ölçütleri α ve β ise ölçütlerin ağırlık değerlerini göstermektedir (47).

Çizelgeleme problemleri kombinatorial problemlerden olduğundan bir çok performans ölçütleri NP-zor yapıdadır. Bu çalışmada ilgilenilen akış tipi sistemlerde ise iki makineli akış tipi çizelgeleme probleminde maksimum tamamlanma zamanını enküçükleme ($n/2/F/C_{\max}$) problemi Johnson (48) kuralı ile $O(n \log n)$ hesaplama zamanı ile, hazırlık zamanlı iki makineli akış tipinde maksimum tamamlanma zamanını ($n/2/F, s_{ji}/C_{\max}$) enküçükleme problemi Yoshida ve Hitomi (49)'nin geliştirdiği algoritma ile polinom zamanda çözülebilmektedir. Ancak akış tipi çizelgelemede diğer tüm performans ölçütleri için problemler NP-zor yapıdadır (50,51). Dolayısıyla akış tipinde incelediğimiz tüm çok ölçütlü çizelgeleme problemleri de NP-zor problem sınıfındandır.

Bu çalışmada kullanılan temel performans ölçütleri ve notasyonlar Çizelgele 2.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Bu çalışmada kullanılan temel performans ölçütleri ve notasyonlar

Parametreler	n i p_{ji} d_j s_{ji}	iş sayısı makine sayısı j . işin i . makinede işlem zamanı j . işin teslim tarihi j . işin i . makinede hazırlık zamanı	$j=1,\dots,n$ $i=1,2$
Karar değişkenleri	C_j L_j T_j	j . işin tamamlanma zamanı j . işin gecikmesi j . işin geç bitmesi	$L_j = C_j - d_j$ $T_j = \max \{0, L_j\}$
Performans ölçütleri	$\sum C$ $\sum T$ $C_{\max}$	toplam tamamlanma zamanı toplam gecikme maksimum tamamlanma zamanı	$\sum C = \sum_{j=1}^n C_j$ $\sum T = \sum_{j=1}^n T_j$ $C_{\max} = \max_{j=1,\dots,n} \{C_j\}$
Ağırlıklar	α β γ	toplam tamamlanma zamanı ağırlık değeri toplam gecikme ağırlık değeri maksimum tamamlanma zamanı ağırlık değeri	$0 < \alpha < 1$ $0 < \beta < 1$ $\alpha + \beta + \gamma = 1$

3. AKIŞ TİPİ ÇİZELGELEMEDE YAPILAN ÇALIŞMALARIN GÖZDEN GEÇİRİLMESİ

Bu çalışmada akış tipi çizelgelemede yapılan çalışmalar iki grupta incelenmiştir. Birinci gruptaki problemlerde makine hazırlık zamanları işlem zamanına dahil edilirken, ikinci gruptaki problemlerde ise hazırlık zamanları işlem zamanlarına dahil edilmemiştir. Ayrıca performans ölçütleri olarak maksimum tamamlanma zamanı ($C_{\max}$), toplam tamamlanma zamanı ($\sum C$) ve toplam gecikme ($\sum T$) ölçütlerinin dikkate alındığı problemlere yer verilmiştir.

Bu bölümde konu ile ilgili literatür verildikten sonra bu tezde dikkate alınacak problemlerden bahsedilecektir.

3.1. Akış Tipi Çizelgelemede Hazırlık Zamanı İşlem Zamanına Dahil Edilmeyen (Hazırlık Zamansız) Problemler

Bu gruptaki problemler, tek ölçütlü hazırlık zamansız akış tipi çizelgeleme problemleri ve çok ölçütlü hazırlık zamansız akış tipi çizelgeleme problemleri olmak üzere iki sınıfta incelenecektir.

3.1.1. Tek ölçütlü hazırlık zamansız akış tipi çizelgelemede yapılan çalışmalar

Yapılan çalışmalar performans ölçütlerine göre maksimum tamamlanma zamanı ($C_{\max}$), toplam tamamlanma zamanı ($\sum C$) ve toplam gecikme ($\sum T$) ölçütleri için ayrı ayrı incelenecektir.

3.1.1.1. Maksimum tamamlanma zamanı ile ilgili çalışmalar

İki makineli akış tipi çizelgeleme problemlerinde maksimum tamamlanma zamanının enküçüklenmesi problemi Johnson algoritması (48) ile polinom zamanda çözülebilmektedir. Johnson algoritması şöyledir:

Johnson Algoritması:

Adım 1: $k = 1$ ve $l = n$ 'i kur.

Adım 2: Çizelgelenmemiş mevcut iş listesinin setini kur. $Liste = \{J_1, J_2, \dots, J_n\}$

Adım 3: Mevcut çizelgelenmemiş işlerin bütün $a_i = p_{j1}$ ve $b_i = p_{j2}$ zamanları içindeki en küçük işlem zamanlı olanı bul. $\min\{p_{ji}\} = \min\{a_1, a_2, \dots, a_n, b_1, b_2, \dots, b_n\}$

Adım 4: Eğer en küçük zamanlı J_i işi birinci makine üzerinde ise yani a_i en küçük ise;

- i. J_i işini işlem sırasının k . pozisyonuna ata.
- ii. J_i işini çizelgelenmemiş işlerin listesinden çıkar.
- iii. k 'yı arttır. $k = k + 1$
- iv. Adım 6'ya git.

Adım 5: Eğer en küçük zamanlı J_i işi ikinci makine üzerinde ise yani b_i en küçük ise;

- i. J_i işini işlem sırasının l . pozisyonuna ata.
- ii. J_i işini çizelgelenmemiş işlerin listesinden çıkar.
- iii. l 'yi bir azalt. $l = l - 1$
- iv. Adım 6'ya git.

Adım 6: Çizelgelenmemiş iş var ise Adım 3'e git, aksi halde dur.

3.1.1.2. Toplam tamamlanma zamanı ile ilgili çalışmalar

Toplam tamamlanma zamanı akış tipi çizelgeleme problemlerinde en çok kullanılan performans ölçütlerinden biridir. Tek makineli sistemlerde toplam akış zamanını enküçükleme problemi en kısa işlem zamanı (SPT) kuralıyla polinom zamanda çözülebilirken iki ve daha çok makineli akış tipi çizelgeleme problemlerinde ise NP-zor yapıdadır (13,50).

Bu konuda ilk çalışma Ignall ve Schrage (52) tarafından yapılmıştır. İki alt sınır bularak dal-sınır yöntemi geliştirmişlerdir. Campbell vd. (53) ve Gupta (54), n işli m makineli durumu için sezgisel bir yöntem geliştirmişlerdir. Bansal (55), Ignall ve Schrage (52)'in yöntemini m makineli duruma uyarlamıştır. Bu çalışmaları Miyazaki vd. (56), Gelders ve Sambandam (57), Miyazaki ve Nishiyama (58), Widmer ve Hertz (59)'nin yaptığı sezgisel çalışmalar izlemiştir.

Ahmadi and Bagchi (60), Bansal (55) 'ın yöntemini geliştirerek yeni bir alt sınır değeri bulmuştur. Van de Velde (61), alt sınır değerini bulmak için Langrange gevşetmeyi kullanmıştır.

Ho and Chang (62), üç sezgisel yöntem geliştirmişlerdir. Rajendran and Chaudhuri (63), makine boş zamanı ve işin boş beklemesinin enküçüklemek için üç sezgisel yaklaşım önermişlerdir. Ho and Chang (62)'in sezgisellerinden daha iyi sonuç verdiğini göstermişlerdir.

Karabatı and Kouvelis (64), çalışmalarında dal-sınır yaklaşımı ile belli boyutta problemleri çözebilmiştir. Rajendran (65), öncelik ilişkili sezgisel bir yaklaşım geliştirmiştir. Vempati vd. (66), geliştirdiği sezgiselin mevcut olan yöntemlerden daha iyi sonuç verdiğini göstermiştir.

Hoogeveen ve Van de Velde (67), alt sınır değerini mevcut yöntemlere göre daha da iyileştirmişlerdir. Ho (68), büyük boyutlu problemleri çözmek için sezgisel bir

yöntem geliştirmiş ve Rajendran and Chaudhurinin (63) ve Rajendran (65), yöntemleri ile karşılaştırmıştır.

Della Croce vd. (69), kendilerinin buldukları beş alt sınır değerini karşılaştırmışlardır. Wang vd. (70), iki makineli akış tipi çizelgeleme problemlerinde bazı baskınlık özellikleri geliştirerek dal-sınır yöntemi geliştirmişlerdir. Ayrıca çalışmalarında üç sezgisel yöntem kullanarak eniyiye çok yakın değerler bulmuşlardır.

Rajendran and Ziegler (71), iki aşamalı bir sezgisel geliştirmiştir. Wang vd. (72), problem için iki sezgisel yaklaşım geliştirmişlerdir. Geliştirdiğı yöntemi Rajendran (65)'nin yöntemiyle karşılaştırmıştır.

Woo ve Yim (73), işleri ekleme yöntemini kullanarak sezgisel bir yaklaşım önermiştir.

Croce vd. (74) aynı problem için Lagrange gevşetme yaklaşımı kullanmışlardır. İki yeni baskınlık özelliğı kullanarak incelenecek çözüm sayısını azaltmışlardır. Geliştirdikleri dal-sınır yöntemiyle orta boyutlu problemleri çözmüştür. Chung vd. (75), m makineli durumda ağırlıklı ve ağırlıksız durum için dal-sınır yaklaşımı geliştirmiştir. Allahverdi ve Aldowaisan (76), geliştirdikleri sezgisel yöntemleri Wang vd. (72), Rajendran and Ziegler (71), Woo ve Yim (73)'in sezgisel yöntemleriyle karşılaştırmıştır.

Framinan ve Leisten (77), NEH (78) yöntemini kullanarak geliştirdikleri sezgiseli, Rajendran ve Ziegler (71), Woo ve Yim, (73)'in yöntemleriyle karşılaştırmıştır.

Akkan ve Karabatı (79), problem için yeni alt sınır bularak da-sınır yaklaşımı geliştirmişlerdir. Rajendran ve Ziegler (80), aynı problemi karınca kolonisi yöntemiyle Iyer ve Saxena (81) ise problemi genetik algoritma ile çözmüşlerdir. Framinan vd. (82), geliştirdikleri sezgisel yöntemleri mevcut yöntemlerle kıyaslamışlardır.

3.1.1.3. Toplam gecikme ile ilgili çalışmalar

Toplam gecikme ölçütü çok makineli çizelgeleme problemlerinde en çok çalışılan konulardan biridir. Tek makineli çizelgeleme problemlerinde dahi bu problem NP-zor yapıdadır. Araştırmacılar bu problemin eniyi çözümlerini bulmak için dal-sınır ve dinamik programlama yaklaşımları geliştirmişlerdir. Büyük boyutlu problemleri çözmek içinde en çok genel amaçlı meta-sezgisel yöntemleri kullanmışlardır.

Tek makineli çizelgelemede bu ölçütü ilgili çok çalışma yapılmış olmasına rağmen, problemin zorluğundan dolayı akış tipi çizelgeleme problemlerinde yapılan çalışma sayısı oldukça sınırlıdır. İlk çalışma Sen (83) tarafından yapılmıştır. Sen (83), komşu işleri belli bir sıralamaya tabi tutarak ve alt sınır değeri belirleyerek parçalı bir dal-sınır yaklaşımı geliştirmiştir.

Daha sonraki çalışma ise Kim (84) tarafından yapılmıştır. Eniyi sıranın sonunda yer alacak işlerin belirlenmesi için etkin bir şart ortaya koymuştur. Kim (84), ayrıca çizelgelenmemiş işleri dikkate alarak etkin bir alt sınır belirleyebilmiştir.

Kim (85), yaptığı diğer çalışmada daha önce belirlediği alt sınır değerini daha da iyileştirmiş ve m makineli akış tipi çizelgeleme problemlerine uyarlamıştır.

Pan ve Fan (86), beş etkin baskınlık özelliği belirleyerek Kim (85)'den daha iyi bir alt sınır değerini belirlemişlerdir. Pan ve Fan (86), yaptıkları bu çalışmada dal-sınır yaklaşımını sondan başa doğru uygulamışlardır.

Armentano ve Ronconi (87) ise m makineli akış tipi çizelgeleme problemlerinde toplam gecikmeyi enküçüklemek için tabu aramaya dayalı sezgisel bir yöntem geliştirmişlerdir. Sezgiseli güçlendirme, çeşitlendirme ve komşuluk yapılarına göre analiz etmişlerdir.

Pan vd. (88) ise baştan sona doğru ilerleyen bir dal-sınır yaklaşım geliştirip Pan ve Fan (86)'ın çözümleri ile karşılaştırmışlardır.

Tek ölçütlü akış tipi çizelgelemede yapılan çalışmalar topluca Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Tek ölçütlü akış tipinde yapılan çalışmalar

No	Ölçüt	Çalışmayı yapanlar	No	ölçüt	Çalışmayı yapanlar
1	Cmax	Johnson, (1954)	19	ΣC	Wang vd., (1997)
2	ΣC	Ignall ve Schrage, (1965)	20		Rajendran ve Ziegler, (1997)
3		Campbell vd., (1970)	21		Woo ve Yim, (1998)
4		Gupta, (1972)	22		Croce vd., (2002)
5		Bansal, (1977)	23		Chung vd., (2002)
6		Gelders ve Sambveam, (1978)	24		Allahverdi ve Aldowaisan, (2002)
7		Miyazaki vd., (1978)	25		Framinan ve Leisten, (2003)
8		Miyazaki ve Nishiyama, (1980)	26		Akkan ve Karabatı (2003)
9		Widmer ve Hertz, (1989)	27		Rajendran ve Ziegler, (2004)
10		Ahmadi ve Bagchi, (1990)	28		Framinan vd., (2004)
11		Van de Velde, (1990)	29		Iyer ve Saxena (2004)
12		Ho and Chang, (1991)	30	ΣT	Sen vd., (1989)
13		Rajendran ve Chaudhuri, (1991)	31		Kim, (1993a)
14		Karabati and Kouvelis, (1993)	32		Kim, (1993b)
15		Rajendran, (1993)	33		Pan ve Fan, (1997)
16		Vempati vd., (1993)	34		Armentano ve Ronconi, (1999)
17		Ho, (1995)	35		Pan vd., (2002)
18		Della Croce vd., (1996)			

3.1.2. Çok ölçütlü hazırlık zamansız akış tipi çizelgelemede yapılan çalışmalar

Çok ölçütlü akış tipinde yapılan çalışmalar tek ölçütlülere göre oldukça sınırlıdır. Çok ölçütlü çizelgeleme problemlerini geniş çaplı olarak değerlendiren altı literatür çalışması yapılmıştır.

İki ölçütlü statik çizelgeleme ile ilgili Dileepan ve Sen (89), tarafından yapılan çalışmada on altı makale incelenmiştir. Çalışmada, çizelgeleme problemlerini iki sınıfta incelemişlerdir. Birinci sınıfta; ölçütlerden bir tanesi amaç fonksiyonu olarak

alınırken diğeri kısıt olarak alınmakta, ikinci sınıfta ise; her iki ölçütte amaç fonksiyonunu oluşturmaktadır.

Çok ölçütlü tek makineli çizelgeleme üzerinde bir başka çalışma Fry vd., (90) tarafından yapılmıştır. Fry vd. (90), çalışmalarında amaç fonksiyonlarında yer alan performans ölçütlerine göre bir gruplandırma yaparak çok ölçütlü tek makineli çizelgeleme problemlerini incelemiştir.

Nagar vd. (15) ise, tek ve çok makineli sistemlerde yapılan iki ve çok ölçütlü çizelgeleme çalışmalarına ait bir literatür araştırması yapmışlardır. Çalışmalarında bir sınıflandırma şeması geliştirerek çalışmaları değerlendirmişlerdir.

T'kindt ve Billaut (91), çalışmalarında çok ölçütlü çizelgeleme problemlerin çözümünde çok amaçlı optimizasyon teorisi bağlantısına işaret ederek, karar analizi kavramlarına göre üstesinden gelinmesi mümkün çok ölçütlü çizelgeleme problemlerinin çözümü için genel bir yapı vermişlerdir.

Tek ve paralel makineli ile akış tipi çizelgeleme problemlerini ile ilgili literatür taramaları da Eren ve Güner (14,15) tarafından yapılmıştır. Eren ve Güner (14,15) yaptıkları çalışmada performans ölçütlerine göre problemleri sınıflandırmışlardır.

Yapılan çalışmalar, amaç fonksiyonlarında kullanılan performans ölçütlerine göre alt bölümlerde açıklanacaktır:

3.1.2.1. Maksimum tamamlanma zamanı ve toplam tamamlanma zamanı ile ilgili çalışmalar

Akış tipi çizelgelemede maksimum tamamlanma zamanı ($C_{\max}$) ve ortalama akış zamanının ($\bar{F}$) enküçükleme problemini karışık tamsayılı hedef programlama ile ilk defa Selen ve Hott (92) formüle etmişlerdir. Modelleri $mn + n + m$ kısıttan

oluşmakta, n^2 , 0-1 tamsayı ve $2mn - 2n + 1$ kadar da sürekli değişken sayısı vardır. Çalışmalarını örnek ile göstermişlerdir.

Wilson (93), Selen ve Hott (92)'in modelini daha az değişken kullanarak karışık tamsayılı programlama ile çözmüşlerdir. Model, $2mn + n - m$ kısıttan oluşmakta, n^2 0-1 tamsayı ve mn kadar da sürekli değişken sayısında oluşmaktadır. Modeli kullanarak 7 makine 20 işe kadar çözmüşlerdir.

Rajendran (94), iki makineli maksimum tamamlanma zamanı kısıtı altında toplam akış zamanını enküçükleme problemini dal-sınır yöntemi kullanarak 10 işe kadar çözmüştür. Problem için ayrıca iki özel sezgisel algoritma geliştirmiştir. Geliştirdiği yöntemi 24 işe kadar çözüp, sonuçlarını Johnson (48) algoritması ile karşılaştırmışlardır.

Gangadharan ve Rajendran (95), maksimum tamamlanma zamanı ve toplam akış zamanını $(\sum F)$ enküçükleme için tavlama benzetimi algoritmasını kullanmışlardır. Problemi 25 makine 40 işe kadar çözüp buldukları sonuçları Ho ve Chang (62) ile Ogbu ve Smith (21), algoritmalarının sonuçları ile karşılaştırmışlar ve geliştirdikleri bu sezgiselin daha etkin sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Rajendran (96), aynı problem için Nawaz vd. (78) algoritmasından faydalanarak özel bir sezgisel geliştirmiştir. Sonuçlarını Ho ve Chang (62)'in geliştirdiği algoritma ile 30 makine 50 işe kadar çözmüşlerdir.

Yine Rajendran (97), maksimum tamamlanma zamanı ve toplam akış zamanı problemini çözmek için Campbell vd. (53), yöntemini kullanarak bir sezgisel yaklaşım geliştirmiştir. Önerdiği sezgisel yaklaşımı, Ho ve Chang (62)'in yöntemiyle 50 iş 30 makineli problemler için karşılaştırmıştır.

Nagar vd. (98), iki makineli akış tipi çizelgelemede ağırlıklı toplam akış zamanı ve ağırlıklı maksimum tamamlanma zamanı $(n/m = 2/F/\alpha \sum F + \beta C_{\max})$ enküçükleme problemini incelemişlerdir. Problem için dal-sınır yöntemi geliştirmişlerdir. Problemi 10 ve 14 iş için çeşitli ağırlık değerleri vererek çözmüşlerdir.

Neppalli vd. (99)'de iki makineli akış tipi çizelgelemede aynı problemi incelemişlerdir. Problem çözmek için genetik algoritmayı kullanmışlar. Geliştirdikleri algoritma ile de 80 işe kadar olan problemleri çözmüşlerdir.

Sivrikaya-Şerifoğlu ve Ulusoy (100), iki makineli permütasyon akış tipi probleminde ağırlıklı maksimum tamamlanma zamanı ve ağırlıklı ortalama akış zamanı ve minimize etmek için Rajendran (94) ve Nagar vd. (98)'nin dal-sınır yaklaşımını genişleterek 18 işe kadar çözmüşlerdir. Geliştirdikleri dal-sınır yaklaşımının alt sınırlarını Ignall ve Schrege (52)'den daha iyi sonuç verdiğini göstermişlerdir. Rajendran ve Chaudhuri (63) ve kendi geliştirdikleri sezgisel yöntemi karşılaştırarak da 2 makineli 500 işe kadar değişik ağırlık değerleri vererek çözmüşlerdir.

Lee ve Chou (101), aynı problem için iki makineli akış tipi çizelgelemede $n^2 + 2n$ değişkenli ve $3n$ kısıtlı tamsayılı programlama ile modellemişlerdir. Ayrıca problem için karmaşıklığı $O(n^2)$ olan bir sezgisel yaklaşımın eniyiye çok yakın sonuçlar verdiğini 15 işe kadar çözerek göstermişlerdir.

Sayın ve Karabatı (102), iki makineli akış tipi çizelgeleme probleminde maksimum tamamlanma zamanı ve toplam tamamlanma zamanı problemini çözmüşlerdir. Problemi 28 işe kadar çözen bir dal ve sınır algoritmasını Klein ve Hannan (103)'nin geliştirdiği çok amaçlı tamsayılı doğrusal programlama özelliklerinden faydalanmışlardır.

Maksimum tamamlanma zamanı kısıtı altında toplam akış zamanını minimize etme problemini Gupta vd. (104) de incelemişlerdir. Problem için tabu arama sezgiseli geliştirmişlerdir. 4 farklı faktöre göre performansını değerlendirmişlerdir. Bunlar başlangıç çözümü, hareket tipi, komşu büyüklüğü ve tabu listesi uzunluğudur. Gupta vd. (104) geliştirdikleri sezgiselin Rajendran (94) yönteminden daha iyi sonuç verdiğini 2 makine 80 işe kadar çözerek göstermişlerdir.

Yeh (105), ağırlıklı toplam akış zamanı ve ağırlıklı maksimum tamamlanma zamanı problemi için iki makineli akış tipi çizelgeleme problemi için dal-sınır algoritması geliştirmiştir. Yeh (105) çalışmasında algoritmasını, Nagar vd. (98) algoritması ve Greedy Algoritması ile 200 işe kadar çözüp sonuçları karşılaştırmışlardır.

Chou ve Lee (106), iki makineli ağırlıklı toplam akış zamanı ve maksimum tamamlanma zamanı problemini çözmek için bir tamsayı programlama modeli sunmuşlardır.

Gupta vd. (47), iki makineli akış tipi çizelgeleme problemi için maksimum tamamlanma kısıt altında toplam akış zamanını enküçükleme probleminde için sezgisel yaklaşımlar önermişlerdir. Sezgiselleri; yapısal, kontrollü eklenen, ve iteratif düzelme gösteren olmak üzere üç grupta incelemişlerdir. Her birinden de üçer sezgiseli ele almışlardır. (Gupta, (54); Nawaz vd., (78); Rajendran (65); Nepalli vd. (99); Gupta vd. (104)).

T'Kindt vd. (107), maksimum tamamlanma zamanı kısıtı altında toplam akış zamanını enküçükleme problemini yaptıkları çalışmada iki makineli akış tipi problemde 35 işe kadar çözen bir dal-sınır algoritması geliştirmiştir. Problem için ayrıca özel bir sezgisel geliştirerek 150 işe kadar çözmüşlerdir. Geliştirdiği sezgisel yaklaşımın eniyiye çok yakın çözümler verdiğini göstermişlerdir.

T'Kindt vd. (108), iki makineli akış tipi çizelgeleme probleminde toplam tamamlanma zamanı ve maksimum tamamlanma zamanını enküçüklemek için karınca kolonisi yöntemi ile 200 işe kadar çözmüştür.

Gupta vd. (109), iki makineli akış tipi çizelgeleme problemi için maksimum tamamlanma zamanı kısıt altında toplam akış zamanı ve ağırlıklı toplam akış zamanını enküçüklemek için sezgisel yöntemleri (tavlama benzetimi, Dueck ve Scheuer (110)'in yöntemini, tabu arama, çok dereceli sezgiseller ve genetik algoritma) kullanarak 80 işe kadar çözmüşlerdir.

Allahverdi ve Aldowasian (111), aynı problemi m makineli durum için 18 işe kadar çözen bir dal-sınır yöntemi geliştirmiştir. Ayrıca problem için özel bir sezgisel geliştirerek, Gangadharan ve Rajendran (95), Rajendran (96), Rajendran ve Chaudhuri (63) ve Chen vd. (112)'in geliştirdikleri sezgisellere karşılaştırarak 20 makine 120 işe kadar çözmüşlerdir.

Allahverdi (113), akış tipi çizelgeleme problemlerinde ağırlıklı maksimum tamamlanma zamanı ve ortalama akış zamanı problemin 2 makineli ve m makineli durum için daha önce geliştirilen sezgisel yöntemlerle (Nagar vd. (98); Nagar vd.(114); Sivrikaya-Şerifoğlu ve Ulusoy, (100); Lee ve Chou, (101)) kendisinin geliştirdiği sezgiseli 2 makine için 600 işe kadar, 20 makineli durum için ise 300 işe kadar çözmüştür.

Framinan vd. (115) aynı problemi Nawaz vd. (78)'nin sundukları yöntemin aşamalarını yeniden gözden geçirerek iki ölçütlü probleme uyarlamıştır. Ortalama akış zamanı ve maksimum tamamlanma zamanı arasında ödünleşimler yapmışlar ve diğer sezgisel yöntemlerden (Rajendran ve Chaudhuri, (63); Rajendran, (94); Rajendran, (65); Rajendran, (96); Rajendran, (97); Ho, (68); Woo ve Yim, (73) daha etkin çözümler verdiğini 20 makine 200 işe kadar çözerek göstermişlerdir.

Maksimum tamamlanma kısıt altında toplam akış zamanını enküçükleme probleminde T'kindt vd. (116), 35 işe kadar çözen bir dal-sınır algoritması geliştirmişlerdir. Ayrıca problemi yine kesin sonuç veren karışık tamsayılı programlama ile 27 işe kadar ve dinamik programlama ile de 17 işe kadar çözmüşler ve performansını karşılaştırmışlardır. Problemi 150 işe kadar çözen sezgisel sunup, iki sezgisel (Rajendran, (94); Gupta vd. (109)) yöntem ile karşılaştırmışlardır.

Yeh ve Allahverdi (117) üç makineli durum için alt sınır değerleri bulup iki aşamalı sezgisel yöntem geliştirmişlerdir.

3.1.2.2. Maksimum tamamlanma zamanı ve maksimum gecikme ile ilgili çalışmalar

Daniels ve Chambers (118), iki makineli akış tipi çizelgelemede küçük boyutlu problemler için maksimum tamamlanma zamanı ve maksimum geç bitirme ölçütleri için ödünleşim eğrilerini kullanarak etkin çizelgeler bulmuşlardır. Büyük boyutlu problemler için de Van Wassenhove ve Gelders (119), algoritmasından yararlanarak bir sezgisel yaklaşım geliştirmişler ve 20 işe kadar çözmüşlerdir. Ayrıca algoritmayı m makineli akış tipi çizelgeleme problemi içinde uyarlayıp 10 makine 10 işe kadar çözmüşlerdir.

Murata vd. (120) ve Ishibuchi ve Murata (121), Ağırlıklı maksimum tamamlanma zamanı ve ağırlıklı maksimum geç bitirme problemini Schaffer (122)'in vektör değerlendirme (VEGA) yöntemini kullanarak 20 iş 10 makineye kadar olan problemleri genetik algoritma ile çözmüşlerdir:

Ayrıca, Allahverdi ve Mittenthal (123), maksimum tamamlanma zamanı ve maksimum gecikme problemini makinenin rassal bozulma durumuna göre stokastik olarak incelemişlerdir.

Maksimum tamamlanma zamanı ve maksimum geç bitirmeyi enküçükleme problemini Chakravarthy ve Rajendran (124)'da incelemişlerdir. Problemi çözmek için sezgisel bir yaklaşım olan tavlama benzetimini kullanarak 25 makine 50 işe kadar çözüp sonuçları Daniels ve Chambers (118)'ın geliştirdiği yaklaşımla karşılaştırmışlardır.

Chang vd. (125), çok amaçlı akış tipi çizelgeleme problemleri için kademeli öncelik ağırlıklandırma yaklaşımı geliştirmişlerdir. İki ölçütlü olarak ağırlıklı maksimum tamamlanma zamanı ve ağırlıklı toplam geç bitmeyi Pareto eniyileme çözüm yöntemi ile bulmuşlardır. Problemlerini 30 iş ve 20 makineye kadar test problemlerde uygulamışlardır.

Gupta vd. (109), iki makineli akış tipi çizelgeleme problemi için maksimum tamamlanma kısıt altında ağırlıklı geç bitirme problemini, enküçükleme için tavlama benzetimi, Dueck ve Scheuer (110)'ın geliştirdiği yöntem, tabu arama, çok dereceli (multi-level) sezgiseller ve genetik algoritmayı kullanarak 80 işe kadar çözmüştür.

Allahverdi (126), m makineli problem için sezgisel yaklaşımlar geliştirmiş ve Daniels ve Chambers (118) and Chakravarthy ve Rajendran (124)'nın sezgiselleriyle karşılaştırmıştır. Ayrıca çalışmasında üç makineli problem için baskınlık ilişkileri ve alt sınır değeri belirlemiştir.

Allahverdi ve Aldowaisan (127), beklemesiz akış tipi çizelgeleme problemlerinde maksimum tamamlanma zamanı ve maksimum gecikmenin ağırlıklı toplamını enküçükleme problemini m makineli durumda inceleyip geliştirdiği sezgisel yöntemleri Gangadharan ve Rajendran (128) ve Rajendran (96)'ın yöntemiyle karşılaştırmıştır. Ayrıca problem için dal-sınır yöntemi geliştirmişlerdir.

3.1.2.3. Yapılan diğer çalışmalar

Rajendran (97), maksimum tamamlanma zamanı, toplam akış zamanı ve makine boş zamanı enküçükleme problemini çözmek için özel bir sezgisel geliştirmişlerdir. Önerdiği sezgisel yaklaşımı Ho ve Chang (62) yöntemiyle karşılaştırmış ve daha etkin çözümler verdiğini 50 iş 30 makineye kadar çözüp göstermiştir.

Murata vd. (120) ve Ishibuchi ve Murata (121), ağırlıklı maksimum tamamlanma zamanı, ağırlıklı maksimum geç bitirme ağırlıklı toplam akış zamanı problemini Schaffer (122)'in VEGA yöntemini kullanarak 20 iş 10 makineye kadar kadar çözen genetik algoritmayı kullanmışlardır.

Liao vd. (129), iki makineli akış tipi çizelgeleme probleminde maksimum tamamlanma ve geciken iş sayısı problemini $(n/2/F/C_{\max}, n_T)$ Daniels ve Chambers (118) ile Johnson (48) algoritmalarını kullanarak alt sınır değerlerini bulmuşlardır. Problemi 2 makine 30 işe kadar çözmüşlerdir.

Liao vd. (129), iki makineli akış tipi çizelgeleme probleminde maksimum tamamlanma zamanı ve ortalama gecikme $(n/2/F/C_{\max}, \bar{T})$ problemini Johnson (48) algoritmalarını kullanarak alt sınır değerlerini bulmuşlardır. Problemi 2 makine 30 işe kadar çözmüşlerdir.

Sharadapriyadarshini ve Rajendran (130), makine boş zamanı ile işin bekleme zamanını enküçükleme $(n/m/F/\bar{I}, \bar{W})$ problemini çözmek için sezgisel bir algoritma sunmuşlardır. Problemlerini 40 iş 30 makine için çözüp sonuçları Ho ve Chang (62), Rajendran (65), Gelders ve Sambandam (57), Widmer ve Hertz (59) ve Miyazaki ve Nishiyama (58) sezgiselleri ile karşılaştırmışlardır.

Lee ve Wu (131), İki makineli akış tipi problemde ağırlıklı toplam akış zamanı ve ağırlıklı ortalama gecikmeyi enküçükleme için 18 işe kadar çözen dal-sınır yaklaşımı geliştirmişlerdir.

Allahverdi (132), iki makineli akış tipi çizelgeleme problemlerde en çok kullanılan üç ölçüt olan ağırlıklı maksimum tamamlanma zamanı, ortalama akış zamanı ve maksimum gecikmeyi enküçükleme problemi için dal-sınır algoritması ile 18 işe kadar çözmüştür. Daha sonra daha önce geliştirilmiş sezgisel metodları kullanarak 6 tane sezgisel metot geliştirmiştir (Nawaz vd., (78); Rajendran ve Ziegler, (71); Johnson, (48); SPT; EDD). Sezgiselleri kullanarak 800 işe kadar çözüp sonuçları eniyi çözüme çok yakın sonuç verdiğini göstermiştir.

Chang vd. (125), çok amaçlı akış tipi çizelgeleme problemleri için kademeli öncelik ağırlıklandırma yaklaşımı geliştirmişlerdir. Çok ölçütlü olarak ağırlıklı maksimum tamamlanma zamanı ve ağırlıklı toplam geç bitmeyi ve ağırlıklı toplam akış zamanını enküçükleme problemini Pareto eniyileme çözüm yöntemi ile bulmuşlardır. Problemlerini 30 iş ve 20 makineye kadar test problemlerde uygulamışlardır.

Lee vd. (133), toplam akış zamanı, maksimum geç bitirme ve geciken iş sayısını enküçükleme problemi için bulanık mantık ile tabu arama yöntemini kullanmışlardır.

Çok ölçütlü akış tipinde yapılan çalışmalar toplu olarak Çizelge 3.2’de verilmiştir.

3.2. Akış Tipi Çizelgelemede Hazırlık Zamanlı Problemler

Literatürde hazırlık zamanları da sıra-bağımlı hazırlık zamanı ve sıra-bağımsız hazırlık zamanlı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu çalışmada da sıra-bağımsız hazırlık zamanı dikkate alınmıştır.

Çizelge 3.2. Çok ölçütlü akış tipinde yapılan çalışmalar

no	Ölçütler	Çalışmayı yapanlar	No	Ölçütler	Çalışmayı yapanlar
36	Cmax, F	Selen ve Hott, (1986)	57	Cmax, F	Framinan vd., 2002
37		Wilson, (1989)	58		Yeh, ve Allahverdi, (2004)
38		Rajendran, (1992)	59	Cmax, Tmax	Daniels ve Chambers, 1990
39		Gangadharan ve Rajendran, (1994)	60		Murata vd. 1996
40		Rajendran (1994)	61		Ishibuchi ve Murata 1998
41		Rajendran (1995)	62		Allahverdi ve Mittenthal (1998),
42		Nagar vd. (1995)	63		Chakravarthy ve Rajendran 1999
43		Neppalli vd. (1996)	64		Chang vd. 2002
44		S.Şerifoğlu ve Ulusoy, (1998)	65		Gupta vd. 2002
45		Lee ve Chou, (1998)	66		Allahverdi (2003),.
46		Sayın ve Karabatı, (1999)	67		Allahverdi ve Aldowaisan, (2004)
47		Gupta vd., (1999)	68	Cmax, F, I	Rajendran (1995)
48		Yeh, (1999)	69	Cmax, F, Tmax	Murata (1996)
49		Chou ve Lee, (1999)	70		Ishibuchi ve Murata (1998)
50		Gupta vd., (2001)	71		Allahverdi (2001)
51		T'Kindt vd., (2001)	72		Chang vd. (2002)
52		T'Kindt vd., (2002a)	73	Cmax, T	Liao vd. (1997)
53		T'Kindt vd., (2002b)	74	Cmax, nT	Liao vd. (1997)
54		Gupta vd., (2002)	75	I, W	Sharadapriyadarshini ve Rajendran (1997)
55		Allahverdi ve Aldowaisan, (2002)	76	F, T	Lee ve Wu (2001)
56		Allahverdi, (2002)	77	F, Tmax, nT	Lee vd. (2002)

Akış tipi çizelgeleme problemlerinde hazırlık zamanlı çalışmalar özellikle tek ölçüt üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu çalışmada önce sıra-bağımlı hazırlık zamanlı çalışmalardan bahsedilecek, daha sonra ise bu çalışmada göz önüne alınan sıra-bağımsız hazırlık zamanlı çalışmalar anlatılacaktır.

3.2.1. Tek ölçütlü hazırlık zamanlı akış tipinde yapılan çalışmalar

Ele alınan performans ölçütlerine göre yapılan çalışmalar önce hazırlık zaman durumuna göre değerlendirilecektir.

3.2.1.1. Tek ölçütlü sıra-bağımsız hazırlık zamanı ile ilgili çalışmalar

Sıra-bağımsız hazırlık zamanı, kısaca hazırlık zamanı olarak da ifade edilebilir. Bu çalışmada ilgilenilen ölçütlerle ilgili yapılan çalışmalar şunlardır:

3.2.1.1.1. Maksimum tamamlanma zamanı ile ilgili çalışmalar

Yoshida ve Hitomi (50), Johnson (48) algoritmasını hazırlık zamanlı duruma uyarlamıştır.

Sule (134) ve Sule ve Huang (135), Yoshida ve Hitomi (50)'nin çalışmasını daha da geliştirerek hazırlık ve taşıma zamanlarının ayrılabilir olduğu durumda incelemişlerdir.

Khurana ve Bagga (136), işin hazırlık zamanına ek olarak işin birinci makine ile ikinci makine arasındaki geçen zamanı enküçükleme durumunu iki özel durum için inceleyip eniyi çözümü bulmuşlardır.

Nabeshima ve Maruyama (137), aynı probleme işin kaldırılması ve taşıma zamanını da dikkate alarak iki ve üç makineli durumda incelemiştir.

Khurana ve Bagga (138), Yoshida ve Hitomi (50)'nin problemini verilen teslim tarihinden önce tamamlanması kısıtı altında eniyi çözümlerini elde etmişlerdir.

Szwarc (139), Khurana ve Bagga (140)'nın ele aldığı problemi iki özel durum olmadığında da çözülebileceğini göstermiştir.

Proust vd. (141), m makineli durum için hazırlık ve taşıma zamanları olduğu durumda küçük boyutlu problemler için dal-sınır, büyük boyutlular için dört sezgisel yöntem geliştirmiştir.

Allahverdi (142), Yoshida and Hitomi (50)'nin çalışmasını daha da geliştirerek stokastik durumda incelemiştir.

Rajendran and Ziegler (143), aynı problem için sezgisel bir yaklaşım sunmuştur.

Allahverdi (144), Sule and Huang (135)'nin çalışmasını stokastik durumda incelemiştir.

3.2.1.1.2. Toplam tamamlanma zamanı ile ilgili çalışmalar

Bagga ve Khurana (140), problem için baskınlık ilişkisi ve alt sınır değeri bulmuştur. Geliştirdiği dal-sınır yönteminde düğüm sayısında %10 ile %50 arasında azalma olduğunu gözlemlemişlerdir.

Aldowaisan ve Allahverdi (145), iki makineli beklemesiz akış tipi çizelgeleme problemlerinde toplam akış zamanını enküçükleme problemi için elimizasyon kriterleri geliştirip iki özel durum için eniyi çözümleri elde etmişlerdir.

Allahverdi (146), Bagga ve Khurana (140)'nin problemine benzer bir çalışma yaparak problem için dal-sınır yaklaşımı geliştirmiş ve 35 işe kadar çözmüştür. Büyük boyutlu problemler içinde eniyi çözüme çok yakın sonuçlar veren sezgisel yöntem önermiştir.

Allahverdi ve Aldowaisan (147), beklemesiz üç makineli durum için sezgisel yaklaşımlar geliştirmiştir.

Aldowaisan (148), Aldowaisan ve Allahverdi (147)'nin çalışmasına benzer bir şekilde lokal ve yerel baskınlık ilişkileri geliştirip yeni bir sezgisel yaklaşım geliştirmiştir.

3.2.1.2. Tek ölçütlü sıra-bağımlı hazırlık zamanı ile ilgili çalışmalar

Sıra-bağımlı hazırlık zamanlı problemler çizelgeleme problemleri içinde en zor problemler sınıfındandır. Bu çalışmada ele alınan ölçütlere göre yapılan çalışmalar şunlardır:

3.2.1.2.1. Maksimum tamamlanma zamanı ile ilgili yapılan çalışmalar

Corwin and Esogbue (149), iki makineli sıra-bağımlı hazırlık zamanlı problem için dinamik programlama yaklaşımı geliştirmişlerdir.

Aynı problemi Gupta and Darrow (150), Corwin and Esogbue (149)'nun çalışmasını daha da genelleştirerek iki sezgisel yaklaşım sunmuşlardır.

Gupta ve Darrow (151)'un yaptığı başka bir çalışmada ise aynı problemi için dört sezgisel yöntem geliştirmişlerdir.

Gupta (152), beklemesiz m makineli durumu incelemiştir. Ayrıca yine Gupta (153) aynı problem için sezgisel yöntem sunmuştur.

Simons (154), problem için gezgin satıcı problemine dayalı iki sezgisel yaklaşım geliştirmiştir. Sezgiselinde Vogel yöntemini kullanmıştır.

Das vd. (155), problem için kar endeksli sezgiseli sunmuştur. Gupta vd. (156), aynı problemi beklemesiz durumda incelemiştir.

Ríos-Mercado and Bard (157), problem için dal-kesme yöntemini kullanmış ve sekiz iş altı makineye kadar eniyi çözümleri elde etmişlerdir.

Ríos-Mercado ve Bard (158), iki yeni sezgiseli tabu arama yöntemiyle değerlendirmiştir.

Ríos-Mercado ve Bard (159), yaptıkları çalışmayla 10 iş 6 makineye kadar eniyi çözümlerden %1 sapma ile çözümler bulmuşlardır.

Ríos-Mercado ve Bard (160), sıra-bağımlı hazırlık zamanlı problemi gezgin satıcı tabanlı sezgisel bir yaklaşım geliştirmişlerdir.

Ruiz vd. (161), problem için genetik algoritma ile problemi çözmüşlerdir.

3.2.1.2.2. Toplam tamamlanma zamanı ile ilgili yapılan çalışmalar

Srikar ve Ghosh (162) çalışmalarında sıra-bağımlı hazırlık zamanlı hem maksimum tamamlanma zamanını hem de toplam tamamlanma zamanının m makineli durumda çözmek için karışık tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir.

Stafford ve Tseng (163) Srikar ve Ghosh (162)'un geliştirdiği modeli daha da geliştirmiştir.

Tseng ve Stafford, (164), Srikar ve Ghosh (162) ile Stafford ve Tseng (163)'in modellerini iyileştirmişlerdir.

Rajendran ve H. Ziegler (165), toplam ağırlıklı akış zamanını enküçüklemek için sezgisel yaklaşım geliştirmiştir.

Çalışmalar toplu olarak Çizelge 3.3'de gösterilmiştir.

3.2.2. Çok ölçütlü hazırlık zamanlı akış tipinde yapılan çalışmalar

Çok ölçütlü akış tipi çizelgeleme problemlerinde hazırlık zamanlı iki çalışmaya rastlanmıştır.

Su ve Chou (166), toplam akış zamanı ve maksimum tamamlanma zamanını enküçükleme problemini hazırlık ve işlem zamanları ayrılmış dinamik akış tipi çizelgeleme problemi için tamsayılı programlama modeli sunmuşlar ve probleme özgü sezgisel bir yaklaşım geliştirmişlerdir (no: 114).

Çizelge 3. 3. Hazırlık zamanlı tek ölçütlü akış tipinde yapılan çalışmalar

no	ölçüt	Çalışmayı yapanlar	no	ölçüt	Çalışmayı yapanlar
78	Cmax, hz	Yoshida ve Hitomi, (1979)	96	Cmax, sbhz	Gupta vd., (1997)
79		Sule, (1982)	97		Rios-Mercado ve Bard, (1998a)
80		Sule ve Huang, (1983)	98		Rios-Mercado ve Bard, (1998b)
81		Khurana ve Bagga, (1984)	99		Rios-Mercado ve Bard, (1999a)
82		Nabeshima ve Maruyama, (1984)	100		Rios-Mercado ve Bard, (1999b)
83		Khurana ve Bagga, (1985)	101		Ruiz vd., (2004)
84		Szwarc, (1986)	102		Srikan ve Ghosh, (1986)
85		Proust vd., (1991)	103		Stafford ve Tseng, (1990)
86		Allahverdi, (1995)	104		Tseng ve Stafford, (2001,
87		Rajendran ve Ziegler, (1997)	105	ΣC, hz	Bagga ve Khurana, (1986)
88		Allahverdi, (1997)	106		Aldowaisan ve Allahverdi, (1998)
89	Cmax, sbhz	Corwin ve Esogbue, (1974)	107		Allahverdi, (2000)
90		Gupta ve Darrow, (1985)	108		Allahverdi ve Aldowaisan, (2000)
91		Gupta ve Darrow, (1986)	109		Aldowaisan, (2001)
92		Gupta, (1986)	110	ΣC, sbhz	Srikan ve Ghosh, (1986)
93		Gupta, (1988)	111		Stafford ve Tseng, (1990)
94		Simons, (1992)	112		Tseng ve Stafford, (2001)
95		Das vd., (1995)	113		Rajendran ve Ziegler, (1997)

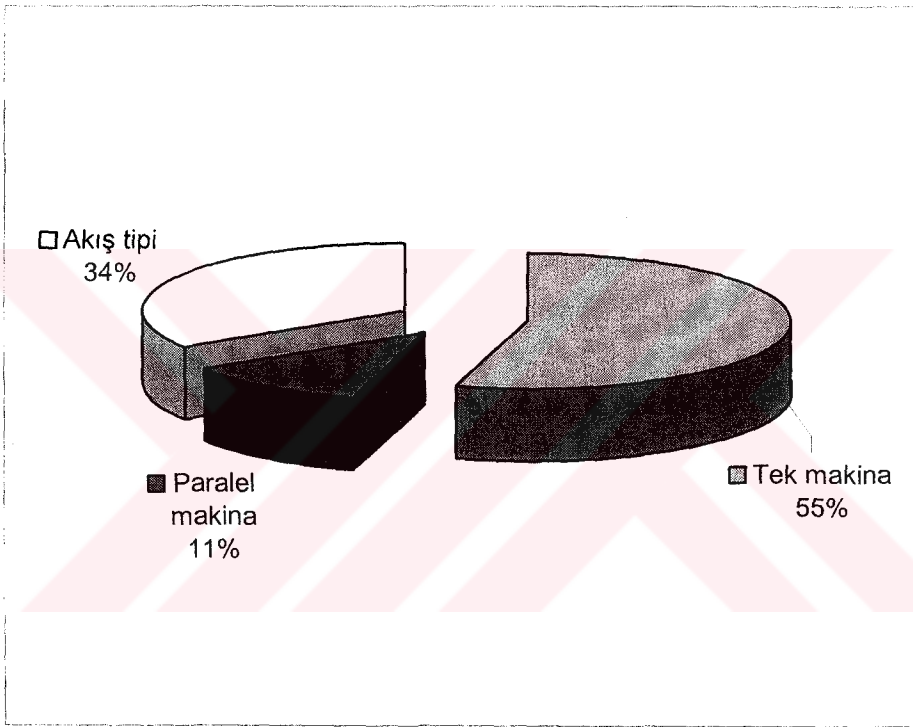
Rajendran ve Ziegler (167) ise sıra-bağımlı hazırlık zamanını dikkate alarak toplam tamamlanma zamanı ve toplam gecikmeyi enküçükleme problemini çözmek için sezgisel yaklaşım kullanmışlardır (no: 115).

3.3. Yapılan Çalışmaların Değerlendirilmesi ve Bu Çalışmada Ele Alınacak Problemler

Literatür araştırmaları (Dileepan ve Sen, (89); Fry vd., (90); Nagar vd., (15); T'kindt ve Billaut, (91); Eren ve Güner, (18,19)) değerlendirildiğinde makine tiplerine göre yapılan çok ölçütlü çalışmaların dağılımı Şekil 3.1'de verilmiştir.

Şekil 1'de de görüldüğü gibi çalışmaların büyük bir çoğunluğunu tek makineli sistemler için gerçekleştirilmişken onu akış tipi ve paralel makineli sistemler için yapılan çalışmalar izlemektedir.

Çok ölçütlü akış tipi çizelgeleme problemleri ölçütlere göre incelendiğinde ise araştırmacılar en çok maksimum tamamlanma zamanı ve toplam tamamlanma zamanının enküçüklenmesi problemiyle ilgilenmişlerdir. Bu ölçütleri maksimum tamamlanma zamanı ve maksimum gecikme ölçütlerini enküçükleme problemi izlemiştir. Akış tipinde yapılan çalışmaların ölçütlere göre dağılımı Şekil 3.2’de verilmiştir.

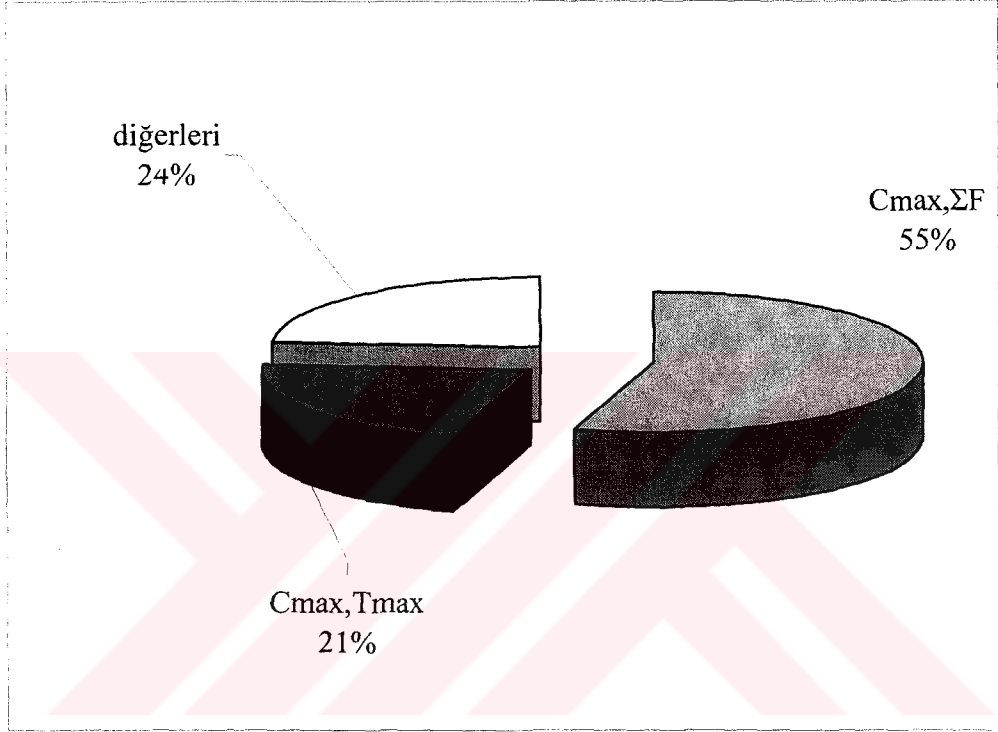


Şekil 3.1. Çok ölçütlü çizelgeleme problemlerinin makine tiplerine göre dağılımı

Toplam tamamlanma zamanı akış tipi çizelgeleme problemlerinde en çok çalışılan ölçütlerden biri olmasına rağmen, gecikme ölçütlü çalışmalar oldukça azdır. Akış tipinde sadece gecikme ölçütünün yer aldığı sadece altı çalışma yapılmıştır. Gecikme ölçütünün kullanıldığı çok ölçütlü çalışma sayısı ise sadece iki çalışmadır.

Hazırlık zamanlı akış tipinde ise çalışmalar, maksimum tamamlanma zamanı ve toplam tamamlanma zamanı ile ilgili ölçütler üzerinde yoğunlaşmıştır. Hazırlık

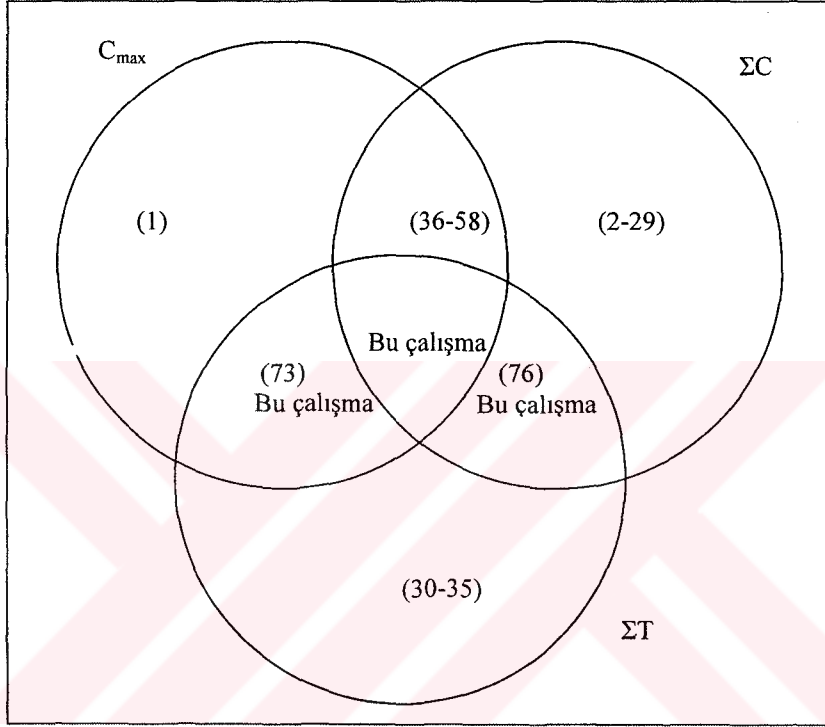
zamanları, sıra-bağımlı hazırlık zamanlı olduğunda ise çalışmalar daha da azalmaktadır. Hazırlık zamanlı akış tipinde toplam gecikme ölçütü ile ilgili çalışma bulunmamaktadır. Çok ölçütlü hazırlık zamanlı akış tipinde ise sadece iki çalışma yapılmıştır.



Şekil 3.2. Çok ölçütlü akış tipi çizelgeleme problemlerinin ölçütlere göre dağılımı

Bu tezde iki makineli akış tipi çizelgelemede C_{max} , $\sum C$, ve $\sum T$ ölçütlerinin $(\sum C, \sum T)$; $(\sum T, C_{max})$ ve üç ölçütün birlikte dikkate alındığı çok ölçütlü problemler incelenerek çözüm yöntemleri önerilecektir. Ayrıca yine bu ölçütlerin dikkate alındığı ancak hazırlık zamanlarının işlem zamanlarına dahil edilmediği durum için oluşan iki ölçütlü ve üç ölçütlü üç problem için çözüm yaklaşımları da önerilecektir.

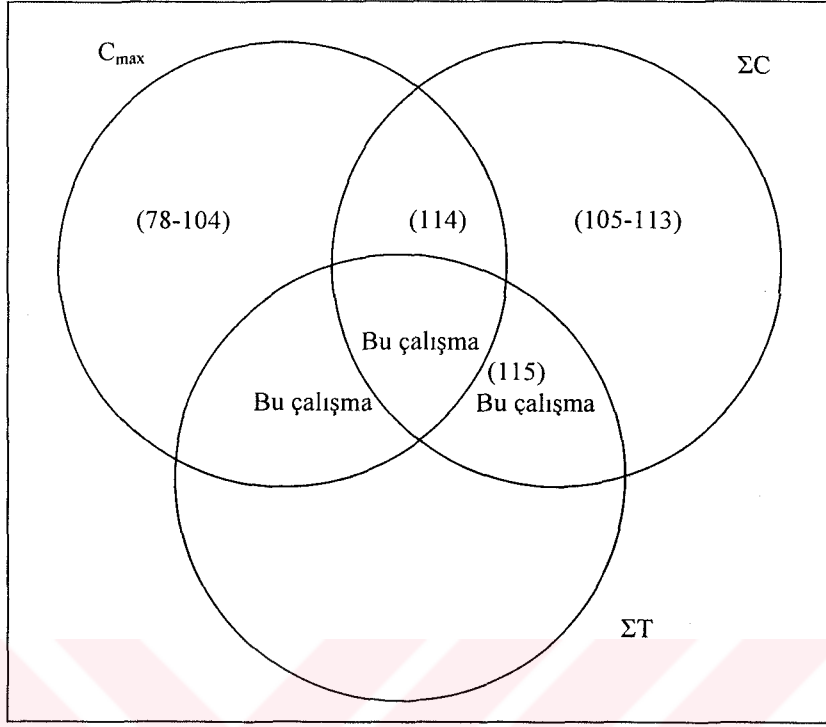
Yukarıda anlatılan çalışmalar ve bu tezde dikkate alınacak problemler toplu olarak Şekil 3.3’de ve Şekil 3.4’de verilmiştir. Parantez içindeki sayılar Çizelge 3.1.-3.3’de verilen çalışma numaralarını göstermektedir.



Şekil 3.3. Akış tipi çizelgeleme problemlerinde yapılan çalışmalar ve bu tezde dikkate alınan problemler

Tezde dikkate alınacak problemler ve daha önce incelenmiş olan problemler Çizelge 3.4’de verilmiştir. Ayrıca yine Çizelge 3.4’de bu çalışmaların hangi sınıfta (eniyeleme/sezgisel) yer aldığı da gösterilmektedir.

Çizelge 3.4’de görüldüğü gibi bu çalışmada üçü hazırlık zamanlı olmak üzere altı adet problem ele alınmıştır. Ele alınan problemlerin hepsinde literatürde oldukça az incelenen gecikme ölçütü dikkate alınmıştır. Bu tezle ele alınan altı problemten dördü için eniyileme, beşi için de sezgisel yaklaşım ilk defa geliştirilmiştir.



Şekil 3.4. Hazırlık zamanlı akış tipi çizelgeleme problemlerinde yapılan çalışmalar ve bu tezde dikkate alınan problemler

Çizelge 3.4. Literatürde ve bu tezde yapılanlar

Çalışmada incelenen problemler	Literatür		Bu çalışma	
	Sezgisel	Eniyileme	Sezgisel	Eniyileme
$n / 2 / F / \alpha \Sigma C + \beta \Sigma T$	-	✓	✓	✓
$n / 2 / F / \beta \Sigma T + \gamma C_{max}$	-	✓	✓	✓
$n / 2 / F / \alpha \Sigma C + \beta \Sigma T + \gamma C_{max}$	-	-	✓	✓
$n / 2 / F / s_{ji} / \alpha \Sigma C + \beta \Sigma T$	✓	-	✓	✓
$n / 2 / F / s_{ji} / \beta \Sigma T + \gamma C_{max}$	-	-	✓	✓
$n / 2 / F / s_{ji} / \alpha \Sigma C + \beta \Sigma T + \gamma C_{max}$	-	-	✓	✓

4. ÇOK ÖLÇÜTLÜ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ İÇİN ÖNERİLEN TAMSAYILI PROGRAMLAMA MODELLERİ

Çalışmada ele alınan iki makineli akış tipi çizelgeleme problemlerinin çözümü için iki tamsayılı programlama modeli verilecektir. İlk model, makine hazırlık zamanlarının işlem zamanına dahil edildiği I. grup problemlerin çözümü için önerilirken ikinci model makine hazırlık zamanlarının işlem zamanlarına dahil edilmediği II. grup problemlerin çözümü için önerilmiştir. Verilecek tamsayılı programlama modellerinin esasları Lee ve Chou (101), Chou ve Lee (106) ve Su ve Chou (166)'nın tamsayılı programlama modellerine dayanmaktadır.

4.1. Hazırlık Zamanının İşlem Zamanına Dahil Edildiği (I. Grup) Problemler İçin Tamsayılı Programlama Modeli

Bu bölümde çok ölçütlü iki makineli akış tipi çizelgeleme problemlerinden hazırlık zamanı işlem zamanına dahil edilen problemlerden üçü için tamsayılı programlama modeli geliştirilmiştir. Ele alınan problemler şunlardır:

$n/2/\alpha \sum C + \beta \sum T$: İki makineli akış tipi çizelgelemede, toplam tamamlanma zamanı ve toplam gecikmenin ağırlıklı toplamını enküçükleme problemi,

$n/2/\beta \sum T + \gamma C_{max}$: İki makineli akış tipi çizelgelemede, toplam gecikme ve maksimum tamamlanma zamanının ağırlıklı toplamını enküçükleme problemi,

$n/2/\alpha \sum C + \beta \sum T + \gamma C_{max}$: İki makineli akış tipi çizelgelemede, toplam tamamlanma zamanı, toplam gecikme ve maksimum tamamlanma zamanının ağırlıklı toplamını enküçükleme problemidir.

Önerilen model, n iş sayısını göstermek üzere $n^2 + 4n$ değişkenli ve $5n$ kısıtlıdır. Modelle ilgili varsayımlar, parametreler ve değişkenler açıklandıktan sonra, önerilen model verilecektir.

Varsayımlar:

- Bir iş başlandığı zaman bitiriliyor,
- bir işin ikinci makinede işlenebilmesi için birinci makinede tamamlanması gerekmektedir,
- işlem zamanları çizelgeden bağımsızdır. Yani iş hangi sırada olursa olsun işlem zamanı sabittir,
- işler bir sonraki makinenin boşalması için bekleyebilir,
- makineler boş kalabilir,
- hazırlık zamanları biliniyor ve işlem zamanına dahil edilmiştir,
- makinelerin çizelgeleme periyodunca bozulmadığı varsayılıyor,
- bir makinede aynı anda birden fazla iş yapılamaz.

Parametreler:

j :	İş sayısı	$j=1,2,\dots,n$
i :	Makine sayısı	$i=1,2$
α :	Toplam tamamlanma zamanının ağırlığı	$\alpha \geq 0$
β :	Toplam gecikmenin ağırlığı	$\beta \geq 0$
γ :	Maksimum tamamlanma zamanının ağırlığı	$\gamma \geq 0$

$$\alpha + \beta + \gamma = 1$$

p_{j1} : Birinci makinede j işinin işlem zamanı $j=1, 2, \dots, n$

p_{j2} : İkinci makinede j işinin işlem zamanı $j=1, 2, \dots, n$

d_j : j işinin teslim tarihi $j=1, 2, \dots, n$

Karar değişkenleri:

Z_{jk} : Eğer j işi k . sırada işlem görmek için çizelgelenmişse 1, aksi halde 0,
 $j=1, 2, \dots, n \quad k=1, 2, \dots, n,$

X_k : İkinci makinede $(k-1)$. sıradaki işin bitimi ve k . sıradaki işin başlangıcı arasındaki boş zaman,
 $k=1, 2, \dots, n$

Y_k : k . sıradaki işin birinci makinede bitiş ve ikinci makinede işlemin başlaması arasındaki zaman dilimi,
 $k=1, 2, \dots, n$

S_k : k . sıradaki işin birinci makinedeki başlama zamanı,
 $k=1, 2, \dots, n.$

T_k : k . sıradaki işin gecikmesi

$$T_k = \max\{C_k - d_k^*, 0\} \quad k=1, 2, \dots, n.$$

veya

$$T_k \geq C_k - d_k^* \text{ ve } T_k \geq 0 \quad k=1, 2, \dots, n.$$

Yardımcı değişkenler

A_k : Birinci makinede k . sıradaki işin işlem zamanı

$$A_k = \sum_{j=1}^k Z_{jk} p_{j1} \quad k=1, 2, \dots, n.$$

B_k : İkinci makinede k . sıradaki işin işlem zamanı

$$B_k = \sum_{j=1}^k Z_{jk} p_{j2} \quad k=1, 2, \dots, n.$$

C_k : İkinci makinede k . sıradaki işin tamamlanma zamanı

$$C_k = \sum_{j=1}^k X_j + \sum_{j=1}^k B_j \quad k=1, 2, \dots, n.$$

veya

$$C_1 = X_1 + B_1$$

ve

$$C_k = C_{k-1} + X_k + B_k \quad k=2, 3, \dots, n.$$

$C_{\max}$: Son işin tamamlanma zamanı

$$C_{\max} = C_n = \sum_{j=1}^n X_j + \sum_{j=1}^n B_j$$

d_k^* : k . sıradaki işin teslim tarihi

$$d_k^* = \sum_{j=1}^n Z_{jk} d_k \quad k=1, 2, \dots, n.$$

Önerilen I. Model:

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Min } \alpha \sum_{k=1}^n C_k + \beta \sum_{k=1}^n T_k$$

$$\text{Min } \beta \sum_{k=1}^n T_k + \gamma C_{\max}$$

$$\text{Min } \alpha \sum_{k=1}^n C_k + \beta \sum_{k=1}^n T_k + \gamma C_{\max}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n Z_{jk} = 1 \quad k=1, 2, \dots, n. \quad [4.1]$$

$$\sum_{k=1}^n Z_{jk} = 1 \quad j=1, 2, \dots, n. \quad [4.2]$$

$$S_k \geq S_{k-1} + A_{k-1} \quad k=2, 3, \dots, n. \quad [4.3]$$

$$X_1 = S_1 + A_1 + Y_1$$

$$X_k = S_k + A_k + Y_k - C_{k-1} \quad k=2, 3, \dots, n. \quad [4.4]$$

$$T_k \geq C_k - d_k^* \quad k=1, 2, \dots, n. \quad [4.5]$$

$$Z_{jk} : 0-1$$

Diğer tüm değişkenler pozitif tamsayı

Kısıt [4.1]; k . pozisyona sadece bir tek işin atanmasını,

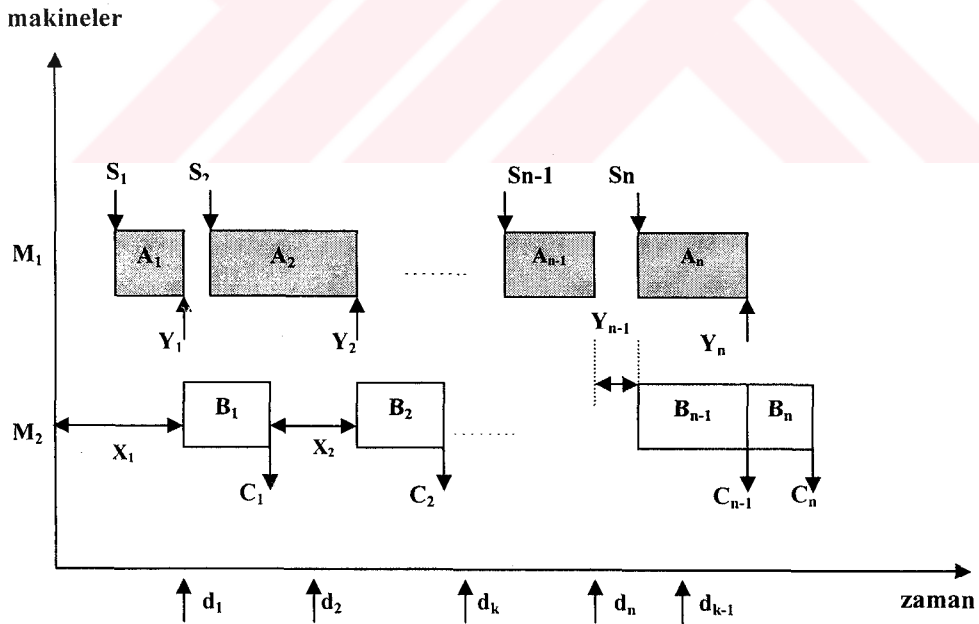
kısıt [4.2]; her bir işin sadece bir kez çizelgelenmesini ifade etmektedir.

Kısıt [4.3]; birinci makinedeki k . sıradaki işin işleme başlama zamanının önceki işlerin bitiş zamanından büyük veya eşit olması gerektiğini göstermektedir.

Kısıt [4.4]; ikinci makinedeki $(k-1)$. sıradaki işin tamamlanması ile k . sıradaki işin başlaması arasındaki makinenin boş bekleme zamanını ifade etmektedir

Kısıt [4.5]; k . sıradaki işin gecikmesini ifade etmektedir.

Model I'deki değişkenlerin Gantt şemasındaki görüntüsü Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Model I'in Gantt şeması

4.2. Hazırlık Zamanının İşlem Zamanına Dahil Edilmediği (II. Grup) Problemler İçin Tamsayı Programlama Modeli

Bu bölümde çok ölçütlü iki makineli akış tipi çizelgelemede makine hazırlık zamanının işlem zamanına dahil edilmediği üç problem ele alınacaktır. Ele alınan problemler şunlardır:

$n/2/s_{ji}/\alpha \sum C + \beta \sum T$: İki makineli hazırlık zamanlı akış tipi çizelgelemede toplam tamamlanma zamanı ve toplam gecikmenin ağırlıklı toplamını enküçükleme problemi,

$n/2/s_{ji}/\beta \sum T + \gamma C_{max}$: İki makineli hazırlık zamanlı akış tipi çizelgelemede toplam gecikme ve maksimum tamamlanma zamanının ağırlıklı toplamını enküçükleme problemi,

$n/2/s_{ji}/\alpha \sum C + \beta \sum T + \gamma C_{max}$: İki makineli hazırlık zamanlı akış tipi çizelgelemede toplam tamamlanma zamanı, toplam gecikme ve maksimum tamamlanma zamanının ağırlıklı toplamını enküçükleme problemidir.

Önerilen model, n iş sayısını göstermek üzere $n^2 + 6n$ değişkenli ve $7n$ kısıtlıdır. Modelle ilgili önce varsayımlar, parametreler ve değişkenler açıklanacak ve sonra önerilen model verilecektir.

Varsayımlar:

İkinci modeldeki varsayımlar birinci modelden farklı olarak hazırlık zamanları biliniyor ve işlem zamanına dahil edilmiş varsayımı yerine, hazırlık zamanları biliniyor ve işlem zamanına dahil edilmemiştir varsayımı söz konusudur. Diğer varsayımlar aynen geçerlidir.

Parametreler

j : İş sayısı $j=1,2,...,n$

i : Makine sayısı $i=1,2$

α : Toplam tamamlanma zamanı ağırlığı $\alpha \geq 0$

β : Toplam gecikme ağırlığı $\beta \geq 0$

γ : Maksimum tamamlanma zamanı ağırlığı $\gamma \geq 0$

$$\alpha + \beta + \gamma = 1$$

p_{j1} : Birinci makinede j işinin işlem zamanı $j=1, 2, ..., n$

p_{j2} : İkinci makinede j işinin işlem zamanı $j=1, 2, ..., n$

s_{j1} : Birinci makinede j işinin hazırlık zamanı $j=1, 2, ..., n$

s_{j2} : İkinci makinede j işinin hazırlık zamanı $j=1, 2, ..., n$

d_j : j işinin teslim tarihi $j=1, 2, ..., n$

Karar değişkenleri :

Z_{jk} : Eğer j işi k . sırada işlem görmek için çizelgelenmişse 1, aksi halde 0,
 $j=1, 2, ..., n \quad k=1, 2, ..., n,$

X_k : İkinci makinede $(k-1)$. sıradaki işin bitimi ve k . sıradaki işin başlangıcı

arasındaki boş zaman,

$$k=1, 2, \dots, n$$

Y_k : k . sıradaki işin birinci makinede bitişi ve ikinci makinede işlemin başlaması arasındaki zaman dilimi,

$$k=1, 2, \dots, n$$

Z_k : $(k-1)$. sıradaki işin ikinci makinede tamamlanmasıyla k . sıradaki işin birinci makinede başlaması arasında ortaya çıkan ikinci makinedeki boş zaman

$$Z_k = \max\{S_k - C_{k-1,2}, 0\} \quad k=1, 2, \dots, n,$$

S_k : k . sıradaki işin birinci makinede başlangıç zamanı,

$$k=1, 2, \dots, n.$$

T_k : k . sıradaki işin gecikmesini göstermektedir.

$$T_k = \max\{C_k - d_k^*, 0\} \quad k=1, 2, \dots, n.$$

veya

$$T_k \geq C_k - d_k^* \text{ ve } T_k \geq 0 \quad k=1, 2, \dots, n.$$

C_{k2} : İkinci makinede k . sıradaki işin tamamlanma zamanı

$$C_{k2} = C_{k-1,2} + \sum_{j=1}^k Z_j + \sum_{j=1}^k s_{[j]2} + \sum_{j=1}^k X_j + \sum_{j=1}^k B_j \quad i=1, 2 \quad k=1, 2, \dots, n.$$

veya

$$C_{12} = Z_1 + s_{[1]2} + X_1 + B_1$$

ve

$$C_{k2} = C_{k-1,2} + Z_k + s_{[k]2} + X_k + B_k \quad k=2, 3, \dots, n.$$

Yardımcı değişkenler

A_k : Birinci makinede k . sıradaki işin işlem zamanı

$$A_k = \sum_{j=1}^k Z_{jk} p_{j1} \quad k=1, 2, \dots, n.$$

B_k : İkinci makinede k . sıradaki işin işlem zamanı

$$B_k = \sum_{j=1}^k Z_{jk} p_{j2} \quad k=1, 2, \dots, n.$$

$s_{j[i]}$: i . makinede j . sıradaki işin hazırlık zamanı

$$s_{j[i]} = \sum_{j=1}^k Z_{jk} s_{ji} \quad i=1,2 \quad k=1, 2, \dots, n.$$

$C_{\max}$: Son işin tamamlanma zamanı

$$C_{\max} = C_{n2} = C_{n-1,2} + \sum_{j=1}^n Z_j + \sum_{j=1}^n s_{[j]2} + \sum_{j=1}^n X_j + \sum_{j=1}^n B_j$$

d_k^* : k . sıradaki işin teslim tarihi

$$d_k^* = \sum_{j=1}^n Z_{jk} d_k \quad k=1, 2, \dots, n.$$

Önerilen II. Model:

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Min } \alpha \sum_{k=1}^n C_k + \beta \sum_{k=1}^n T_k$$

$$\text{Min } \beta \sum_{k=1}^n T_k + \gamma C_{\max}$$

$$\text{Min } \alpha \sum_{k=1}^n C_k + \beta \sum_{k=1}^n T_k + \gamma C_{\max}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n Z_{jk} = 1 \quad k=1, 2, \dots, n. \quad [4.6]$$

$$\sum_{k=1}^n Z_{jk} = 1 \quad j=1, 2, \dots, n. \quad [4.7]$$

$$S_k \geq S_{k-1} + s_{[k-1],1} + A_{k-1} \quad k=2, 3, \dots, n. \quad [4.8]$$

$$C_{12} = Z_1 + s_{[1],2} + X_1 + B_1$$

$$C_{k2} = C_{k-1,2} + Z_k + s_{[k],2} + X_k + B_k \quad k=2, 3, \dots, n. \quad [4.9]$$

$$Z_1 = S_1 + s_{[1],1} + A_1 + Y_1 - s_{[1],2} - X_1$$

$$Z_k = S_k + s_{[k],1} + A_k + Y_k - C_{k-1,2} - s_{[k],2} - X_k \quad k=2, 3, \dots, n. \quad [4.10]$$

$$X_1 = S_1 + s_{[1],1} + A_1 + Y_1 - Z_1 - s_{[1],2}$$

$$X_k = S_k + s_{[k],1} + A_k + Y_k - C_{k-1,2} - Z_k - s_{[k],2} \quad k=2, 3, \dots, n. \quad [4.11]$$

$$T_k \geq C_k - d_k^* \quad k=1, 2, \dots, n. \quad [4.12]$$

$$Z_{jk} : 0-1$$

Diğer tüm değişkenler pozitif tamsayı

Kısıt [4.6]; k . sıraya sadece bir tek işin çizelgelenmesini,

kısıt [4.7]; her bir işin sadece bir kez çizelgelenmesini ifade etmektedir.

Kısıt [4.8]; k . sıradaki işin birinci makinede başlama zamanı $(k-1)$. sıradaki işin birinci makinede tamamlanma zamanından büyük veya eşit olmasını ifade etmektedir.

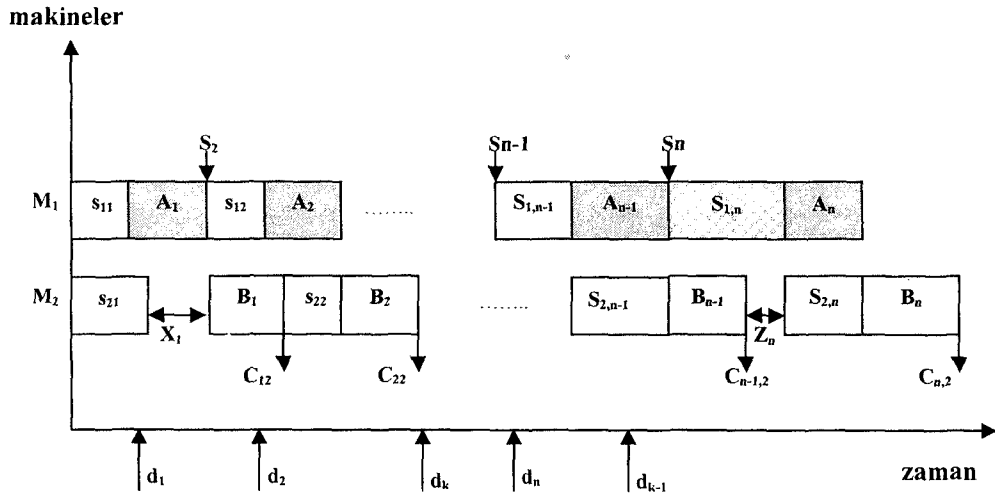
Kısıt [4.9]; k . sıradaki işin ikinci makinede tamamlamasını göstermektedir.

Kısıt [4.10]; ikinci makinede işin hazırlık zamanı ile işlem zamanı arasındaki boş beklediği zamanı tanımlamaktadır.

Kısıt [4.11]; ikinci makinede bir önceki işin bitişi ile bir sonraki işin hazırlık zamanı arasındaki makinenin boş beklediği zamanı göstermektedir.

Kısıt [4.12]; k . sırada ki işin gecikmesini ifade etmektedir.

Model II'deki değişkenlerin Gantt şemasındaki görüntüsü Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Model II'nin Gantt şeması

5. KULLANILAN SEZGİSEL YÖNTEMLER VE PROBLEMLERE UYARLANMASI

Çizelgeleme problemlerinin büyük bir kısmı NP-zor yapıdadır. Bundan dolayı eniyi çözümü veren dal-sınır yöntemi, dinamik programlama ve tamsayılı programlama ile ancak küçük boyutlu çizelgeleme problemleri çözülebilmektedir. Halbuki uygulamalarda, daha büyük boyutlu problemler ile uğraşmak gerekebilir. Araştırmacılar bu tip problemleri çözmek için etkin sezgisel yöntemler geliştirmek için çalışmışlardır. Geliştirilen sezgisel yöntemler, probleme özgü özel yöntemler olabildiği gibi, genel amaçlı sezgisel yöntemlerde uygulamalarda sıkça rastlanmaktadır.

Bu bölümde ilk önce bu çalışmada iki grupta ele alınan altı problemi çözmek için kullanılan sezgisel yöntemlerden bahsedilecek, daha sonra bu yöntemlerin problemlere uyarlanması anlatılacaktır.

5.1. Sezgisel Yöntemler

Bu çalışmada ele alınan problemlerin büyük boyutlu çözümlerini gerçekleştirmek için çeşitli sezgisel yöntemlere başvurulmuştur. Bu yöntemler özel amaçlı olarak geliştirilen NEH yöntemi, genel amaçlı sezgisel yaklaşımlardan tabu arama ve rassal arama yöntemi ile en küçük teslim tarihi (EDD) kuralı olup aşağıda açıklanmıştır.

5.1.1. NEH yöntemi

Akış tipi çizelgelemede maksimum tamamlanma zamanının enküçüklenmesi problemi üzerinde $(n/m/F/C_{max})$ çok fazla sezgisel yöntem önerilmiştir. Bu sezgisellerden biride Nawaz, vd., (78) tarafından önerilen NEH yöntemidir. NEH

yönteminde C_{max} 'ı enküçüklemek için n iş sayısını göstermek üzere $\frac{n(n-1)}{2} - 1$ tane kısmi sıralama incelenmektedir. NEH yönteminin adımları şöyledir.

Adım 1: Her bir j işi için $P_j = \sum_{i=1}^m p_{ji}$ yi hesapla. Burada p_{ji} ; i makinesinde j işinin işlem zamanıdır.

Adım 2: İşleri P_j işlem zamanlarına göre artan sırada sırala.

Adım 3: Adım 2'de oluşturulan listeden birinci ve ikinci sıradaki işleri seç ve bu iki iş için mümkün olan her iki sıra içinde maksimum tamamlanma zamanlarını hesaplayarak en uygun sırayı (hangisi C_{max} 'ı daha küçültüyor ise) bul. Bu iki işin birbirlerine göre olan pozisyonlarını algoritmanın kalan basamaklarında değiştirme ve $j = 3$ olarak al.

Adım 4: Adım 2'de oluşturulan j işini seçiniz ve önceden belirlenen işlerin birbirine göre olan öncelik sırasını değiştirmeden bir önceki adımda bulunan kısmi sıraya mümkün tüm pozisyonlara j işini yerleştirerek yeni kısmi çizelgeler üret. Hangi kısmi çizelge C_{max} 'ı en küçüklüyor ise o kısmi çizelgeyi seç. Bu adımdaki iterasyon sayısı j 'ye eşittir.

Adım 5: $j = n$ ise DUR, aksi halde $j = j + 1$ olarak al ve adım 4'e git.

5.1.2. Tabu arama yöntemi

Bütün zor kombinatoryal optimizasyon problemlerinin makul bir zaman içinde eniyi veya eniyeye yakın çözümlerinin bulunması için etkin algoritmalara ihtiyaç vardır. Bu gibi problemler için birerleme teknikleri etkin değildir. Bu araştırmadaki problemlerin NP-zor olduğu gösterildiğinden etkin sezgisel yöntemlere ihtiyaç

olduğu açıktır. Morton ve Pentico (9) yeni sezgisel arama tekniklerinin daha tam olarak tamamlanmış olmamalarına rağmen çizelgeleme alanında bir çok problemin çözümünde yardımcı olduklarının ispatlandığını belirtmektedirler. Bu sezgisel yöntemlerin bir kısmında kuvvetlendirme/çeşitlendirme yöntemleri kullanılmaktadır. Bu kısımdaki sezgisel yöntemler arasında tabu arama, tavlama benzetimi ve genetik algoritmalar bulunmaktadır.

İlk olarak Glover (168) tarafından ortaya atılan tabu arama yöntemi, bu çalışmada ele alınan problemlerin çözümünde kullanılan sezgisel yöntemlerden biridir. Tabu arama yöntemi, eniyi veya eniyiye yakın çözümler bulmak için çözüm uzayını araştırır. Tabu arama bir çok alanda (Gezgin satıcı problemi, depo yerleşimi, karasel atama, tesis yerleşimi, araç rotalama, proje çizelgeleme, atölye çizelgeleme, hemşire çizelgeleme, sınav çizelgeleme, sırt çantası, kutu paketleme problemi gibi..) başarıyla uygulanmaktadır (169). Bu yöntem yerel eniyi tuzağına düşmeden birçok sezgiselin düştükleri hataların üstesinden gelmektedir. Hafızasız olan (tavlama benzetim ve diğer rassal yöntemler) veya katı hafıza yapısı (dal-sınır gibi) kullanan yöntemlerin aksine tabu aramada esnek hafıza yapısı kullanılır.

Hafızada kaybedilen arama bilgileri, tabu kısıtlamalarında oluşan şartlarla birlikte daha etkili bir şekilde daha iyi çözümlere ulaşmak için arama işlemini sınırlar veya serbest bırakır. Tabu aramanın uzun dönem hafıza yapısı aramayı geçmişte iyi bulunan bölgede yoğunlaştırmayı veya az araştırılmış bölgelere doğru çeşitlendirmeyi mümkün kılar.

Tabu arama'da başlangıç çözümü rassal olarak seçilebileceği gibi, başlangıç çözümünün belirlenmesinde herhangi başka bir algoritma da kullanılabilir. Özellikle çizelgeleme problemlerinde başlangıç çözümü olarak dağıtım kuralları (EDD,SPT vb.) ve özel geliştirilen sezgisel yöntemlerin kullanıldığı görülmektedir. Örneğin Wan ve Yen (170) EDD kuralını, Logendran, (171) Johnson kuralını, Al-Turki vd., (32), LPT, SPT kuralını Grabowski ve Pempara (172) Norman (173) Ben-Daya ve Al-Fawzan (174) Solimanpur vd. (175) NEH yöntemini kullanırken ayrıca Ben-Daya

ve Al-Fawzan (174) Widmer ve Hertz (59) yöntemini, Norman (173) ise başlangıç çözümünü rassal olarak almışlardır.

Mevcut çözümün, tanımlanan bir hareket mekanizmasıyla (ekleme, değiştirme vb.) elde edilen yöresi içindeki komşu çözümlerden kendisinden daha iyi bir amaç fonksiyonu değerine sahip olanı yeni mevcut çözüm olarak seçilip aramaya devam edilir. Bu işlemler, mevcut çözümün yöresi içindeki komşu çözümlerin hepsi kendisinden daha kötü amaç fonksiyonu değerine sahip olana kadar yinelemeli olarak tekrar edilir. Sonuçta bulunan mevcut çözüm ilgilenilen problem için yerel bir optimum çözüm olmaktadır. Tabu arama tekniği işte bu yerel optimum tuzaklarından kurtulması için yerel arama tekniklerine yol göstermektedir. Tabu aramanın yerel optimumlardan kurtulmak için kullandığı prensipleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

Mevcut çözümün yöresi içindeki komşu çözümlerden kısa dönemli hafızada tutulan bilgilere göre tabu olmayan en iyi amaç fonksiyonun değerine sahip olan komşu çözüm yeni mevcut çözüm olarak seçilmektedir. Seçilen komşu çözüm, mevcut çözümden daha iyi olması kriteri aranmamaktadır. Bunun yerine komşu çözümün tabu olmaması kriteri dikkate alınmaktadır. Bu amaçla, kısa dönemli hafızayı oluşturan tabu listeleri tutulmaktadır.

Her iterasyonda mevcut çözümü oluşturmak amacıyla seçilen hareketin tersi, tabu süresi tarafından belirlenen iterasyon sayısı boyunca yapılmasının önlenmesi amacıyla tabu listesine kaydedilir, yani söz konusu hareket tabu sınıfına alınır. Daha sonra, tabu süresi tamamlanan hareketler tabu listesinden çıkarılarak tekrar yapılmalarına izin verilir. Bu prensip aramanın aynı çözümler etrafında seyretilmesini engelleyerek çevrimlerin oluşmamasını sağlamaktadır. Böylece aramanın yönü farklı çözüm bölgelerine yönlendirilerek yerel tuzaklardan kurtulma ve daha iyi çözüm noktalarına ulaşma fırsatı yaratılmaktadır. Ayrıca, tabu olan bir çözümün tanımlanan tabu yıkma kriterlerinden birisini sağlaması durumunda tabu olmasına rağmen yapılmasına izin verilmektedir.

Literatürde en yaygın kullanılan tabu yıkma kriteri, tabu olan bir çözümün arama boyunca o ana kadar bulunmuş en iyi çözümünden daha iyi bir amaç değerine sahip olması durumunda tabu olmasına rağmen yapılabilmesidir. Bu kriter kaliteli bir çözümün elde edilme fırsatının tabu kriteri yüzünden kaçırılmasını önlemek amacıyla kullanılmaktadır (174).

Tabu arama kısa dönemli hafızanın kullanımının yanı sıra uzun dönemli bir hafızayı da dikkate alarak bulduğu çözümlerin kalitesini yükseltmeyi amaçlamaktadır. Bunun için arama boyunca gerçekleştirilen hareketlerle ilgili sıklık bilgileri uzun dönemli hafızada tutulmakta ve bu bilgiler sayesinde çeşitlendirme/kuvvetlendirme stratejileri uygulanmaktadır. Çeşitlendirme stratejisi aramanın çözüm uzayındaki araştırılmamış bölgelere yönelmesini sağlarken, kuvvetlendirme stratejisi ise bulunmuş iyi bir çözüm bölgesinin daha detaylı araştırılmasını temin etmektedir.

Tabu arama algoritması, maksimum iterasyon sayısı, elde edilen çözümlerde daha fazla iyileştirmenin sağlanamaması, optimum bir çözümün bulunması gibi durdurma kriterlerinden birisi sağlanana kadar yukarıda tanımlanan işlemleri tekrarlayarak çözüm uzayındaki arama işlemine devam etmektedir. Neticede, arama boyunca karşılaşılan en iyi çözüm tabu arama algoritmasının bulduğu sonuç olarak dikkate alınmaktadır. Durdurma koşulu olarak iterasyon kısıtını; Kolahan ve Liang (176), Ben-Daya ve Al-Fawzan (174) Aggoune (177) Oğuz vd., (178) Liaw (179) yaptığı çalışmada kullanırken Wan ve Yen (170), Logendran, (171) Al-Turki vd., (32), El-Amin vd., (180) Bellanti vd., (181) çalışmalarında iyileşmeme koşulunu kullanmışlardır.

5.1.3. Rassal arama yöntemi

Rassal arama yöntemi, çözüm uzayından belli sayıda çözüm noktasını rassal olarak örnekleyen bir algoritmadır. Bu algoritmada bir çözüm uzayında belli büyüklükte örnek rassal olarak seçilir ve bunların her birinin amaç fonksiyon değerleri

hesaplanır. Eğer problem maliyet fonksiyonu ise, en küçük değeri veren değer hafızada tutulur. Tekrar örnek büyüklüğü seçilir eğer daha iyi bir amaç fonksiyon değeri bulursa daha önceki sonucu günceller. Bulamazsa eski çözüm en iyi çözüm olarak kalır. Belli bir iterasyon seviyesinde arama yöntemi sonlandırılır. Rassal arama yönteminde iki parametre bulunur. Bunlardan birincisi, örnek büyüklüğünün belirlenmesi diğeri ise sonlandırmanın yapılması. Sonlandırma belli bir iterasyon kısıtında yapılabileceği gibi belli bir iterasyonda iyileşme olmadığında da olabilmektedir (182-183).

5.1.4. En küçük teslim tarihi (EDD) kuralı

Bu çalışmada tek makinalı sistemlerde maksimum gecikmeyi enküçüklemek için kullanılan EDD yöntemi, bu çalışmada ele alınan bazı problemlerde iyi sonuç verdiği için kullanılmıştır. EDD yöntemi teslim tarihlerinin küçükten büyüğe doğru sıralanmasıyla ($d_{[1]} \leq d_{[2]} \leq \dots \leq d_{[n-1]} \leq d_{[n]}$) elde edilen bir dağıtım kuralıdır.

5.2. Sezgisel Yöntemlerin Problemlere Uygulanması

Yukarıda bahsedilen sezgisel yöntemlerin problemlere uyarlanması aşağıda açıklanacaktır:

5.2.1. NEH yönteminin problemlere uyarlanması

NEH algoritması akış tipi çizelgeleme problemlerinde en çok kullanılan sezgisel yöntemlerden biridir. Problem ilk olarak n işli m makineli toplam akış zamanını enküçüklemek için ortaya atılmış olmasına rağmen, akış tipi çizelgeleme problemleri ile uğraşan araştırmacılar kendi amaç fonksiyonlarına bu algoritmayı uyarlamışlardır. Bu çalışmada da bizim çözmeye çalıştığımız iki grup olarak ayrılan ve toplam 6 çeşit

problem için NEH algoritması uyarlanmıştır. Aşağıda $n/2/\alpha \sum C_j + \beta \sum T_j + \gamma C_{max}$ problemi için NEH algoritmasının uyarlanması verilmiştir.

Adım 1: Her bir işi için kısmi amaç fonksiyonu

$$KAF_j = \alpha \sum_{i=1}^2 P_{ji} + \beta \sum T_j + \gamma \max_{i=1,2} \{P_{ji}\} \quad (j=1,2,\dots,n) \text{ hesapla.}$$

Adım 2: İşleri KAF_j işlem zamanlarına göre küçükten büyüğe doğru sırala.

Adım 3: Adım 2’de oluşturulan listedeki birinci ve ikinci sıradaki işleri seç ve bu iki iş için mümkün olan her iki sıra içinde amaç fonksiyon değerlerini hesaplayarak en uygun sırayı bul. Bu iki işin birbirlerine göre olan pozisyonlarını algoritmanın kalan basamaklarında değiştirme ve $j = 3$ olarak al.

Adım 4: Adım 2’de oluşturulan j . işini seç ve önceden belirlenen işlerin birbirine göre olan sırasını değiştirmeden en iyi sırayı bir önceki adımda bulunan kısmi sırada mümkün olan bütün pozisyonlara j işini yerleştirerek bul. Bu adımdaki iterasyon sayısı j ’ye eşittir.

Adım 5: $j = n$ ise DUR, aksi halde $j = j + 1$ olarak al ve adım 4’e git.

Sayısal örnek:

6 işli 2 makineli akış tipi çizelgeleme probleminde işlem zamanları ve teslim tarihleri

Çizelge 5.1’de verilmiştir. $0,25 \sum_{j=1}^n C_j + 0,25 \sum_{j=1}^n T_j + 0,50 C_{max}$ amaç fonksiyon değerini NEH yöntemi ile bulalım.

Çözüm:

Adım 1: $KAF_1 = 0,25 \times 19 + 0,25 \times 0 + 0,50 \times 19 = 14,25$

$$KAF_2 = 0,25 \times 13 + 0,25 \times 0 + 0,50 \times 13 = 9,75$$

$$KAF_3 = 0,25 \times 17 + 0,25 \times 8 + 0,50 \times 17 = 14,75$$

Çizelge 5.1. Sayısal örneğin verileri

iş sayısı	1	2	3	4	5	6
p_{j1}	8	10	15	9	6	14
p_{j2}	11	3	2	17	8	7
d_j	25	30	9	23	19	42
C_j	19	13	17	26	14	21
T_j	0	0	8	3	0	0
$C_{\max}$	19	13	17	26	14	21
0,25-0,25-0,50	14,25	9,75	14,75	20,25	10,50	15,75

$$KAF_4 = 0,25 \times 26 + 0,25 \times 3 + 0,50 \times 26 = 20,25$$

$$KAF_5 = 0,25 \times 14 + 0,25 \times 0 + 0,50 \times 14 = 10,50$$

$$KAF_6 = 0,25 \times 21 + 0,25 \times 0 + 0,50 \times 21 = 15,75$$

Adım 2: 2,5,1,3,6,4

Adım 3: 2-5 sırası için amaç fonksiyon değeri = 22,50

5-2 sırası için amaç fonksiyon değeri = 17,75

en küçük değeri veren 5-2 sırası tercih edilir. $j = 3$ alınır.

Adım 4: 5-2 sıralaması bozulmayacak şekilde adım 2 deki üçüncü sıradaki iş tüm alternatifler için denenir.

5-2-1 sırası için amaç fonksiyon değeri = 37,00

5-1-2 sırası için amaç fonksiyon değeri = 30,75

1-5-2 sırası için amaç fonksiyon değeri = 36,00

en küçük değeri veren 5-1-2 sırası tercih edilir.

Adım 5: $j \neq n$ bundan dolayı $j = 3 + 1 = 4$ ve Adım 4'e dön.

Adım 4: 5-1-2 sıralaması bozulmayacak şekilde adım 2 deki üçüncü sıradaki iş tüm alternatifler için denenir.

5-1-2-3 sırası için amaç fonksiyon değeri = 55,50

5-1-3-2 sırası için amaç fonksiyon değeri = 57,50

5-3-1-2 sırası için amaç fonksiyon değeri = 62,00

3-5-1-2 sırası için amaç fonksiyon değeri = 65,25

en küçük değeri veren 5-1-2-3 sırası tercih edilir.

Adım 5: $j \neq n$ bundan dolayı $j = 4 + 1 = 5$ ve Adım 4'e dön.

Adım 4: 5-1-2-3 sıralaması bozulmayacak şekilde adım 2 deki üçüncü sıradaki iş tüm alternatifler için denenir.

5-1-2-3-6 sırası için amaç fonksiyon değeri = 84,50

5-1-2-6-3 sırası için amaç fonksiyon değeri = 81,50

5-1-6-2-3 sırası için amaç fonksiyon değeri = 84,25

5-6-1-2-3 sırası için amaç fonksiyon değeri = 89,75

6-5-1-2-3 sırası için amaç fonksiyon değeri = 95,50

en küçük değeri veren 5-1-2-6-3 sırası tercih edilir.

Adım 5: $j \neq n$ bundan dolayı $j = 5 + 1 = 6$ ve Adım 4'e dön.

Adım 4: 5-1-2-6-3 sıralaması bozulmayacak şekilde adım 2 deki üçüncü sıradaki iş tüm alternatifler için denenir.

5-1-2-3-6-4 sırası için amaç fonksiyon değeri = 127,25
 5-1-2-6-4-3 sırası için amaç fonksiyon değeri = 118,75
 5-1-2-4-6-3 sırası için amaç fonksiyon değeri = 115,75
 5-1-4-2-6-3 sırası için amaç fonksiyon değeri = 118,25
 5-4-1-2-6-3 sırası için amaç fonksiyon değeri = 122,75
 4-5-1-2-6-3 sırası için amaç fonksiyon değeri = 131,00
 en küçük değeri veren 5-1-2-4-6-3 sırası tercih edilir.

Adım 5: $j = n$ bundan dolayı DUR.

NEH algoritması diğer kalan beş problem içinde istenilen amaç fonksiyonlarına göre benzer şekilde uyarlanmıştır.

5.2.2. Tabu arama yönteminin problemlere uyarlanması

Kullanılan tabu arama yönteminin aşamaları şöyledir.

1. Başlangıç çözümün tespit edilmesi
2. Komşu arama stratejisinin belirlenmesi
3. Tabu listesinin uzunluğunun belirlenmesi
4. Arama işlemlerinin yapılması
5. Durdurma işleminin gerçekleşmesi

Tabu aramada uygun parametrelerin belirlenmesi için deney tasarımı gerçekleştirilmiş 3 seviyede, 4 parametrede, her alternatifte 5 problem için toplam $3^4 \times 5 = 405$ problem çözülmüştür.

Deney tasarımı sonuçlarına göre iş sayısı n 'e bağlı olarak tespit edilmiştir. Tabu listesi uzunluğu $2\sqrt{n}$, komşu arama stratejisi API ve durdurma koşulu olarak iyileşmeme koşulu n alınmıştır.

Deney tasarımı, her bir parametre üç seviyede incelenmiştir. İş sayısı 12,16 ve 20; tabu listesi uzunluğu n 'e bağlı olarak $\sqrt{n}/2$, $\sqrt{n}$ ve $2\sqrt{n}$; durdurma koşulu olarak n , $2n$ ve $4n$ tekrarda iyileşmeme; komşu arama yöntemi olarak da API, PI ve API ile PI'dan rassal olarak birine seçme stratejileri belirlenmiştir. Parametreler ve seviyeleri toplu olarak Çizelge 5.2'de gösterilmiştir. Parametrelerin belirlenmesi için SPSS paket programı kullanılmıştır. Parametrelerin bulunan seviyeleri Çizelge 5.2'de koyu renk ile gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. Deney tasarımı verileri

	<i>SEVİYELER</i>		
<i>PARAMETRELER</i>	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>
İş sayısı	n=12	n=16	n=20
Tabu listesi	$\sqrt{n}/2$	$\sqrt{n}$	$2\sqrt{n}$
Durdurma koşulu (iyileşmeme)	n	2n	4n
Komşu arama yöntemi	API	PI	Rassal {API,PI}

Adım1: Başlangıç çözümü bulunması

$$BÇ = \min\{SPT1, SPT2, SPT, EDD, LPT1, LPT2, LPT, LDD, JOHNSON, NEH\}$$

Başlangıç çözümünde kullanılan kurallar:

- SPT1 $P_{[1,1]} \leq P_{[2,1]} \leq \dots \leq P_{[n-1,1]} \leq P_{[n,1]}$
- SPT2 $P_{[1,2]} \leq P_{[2,2]} \leq \dots \leq P_{[n-1,2]} \leq P_{[n,2]}$

- SPT $p_{[1,1]} + p_{[1,2]} \leq p_{[2,1]} + p_{[2,2]} \leq \dots \leq p_{[n-1,1]} + p_{[n-1,2]} \leq p_{[n,1]} + p_{[n,2]}$
- EDD $d_{[1]} \leq d_{[2]} \leq \dots \leq d_{[n-1]} \leq d_{[n]}$
- LPT1 $p_{[1,1]} \geq p_{[2,1]} \geq \dots \geq p_{[n-1,1]} \geq p_{[n,1]}$
- LPT2 $p_{[1,2]} \geq p_{[2,2]} \geq \dots \geq p_{[n-1,2]} \geq p_{[n,2]}$
- LPT $p_{[1,1]} + p_{[1,2]} \geq p_{[2,1]} + p_{[2,2]} \geq \dots \geq p_{[n-1,1]} + p_{[n-1,2]} \geq p_{[n,1]} + p_{[n,2]}$
- LDD $d_{[1]} \geq d_{[2]} \geq \dots \geq d_{[n-1]} \geq d_{[n]}$

Özel Algoritmalar:

- Johnson Algoritması
- NEH algoritması

Adım 2: Komşu arama stratejisinin seçimi

Bitişik iş çiftlerinin yer değiştirilmesi (API):

1, 2, 3, 4, ..., n-2, n-1, n (başlangıç çözümü)

2, 1, 3, 4, ..., n-2, n-1, n (1 ve 2 nin yer değiştirilmesi)

1, 3, 2, 4, ..., n-2, n-1, n (2 ve 3 ün yer değiştirilmesi)

...

1, 2, 3, 4, ..., n-1, n-2, n (n-2 ve n-1 in yer değiştirilmesi)

1, 2, 3, 4, ..., n-2, n, n-1 (n-1 ve n in yer değiştirilmesi)

Adım 3: Tabu listesinin belirlenmesi:

Tabu listesi deney tasarımında tespit edildiği gibi $2\sqrt{n}$ alınmıştır.

Adım 4: Arama işlemleri:

Tabu yıkma kriteri: Bulunan en iyi çözüm tabu olsa bile kabul ediliyor.

Adım 5. Durdurma koşulu: n iyileşmeme koşulu dikkate alınmıştır.

5.2.3. Rassal Arama Yöntemi

Rassal arama yönteminin adımları şöyledir:

Adım 1: Örnek büyüklüğü kadar rassal çözüm seç.

Adım 2: En küçük değeri veren sıralamayı bul ve hafızada tut.

Adım 3: n iterasyonda iyileşme olmadığında dur. Değilse adım 1'e dön.

Rassal arama yönteminin iki parametresi vardır. Bunlardan birincisi, örnek büyüklüğünün seçimi, ikincisi ise durdurma koşuludur. Rassal aramayı, tabu aramayla aynı şartlarda karşılamak için tabu aramadaki koşullar dikkate alınmıştır. Tabu aramada API komşuluğu ile n-1 tane çözümü incelediği için rassal aramada da seçilen örnek büyüklüğü n-1, durdurma koşulu da n iterasyonda iyileşmeme koşulu ele alınmıştır.

6. DENEY SONUÇLARI

Yapılan çalışmada bütün deneysel testler Pentium IV/2 GHz 512 RAM kapasiteli kişisel bilgisayar kullanılmıştır. $n = 10, 12, 14, 16, 18$ ve 20 olmak üzere altı farklı iş durumu için eniyi çözümü bulunmuştur. Her durumda 10 problem çözülmüştür. Deneysel sonuçlar 3 aşamada gerçekleştirilmiştir. Bu aşamalar:

1. Küçük boyutlu problemlerde eniyi çözüm sonuçlarının bulunması,
2. küçük boyutlu problemlerin sezgisel yöntemlerle çözülüp eniyi çözüm sonuçlarıyla karşılaştırılması,
3. büyük boyutlu problemlerin sezgisel yöntemlerle çözülmesidir.

6.1. Eniyi Çözüm Sonuçları

Eniyi çözüm sonuçları hazırlık zamanı olmadığında (işlem zamanına dahil edildiğinde) ve hazırlık zamanlı durumda olmak üzere iki grupta incelenecektir. Ele alınan problemlerin eniyi çözümlerini bulmak için Hyper LINDO /PC 6.01 (184 programı kullanılmıştır.

6.1.1. I. Gruptaki problemlerin eniyi çözüm sonuçları

Hazırlık zamanlarının işlem zamanına dahil edilmediği çok ölçütlü akış tipi çizelgeleme problemlerinden I. grupta üç problem; $n/2/\alpha \sum C + \beta \sum T$, $n/2/\beta \sum T + \gamma C_{max}$ ve $n/2/\alpha \sum C + \beta \sum T + \gamma C_{max}$ ele alınmıştır. Problemler için işlem zamanları p_{ji} , 1 ile 10 arasında düzgün dağılımdan üretilmiştir. Teslim tarihleri Fisher (185)' in çalışmasına göre düzenlenmiş $P(1-\tau-R/2)$ ve $P(1-\tau+R/2)$ aralığında alınmıştır. $\tau=0,25; 0,50; 0,75$ ve $R= 0,25; 0,50; 0,75; 1,00$

olarak 12 durumda 10'ar problem çözülmüştür. Burada $P = \sum_{j=1}^n p_{j2} + \min_{j=1}^n \{p_{j1}\}$ dir.

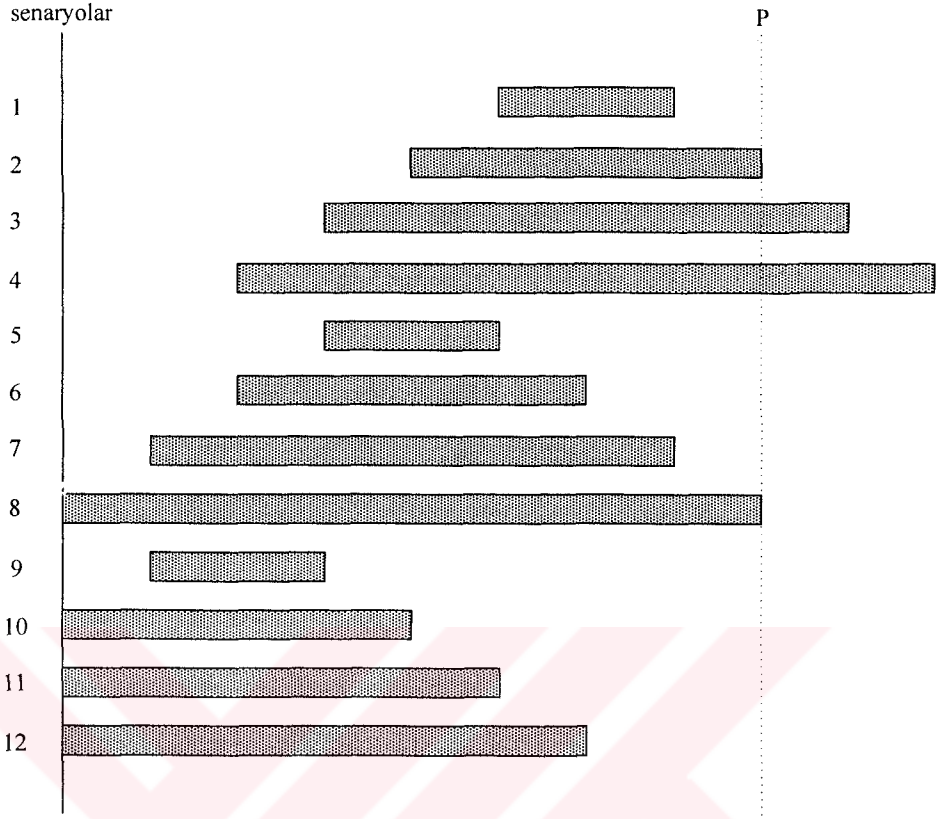
Burada τ gecikme faktörünü R ise teslim tarihi aralığını ifade etmektedir. $\tau = 1 - \frac{\bar{d}}{P}$

ile $R = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{P}$ ile tanımlanmaktadır. Burada $\bar{d} = \frac{\sum_{j=1}^n d_j}{n}$, $d_{\max} = \max_{j=1, \dots, n} \{d_j\}$ ve $d_{\min} = \min_{j=1, \dots, n} \{d_j\}$ dir. τ 'nun 1'e yaklaşması teslim tarihinin sıkı olduğunu 0'a

yaklaşması ise gevşek olduğunu göstermektedir. R ise, teslim tarihini aralığının genişliğini göstermektedir. R değerinin küçük olması teslim tarihi aralığının daha dar, büyük olması ise teslim tarihi aralığının daha geniş olduğunu ifade etmektedir (1). Problemler için incelenen teslim tarihleri aralıkları burada senaryo olarak adlandırılmakta ve Çizelge 6.1 ile Şekil '6.1'de verilmektedir.

Çizelge 6.1. Senaryolara göre teslim tarihi aralıkları

Senaryolar	τ	R	Teslim tarihi aralığı
1	0,25	0,25	0,625P - 0,875P
2	0,25	0,50	0,500P - 1,000P
3	0,25	0,75	0,375P - 1,125P
4	0,25	1,00	0,250P - 1,250P
5	0,50	0,25	0,375P - 0,625P
6	0,50	0,50	0,250P - 0,750P
7	0,50	0,75	0,125P - 0,875P
8	0,50	1,00	0,000P - 1,000P
9	0,75	0,25	0,125P - 0,375P
10	0,75	0,50	0,000P - 0,500P
11	0,75	0,75	0,000P - 0,625P
12	0,75	1,00	0,000P - 0,750P



Şekil 6.1. Senaryolara göre teslim tarihi aralıkları

Şekil 6.1’de görüldüğü gibi 1, 5 ve 9 nolu senaryolar da teslim tarihi aralıkları oldukça dar iken, 4 ve 8 nolu senaryolar ise daha geniş bir aralığa sahiptir. Bu aralıklar ile incelenen problemlerin çözüm sonuçlarını ne şekilde etkilediği gösterilecektir.

I. Grupta ele alınan problemlerin alternatiflere göre çözülen problem sayıları Çizelge 6.2.’de gösterilmiştir. İki ölçütlü ilk iki problem için üç farklı ağırlık değerleri kullanılırken üç ölçütlü olan son problemde dört farklı ağırlık değerleri için çözümler yapılmıştır.

I. grupta yer alan problemlerin çözüm sonuçları sırasıyla incelenecektir.

Çizelge 6.2. I.Grupta çözölen problem sayıları

I. Grup Problemler	Ağırlık değeri	İş sayıları	Teslim tarihi aralığı	Problem sayısı	TOPLAM
$n/2/\alpha\sum C + \beta\sum T$	(α, β) (0,25;0,75) (0,50;0,50) (0,75;0,25)	10, 12, 14, 16, 18, 20	12 farklı senaryo	10	$3\times6\times12\times10=2160$
$n/2/\beta\sum T + \gamma C_{\max}$	(β, γ) (0,25;0,75) (0,50;0,50) (0,75;0,25)	10, 12, 14, 16, 18, 20	12 farklı senaryo	10	$3\times6\times12\times10=2160$
$n/2/\alpha\sum C + \beta\sum T + \gamma C_{\max}$	(α, β, γ) (0,25;0,25;0,50) (0,25;0,50;0,25) (0,33; 0,33;0,33) (0,50; 0,25; 0,25)	10, 12, 14, 16, 18, 20	12 farklı senaryo	10	$4\times6\times12\times10=2880$
Genel toplam					7200

6.1.1.1. $n/2/\alpha\sum C + \beta\sum T$ probleminin çözüm sonuçları

Çözölen bu problemlerin iş sayılarına göre ortalama CPU zaman grafiğı Çizelge 6.3’de verilmiştir. Çizelge 6.3’deki çözümlerin daha iyi yorumlanması için ağırlık değeri eşit olduğunda Şekil 6.2’de diğeri ağırlık değeriinde ise Ek 1–2’de çözüm zamanları grafiklerle gösterilmiştir.

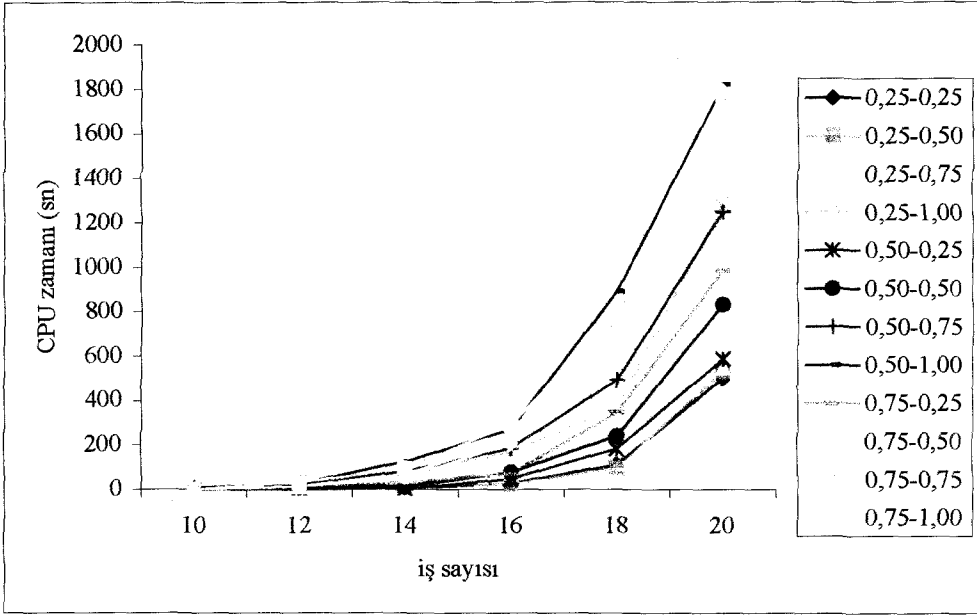
Problem için üç farklı ağırlık değeri kullanılmıştır. Bunlar $(\alpha;\beta) = (0,25;0,75)$, $(0,50;0,50)$, $(0,75; 0,25)$ dir. Çizelge 6.3’de de göröldüğü gibi teslim tarihi aralığı büyödükçe problemin çözümleri daha da zorlaşmaktadır. Örneğinin iş sayısı 10 için $\alpha=0,75$ ve $\beta=0,25$ ağırlık değeri için işlem zamanı $\tau = 0,75; R = 1,00$ için 0,80 sn olurken iş sayısı iki katına çıktığında yani $n=20$ olduğunda ise 1814,00 sn ile 2000 kattan fazla artmaktadır. Teslim tarihi aralıklarına bakıldığında üç farklı α ve β ağırlık değeri içinde en zor çözülen problemler sıklıkla, $\tau = 0,50; R = 0,75$; $\tau = 0,50; R = 1,00$; $\tau = 0,75; R = 0,75$ ve $\tau = 0,75; R = 1,00$ değeriinde olmaktadır.

Çizelge 6.3. $n/2/\alpha \sum C + \beta \sum T$ probleminin iş sayılarına göre ortalama CPU zamanları (sn)

iş sayısı	τ	R	Ağırlık değerleri		
			0,25-0,75	0,50-0,50	0,75-0,25
10	0,25	0,25	0,30	0,70	0,20
		0,50	0,60	0,10	0,50
		0,75	0,50	0,50	0,40
		1,00	3,70	3,60	1,20
	0,50	0,25	0,30	0,90	0,30
		0,50	1,40	0,90	0,30
		0,75	9,00	10,50	3,50
		1,00	7,00	8,20	1,50
	0,75	0,25	1,60	1,40	0,70
		0,50	2,50	1,10	0,40
		0,75	2,90	1,60	1,00
		1,00	2,20	2,50	0,80
12	0,25	0,25	1,60	0,90	1,40
		0,50	1,60	1,00	5,20
		0,75	6,20	1,40	5,70
		1,00	17,70	15,50	11,90
	0,50	0,25	1,60	1,70	3,70
		0,50	10,30	10,10	8,50
		0,75	22,60	19,30	8,70
		1,00	33,30	26,60	12,10
	0,75	0,25	12,90	12,10	11,80
		0,50	14,60	13,40	15,90
		0,75	37,10	33,10	27,40
		1,00	19,60	13,30	9,10
14	0,25	0,25	10,40	7,30	15,20
		0,50	7,70	14,40	28,60
		0,75	21,80	6,40	11,10
		1,00	59,10	87,20	44,60
	0,50	0,25	5,70	4,00	9,20
		0,50	32,90	14,80	31,40
		0,75	97,10	81,30	43,10
		1,00	174,30	125,30	50,10
	0,75	0,25	35,70	31,50	27,80
		0,50	111,50	53,50	37,80
		0,75	130,20	93,10	33,00
		1,00	82,60	68,70	28,40

Çizelge 6.3. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminin iş sayılarına göre ortalama CPU zamanları (sn) (devamı)

iş sayısı	τ	R	Ağırlık değerleri		
			0,25-0,75	0,50-0,50	0,75-0,25
16	0,25	0,25	40,00	26,40	70,40
		0,50	29,40	24,20	51,40
		0,75	85,00	105,80	69,70
		1,00	195,30	163,50	68,00
	0,50	0,25	31,50	48,40	85,70
		0,50	100,40	75,70	89,60
		0,75	169,00	184,90	119,90
		1,00	375,40	271,40	261,10
	0,75	0,25	106,40	71,40	47,70
		0,50	241,70	205,70	207,30
		0,75	331,00	292,80	278,30
		1,00	232,70	222,50	203,60
18	0,25	0,25	118,20	109,70	113,80
		0,50	82,80	98,60	122,30
		0,75	196,50	221,70	201,80
		1,00	443,30	371,00	319,90
	0,50	0,25	117,90	182,60	162,80
		0,50	260,50	239,70	171,60
		0,75	493,80	491,10	394,10
		1,00	641,50	890,80	873,40
	0,75	0,25	368,30	344,20	322,20
		0,50	654,00	625,60	620,40
		0,75	775,60	762,00	689,70
		1,00	790,20	692,70	643,20
20	0,25	0,25	490,40	498,70	502,80
		0,50	501,80	527,40	550,40
		0,75	518,40	547,00	526,60
		1,00	1282,20	1283,00	1264,50
	0,50	0,25	564,00	587,10	597,80
		0,50	833,20	831,50	809,80
		0,75	1246,10	1247,60	1212,80
		1,00	1822,40	1820,20	1812,50
	0,75	0,25	1025,70	983,90	1009,90
		0,50	1467,00	1448,80	1462,20
		0,75	1778,60	1771,90	1764,60
		1,00	1812,60	1792,20	1814,00



Şekil 6.2. $n/2/\alpha\Sigma C+\beta\Sigma T$ probleminde $\alpha=0,50$ ve $\beta=0,50$ ağırlık değerleri için τ ve R değerlerinde iş sayılarına göre ortalama CPU zaman grafiği

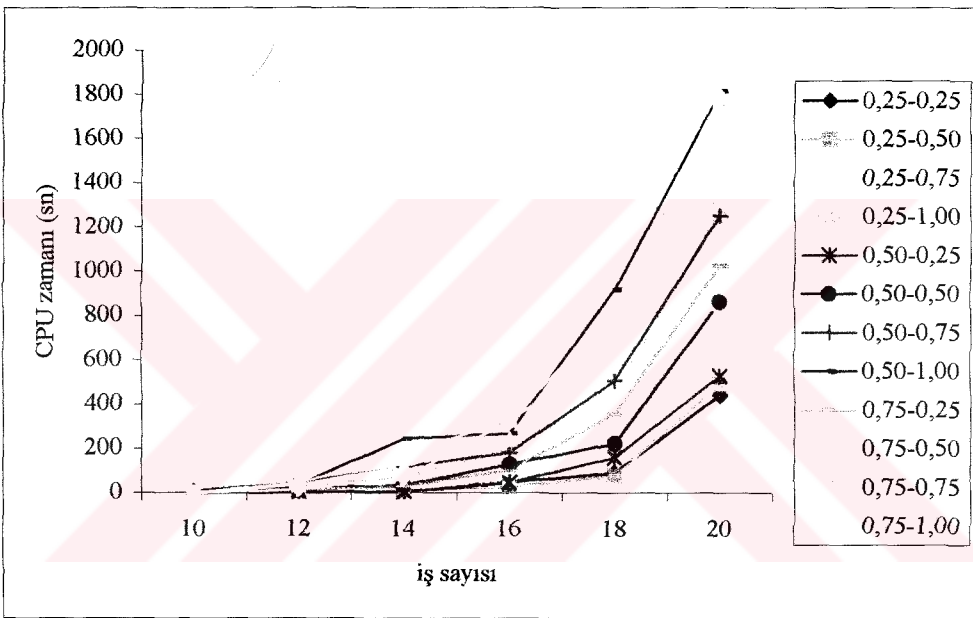
Teslim tarihi aralığının daha dar olduğu $\tau = 0,25; R = 0,25$ ve $\tau = 0,25; R = 0,50$ durumda problem daha kolay çözülmektedir. Örneğin 20 işli problemde ağırlık değerleri $\alpha = 0,50$ ve $\beta = 0,50$ için $\tau = 0,25; R = 0,25$ de ortalama 498,70 sn iken $\tau = 0,50; R = 1,00$ de ise için ortalama 1820,20 sn olmaktadır. İş sayılarına göre en yüksek CPU zaman değerleri ise Çizelge 6.3’de koyu olarak gösterilmiştir.

Çizelge 6.3.’de de görüldüğü gibi üç farklı ağırlık değerleri için problemin çözüm zamanları dikkat çekici bir şekilde değişiklik görülmemektedir. Ancak bazı problemlerde gecikme ağırlığının artmasıyla problemin çözüm zamanı daha da artmaktadır.

6.1.1.2. $n/2/\beta\Sigma T+\gamma C_{\max}$ probleminin çözümü

Problem için yine $(\beta;\gamma) = (0,25;0,75), (0,50;0,50), (0,75; 0,25)$ olmak üzere üç farklı ağırlık değerleri kullanılmıştır. Çözülen bu problemlerin iş sayılarına göre ortalama

CPU zamanları Çizelge 6.4'de ve çözümlerin daha iyi yorumlanması için ağırlık değerleri eşit olduğunda Şekil 6.3'de diğer ağırlık değerlerinde ise Ek 3-4'de çözüm zamanları grafiklerle gösterilmiştir. İş sayılarına göre en yüksek CPU zamanları Çizelge 6.4'de koyu renkle gösterilmiştir. İlk problemde görüldüğü gibi $\tau = 0,50; R = 0,75$; $\tau = 0,50; R = 1,00$; $\tau = 0,75; R = 0,75$ ve $\tau = 0,75; R = 1,00$ değerlerinde olmaktadır. Ağırlık değerlerine göre ise CPU zamanlarında dikkat çekici bir değişme göstermemektedir.



Şekil 6.3. $n/2/\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminde $\alpha=0,50$ ve $\beta=0,50$ ağırlık değerleri için τ ve R değerlerinde iş sayılarına göre ortalama CPU zaman grafiği

Çizelge 6.4. $n/2/\beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin iş sayılarına göre ortalama CPU zamanları (sn)

iş sayısı	τ	R	Ağırlık değerleri		
			0,25-0,75	0,50-0,50	0,75-0,25
10	0,25	0,25	0,30	0,40	0,90
		0,50	0,60	0,60	1,20
		0,75	0,50	1,30	0,90
		1,00	3,70	3,90	3,60
	0,50	0,25	0,30	0,50	0,40
		0,50	1,40	1,10	1,20
		0,75	9,00	11,30	11,50
		1,00	7,00	10,40	7,90
	0,75	0,25	1,60	0,90	1,40
		0,50	2,50	1,80	1,70
		0,75	2,90	3,30	2,20
		1,00	2,20	3,40	1,70
12	0,25	0,25	1,60	1,70	1,90
		0,50	1,60	1,50	1,60
		0,75	6,20	3,50	4,20
		1,00	17,70	24,20	18,90
	0,50	0,25	1,60	2,90	2,20
		0,50	10,30	18,80	11,50
		0,75	22,60	45,30	24,00
		1,00	33,30	37,40	32,60
	0,75	0,25	12,90	14,00	17,10
		0,50	14,60	16,30	14,00
		0,75	37,10	45,40	48,30
		1,00	19,60	36,00	31,10
14	0,25	0,25	10,40	8,40	10,70
		0,50	7,70	12,10	18,00
		0,75	21,80	8,60	13,10
		1,00	59,10	71,20	53,20
	0,50	0,25	5,70	6,20	5,20
		0,50	32,90	34,60	34,90
		0,75	97,10	118,30	98,80
		1,00	174,30	244,80	199,20
	0,75	0,25	35,70	30,00	30,20
		0,50	111,50	66,50	82,50
		0,75	130,20	176,80	126,30
		1,00	82,60	119,30	79,90

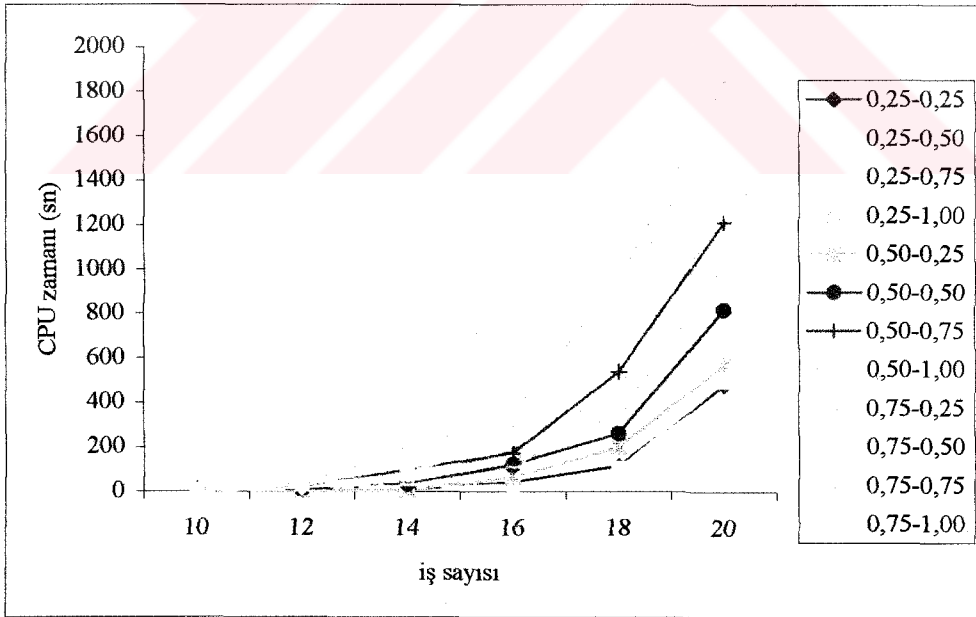
Çizelge 6.4. $n/2/\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin iş sayılarına göre ortalama CPU zamanları (sn) (devamı)

iş sayısı	τ	R	Ağırlık değerleri		
			0,25-0,75	0,50-0,50	0,75-0,25
16	0,25	0,25	40,00	48,10	42,80
		0,50	29,40	27,80	33,10
		0,75	85,00	64,90	85,80
		1,00	195,30	195,60	190,00
	0,50	0,25	31,50	45,60	68,00
		0,50	100,40	128,80	122,90
		0,75	169,00	181,50	175,70
		1,00	375,40	268,10	349,30
	0,75	0,25	106,40	103,80	111,30
		0,50	241,70	325,50	270,70
		0,75	331,00	327,60	330,10
		1,00	232,70	241,90	252,90
18	0,25	0,25	118,20	91,00	116,10
		0,50	82,80	79,90	103,40
		0,75	196,50	215,70	214,10
		1,00	443,30	445,30	471,50
	0,50	0,25	117,90	160,40	200,40
		0,50	260,50	224,20	262,10
		0,75	493,80	506,70	539,70
		1,00	641,50	919,00	945,40
	0,75	0,25	368,30	357,20	366,20
		0,50	654,00	634,70	670,90
		0,75	775,60	819,50	825,80
		1,00	790,20	762,40	749,40
20	0,25	0,25	490,40	439,30	481,10
		0,50	501,80	489,20	498,30
		0,75	518,40	855,40	519,40
		1,00	1282,20	1279,30	1282,70
	0,50	0,25	564,00	527,40	572,80
		0,50	833,20	861,60	819,50
		0,75	1246,10	1252,30	1214,60
		1,00	1822,40	1813,40	1838,70
	0,75	0,25	1025,70	1025,70	977,50
		0,50	1467,00	1450,60	1455,50
		0,75	1778,60	1760,80	1786,40
		1,00	1812,60	1796,90	1806,70

6.1.1.3. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin çözümü

Bu üç ölçütlü problem için dört farklı ağırlık değerleri kullanılmıştır. Bunlar $(\alpha;\beta;\gamma) = (0,25;0,25;0,50), (0,25;0,50;0,25), (0,33;0,33;0,33), (0,50;0,25;0,25)$ dir. Çözülen bu problemlerin iş sayılarına göre ortalama CPU zamanları Çizelge 6.5’de grafikleri ise ağırlık değerleri eşit olduğunda Şekil 6.4’de diğer ağırlık değerlerinde ise Ek 5–7’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.5.’de görüldüğü gibi dört farklı ağırlık değerleri için problemin çözüm yapılmıştır. Problemin çözüm zamanları problem boyutu ile üssel olarak artmaktadır. Farklı ağırlık değerlerinde de dikkat çekici bir şekilde değişiklik görülmemektedir. $\tau = 0,50; R = 0,75$; $\tau = 0,50; R = 1,00$; $\tau = 0,75; R = 0,75$ ve $\tau = 0,75; R = 1,00$ değerleri için yine çözüm zamanları en yüksek değerleri vermektedir.



Şekil 6.4. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminde $\alpha=0,33$; $\beta=0,33$ ve $\gamma=0,33$ ağırlık değerleri için τ ve R değerlerinde iş sayılarına göre ortalama CPU zaman zaman grafiği

Çizelge 6.5. $n/2/\alpha \sum C + \beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin iş sayılarına göre ortalama CPU zamanları (sn)

iş sayısı	τ	R	Ağırlık değerleri			
			0,25-0,25-0,50	0,25-0,50-0,25	0,33-0,33-0,33	0,50-0,25-0,25
10	0,25	0,25	0,30	0,40	0,90	0,90
		0,50	0,60	0,60	1,20	1,30
		0,75	0,50	1,30	0,90	0,60
		1,00	3,70	3,90	3,60	2,10
	0,50	0,25	0,30	0,50	0,40	0,40
		0,50	1,40	1,10	1,20	0,80
		0,75	9,00	11,30	11,50	6,30
		1,00	7,00	10,40	7,90	3,20
	0,75	0,25	1,60	0,90	1,40	1,10
		0,50	2,50	1,80	1,70	1,20
		0,75	2,90	3,30	2,20	2,10
		1,00	2,20	3,40	1,70	1,50
12	0,25	0,25	1,60	1,70	1,90	1,40
		0,50	1,60	1,50	1,60	2,90
		0,75	6,20	3,50	4,20	6,30
		1,00	17,70	24,20	18,90	12,50
	0,50	0,25	1,60	2,90	2,20	3,80
		0,50	10,30	18,80	11,50	8,70
		0,75	22,60	45,30	24,00	10,90
		1,00	33,30	37,40	32,60	18,00
	0,75	0,25	12,90	14,00	17,10	8,40
		0,50	14,60	16,30	14,00	12,20
		0,75	37,10	45,40	48,30	29,80
		1,00	19,60	36,00	31,10	11,00
14	0,25	0,25	10,40	8,40	10,70	19,30
		0,50	7,70	12,10	18,00	26,30
		0,75	21,80	8,60	13,10	9,00
		1,00	59,10	71,20	53,20	40,40
	0,50	0,25	5,70	6,20	5,20	17,60
		0,50	32,90	34,60	34,90	33,10
		0,75	97,10	118,30	98,80	62,10
		1,00	174,30	244,80	199,20	123,20
	0,75	0,25	35,70	30,00	30,20	24,80
		0,50	111,50	66,50	82,50	90,30
		0,75	130,20	176,80	126,30	63,80
		1,00	82,60	119,30	79,90	31,40

Çizelge 6.5. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin iş sayılarına göre ortalama CPU zamanları (sn) (devamı)

iş sayısı	τ	R	Ağırlık değerleri			
			0,25-0,25-0,50	0,25-0,50-0,25	0,33-0,33-0,33	0,50-0,25-0,25
16	0,25	0,25	40,00	48,10	42,80	52,90
		0,50	29,40	27,80	33,10	51,20
		0,75	85,00	64,90	85,80	71,20
		1,00	195,30	195,60	190,00	102,60
	0,50	0,25	31,50	45,60	68,00	93,40
		0,50	100,40	128,80	122,90	114,60
		0,75	169,00	181,50	175,70	172,50
		1,00	375,40	268,10	349,30	356,80
	0,75	0,25	106,40	103,80	111,30	68,40
		0,50	241,70	325,50	270,70	286,60
		0,75	331,00	327,60	330,10	344,40
		1,00	232,70	241,90	252,90	260,40
18	0,25	0,25	118,20	91,00	116,10	143,60
		0,50	82,80	79,90	103,40	157,30
		0,75	196,50	215,70	214,10	148,50
		1,00	443,30	445,30	471,50	392,30
	0,50	0,25	117,90	160,40	200,40	155,90
		0,50	260,50	224,20	262,10	219,40
		0,75	493,80	506,70	539,70	484,10
		1,00	641,50	919,00	945,40	969,90
	0,75	0,25	368,30	357,20	366,20	400,90
		0,50	654,00	634,70	670,90	662,60
		0,75	775,60	819,50	825,80	762,90
		1,00	790,20	762,40	749,40	741,50
20	0,25	0,25	490,40	439,30	481,10	426,60
		0,50	501,80	489,20	498,30	488,60
		0,75	518,40	855,40	519,40	533,00
		1,00	1282,20	1279,30	1282,70	1264,10
	0,50	0,25	564,00	527,40	572,80	553,90
		0,50	833,20	861,60	819,50	816,60
		0,75	1246,10	1252,30	1214,60	1205,60
		1,00	1822,40	1813,40	1838,70	1809,40
	0,75	0,25	1025,70	1025,70	977,50	1030,30
		0,50	1467,00	1450,60	1455,50	1446,90
		0,75	1778,60	1760,80	1786,40	1785,50
		1,00	1812,60	1796,90	1806,70	1812,40

6.1.2. II. gruptaki problemlerin eniyi çözüm sonuçları

Hazırlık zamanlarının dikkate alınarak incelenecek çok ölçütlü çizelgeleme problemleri II. grupta yer almaktadır. Bu problemlerden iki ölçütlü olarak; $n/2/F/s_{ji}/\alpha\sum C + \beta\sum T$ ve $n/2/F/s_{ji}/\beta\sum T + \gamma C_{max}$ problemleri dikkate alınırken üç ölçütlü olarak $n/2/F/s_{ji}/\alpha\sum C + \beta\sum T + \gamma C_{max}$ problemi için eniyi çözüm sonuçları gösterilmiştir. Deney çalışmasının yapısı Rajendran ve Ziegler (70)'in çalışmalarına benzer bir şekilde gerçekleştirilmiştir. İşlem zamanları p_{ji} , 1 ile 100 arasında ($p_{ji} \sim U[1,100]$) düzgün dağılımdan üretilmiştir. Hazırlık zamanları ise işlem zamanları aralıklarının 0,10; 0,25; 0,50 ve 1,00 çarpımları olarak dört aralıkta incelenmiştir. Bu aralıklar $s_{j1} \sim U[0,9]$; $s_{j2} \sim U[0,24]$; $s_{j3} \sim U[0,49]$; $s_{j4} \sim U[0,99]$ dur. Teslim tarihi d_j ise aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır.

$$d_j = \bar{s}_{j1} + \sum_{i=1}^m p_{ji} + \bar{p}_{j2} \times u \quad (j = 1, \dots, n)$$

burada $\bar{s}_{j1}$; birinci makinedeki işlerin hazırlık zamanı ortalamasını $\sum_{i=1}^m p_{ji}$; j işinin birinci ve ikinci makinedeki işlem zamanları toplamını $\bar{p}_{j2}$; ikinci makinedeki işlerin ortalama işlem zamanını u ise 0 ile 1 arasında rassal bir sayıyı göstermektedir. Her kombinasyon 10 değişik problemle çözülmüştür. Çizelge 6. 6'da görüldüğü gibi toplam 2400 adet problem çözülmüştür.

6.1.2.1. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C + \beta\sum T$ probleminin çözümü

Çözülen bu problemlerin iş sayılarına göre CPU zamanları Çizelge 6.7'de verilmiştir. Problemin işlem zamanları, iş sayısı arttıkça üssel olarak arttığı görülmektedir. İş sayılarına göre en yüksek CPU zaman değerleri ise Çizelge 6.7'de koyu olarak gösterilmiştir.

Çizelge 6.6. II. grupta çözölen problem sayısı

II. Grup Problemler	Ağırlık değeri	İş sayıları	Hazırlık zamanı aralığı	Problem sayısı	TOPLAM
$n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T$	(α, β) (0,25;0,75) (0,50;0,50) (0,75;0,25)	10, 12, 14, 16, 18, 20	4 farklı durum	10	$3\times6\times4\times10=720$
$n/2/s_{ji}/\beta\sum T+\gamma C_{max}$	(β, γ) (0,25;0,75) (0,50;0,50) (0,75;0,25)	10, 12, 14, 16, 18, 20	4 farklı durum	10	$3\times6\times4\times10=720$
$n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{max}$	(α, β, γ) (0,25;0,25;0,50) (0,25;0,50;0,25) (0,33;0,33;0,33) (0,50;0,25;0,25)	10, 12, 14, 16, 18, 20	4 farklı durum	10	$4\times6\times4\times10=960$
				Genel toplam	= 2400

Ağırlık değeri eşit olduğunda; hazırlık zaman aralıklarının göre CPU zaman grafikleri Şekil 6.5’de farklı olduğunda ise Ek 8-9’da verilmiştir. Tüm ağırlık değerlerinde de hazırlık zaman aralığı daraldıkça problemin çözümünün daha da zorlaştığı görölmektedir.

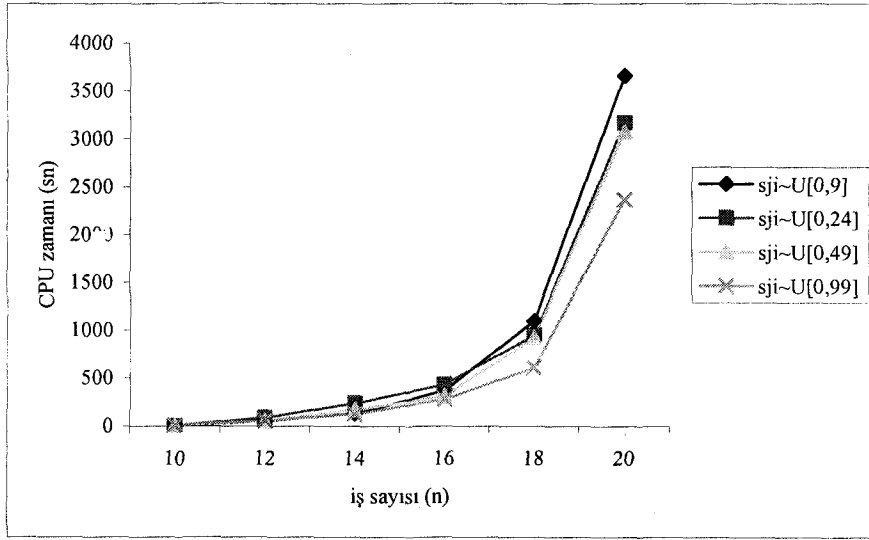
Hazırlık zaman aralıklarına göre problem incelendiğinde ise [0,9] aralığı Şekil 6.6’da, diğer aralıklarda ise Ek 10-12’de grafiklerle gösterilmiştir. Grafiklerde de göröldüğü gibi gecikmenin ağırlık değeri arttıkça problemin çözümü daha da zorlaşmaktadır.

Çizelge 6.7. $n/2/s_{ji}/\alpha \sum C + \beta \sum T$ probleminin iş sayılarına göre CPU zamanları (sn)

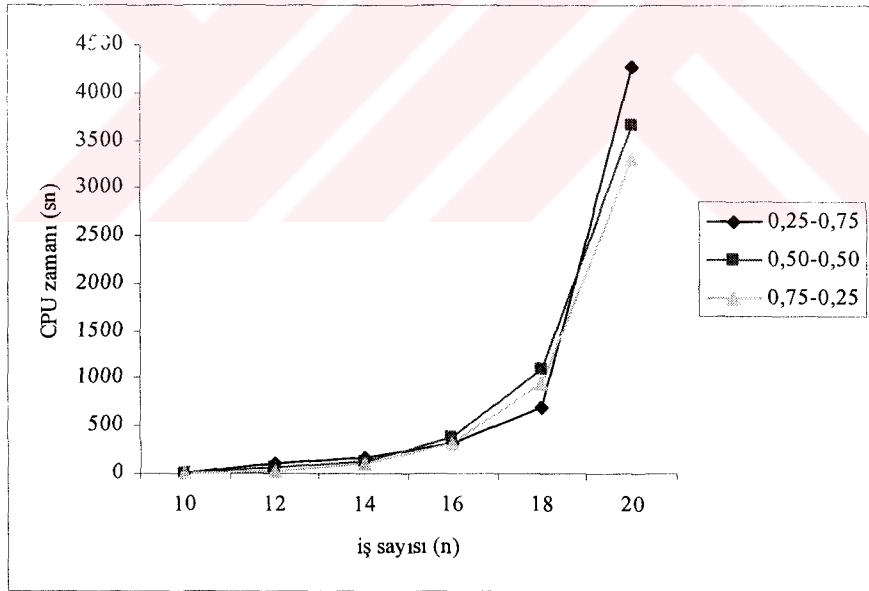
n	Ağırlık değerleri	Hazırlık zamanı aralık değerleri			
		$s_{ji} \sim U[0,9]$	$s_{ji} \sim U[0,24]$	$s_{ji} \sim U[0,49]$	$s_{ji} \sim U[0,99]$
10	0,25-0,75	7,70	5,80	5,80	10,00
12		115,20	77,70	50,90	75,70
14		163,30	220,60	202,20	137,30
16		310,30	401,00	291,00	292,60
18		695,80	962,60	1032,00	655,20
20		4275,60	3474,60	3359,40	2614,80
10	0,50-0,50	5,00	4,10	5,10	10,00
12		53,50	87,60	52,20	58,30
14		129,80	241,10	170,40	128,10
16		370,30	433,20	312,10	281,60
18		1100,00	952,40	927,60	610,00
20		3658,80	3169,80	3076,20	2369,40
10	0,75-0,25	2,10	2,70	3,50	5,90
12		28,10	30,00	38,60	64,80
14		100,00	109,70	109,10	148,00
16		310,60	377,20	293,60	224,80
18		937,80	957,40	840,00	670,40
20		3306,60	2834,40	2981,40	2402,40

6.1.2.2. $n/2/s_{ji}/\beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin çözümü

Çözülen bu problemlerin iş sayılarına göre CPU zamanları Çizelge 6.8’de verilmiştir. Problemin işletim zamanları, iş sayısı arttıkça üssel olarak arttığı görülmektedir. İş sayılarına göre en yüksek CPU zaman değerleri ise Çizelge 6.8’de koyu olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.5. $n/2/s_{ji}/\alpha \sum C + \beta \sum T$ probleminin $\alpha=0,50$ ve $\beta=0,50$ ağırlık değerleri için hazırlık zaman aralıklarına göre iş sayısı işlem zaman grafiği



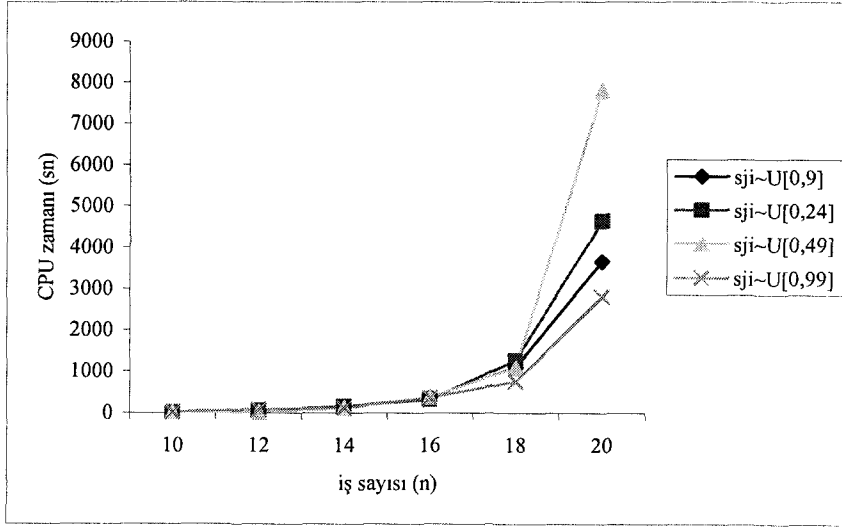
Şekil 6.6. $n/2/s_{ji}/\alpha \sum C + \beta \sum T$ probleminin hazırlık zamanlarının $[0-9]$ aralığında, ağırlık değerlerine göre iş sayıları işlem zaman grafiği

Çizelge 6.8. $n/2/s_{ji}/\beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin iş sayılarına göre CPU zamanları (sn)

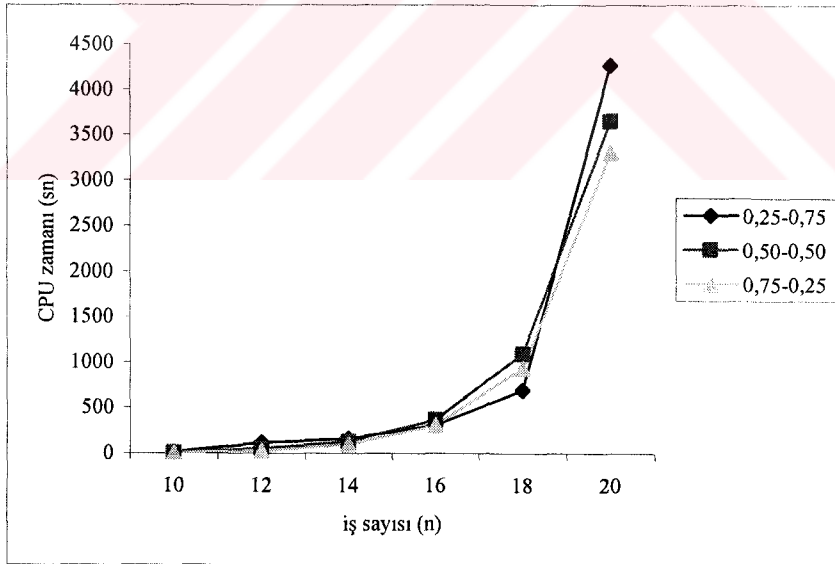
n	Ağırlık değerleri	Hazırlık zamanı aralık değerleri			
		$s_{ji} \sim U[0,9]$	$s_{ji} \sim U[0,24]$	$s_{ji} \sim U[0,49]$	$s_{ji} \sim U[0,99]$
10	0,25-0,75	6,7	10	4,9	17,2
12		85,1	78,5	26,9	57,9
14		153,9	152,9	111	102,8
16		360,4	291,8	374,8	259,1
18		895,7	2089,6	1124	770,6
20		4165,4	4237,2	4834,8	2646,6
10	0,50-0,50	8,7	11,2	5	17,7
12		52,4	55,6	22,1	86,3
14		131,2	158,6	112,4	119,8
16		350,2	326,5	375,9	363,7
18		1050,6	1264,2	1092,6	760,4
20		3777,9	4635	7798,8	2803,8
10	0,75-0,25	8,1	12,6	4,8	25,3
12		12,4	55,1	24,2	50,5
14		127,6	175,3	113,4	106,1
16		299,8	445,6	385,6	264
18		1040,1	1221	1060,8	725,2
20		3376,5	4887	3756,6	2580,6

Ağırlık değerleri eşit olduğunda; hazırlık zaman aralıklarının göre CPU zaman grafikleri Şekil 6.7 ile ağırlık değerleri farklı olduğunda ise Ek 13-14'de verilmiştir. Tüm ağırlık değerlerinde de hazırlık zaman aralığı daraldıkça problemin çözümünün daha da zorlaştığı görülmektedir.

Hazırlık zaman aralıklarına göre problem incelendiğinde ise $[0,9]$ aralığı Şekil 6.8'de, diğer aralıklarda ise Ek 15-17'de grafiklerle gösterilmiştir. Grafiklerde de görüldüğü gibi gecikmenin ağırlık değeri arttıkça problemin çözümü daha da zorlaşmaktadır.



Şekil 6.7. $n/2/s_{ji}/\beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,50$ ve $\beta=0,50$ ağırlık değerleri hazırlık zaman aralıklarına göre iş sayısı işlem zaman grafiği



Şekil 6.8. $n/2/s_{ji}/\beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin hazırlık zamanlarının $[0-9]$ aralığında, ağırlık değerlerine göre iş sayıları işlem zaman grafiği

Hazırlık zaman aralıklarına göre kıyaslandığında ise Şekil 6.8'de görüldüğü gibi hazırlık zamanı $s_{ji} \sim U[0,9]$ aralığında $\alpha=0,25$; $\beta=0,75$ ağırlık değerinde çözüm

zamanı daha uzun olurken Ek-15’de hazırlık zamanı $s_{ji} \sim U[0,24]$ ve $s_{ji} \sim U[0,99]$ aralıklarında çok büyük bir fark görülmemektedir. Ek-16’da ki hazırlık zamanı $s_{ji} \sim U[0,49]$ aralığında ise $\alpha = 0,50$ $\beta = 0,50$ ağırlık değerinde daha zor çözülmektedir. Ek-17’de ki $s_{ji} \sim U[0,99]$ aralığında ağırlıklar arasında dikkate çekici bir fark görülmemektedir.

6.1.2.3. $n/2/s_{ji}/\alpha \sum C + \beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin çözümü

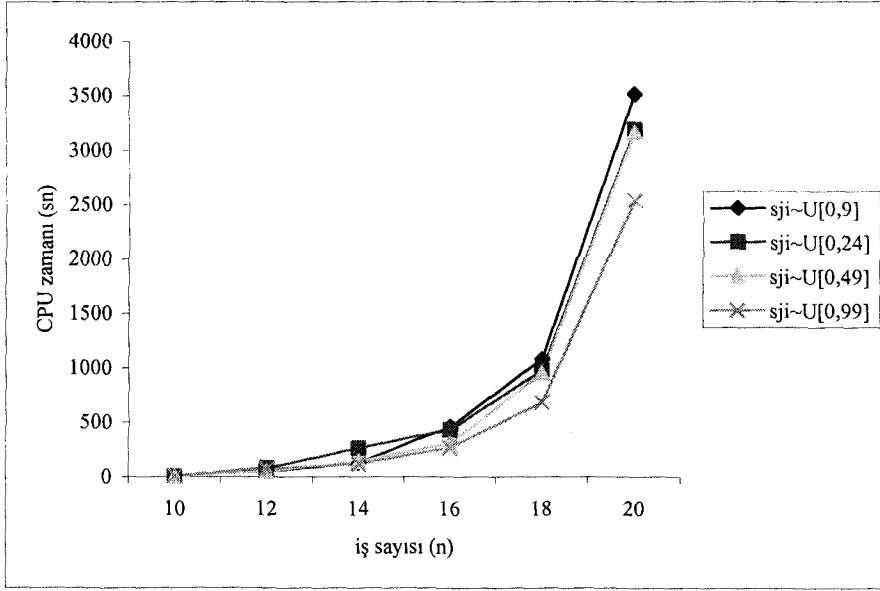
Çözülen bu problemlerin iş sayılarına göre CPU zamanları Çizelge 6.9’da verilmiştir. Problemin işlem zamanları, iş sayısı arttıkça üssel olarak arttığı görülmektedir. İş sayılarına göre en yüksek CPU zaman değerleri ise Çizelge 6.8’de koyu olarak gösterilmiştir.

Hazırlık zaman aralıklarının göre CPU zaman grafikleri dört farklı ağırlık değerlerine göre incelenmiştir. Şekil 6.9 ağırlık değerleri eşit olduğunda hazırlık zaman aralıklarına göre iş sayısı işlem zaman grafiği verilmiştir. Diğer ağırlık değerlerin de ise, hazırlık zaman aralıklarına göre iş sayısı işlem zaman grafiği Ek 18-20’de verilmiştir. Tüm ağırlık değerlerinde de hazırlık zaman aralığı daraldıkça problemin çözümünün daha da zorlaştığı görülmektedir.

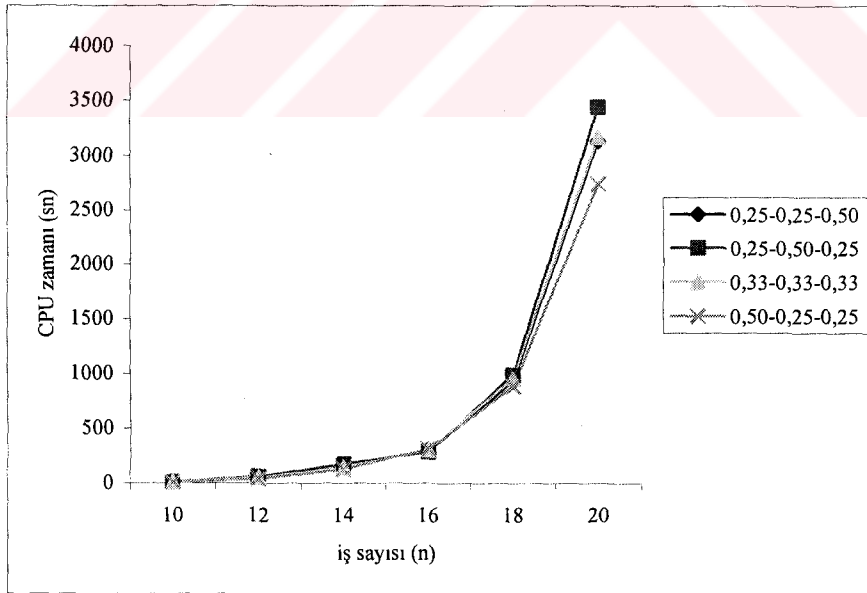
Hazırlık zaman aralıklarına göre kıyaslandığında gecikmenin ağırlık değeri arttıkça problem daha da zorlaştığı görülmektedir. Şekil 6.10’da hazırlık zaman aralığı $[0,49]$ ’da gecikmenin ağırlığının en fazla olduğu $\alpha = 0,25$; $\beta = 0,50$ ve $\gamma = 0,25$ değerindeki işlem zaman grafiği verilmektedir. Diğer hazırlık zaman aralıklarına göre grafikler de Ek 21-23’de verilmiştir.

Çizelge 6.9. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin iş sayılarına göre CPU zamanları (sn)

n	Ağırlık değerleri	Hazırlık zamanı aralık değerleri			
		$s_{ji}\sim U[0,9]$	$s_{ji}\sim U[0,24]$	$s_{ji}\sim U[0,49]$	$s_{ji}\sim U[0,99]$
10	0,25-0,25-0,50	5,60	5,10	3,80	7,80
12		46,80	69,40	52,40	63,60
14		125,80	241,20	142,40	180,00
16		376,80	410,10	306,40	293,70
18		1088,60	989,80	930,00	630,80
20		3469,80	3336,60	3129,60	2510,40
10	0,25-0,50-0,25	7,40	5,40	4,70	10,60
12		91,30	60,30	57,40	74,20
14		147,50	325,60	171,90	139,60
16		323,80	496,20	283,70	292,50
18		1341,60	1031,20	985,60	598,40
20		3755,40	3525,60	3439,20	2685,00
10	0,33-0,33-0,33	5,00	4,40	3,80	9,20
12		49,50	78,90	50,90	71,50
14		125,50	261,70	141,40	117,00
16		457,60	430,40	306,60	267,50
18		1080,20	979,00	953,80	683,00
20		3516,60	3193,80	3165,00	2538,60
10	0,50-0,25-0,25	4,00	3,20	3,30	7,10
12		33,10	40,00	39,30	68,20
14		109,20	171,80	127,30	140,10
16		335,90	345,70	312,30	275,80
18		1014,20	957,60	884,80	639,00
20		3267,00	3121,80	2736,00	2347,20



Şekil 6.9. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,33$; $\beta=0,33$ ve $\gamma=0,33$ ağırlık değerleri hazırlık zamanlarına göre iş sayısı işlem zaman grafiği



Şekil 6.10. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin hazırlık zamanlarının $[0-49]$ aralığında, ağırlık değerlerine göre iş sayıları işlem zaman grafiği

6.2. Sezgisel yöntem sonuçlarının eniyi çözüm sonuçları ile karşılaştırılması

Bu çalışmada kullanılan sezgisel yöntemler, C++ Builder 5’de kodlanmıştır. İki grupta ele alınan altı problem makul zamanda eniyileme sonuçları ancak 20 işe kadar bulunabilmektedir. Halbuki pratik uygulamalarda daha çok işin çizelgelenmesi ve bu problemleri çözmek gerekebilir. Bunun için ele alınan problemleri kısa zamanda çözebilmek, eniyi veya eniyiye yakın çözümlerini bulmak için sezgisel yöntemler kullanmak gerekmektedir. Bu çalışmada ele alınan problemler üç sezgisel yöntemle çözülmüştür. Birincisinde akış tipi çizelgeleme problemlerinde en çok kullanılan kurucu sezgisel bir yöntem olan NEH yöntemi, ele alınan problemlere uyarlanmıştır. İkinci olarak meta-sezgisel olarak bir çok çizelgeleme yönteminde başarılı sonuçlar veren tabu arama yöntemi kullanılmıştır. Son olarak da rassal örnek büyüklüğü seçerek daha iyi bir çözüme gitmeye çalışan rassal arama yöntemiyle problemler çözümlü sonuçlar karşılaştırılacaktır.

Sezgisel yöntemlerin performansının değerlendirilmesinde iki önemli nokta üzerinde durulur. Bunların birincisinde eniyi çözüm sonuç veren yöntemlere çözüm zamanının azalması diğeri de eniyi çözüm sonucuna göre sezgiselin kalitesidir. Çözüm kalitesi de üç şekilde değerlendirilmiştir (106,186,187).

1. Sezgisel yöntemin çözüm kalitesi, eniyi çözüm sonucuna yaklaşma değerini veya eniyi çözüme göre hata değerini hesaplamak.

$$\text{Çözüm kalitesi} = 1 - \frac{\text{Sezgisel çözüm} - \text{Optimal çözüm}}{\text{Optimal çözüm}}$$

$$\text{Hata} = \frac{\text{Sezgisel çözüm} - \text{Optimal çözüm}}{\text{Optimal çözüm}}$$

2. Eğer eniyi çözüm değeri sıfıra yakın hatta eşit ise sezgisel çözüm değeri sadece çok az bir miktar eniyi çözüm değeri üzerinde ise oldukça yüksek yüzdelik hata

oluşacaktır. Bundan dolayı bir referans çözüm olarak kabul edilerek düzeltilmiş hata değeri hesaplanır.

$$\text{Düzeltilmiş hata} = \frac{\text{Sezgisel çözüm} - \text{Optimal çözüm}}{\text{Referans çözüm} - \text{Optimal çözüm}}$$

3. Bazı örneklerle karar vericinin tercihinine göre mutlak hata değerine göre değerlendirme yapılabilir.

$$\text{Mutlak hata} = \text{Sezgisel çözüm} - \text{Optimal çözüm}$$

Bu çalışmada sezgisel yöntemlerin performansı *çözüm kalitesi* ile değerlendirilmiştir.

6.2.1. I. Gruptaki problemlerin sezgisel yöntem sonuçlarının eniyi çözüm sonuçları ile karşılaştırılması

Birinci grupta ele alınan çok ölçütlü üç problemin sezgisel yöntem sonuçları eniyi çözüm sonuçları ile karşılaştırılacaktır.

6.2.1.1. $n/2/\alpha\sum C + \beta\sum T$ probleminin sezgisel yöntem sonuçlarının eniyi çözüm sonuçları ile karşılaştırılması

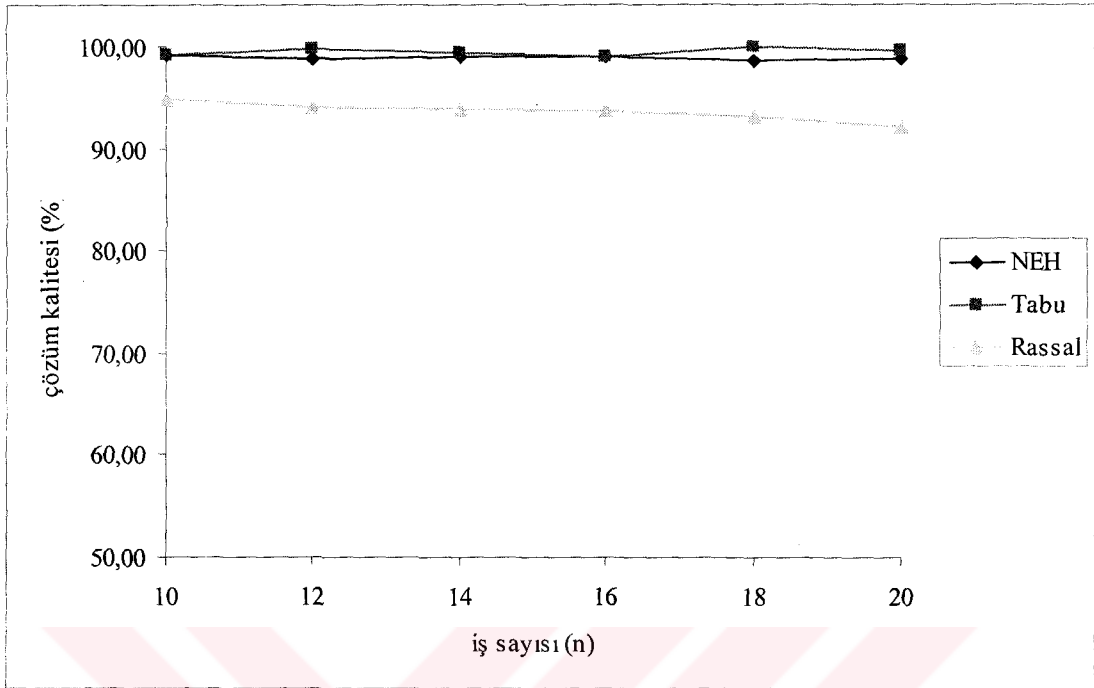
Ele alınan $n/2/\alpha\sum C + \beta\sum T$ probleminin sezgisel yöntem sonuçları eniyi çözüm sonuçları ile karşılaştırıldığında kullanılan üç sezgisel yöntemin çözüm kaliteleri Çizelge 6.10'da gösterilmiştir.

Şekil 6.11'de ağırlık değerleri eşit olduğunda sezgisellerin çözüm kaliteleri verilirken, Ek 24-25'de ağırlık değerleri farklı olduğundaki çözüm kaliteleri verilmektedir.

Çizelge 6.10. $n/2/\alpha \sum C + \beta \sum T$ probleminin çözüm kalitesi

n	$(\alpha;\beta)$	Çözüm kalitesi		
		NEH	Tabu	Rassal
10	(0,25;0,75)	0,9890	0,9912	0,9604
12		0,9780	0,9966	0,9576
14		0,9759	0,9937	0,9548
16		0,9709	0,9967	0,9498
18		0,9792	0,9939	0,9391
20		0,9707	0,9971	0,9346
	Ortalama	0,9773	0,9949	0,9494
10	(0,50;0,50)	0,9912	0,9918	0,9494
12		0,9879	0,9984	0,9414
14		0,9899	0,9931	0,9394
16		0,9904	0,9906	0,9368
18		0,9865	0,9998	0,9312
20		0,9888	0,9967	0,9203
	Ortalama	0,9891	0,9951	0,9364
10	(0,75;0,25)	0,9766	0,9941	0,8640
12		0,9792	0,9872	0,8552
14		0,9978	0,9991	0,8510
16		0,9552	0,9820	0,8413
18		0,9601	0,9908	0,8318
20		0,9676	0,9819	0,8270
	Ortalama	0,9727	0,9892	0,8451
	Genel ortalama	0,9856	0,9923	0,9246

Çizelge 6.10'da görüldüğü gibi sezgisellerin çözüm kaliteleri oldukça iyi çözüm vermektedir. Uyarlanan NEH yöntemi % 98,5'un üzerinde çözüm verirken Tabu arama bu çözüm kalitesini daha da geliştirerek % 99'un üzerine çıkarmıştır. Rassal aram yöntemi ise yaklaşık % 92,5 çözüm kalitesini vermiştir. Özellikle rassal aramada iş sayısı arttıkça çözüm kalitesinin daha da düştüğü görülmektedir.



Şekil 6.11. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminde $\alpha=0,50$ ve $\beta=0,50$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi

6.2.1.2. $n/2/\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin sezgisel çözüm sonuçlarının karşılaştırılması

Ele alınan $n/2/\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin sezgisel yöntem sonuçları eniyi çözüm sonuçları ile karşılaştırıldığında kullanılan dört sezgisel yöntemin çözüm kaliteleri Çizelge 6.11’de gösterilmiştir.

Şekil 6.12’de ağırlık değerleri eşit olduğunda sezgisellerin çözüm kaliteleri verilmiştir. Diğer ağırlık değerlerindeki çözüm kaliteleri ise Ek 26-27’de gösterilmiştir.

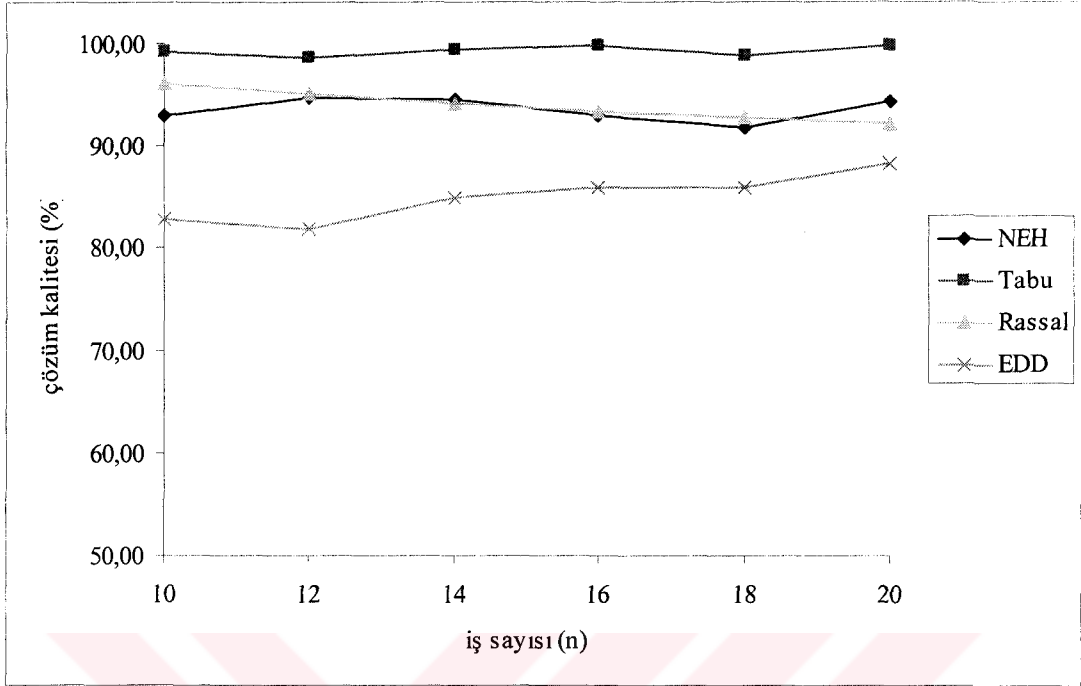
Çizelge 6.11’de görüldüğü gibi uyarlanan NEH yöntemi % 89,72 çözüm kalitesi ile daha kötü performans göstermiştir. Ayrıca bu problem için EDD yöntemi kullanılarak çözüm kalitesi % 89,12 ile, uyarlanan NEH yöntemine yakın çözümler vermiştir. Rassal arama yöntemi ise bu problemde özellikle eşit ağırlıkta daha iyi

çözüm vermiştir. Genelde ise rassal arama % 96,74 çözüm kalitesi vermiştir. Tabu arama yöntemi ise başlangıç çözüm olarak en iyi değer seçildiğinden dolayı daha iyi çözümler vererek % 99'a yaklaşmıştır.

Çizelge 6.11. $n/2/\beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin çözüm kalitesi

n	(β, γ)	Çözüm kalitesi			
		NEH	Tabu	Rassal	EDD
10	(0,25;0,75)	0,9529	0,9811	0,9828	0,9562
12		0,9502	0,9954	0,9780	0,9648
14		0,9541	0,9847	0,9679	0,9530
16		0,9502	0,9840	0,9592	0,9657
18		0,9549	0,9992	0,9505	0,9687
20		0,9562	0,9997	0,9400	0,9689
	Ortalama	0,9531	0,9907	0,9631	0,9629
10	(0,50;0,50)	0,9300	0,9921	0,9615	0,8272
12		0,9466	0,9861	0,9512	0,8178
14		0,9454	0,9942	0,9416	0,8488
16		0,9298	0,9977	0,9327	0,8598
18		0,9185	0,9884	0,9283	0,8587
20		0,9443	0,9982	0,9217	0,8829
	Ortalama	0,9358	0,9928	0,9395	0,8492
10	(0,75;0,25)	0,8087	0,9958	0,9581	0,8901
12		0,8517	0,9979	0,9477	0,8928
14		0,8111	0,9910	0,9393	0,8891
16		0,8926	0,9848	0,9318	0,8971
18		0,8150	0,9904	0,9227	0,8708
20		0,8597	0,9827	0,9164	0,8926
	Ortalama	0,8398	0,9904	0,9360	0,8887
	Genel ortalama	0,8972	0,9896	0,9674	0,8912

Ek 26'da $\beta = 0,25$ ve $\gamma = 0,75$ ağırlık değerinde, rassal aramada iş sayısı arttıkça çözüm kalitesinin daha da düştüğü görülmektedir. $\beta = 0,75$ ve $\gamma = 0,25$ ağırlık değerini gösteren Ek 27'de ise rassal arama daha iyi çözüm vermiştir.



Şekil 6.12. $n/2/\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminde $\beta=0,50$ ve $\gamma=0,50$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi

6.2.1.3. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin sezgisel çözüm sonuçlarının karşılaştırılması

Ele alınan $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin sezgisel yöntem sonuçları eniyi çözüm sonuçları ile karşılaştırıldığında kullanılan üç sezgisel yöntemin çözüm kaliteleri Çizelge 6.12’de gösterilmiştir.

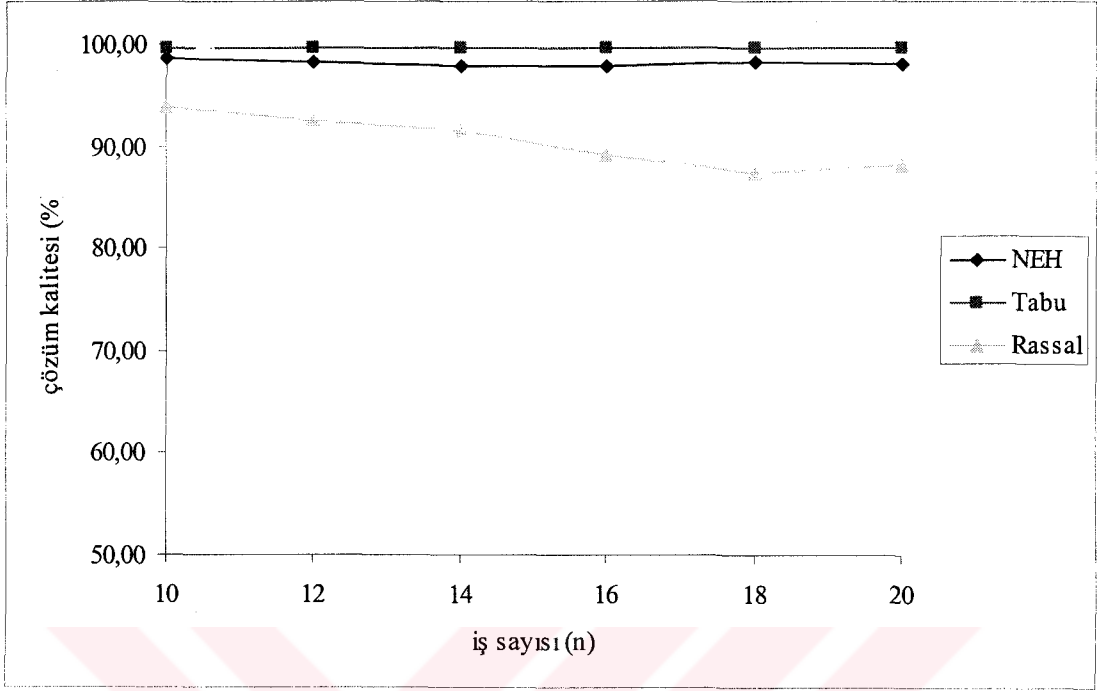
Çizelge 6.12’de görüldüğü gibi uyarlanan NEH yöntemi % 97,88 rassal arama yöntemi ise yaklaşık % 89 ile iyi bir çözüm kalitesi yakalarken, tabu arama çözüm kalitesi % 99,5’in üzerine çıkmıştır.

Şekil 6.13’de ağırlık değerleri eşit olduğunda sezgisellerin çözüm kaliteleri verilirken diğer ağırlık değerlerindeki çözüm kaliteleri ise Ek 28-30’da gösterilmiştir. Rassal aramada yöntemi önceki problemlerde olduğu gibi iş sayısı arttıkça çözüm kalitesinin daha da düştüğü görülmektedir.

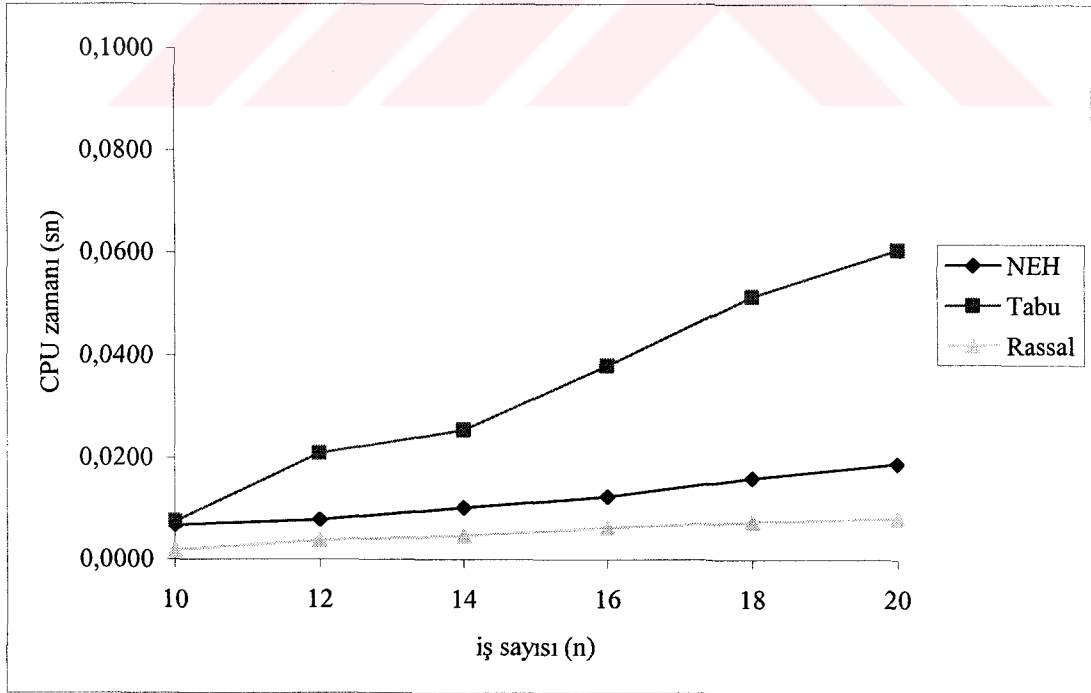
Sezgisellerin küçük boyutlu problemlerdeki çözüm zamanları ise ihmal edilebilecek kadar küçüktür. İş sayısına göre çözüm zamanları Şekil 6.14’de gösterilmektedir. Tabu arama yöntemi beklenebileceği gibi çözüm zamanı daha uzundur.

Çizelge 6.12. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin çözüm kalitesi ve çözüm zamanları

n	$(\alpha;\beta;\gamma)$	Çözüm kalitesi			CPU zamanları (sn)		
		NEH	Tabu	Rassal	NEH	Tabu	Rassal
10	(0,25;0,25;0,50)	0,9860	0,9939	0,9473	0,0056	0,0153	0,0022
12		0,9836	0,9958	0,9274	0,0080	0,0220	0,0032
14		0,9815	0,9972	0,9119	0,0110	0,0249	0,0038
16		0,9810	0,9951	0,9086	0,0135	0,0422	0,0077
18		0,9807	0,9967	0,8770	0,0169	0,0436	0,0081
20		0,9816	0,9957	0,8679	0,0180	0,0577	0,0068
	Ortalama	0,9824	0,9957	0,9067	0,0122	0,0343	0,0053
10	(0,25;0,50;0,25)	0,9775	0,9927	0,9174	0,0081	0,0056	0,0010
12		0,9615	0,9960	0,9043	0,0087	0,0190	0,0058
14		0,9600	0,9956	0,8933	0,0091	0,0267	0,0050
16		0,9601	0,9941	0,8896	0,0095	0,0406	0,0073
18		0,9615	0,9963	0,8449	0,0156	0,0577	0,0064
20		0,9594	0,9938	0,8549	0,0192	0,0639	0,0088
	Ortalama	0,9633	0,9948	0,8841	0,0117	0,0356	0,0057
10	(0,33;0,33;0,33)	0,9868	0,9964	0,9386	0,0065	0,0052	0,0021
12		0,9818	0,9965	0,9254	0,0083	0,0235	0,0029
14		0,9774	0,9961	0,9141	0,0109	0,0265	0,0053
16		0,9785	0,9952	0,8906	0,0123	0,0360	0,0051
18		0,9822	0,9963	0,8735	0,0160	0,0530	0,0073
20		0,9810	0,9958	0,8809	0,0192	0,0611	0,0080
	Ortalama	0,9813	0,9961	0,9039	0,0122	0,0342	0,0051
10	(0,50;0,25;0,25)	0,9912	0,9973	0,9228	0,0071	0,0044	0,0021
12		0,9890	0,9973	0,9116	0,0061	0,0188	0,0035
14		0,9855	0,9964	0,9204	0,0098	0,0234	0,0048
16		0,9852	0,9963	0,8946	0,0141	0,0329	0,0053
18		0,9906	0,9958	0,8798	0,0156	0,0515	0,0081
20		0,9883	0,9965	0,8883	0,0192	0,0595	0,0092
	Ortalama	0,9883	0,9966	0,9029	0,0120	0,0318	0,0055
	Genel ortalama	0,9788	0,9958	0,8994	0,0120	0,0340	0,0054



Şekil 6.13. $n/2/\alpha\sum C + \beta\sum T + \gamma C_{\max}$ probleminde $\alpha=0,33$; $\beta=0,33$ ve $\gamma=0,33$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi



Şekil 6.14. $n/2/\alpha\sum C + \beta\sum T + \gamma C_{\max}$ probleminde sezgisellerin çözüm zamanları

6.2.2. II. Gruptaki problemlerin sezgisel yöntem sonuçlarının eniyi çözüm sonuçları ile karşılaştırılması

II. grupta yer alan hazırlık zamanlı üç tane çok ölçütlü problemin sezgisel yöntem sonuçları, eniyi çözüm sonuçları ile karşılaştırılacaktır.

6.2.2.1. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminin sezgisel yöntem sonuçlarının eniyi çözüm sonuçları ile karşılaştırılması

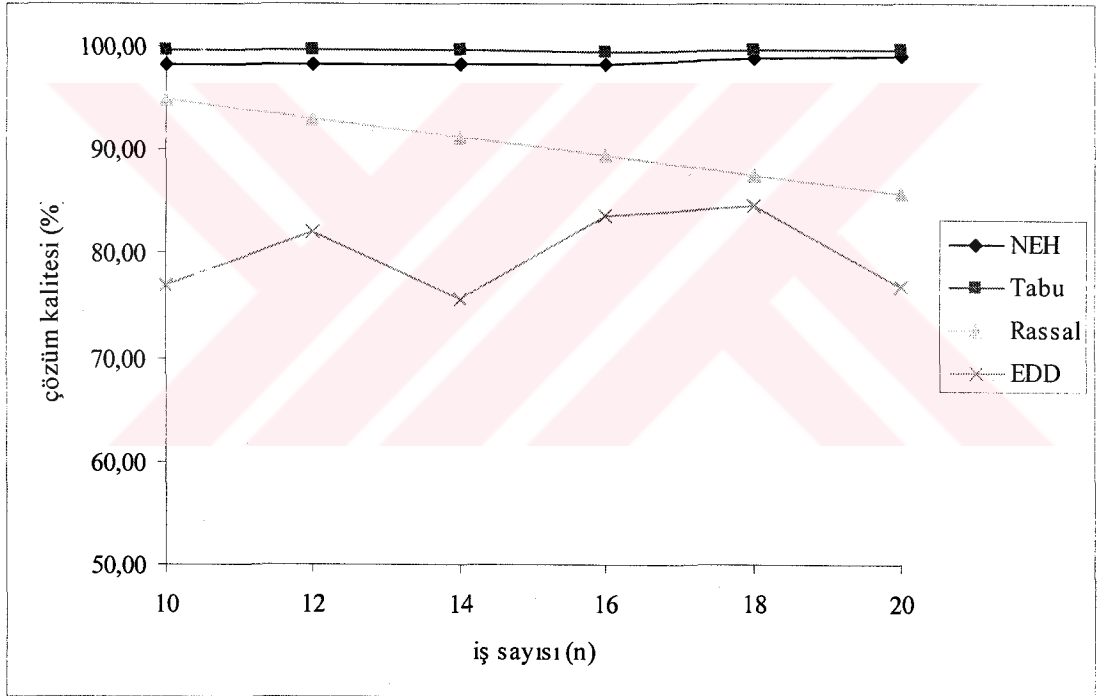
Ele alınan $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminin sezgisel yöntem sonuçları eniyi çözüm sonuçları ile karşılaştırıldığında kullanılan dört sezgisel yöntemin çözüm kaliteleri Çizelge 6.13’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.13. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminin çözüm kalitesi

n	($\alpha;\beta$)	NEH	Tabu	Rassal	EDD
10	(0,25;0,75)	0,9889	0,9978	0,9600	0,7938
12		0,9884	0,9953	0,9408	0,7089
14		0,9816	0,9902	0,9220	0,7850
16		0,9826	0,9914	0,9036	0,7725
18		0,9872	0,9931	0,8855	0,7560
20		0,9850	0,9987	0,8678	0,7090
	Ortalama	0,9856	0,9944	0,9133	0,7542
10	(0,50;0,50)	0,9818	0,9963	0,9494	0,7704
12		0,9829	0,9970	0,9304	0,8197
14		0,9818	0,9966	0,9118	0,7567
16		0,9831	0,9948	0,8936	0,8366
18		0,9879	0,9959	0,8757	0,8453
20		0,9900	0,9953	0,8582	0,7681
	Ortalama	0,9846	0,9960	0,9032	0,7995
10	(0,75;0,25)	0,9337	0,9939	0,8640	0,7469
12		0,9229	0,9907	0,8468	0,7332
14		0,9287	0,9920	0,8298	0,7492
16		0,9330	0,9953	0,8132	0,7351
18		0,9482	0,9909	0,7970	0,6925
20		0,9415	0,9976	0,7810	0,6764
	Ortalama	0,9346	0,9934	0,8220	0,7222
	Genel ortalama	0,9683	0,9946	0,8795	0,7586

Şekil 6.15’de ağırlık değerleri eşit olduğunda sezgisellerin çözüm kaliteleri verilirken, Ek 31-32’de ağırlık değerleri farklı olduğundaki çözüm kaliteleri verilmektedir. Rassal arama yönteminde iş sayısı arttıkça çözüm kalitesinde büyük bir düşme görülmemiştir.

Çizelge 6.13’de görüldüğü gibi uyarlanan NEH yöntemi % 96’nın üzerinde çözüm kalitesi verirken Tabu arama bu çözüm kalitesini daha da geliştirerek % 99,5’e yaklaşmıştır. Rassal arama yöntemi ise yaklaşık % 88 çözüm kalitesini verirken EDD yöntemi kötü bir performans göstererek % 76’yı bulmuştur.



Şekil 6.15. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminde $\alpha=0,50$ ve $\beta=0,50$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi

6.2.2.2. $n/2/s_{ji}/\beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin sezgisel yöntem sonuçlarının eniyi çözüm sonuçları ile karşılaştırılması

Ele alınan $n/2/s_{ji}/\beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin sezgisel yöntem sonuçları eniyi çözüm sonuçları ile karşılaştırıldığında kullanılan dört sezgisel yöntemin çözüm kaliteleri Çizelge 6.14’de gösterilmiştir.

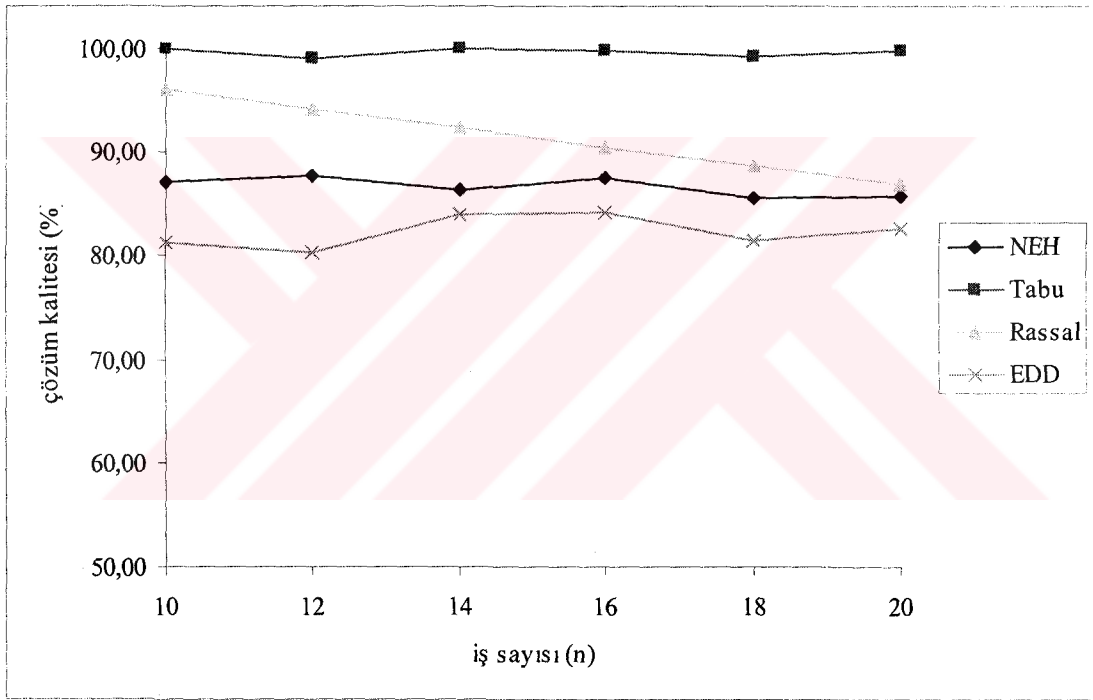
Şekil 6.16’de ağırlık değerleri eşit olduğunda sezgisellerin çözüm kaliteleri verilirken, Ek 33-34’de ağırlık değerlerinin çözüm kaliteleri verilmektedir. Şekil 6.16’da $\alpha=0,50$ ve $\beta=0,50$ ağırlık değeri ile Ek 34’deki $\alpha=0,75$ ve $\beta=0,25$ ağırlık değerlerinde rassal arama yönteminde iş sayısı arttıkça çözüm kalitesinde büyük bir düşme görülmezken, $\alpha=0,25$ ve $\beta=0,75$ ağırlık değerinde Ek 33’de de görüldüğü gibi çözüm kalitesinde büyük bir düşme görülmektedir.

Çizelge 6.14. $n/2/s_{ji}/\beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin çözüm kalitesi

n	($\alpha;\beta$)	NEH	Tabu	Rassal	EDD
10	(0,25;0,75)	0,9603	0,9948	0,9828	0,9171
12		0,9712	0,9938	0,9682	0,9248
14		0,9539	0,9988	0,9524	0,9432
16		0,9551	0,9934	0,9455	0,9470
18		0,9765	0,9917	0,9305	0,9497
20		0,9770	0,9905	0,9165	0,9382
	Ortalama	0,9657	0,9938	0,9493	0,9366
10	(0,50;0,50)	0,8717	0,9998	0,9615	0,8130
12		0,8762	0,9909	0,9422	0,8026
14		0,8642	1,0000	0,9234	0,8406
16		0,8756	0,9981	0,9049	0,8424
18		0,8561	0,9916	0,8868	0,8151
20		0,8578	0,9974	0,8691	0,8267
	Ortalama	0,8669	0,9963	0,9146	0,8234
10	(0,75;0,25)	0,8175	0,9951	0,9581	0,7251
12		0,8096	0,9905	0,9389	0,7064
14		0,8155	0,9980	0,9201	0,7440
16		0,8401	0,9974	0,9017	0,7056
18		0,8050	0,9919	0,8837	0,7231
20		0,8286	0,9961	0,8660	0,7166
	Ortalama	0,8194	0,9948	0,9114	0,7202
	Genel ortalama	0,8840	0,9950	0,9251	0,8267

Çizelge 6.14’de görüldüğü gibi uyarlanan NEH yöntemi % 88,40 verirken tabu arama % 99,5 çözüm kalitesi vermiştir. Rassal arama yöntemi ise % 92,51 iken EDD yöntemi % 82,67 çözüm kalitesi vermiştir.

Uyarlanan NEH $\alpha=0,25$ $\beta=0,75$ ağırlıklarında iyi bir sonuç verirken diğer ağırlık değerleri $\alpha=0,50$ $\beta=0,50$ ve $\alpha=0,75$ $\beta=0,25$ de daha kötü sonuç vermektedir. EDD yöntemi $\alpha=0,25$ $\beta=0,75$ ağırlık değerlerinde daha iyi sonuç vermiştir.



Şekil 6.16. $n/2/s_{ji}/\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminde $\beta=0,50$ ve $\gamma=0,50$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi

6.2.2.3. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin sezgisel yöntem sonuçlarının eniyi çözüm sonuçları ile karşılaştırılması

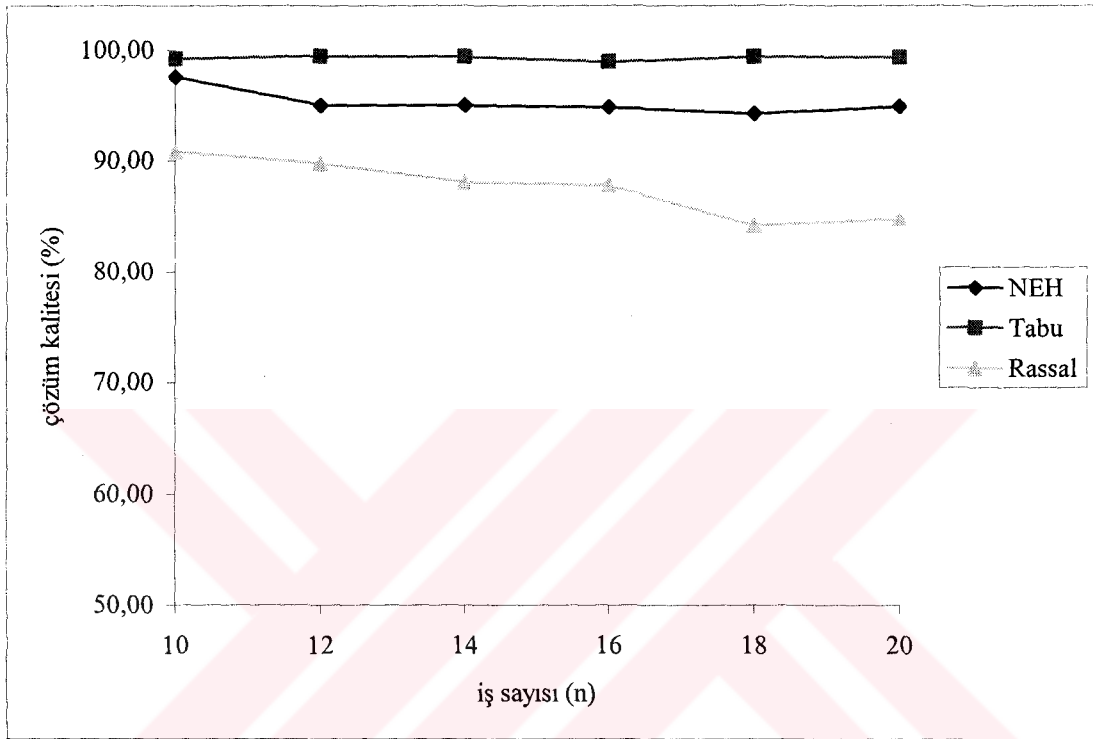
Ele alınan $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin sezgisel yöntem sonuçları eniyi çözüm sonuçları ile karşılaştırıldığında kullanılan üç sezgisel yöntemin çözüm kaliteleri Çizelge 6.15’de gösterilmiştir.

Şekil 6.17’de ağırlık değerleri eşit olduğunda sezgisellerin çözüm kaliteleri verilirken, Ek 35-37’de ağırlık değerlerinin çözüm kaliteleri verilmektedir. Uyarlanan NEH ve rassal arama yöntemi $\alpha=0,25$; $\beta=0,50$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde daha kötü sonuç vermiştir. Rassal arama yönteminde beklendiği gibi iş sayısı arttıkça çözüm kalitesi düşmektedir.

Çizelge 6.15. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{max}$ probleminin çözüm kalitesi

n	$(\alpha;\beta;\gamma)$	NEH	Tabu	Rassal
10	(0,25;0,25;0,50)	0,9724	0,9897	0,9407
12		0,9653	0,9933	0,9137
14		0,9798	0,9954	0,8996
16		0,9679	0,9909	0,8965
18		0,9635	0,9932	0,8693
20		0,9768	0,9949	0,8638
	Ortalama	0,9709	0,9929	0,8972
10	(0,25;0,50;0,25)	0,9758	0,9924	0,9085
12		0,9507	0,9947	0,8981
14		0,9502	0,9940	0,8807
16		0,9486	0,9893	0,8781
18		0,9430	0,9940	0,8418
20		0,9490	0,9935	0,8479
	Ortalama	0,9529	0,9930	0,8758
10	(0,33;0,33;0,33)	0,9748	0,9923	0,9312
12		0,9669	0,9948	0,9074
14		0,9652	0,9953	0,9102
16		0,9779	0,9926	0,8745
18		0,9756	0,9931	0,8587
20		0,9674	0,9935	0,8661
	Ortalama	0,9713	0,9936	0,8913
10	(0,50;0,25;0,25)	0,9784	0,9939	0,9068
12		0,9737	0,9969	0,9020
14		0,9751	0,9963	0,9187
16		0,9799	0,9914	0,8831
18		0,9763	0,9909	0,8768
20		0,9838	0,9942	0,8757
	Ortalama	0,9779	0,9939	0,8939
	Genel ortalama	0,9682	0,9934	0,8896

Çizelge 6.15’de görüldüğü gibi uyarlanan NEH yöntemi % 96,82, tabu arama yöntemi % 99’un üzerinde çözüm kalitesi verirken rassal arama yöntemi ise yaklaşık % 88 vermiştir.



Şekil 6.17. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{max}$ probleminde $\alpha=0,33$; $\beta=0,33$ ve $\gamma=0,33$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi

6.3. Büyük Boyutlu Problemlerin Sezgisel Yöntemlerle Çözülmesi

Bölüm 6.2’de iki grupta yer alan 6 problem tipine ilişkin sezgisel yöntem sonuçları küçük boyutlu problemler için ($n \leq 20$) gerçekleştirilmişti. Buna göre I. grup problemlerde sezgisel yöntemlerin performansı tamsayı programlamaya dayalı olarak bulunan eniyi sonuçlarla karşılaştırıldığında ortalama olarak tabu arama % 99,26; NEH % 95,39; rassal arama % 93,05 oranında çözüm kalitesi vermişti. II. grup problemlerde ise tabu arama % 99,43; NEH % 94,02 ve rassal arama % 89,81 oranında çözüm kalitesi bulunmuştur.

Bu bölümde incelenen 6 tip problemin daha büyük boyutlu problemlere ($100 \leq n \leq 2500$) ilişkin sezgisel yöntem sonuçlarına (tabu arama, NEH, EDD ve rassal arama) yer verilecektir. Bu büyük boyutlu problemlerin eniyi çözüm sonuçları bilinmemektedir. Dolayısı ile incelenen problemler için sezgisel yöntemlerin performansı probleme ait eniyi sonucu veren sezgisele göre kıyaslanacaktır. Bu kıyaslama çözüm kalitesi olarak ifade edilmekte olup aşağıdaki gibi formüle edilmektedir (105).

$$\text{Çözüm kalitesi} = 1 - \frac{\text{Sezgisel çözüm sonucu} - \text{Bulunan eniyi sezgisel çözüm sonucu}}{\text{Bulunan eniyi sezgisel çözüm sonucu}}$$

Bu bölümde, küçük boyutlu problemlerde ihmal edilebilecek kadar kısa çözüm zamanı gösteren sezgisel yöntemlerin büyük boyutlu problemlerde çözüm zamanları da verilecektir. Kullanılan sezgisel yöntemler; uyarlanan NEH yöntemi, tabu arama ve rassal aramadır. Ayrıca çözüm zamanı büyük boyutlularda dahi ihmal edilebilecek kadar küçük olan EDD yöntemi de kullanılacaktır.

100'de 2500'e kadar 100'er 100'er artarak 25 iş durum için ve her durumda 10 ar iş olmak üzere 6 problem tipinde toplam 20 farklı ağırlık değeri için $25 \times 10 \times 20 = 5000$ problem çözülmüştür.

6.3.1. I. Grupta yer alan büyük boyutlu problemlerin sezgisel yöntemlere çözülmesi

Sezgisel yöntemlerin (tabu arama, NEH, EDD ve rassal arama) I. grupta yer alan büyük boyutlu problemlere ilişkin performansları çözüm kalitesi açısından değerlendirilmesi takip eden bölümlerde verilmektedir.

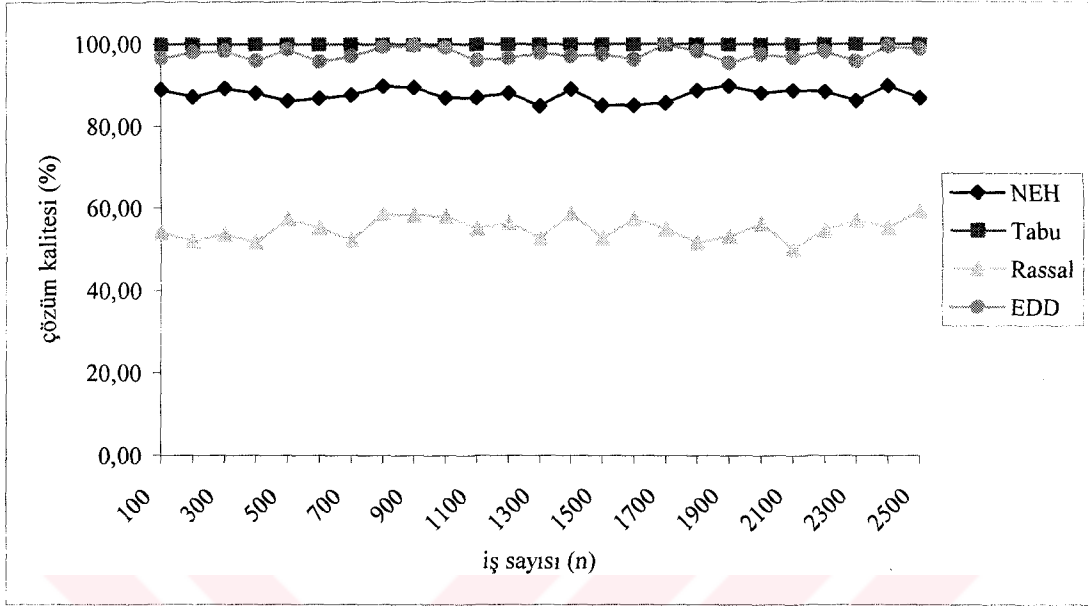
6.3.1.1. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminin büyük boyutlu çözümleri

Ele alınan $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminin büyük boyutlu çözümleri sezgisel yöntemlerle gerçekleştirilmiş, sonuçlar çözüm kaliteleri ve CPU zaman açısından Çizelge 6.16’da verilmiştir. Çizelgedeki sonuçlar $\alpha=0,25$; $\beta=0,75$ için elde edilmiştir. Sezgisellerin çözüm kalitelerine ilişkin grafik gösterim Şekil 18’de verilmektedir.

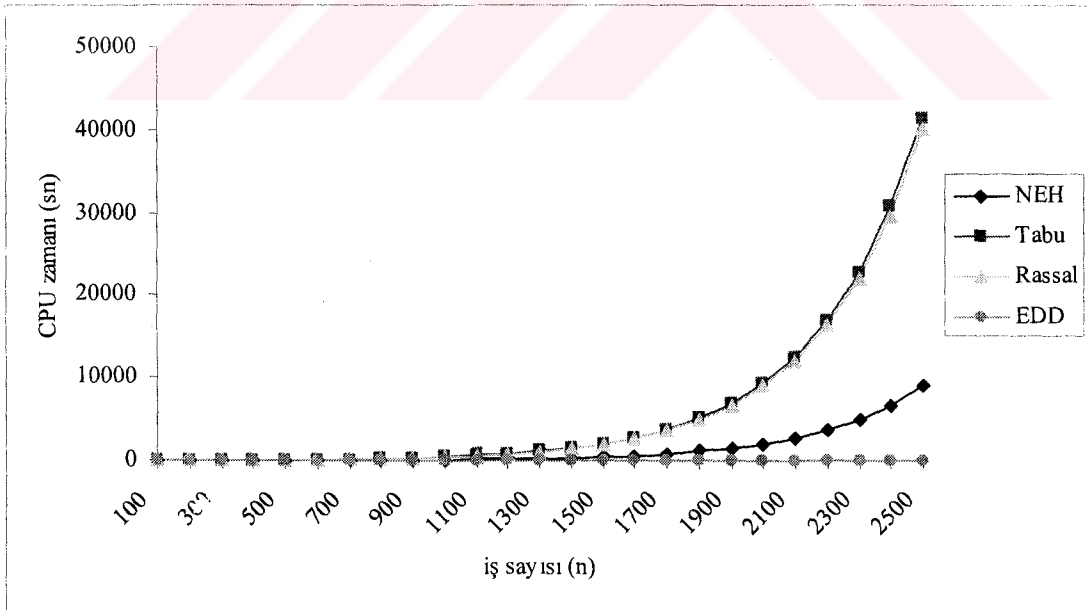
Sezgisellerden tabu arama yöntemi en iyi değeri verirken EDD yöntemi bu ağırlık değerinde % 97,5’in üzerinde çözüm kalitesiyle oldukça iyi bir performans göstermiştir. Uyarlanan NEH yöntemiyle çözüm kalitesi % 88’e yaklaşırken, rassal arama düşük bir performans göstermiştir. Şekil 6.19’da sezgisellerin çözüm zamanları verilmektedir. Beklenildiği gibi tabu arama yönteminin çözüm zamanı diğerlerinden daha uzun zaman almaktadır.

Çizelge 6.16. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminin $\alpha=0,25$ ve $\beta=0,75$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda çözüm kalitesi ve CPU zamanları (sn)

n	Çözüm kalitesi				CPU zamanı (sn)			
	NEH	Tabu	Rassal	EDD	NEH	Tabu	Rassal	EDD
100	0,8894	1,0000	0,5429	0,9662	0,4840	0,3844	0,1250	<0,1
200	0,8711	1,0000	0,5209	0,9793	2,1090	1,4250	11,4690	<0,1
300	0,8911	1,0000	0,5384	0,9821	5,2650	4,5547	14,3130	<0,1
400	0,8813	1,0000	0,5166	0,9597	10,1090	5,6266	23,9680	<0,1
500	0,8623	1,0000	0,5735	0,9878	17,3750	15,1562	48,6560	<0,1
600	0,8683	1,0000	0,5536	0,9569	26,8900	34,0313	86,4690	<0,1
700	0,8760	1,0000	0,5241	0,9697	39,7340	90,9578	171,1250	<0,1
800	0,8987	1,0000	0,5869	0,9933	56,6880	223,5234	276,1100	<0,1
900	0,8952	1,0000	0,5843	0,9968	81,7190	325,8188	332,9540	<0,1
1000	0,8703	1,0000	0,5798	0,9923	100,5940	460,5954	445,2340	<0,1
1100	0,8704	1,0000	0,5524	0,9604	135,8019	621,8038	601,0659	<0,1
1200	0,8803	1,0000	0,5639	0,9658	183,3326	839,4351	811,4390	<0,1
1300	0,8502	1,0000	0,5280	0,9783	247,4990	1133,2374	1095,4426	<0,1
1400	0,8897	1,0000	0,5856	0,9701	334,1236	1529,8705	1478,8475	<0,1
1500	0,8508	1,0000	0,5280	0,9753	451,0669	2065,3252	1996,4441	<0,1
1600	0,8518	1,0000	0,5732	0,9624	608,9403	2788,1890	2695,1996	<0,1
1700	0,8580	1,0000	0,5503	0,9983	822,0694	3764,0551	3638,5195	<0,1
1800	0,8874	1,0000	0,5179	0,9828	1109,7936	5081,4744	4912,0013	<0,1
1900	0,8975	1,0000	0,5308	0,9538	1498,2214	6859,9905	6631,2017	<0,1
2000	0,8801	1,0000	0,5633	0,9755	2022,5989	9260,9871	8952,1223	<0,1
2100	0,8877	1,0000	0,5010	0,9664	2730,5085	12502,3326	12085,3651	<0,1
2200	0,8840	1,0000	0,5468	0,9808	3686,1865	16878,1491	16315,2429	<0,1
2300	0,8619	1,0000	0,5697	0,9580	4976,3517	22785,5012	22025,5779	<0,1
2400	0,8975	1,0000	0,5533	0,9944	6718,0748	30760,4267	29734,5302	<0,1
2500	0,8683	1,0000	0,5917	0,9870	9069,4010	41526,5760	40141,6157	<0,1
Ort.	0,8768	1,0000	0,5511	0,9757				



Şekil 6.18. $n/2/\alpha \sum C + \beta \sum T$ probleminin $\alpha=0,25$ ve $\beta=0,75$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi



Şekil 6.19. $n/2/\alpha \sum C + \beta \sum T$ probleminin $\alpha=0,25$ ve $\beta=0,75$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm zamanı

$n/2/\alpha \sum C + \beta \sum T$ probleminin ağırlık değeri $\alpha=0,50$ ve $\beta=0,50$ 'ye göre çözüm sonuçları Ek 38'de verilmiştir. Ek 39'da da çözüm kalitesinin grafiği verilmiştir. Sezgisellerden tabu arama yöntemi en iyi değeri verirken, uyarlanan NEH yöntemi tabu arama yöntemine çok yakın çözümler vermişlerdir. EDD yönteminin çözüm kalitesi % 88'e yaklaşırken, rassal arama yöntemi düşük bir performans göstermekle beraber önceki ağırlık değerine göre daha iyi sonuç vermiştir. Ek 40'da sezgisellerin çözüm süreleri verilmektedir. Tabu arama yöntemi bu ağırlık değerinde daha uzun zamanda çözülmektedir.

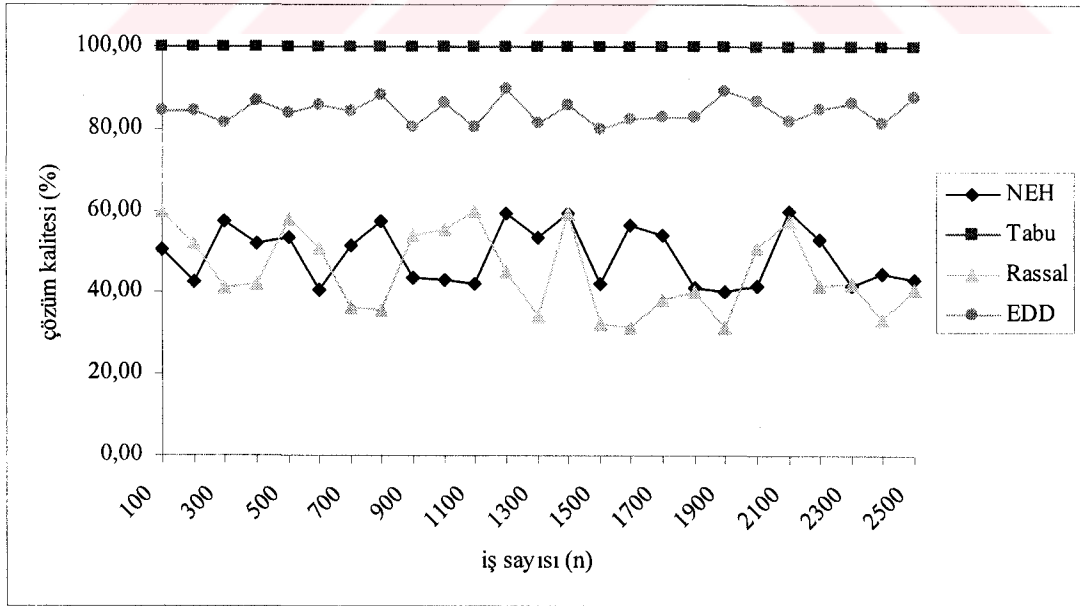
$n/2/\alpha \sum C + \beta \sum T$ probleminin ağırlık değeri $\alpha=0,75$ ve $\beta=0,25$ 'ye göre çözüm sonuçları Ek 41'de gösterilirken, Ek 42'de de çözüm kalitesinin grafikleri verilmiştir. Sezgisellerden tabu arama yöntemi en iyi değeri verirken, uyarlanan NEH yöntemi tabu arama yöntemine çok yakın çözümler vermişlerdir. EDD yöntemi daha önceki ağırlık değerlerine göre daha düşük bir performans sergilemiştir. Rassal arama yöntemi ise diğer ağırlık değerlerine göre en iyi çözüm kalitesini vermiştir. Ek 43'de sezgisellerin çözüm süreleri verilmektedir. Tabu arama yöntemi bu ağırlık değerinde de daha uzun zamanda çözülmektedir.

6.3.1.2. $n/2/\beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminde büyük boyutluların çözümü

I. gruptaki ikinci tip $n/2/\beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin büyük boyutlu çözümleri sezgisel yöntemlerle gerçekleştirilmiş sonuçlar çözüm kaliteleri ve CPU zaman açısından Çizelge 6.17'de verilmiştir. Çizelgedeki sonuçlar $\alpha=0,25$; $\beta=0,75$ için elde edilmiştir. Sezgisellerin çözüm kalitelerine ilişkin grafik gösterimi Şekil 6.20'de, CPU zaman grafiği ise Şekil 6.21'de verilmektedir. Diğer ağırlık değerlerine göre çözüm kaliteleri ve grafik gösterimleri ise Ek 44-47'de verilmiştir. Çizelge 6.17 ve Ek 44,46'da görüldüğü gibi sezgisellerin içinde en iyi değeri tabu arama yöntemi vermiştir. EDD yöntemi ise uyarlanan NEH ve rassal aramadan daha iyi performans göstermiştir.

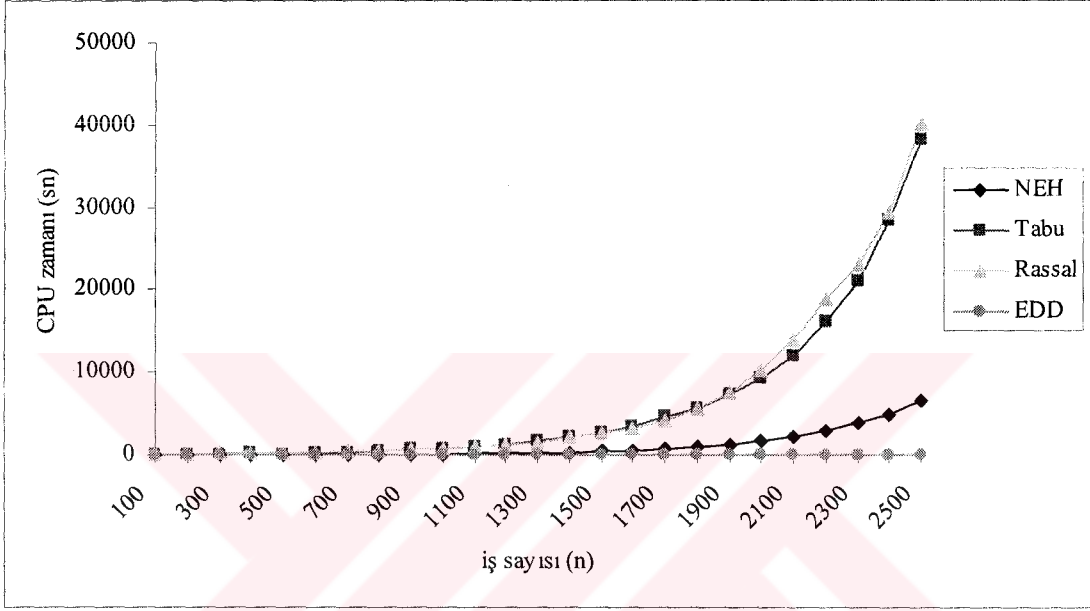
Çizelge 6.17. $n/2/ \beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin $\beta = 0,25$ ve $\gamma = 0,75$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda çözüm kalitesi ve CPU zamanları (sn)

n	Çözüm kalitesi				CPU zamanı (sn)			
	NEH	Tabu	Rassal	EDD	NEH	Tabu	Rassal	EDD
100	0,5064	1,0000	0,5967	0,8454	0,454	3,672	4,884	< 0,1
200	0,4276	1,0000	0,5173	0,8436	2,110	18,891	6,767	< 0,1
300	0,5734	1,0000	0,4104	0,8137	5,016	86,078	128,447	< 0,1
400	0,5212	1,0000	0,4228	0,8680	9,813	137,500	173,588	< 0,1
500	0,5328	1,0000	0,5775	0,8393	16,907	102,781	233,257	< 0,1
600	0,4046	1,0000	0,5119	0,8581	25,875	228,281	293,192	< 0,1
700	0,5153	1,0000	0,3639	0,8410	37,469	326,281	400,302	< 0,1
800	0,5733	1,0000	0,3585	0,8802	54,265	395,656	513,538	< 0,1
900	0,4383	1,0000	0,5382	0,8025	74,125	687,250	697,932	< 0,1
1000	0,4322	1,0000	0,5531	0,8644	97,719	829,969	735,532	< 0,1
1100	0,4199	1,0000	0,5977	0,8015	136,241	1040,756	897,170	< 0,1
1200	0,5953	1,0000	0,4500	0,8978	189,989	1326,248	1138,133	< 0,1
1300	0,5344	1,0000	0,3445	0,8131	249,960	1684,977	1577,336	< 0,1
1400	0,5953	1,0000	0,5951	0,8596	315,720	2122,131	2109,373	< 0,1
1500	0,4202	1,0000	0,3239	0,8009	438,301	2602,846	2694,946	< 0,1
1600	0,5619	1,0000	0,3123	0,8221	574,929	3488,117	3241,840	< 0,1
1700	0,5409	1,0000	0,3831	0,8268	737,008	4627,923	4053,252	< 0,1
1800	0,4119	1,0000	0,4021	0,8273	944,225	5715,263	5570,515	< 0,1
1900	0,4004	1,0000	0,3129	0,8899	1236,125	7463,423	7579,838	< 0,1
2000	0,4150	1,0000	0,5094	0,8673	1658,222	9310,425	10195,564	< 0,1
2100	0,5970	1,0000	0,5713	0,8201	2308,524	11944,671	13973,250	< 0,1
2200	0,5282	1,0000	0,4181	0,8476	3060,904	16099,655	18776,861	< 0,1
2300	0,4184	1,0000	0,4205	0,8630	3807,174	20958,108	23018,307	< 0,1
2400	0,4462	1,0000	0,3334	0,8151	4840,330	28551,540	29396,044	< 0,1
2500	0,4325	1,0000	0,4054	0,8798	6663,703	38132,844	40274,779	< 0,1
ortalama	0,4897	1,0000	0,4519	0,8435				



Şekil 6.20. $n/2/ \beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin $\beta = 0,25$ ve $\gamma = 0,75$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi

Şekil 6.21’de görüldüğü gibi tabu arama yönteminin çözüm süresi, diğer sezgisel yöntemlere göre oldukça uzundur. $\beta = 0,25$ ve $\gamma = 0,75$ ağırlık değerinde ise rassal aramanın çözüm süresi daha uzundur.



Şekil 6.21. $n/2/\beta\sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin sezgisellerin çözüm zamanları

6.3.1.3. $n/2/\alpha\sum C + \beta\sum T + \gamma C_{\max}$ probleminde büyük boyutluların çözümü

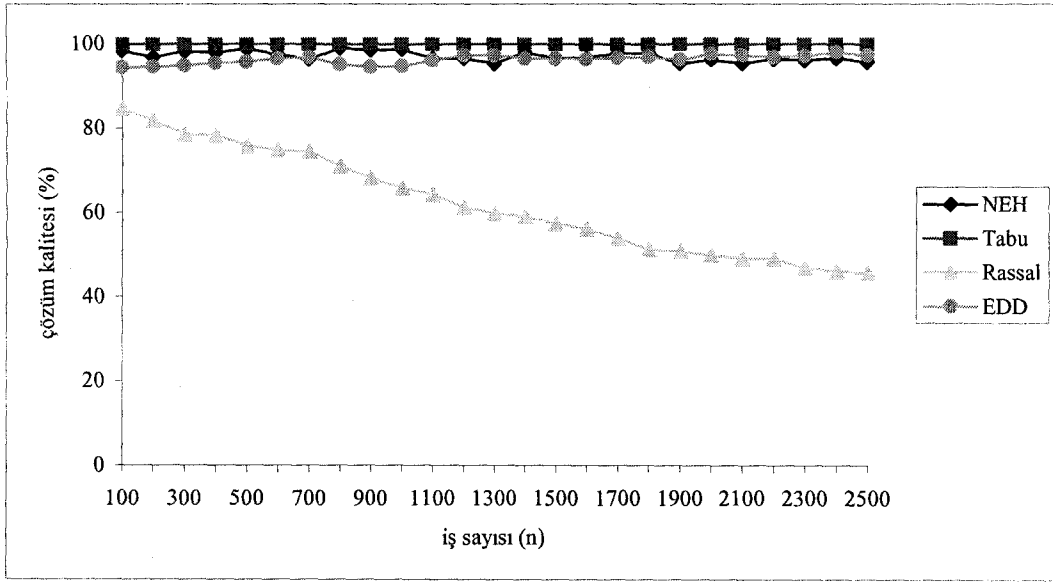
I. gruptaki üçüncü tip olan üç ölçütlü $n/2/\alpha\sum C + \beta\sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin büyük boyutlu çözümleri sezgisel yöntemlerle gerçekleştirilmiş sonuçlar çözüm kaliteleri ve CPU zamanları eşit ağırlık değerine göre Çizelge 6.18’de verilmiştir. Sezgisellerin çözüm kalitelerine ilişkin grafik gösterimi Şekil 6.22’de verilmektedir. Diğer ağırlık değerlerine göre çözüm kaliteleri ve grafik gösterimleri ise Ek 48-53’de verilmiştir. Çizelge 6.18. ve Ek 48,50,52’de görüldüğü gibi sezgisellerin içinde en iyi değeri tabu arama yöntemi vermiştir. Diğer sezgisellerin içinde uyarlanan NEH yöntemi oldukça iyi çözümler vererek bu tür problemlerde kolaylıkla uygulanabileceğini göstermiştir. EDD yöntemi yaklaşık % 83 çözüm kalitesi verirken rassal arama yönteminde iş sayısı arttıkça çözüm kalitesi düşmektedir. $\alpha=0,33$; $\beta=0,33$; $\gamma=0,33$ ağırlık

değerlerinde EDD yöntemi daha yüksek bir çözüm kalitesi göstermektedir. EDD yöntemi ise uyarlanan NEH ve rassal aramadan daha iyi performans göstermiştir.

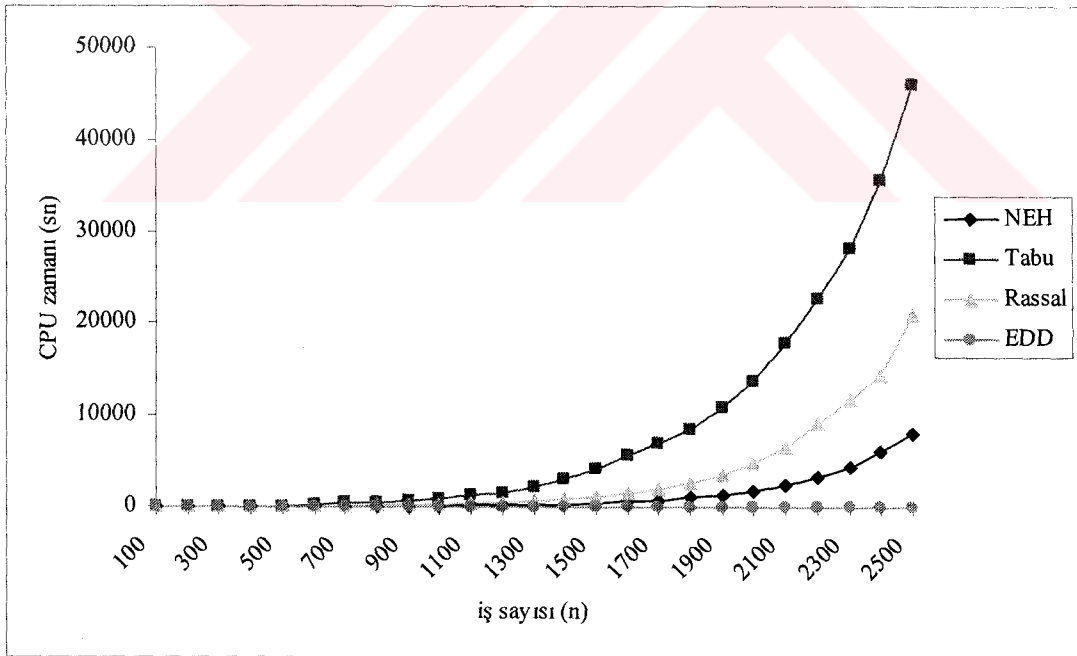
Çizelge 6.19 ve Şekil 6.23’de sezgisellerin çözüm zamanları tüm ağırlık değerlerine göre ortalaması verilmektedir. Görüldüğü gibi tabu arama yönteminin çözüm süresi, diğer sezgisel yöntemlere göre genelde daha uzun olurken, $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,75$ ağırlık değerinde ise rassal aramanın çözüm süresi daha uzun olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.18. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,33$; $\beta=0,33$ ve $\gamma=0,33$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda çözüm kalitesi ve CPU zamanları (sn)

n	Çözüm kalitesi			
	NEH	Tabu	Rassal	EDD
100	0,9830	1,0000	0,8474	0,9444
200	0,9688	1,0000	0,8172	0,9457
300	0,9814	1,0000	0,7855	0,9480
400	0,9795	1,0000	0,7831	0,9544
500	0,9879	1,0000	0,7593	0,9575
600	0,9741	1,0000	0,7485	0,9654
700	0,9631	1,0000	0,7453	0,9686
800	0,9898	1,0000	0,7098	0,9518
900	0,9847	1,0000	0,6835	0,9455
1000	0,9857	1,0000	0,6593	0,9474
1100	0,9652	1,0000	0,6432	0,9605
1200	0,9654	1,0000	0,6111	0,9733
1300	0,9524	1,0000	0,5982	0,9722
1400	0,9794	1,0000	0,5900	0,9646
1500	0,9648	1,0000	0,5738	0,9654
1600	0,9666	1,0000	0,5617	0,9629
1700	0,9768	1,0000	0,5380	0,9663
1800	0,9770	1,0000	0,5134	0,9678
1900	0,9528	1,0000	0,5077	0,9618
2000	0,9627	1,0000	0,4986	0,9762
2100	0,9523	1,0000	0,4915	0,9721
2200	0,9637	1,0000	0,4908	0,9679
2300	0,9607	1,0000	0,4688	0,9706
2400	0,9658	1,0000	0,4612	0,9798
2500	0,9557	1,0000	0,4563	0,9724
ortalama	0,9704	1,0000	0,6217	0,9625



Şekil 6.22. $n/2/\beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,33$; $\beta=0,33$ ve $\gamma=0,33$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi



Şekil 6.23. $n/2/\beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin $n/2/\alpha \sum C + \beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin de sezgisellerin çözüm zamanları

Çizelge 6.19. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin büyük boyutluların çözüm süresi

n	CPU çözüm zamanı (sn)			
	NEH	Tabu	Rassal	EDD
100	0,469	6,813	0,500	< 0,1
200	2,110	13,546	3,532	< 0,1
300	5,219	29,625	5,421	< 0,1
400	10,110	66,344	8,547	< 0,1
500	17,062	108,734	14,266	< 0,1
600	27,172	256,797	18,328	< 0,1
700	40,641	376,734	50,078	< 0,1
800	56,172	521,094	115,094	< 0,1
900	75,375	756,750	179,437	< 0,1
1000	99,125	964,797	288,406	< 0,1
1100	121,755	1268,259	350,117	< 0,1
1200	164,370	1631,257	487,916	< 0,1
1300	221,899	2255,041	643,020	< 0,1
1400	299,564	3023,681	878,224	< 0,1
1500	404,411	4149,936	1128,805	< 0,1
1600	545,955	5608,610	1529,353	< 0,1
1700	737,039	7038,123	1946,797	< 0,1
1800	995,002	8455,526	2625,546	< 0,1
1900	1343,253	10890,686	3538,696	< 0,1
2000	1813,392	13652,197	4784,253	< 0,1
2100	2448,079	17976,007	6600,190	< 0,1
2200	3304,907	22779,972	9074,896	< 0,1
2300	4461,624	28200,260	11750,569	< 0,1
2400	6023,193	35530,013	14339,974	< 0,1
2500	8131,310	46064,259	20933,702	< 0,1

6.3.2. II. Grupta yer alan büyük boyutlu problemlerin sezgisel yöntemlere çözülmesi

İkinci grupta yer alan problemlerin büyük boyutlu çözümleri için yine aynı sezgiseller kullanılmıştır. Sezgisel yöntemlerin performansı çözüm kalitesi açısından değerlendirilmiştir.

6.3.2.1. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminde büyük boyutluların çözümü

Ele alınan $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminin büyük boyutlu çözümleri sezgisel yöntemlerle gerçekleştirilmiştir. $\alpha=0,25$ ve $\beta=0,75$ ağırlık değeri için sezgisellerin çözüm kaliteleri Çizelge 6.20’de grafiği ise Şekil 6.24’de verilmiştir. Tabu arama yöntemi sezgiseller arasında en iyi çözümleri vermiştir. Uyarlanan NEH yöntemi, tabu aramaya oldukça yakın çözümler verdiği gözlemlenmiştir. EDD yönteminin de % 95’in üzerinde çözüm kalitesi verdiği görülmüştür. En düşük performansı ise rassal arama yöntemi göstermiştir.

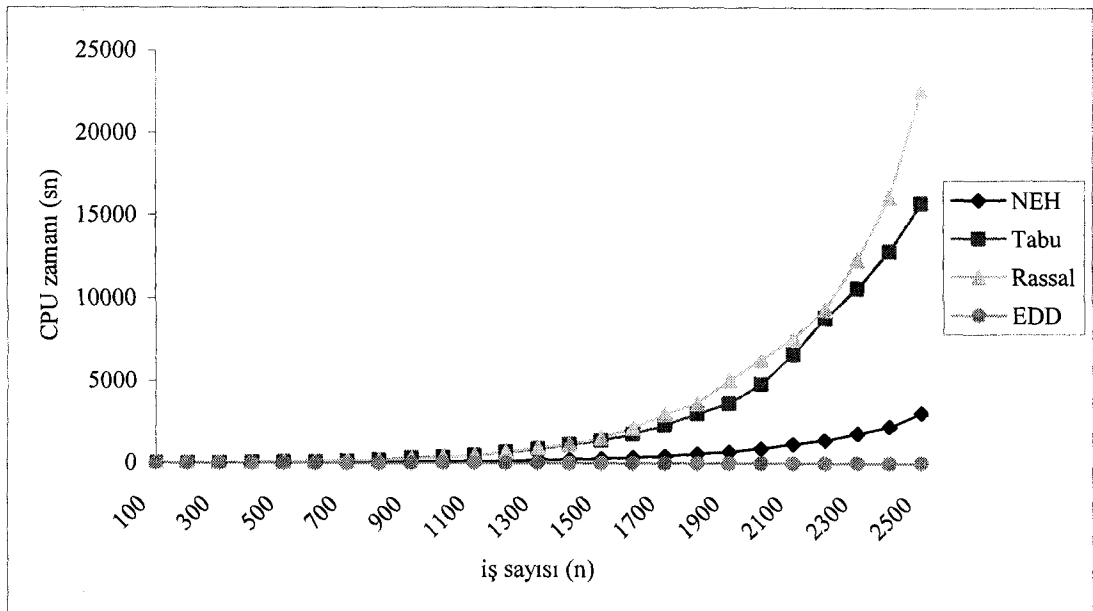
Çizelge 6.20. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminin $\alpha=0,25$ ve $\beta=0,75$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda çözüm kalitesi ve CPU zamanları (sn)

n	Çözüm kalitesi				CPU zamanı (sn)			
	NEH	Tabu	Rassal	EDD	NEH	Tabu	Rassal	EDD
100	0,9996	1,0000	0,8835	0,9509	0,390	1,609	1,735	< 0,1
200	0,9996	1,0000	0,8027	0,9579	1,625	9,922	5,094	< 0,1
300	0,9998	1,0000	0,8062	0,9548	4,171	18,875	11,103	< 0,1
400	0,9998	1,0000	0,7994	0,9510	8,187	26,859	21,500	< 0,1
500	0,9999	1,0000	0,7955	0,9506	13,328	71,735	83,766	< 0,1
600	0,9999	1,0000	0,7791	0,9643	22,359	88,141	129,532	< 0,1
700	0,9995	1,0000	0,7852	0,9577	31,656	113,688	148,187	< 0,1
800	0,9998	1,0000	0,7863	0,9627	45,312	199,547	209,953	< 0,1
900	0,9996	1,0000	0,7838	0,9644	61,578	303,484	288,016	< 0,1
1000	0,9999	1,0000	0,7868	0,9575	79,407	356,438	360,594	< 0,1
1100	0,9994	1,0000	0,7785	0,9519	105,957	485,806	477,666	< 0,1
1200	0,9996	1,0000	0,7709	0,9550	135,947	651,807	661,024	< 0,1
1300	0,9996	1,0000	0,7667	0,9567	181,766	852,304	920,921	< 0,1
1400	0,9995	1,0000	0,7585	0,9594	218,858	1134,178	1147,830	< 0,1
1500	0,9996	1,0000	0,7510	0,9573	277,604	1373,936	1533,659	< 0,1
1600	0,9999	1,0000	0,7451	0,9598	347,055	1745,834	2138,819	< 0,1
1700	0,9997	1,0000	0,7432	0,9581	440,591	2316,310	2988,139	< 0,1
1800	0,9998	1,0000	0,7380	0,9518	591,034	3004,713	3654,703	< 0,1
1900	0,9994	1,0000	0,7356	0,9548	716,954	3638,619	5063,597	< 0,1
2000	0,9995	1,0000	0,7333	0,9524	897,625	4821,904	6315,473	< 0,1
2100	0,9995	1,0000	0,7280	0,9525	1161,414	6637,919	7616,358	< 0,1
2200	0,9996	1,0000	0,7207	0,9517	1403,782	8805,891	9314,939	< 0,1
2300	0,9998	1,0000	0,7158	0,9505	1821,867	10570,011	12323,293	< 0,1
2400	0,9996	1,0000	0,7101	0,9588	2246,858	12795,365	16065,231	< 0,1
2500	0,9997	1,0000	0,7060	0,9591	3068,133	15716,838	22482,126	< 0,1
ortalama	0,9997	1,0000	0,7644	0,9561				

Şekil 6.25’de sezgisellerin çözüm zamanı verilmektedir. Görüldüğü gibi rassal aramada çözüm zamanı daha büyük değer vermektedir.



Şekil 6.24. $n/2/s_{ji}/\alpha \sum C + \beta \sum T$ probleminin $\alpha=0,25$ ve $\beta=0,75$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi



Şekil 6.25. $n/2/s_{ji}/\alpha \sum C + \beta \sum T$ probleminin de sezgisellerin çözüm süresi

Ele alınan $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminin büyük boyutluları çözüldüğünde sezgisel yöntemlerin $\alpha=0,50$ $\beta=0,50$ ağırlık değerine göre çözüm kaliteleri ve çözüm zamanları Ek 54'de verilirken, çözüm kalitesinin grafiği Ek 55'de verilmektedir. Tabu arama yöntemi sezgisellerden en iyi çözümleri vermiştir. Uyarlanan NEH yöntemi, tabu aramaya oldukça yakın çözümler verdiği bu aralık değerinde de görülmüştür. EDD yönteminin de % 95'in üzerinde, rassal aramanın ise yaklaşık % 77 çözüm kalitesi verdiği görülmüştür.

Ek 56'da sezgisellerin çözüm zaman grafiği verilmektedir. Görüldüğü gibi çözüm zamanı tabu arama diğer ağırlık değerinin aksine rassal aramadan daha büyük değer vermektedir.

Ele alınan $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminin büyük boyutluları çözüldüğünde sezgisel yöntemlerin $\alpha=0,75$ $\beta=0,25$ ağırlık değerine göre çözüm kaliteleri ve çözüm zaman değerleri Ek 57'de verilmiştir. Çözüm kalitesinin grafiği de Ek 58'de gösterilmiştir. Tabu arama yöntemi sezgisellerden en iyi çözümleri vermiştir. Uyarlanan NEH yöntemi, tabu aramaya oldukça yakın çözümler verdiği bu aralık değerinde de görülmüştür. EDD yönteminin de % 95'in üzerinde, rassal aramanın ise % 77 üzerinde çözüm kalitesi verdiği görülmüştür. Yalnız rassal aramada problem boyutu büyüdükçe çözüm kalitesinin düştüğü görülmektedir.

Ek 59'da sezgisellerin çözüm zamanı verilmektedir. Görüldüğü gibi çözüm zamanı tabu aramanın çözüm zamanı daha yüksektir.

6.3.2.2. $n/2/s_{ji}/\beta\sum T+\gamma C_{max}$ probleminde büyük boyutluların çözümü

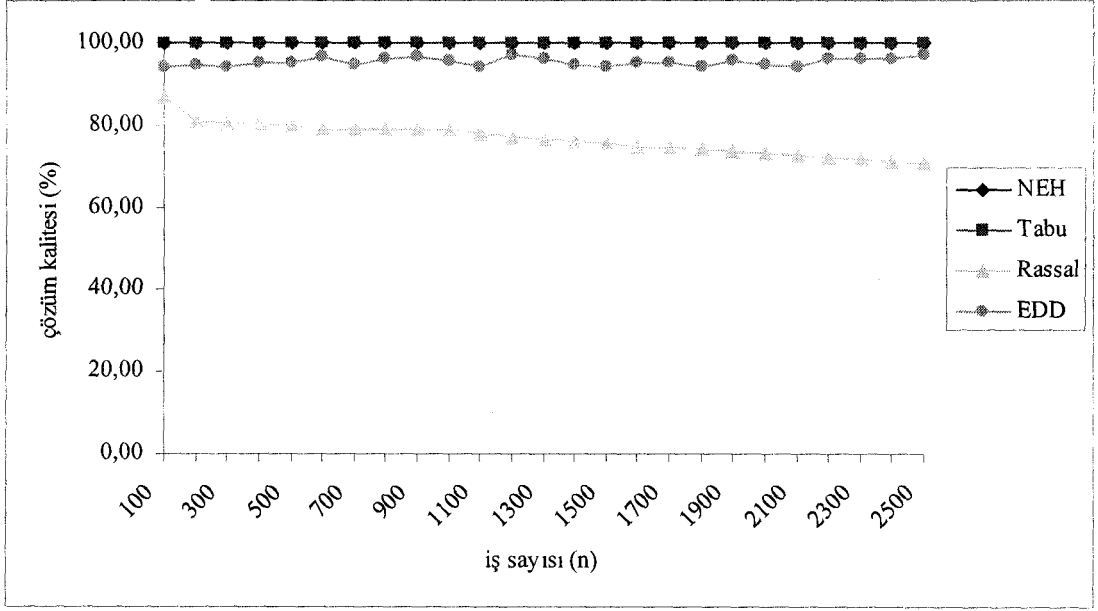
Ele alınan $n/2/s_{ji}/\beta\sum T+\gamma C_{max}$ probleminin büyük boyutlu problemleri çözüldüğünde sezgisel yöntemlerin $\alpha=0,25$ $\beta=0,75$ ağırlık değerine göre çözüm kaliteleri ve çözüm zamanları Çizelge 6.21'de verilirken, sezgisellerin çözüm kalitesinin grafiği ise Şekil 6.26'da de verilmiştir. Tabu arama yöntemi sezgisellerden en iyi çözümleri vermiştir. Uyarlanan NEH yöntemi, tabu aramaya oldukça yakın çözümler verdiği bu aralık

değerinde de görülmüştür. EDD yönteminin de % 95'in üzerinde, rassal aramanın ise % 77'ye yakın çözüm kalitesi verdiği görülmüştür. Rassal aramada problem boyutu büyüdükçe çözüm kalitesinin düştüğü görülmektedir.

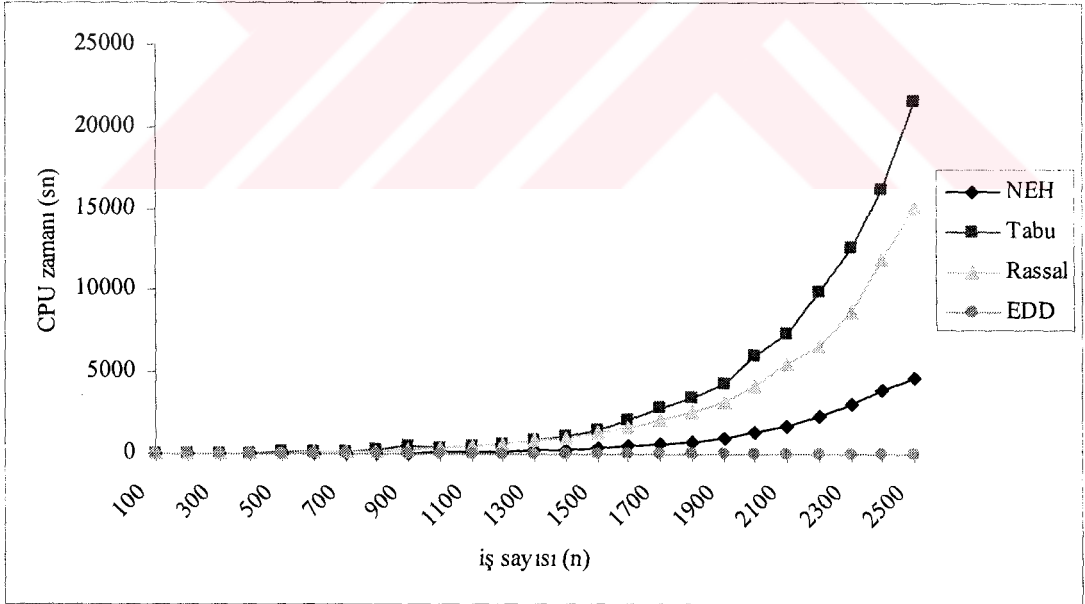
Şekil 6.27'de sezgisellerin $\alpha=0,25$ $\beta=0,75$ ağırlık değerinde çözüm zamanı verilmektedir. Görüldüğü gibi rassal aramanın çözüm zamanı tabu aramadan daha uzun olmaktadır.

Çizelge 6. 21. $n/2/s_{ji}/\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,75$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda çözüm kalitesi ve CPU zamanları (sn)

n	Çözüm kalitesi				CPU zamanı (sn)			
	NEH	Tabu	Rassal	EDD	NEH	Tabu	Rassal	EDD
100	0,9992	1,0000	0,8673	0,9430	0,390	1,359	0,515	< 0,1
200	0,9998	1,0000	0,8103	0,9471	1,640	9,641	5,406	< 0,1
300	0,9999	1,0000	0,8061	0,9427	4,157	14,125	10,687	< 0,1
400	0,9997	1,0000	0,8056	0,9491	8,109	26,594	20,235	< 0,1
500	0,9999	1,0000	0,7975	0,9511	13,234	123,922	29,375	< 0,1
600	1,0000	1,0000	0,7875	0,9646	22,281	125,282	91,469	< 0,1
700	1,0000	1,0000	0,7882	0,9484	31,859	111,922	121,015	< 0,1
800	1,0000	1,0000	0,7910	0,9630	45,625	256,469	165,828	< 0,1
900	1,0000	1,0000	0,7878	0,9645	60,188	485,828	248,453	< 0,1
1000	1,0000	1,0000	0,7879	0,9576	77,375	353,250	322,719	< 0,1
1100	0,9993	1,0000	0,7787	0,9431	100,882	466,423	443,853	< 0,1
1200	0,9991	1,0000	0,7696	0,9695	137,019	587,013	617,880	< 0,1
1300	0,9994	1,0000	0,7637	0,9621	187,810	816,338	798,282	< 0,1
1400	0,9994	1,0000	0,7582	0,9456	258,508	1100,907	1012,043	< 0,1
1500	0,9999	1,0000	0,7534	0,9426	361,569	1502,589	1293,120	< 0,1
1600	0,9997	1,0000	0,7464	0,9530	443,620	2068,270	1613,398	< 0,1
1700	0,9994	1,0000	0,7446	0,9513	588,360	2820,686	2089,087	< 0,1
1800	0,9994	1,0000	0,7408	0,9434	790,447	3461,453	2579,479	< 0,1
1900	0,9993	1,0000	0,7368	0,9537	1034,222	4321,282	3147,926	< 0,1
2000	0,9999	1,0000	0,7317	0,9448	1300,472	6015,992	4172,427	< 0,1
2100	0,9996	1,0000	0,7241	0,9417	1762,539	7322,535	5474,397	< 0,1
2200	0,9989	1,0000	0,7202	0,9626	2319,330	9893,986	6573,673	< 0,1
2300	0,9996	1,0000	0,7169	0,9620	3082,840	12649,547	8743,918	< 0,1
2400	0,9992	1,0000	0,7127	0,9621	3871,289	16142,492	11941,819	< 0,1
2500	0,9992	1,0000	0,7065	0,9684	4655,042	21534,819	15089,515	< 0,1
ortalama	0,9996	1,0000	0,7653	0,9535				



Şekil 6.26. $n/2/s_{ji}/\beta \sum T + \gamma C_{max}$ probleminin $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,75$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi



Şekil 6.27. $n/2/s_{ji}/\beta \sum T + \gamma C_{max}$ probleminin $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,75$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm zamanı

Ele alınan $n/2/s_{ji}/\beta \sum T + \gamma C_{max}$ probleminin büyük boyutluları çözüldüğünde sezgisel yöntemlerin $\alpha=0,50$ $\beta=0,50$ ağırlık değerine göre çözüm kaliteleri ve çözüm süreleri

Ek 60'da çözüm kalitesinin grafiği ise Ek 61'de verilmiştir. Tabu arama yöntemi sezgiseller arasında en iyi çözümleri vermiştir. Uyarlanan NEH yöntemi, tabu aramaya oldukça yakın çözümler verdiği bu aralık değerinde de görülmüştür. EDD yönteminin de % 95'in üzerinde, rassal aramanın ise % 77'ye yakın çözüm kalitesi verdiği görülmüştür. Rassal aramada problem boyutu büyüdükçe çözüm kalitesinin düştüğü görülmektedir.

Ek 62'de sezgisellerin $\alpha=0,50$ $\beta=0,50$ ağırlık değerinde çözüm zamanları verilmektedir. Görüldüğü gibi rassal arama ile tabu arama çözüm zamanları birbirine yakın olmakla birlikte rassal aramanın çözüm süresi biraz daha fazladır.

Ele alınan $n/2/s_{ji}/\beta\sum T + \gamma C_{max}$ probleminin büyük boyutluları çözüldüğünde sezgisel yöntemlerin $\alpha=0,75$ $\beta=0,25$ ağırlık değerine göre çözüm kaliteleri ve çözüm süreleri Ek 63'de çözüm kalitesinin grafiği ise Ek 64'de verilmiştir. Tabu arama yöntemi sezgiseller arasında en iyi çözümleri vermiştir. Uyarlanan NEH yöntemi, tabu aramaya oldukça yakın çözümler verdiği bu aralık değerinde de görülmüştür. EDD yönteminin de % 95'in üzerinde, rassal aramanın ise % 77'ye yakın çözüm kalitesi verdiği görülmüştür. Rassal aramada problem boyutu büyüdükçe çözüm kalitesinin düştüğü görülmektedir.

Ek 65'de sezgisellerin çözüm zamanı verilmektedir. Görüldüğü gibi rassal arama ile tabu arama yaklaşık aynı zamanda çözülmektedir.

6.3.2.3. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C + \beta\sum T + \gamma C_{max}$ probleminde büyük boyutluların çözümü

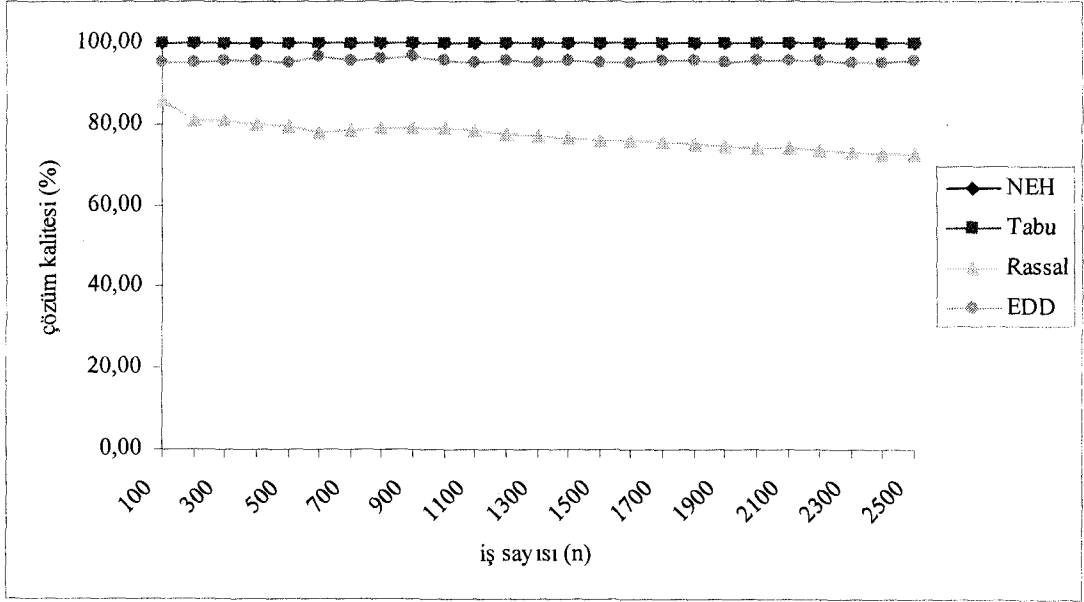
Ele alınan $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C + \beta\sum T + \gamma C_{max}$ probleminin büyük boyutluları çözüldüğünde sezgisel yöntemlerin $\alpha=0,25$; $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,50$ ağırlık değerine göre çözüm kaliteleri ve çözüm süreleri Çizelge 6.22'de grafikleri ise Şekil 6.28'de verilmiştir. Tabu arama yöntemi sezgisellerden en iyi çözümleri vermiştir. Uyarlanan NEH yöntemi, tabu aramaya oldukça yakın çözümler verdiği bu aralık değerinde de görülmüştür. EDD yönteminin de % 95'in üzerinde, rassal aramanın ise % 77'in üzerinde çözüm

kalitesi verdiği görülmüştür. Rassal aramada problem boyutu büyüdükçe çözüm kalitesinin düştüğü görülmektedir.

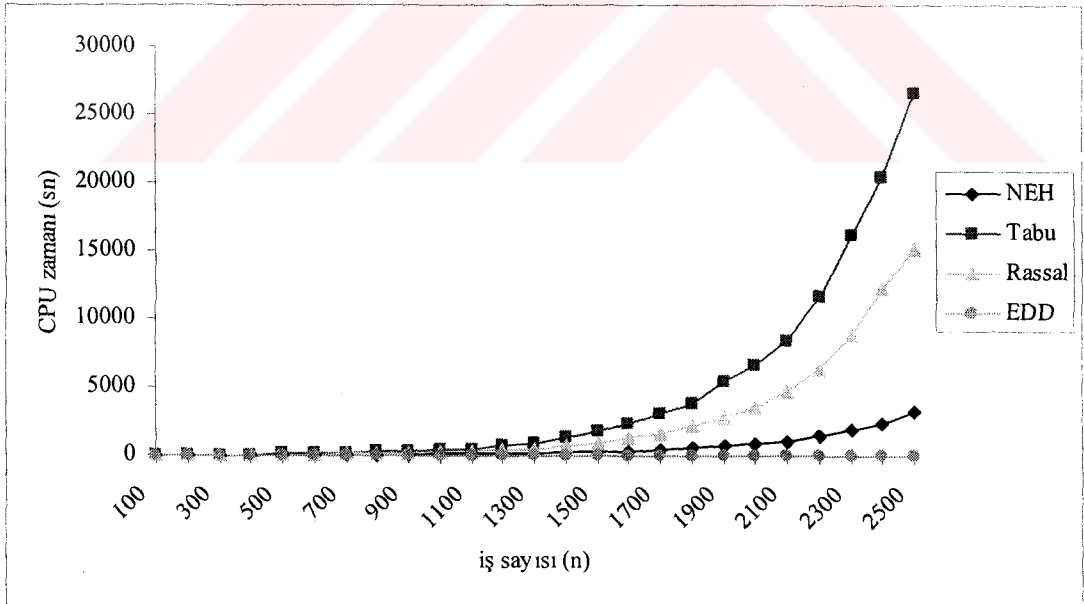
Şekil 6.29’da sezgisellerin $\alpha=0,25$; $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,50$ ağırlık değerinde çözüm zamanları verilmektedir. Görüldüğü gibi tabu arama çözümleri daha uzun süre almaktadır.

Çizelge 6.22. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,25$; $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,50$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda çözüm kalitesi ve CPU zamanları (sn)

n	Çözüm kalitesi				CPU zamanı (sn)			
	NEH	Tabu	Rassal	EDD	NEH	Tabu	Rassal	EDD
100	0,9992	1,0000	0,8571	0,9519	0,391	3,125	0,594	< 0,1
200	0,9998	1,0000	0,8093	0,9525	1,641	6,422	5,266	< 0,1
300	0,9994	1,0000	0,8100	0,9575	4,234	20,141	13,454	< 0,1
400	0,9999	1,0000	0,7972	0,9575	8,391	27,296	23,110	< 0,1
500	0,9998	1,0000	0,7945	0,9513	13,375	74,781	36,031	< 0,1
600	0,9999	1,0000	0,7800	0,9646	22,422	94,953	43,485	< 0,1
700	0,9998	1,0000	0,7824	0,9557	30,500	116,469	83,422	< 0,1
800	0,9999	1,0000	0,7916	0,9628	44,422	222,718	122,500	< 0,1
900	0,9995	1,0000	0,7876	0,9646	60,015	283,109	182,641	< 0,1
1000	0,9998	1,0000	0,7870	0,9578	77,235	405,407	243,187	< 0,1
1100	0,9998	1,0000	0,7823	0,9503	100,551	496,879	324,268	< 0,1
1200	0,9997	1,0000	0,7769	0,9547	126,038	670,227	404,852	< 0,1
1300	0,9997	1,0000	0,7704	0,9527	161,496	901,384	505,884	< 0,1
1400	0,9998	1,0000	0,7655	0,9553	222,397	1256,241	694,336	< 0,1
1500	0,9997	1,0000	0,7622	0,9502	273,148	1717,511	934,367	< 0,1
1600	0,9996	1,0000	0,7585	0,9514	354,119	2351,405	1256,086	< 0,1
1700	0,9995	1,0000	0,7566	0,9570	438,460	3117,870	1634,359	< 0,1
1800	0,9996	1,0000	0,7497	0,9574	549,877	3893,099	2191,422	< 0,1
1900	0,9994	1,0000	0,7437	0,9509	720,017	5439,321	2736,035	< 0,1
2000	0,9998	1,0000	0,7408	0,9582	878,697	6680,082	3572,680	< 0,1
2100	0,9999	1,0000	0,7387	0,9583	1086,270	8328,490	4709,811	< 0,1
2200	0,9994	1,0000	0,7343	0,9565	1417,401	11642,846	6353,497	< 0,1
2300	0,9996	1,0000	0,7289	0,9503	1851,113	16121,625	8844,763	< 0,1
2400	0,9998	1,0000	0,7255	0,9519	2414,161	20480,810	12187,551	< 0,1
2500	0,9999	1,0000	0,7237	0,9563	3273,844	26597,741	15181,753	< 0,1
ortalama	0,9997	1,0000	0,7702	0,9555				



Şekil 6.28. $n/2/s_{ji}/\alpha \sum C + \beta \sum T + \gamma C_{max}$ probleminin $\alpha=0,25$; $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,50$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi.



Şekil 6.29. $n/2/s_{ji}/\alpha \sum C + \beta \sum T + \gamma C_{max}$ probleminin $\alpha=0,25$; $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,50$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm süresi

Ele alınan $n/2/s_{ji}/\alpha \sum C + \beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin büyük boyutluları çözüldüğünde sezgisel yöntemlerin $\alpha=0,25$; $\beta=0,50$; $\gamma=0,25$ ağırlık değerine göre çözüm kaliteleri ve çözüm zamanları Ek 66'da grafikleri ise Ek 67'de verilmiştir. Tabu arama yöntemi sezgisellerden en iyi çözümleri vermiştir. Uyarlanan NEH yöntemi, tabu aramaya oldukça yakın çözümler verdiği bu aralık değerinde de görülmüştür. EDD yönteminin de % 95'in üzerinde, rassal aramanın ise % 77'in üzerinde çözüm kalitesi verdiği görülmüştür. Rassal aramada problem boyutu büyüdükçe çözüm kalitesinin düştüğü görülmektedir.

Ek 68'de sezgisellerin çözüm zamanı verilmektedir. Görüldüğü gibi rassal aramanın çözüm zamanı tabu aramaya göre problem arttıkça daha da arttığı görülmektedir.

Ele alınan $n/2/s_{ji}/\alpha \sum C + \beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin büyük boyutluları çözüldüğünde sezgisel yöntemlerin $\alpha=0,33$; $\beta=0,33$; $\gamma=0,33$ ağırlık değerinde göre çözüm kaliteleri ve çözüm süreleri Ek 69'da grafikleri ise Ek 70'de verilmiştir. Tabu arama yöntemi sezgiseller arasında en iyi çözümleri vermiştir. Uyarlanan NEH yöntemi, tabu aramaya oldukça yakın çözümler verdiği bu aralık değerinde de görülmüştür. EDD yönteminin de % 95'in üzerinde, rassal aramanın ise % 77'nin üzerinde çözüm kalitesi verdiği görülmüştür. Rassal aramada problem boyutu büyüdükçe çözüm kalitesinin düştüğü görülmektedir.

Ek 71'de sezgisellerin çözüm zamanı tüm ağırlık değerleri eşit olduğu durumda verilmektedir. Görüldüğü gibi rassal aramanın çözüm zamanı daha büyüktür. Yalnız tabu aramanın çözüm süreleri de rassal aramaya oldukça yakındır.

Ele alınan $n/2/s_{ji}/\alpha \sum C + \beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin büyük boyutluları çözüldüğünde sezgisel yöntemlerin $\alpha=0,50$; $\beta=0,25$; $\gamma=0,25$ ağırlık değerine göre çözüm kaliteleri ve çözüm zamanları Ek 72'de grafikleri ise Ek 73'de verilmiştir. Tabu arama yöntemi sezgisellerden en iyi çözümleri vermiştir. Uyarlanan NEH yöntemi, tabu aramaya oldukça yakın çözümler verdiği bu aralık değerinde de görülmüştür. EDD yönteminin de % 95'in üzerinde, rassal aramanın ise % 77'ye yakın çözüm kalitesi

verdiği görülmüştür. Rassal aramada problem boyutu büyüdükçe çözüm kalitesinin düştüğü görülmektedir.

Ek 74’de sezgisellerin çözüm zamanı verilmektedir. Görüldüğü gibi tabu aramanın çözüm zamanı daha büyüktür. Yalnız rassal aramanın da çözüm süreleri tabu aramaya oldukça yakındır.



7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada iki makinalı akış tipi çizelgeleme probleminde sipariş çevrim hızının artmasını ve yarı ürün stoklarının azaltılmasını sağlayan toplam tamamlanma zamanı ve maksimum tamamlanma zamanı ölçütleri ile müşteri memnuniyetinin bir göstergesi olan toplam gecikme ölçütlerinin olduğu çok ölçütlü altı problem ele alınmıştır. Ele alınan bu problemlerin ortak ve en önemli özelliği gecikme ölçütünün dikkate alınmış olmasıdır. Literatürde gecikme ile ilgili çalışmalar oldukça azdır. Çünkü bu ölçütün bulunması problemin zorluğunu artırır. Gecikme problemi tek makinada tek ölçütlü olarak bile NP-zor yapıdadır. İncelenen problemlerden üçünde hazırlık zamanı işlem zamanına dahil edilmiş olan problemlerdir. Diğer üç problemde ise hazırlık zamanı işlem zamanından ayrı olarak ele alınmıştır. Literatürde hazırlık zamanlı akış tipi problemler üzerinde çok az çalışma yapılmıştır.

Altı problemin eniyi çözümlerini bulmak için iki tane tamsayılı programlama modeli geliştirilmiştir. Hazırlık zamanı işlem zamanına dahil edilen problemler gecikme aralığına göre 12 farklı durumda incelenmiş ve gecikme faktörü (τ) ve gecikme aralığı (R)'nın $(\tau; R) = (0,50; 1,00)$ ve $(0,75; 1,00)$, değerlerinde problemlerin daha da zor çözüldüğü grafiklerle gösterilmiştir. Hazırlık zamanı işlem zamanına dahil edilmeyen problemler ise 4 farklı hazırlık zaman aralığına göre incelenmiştir. Bir çok problemde hazırlık zaman aralığı daraldıkça problem çözümlerinin zorlaştığı görülmüştür. Geliştirilen modellerle 20 işe kadar olan problemler etkin olarak çözülebilmektedir.

Ele alınan problemlerin daha büyük boyutlu olanlarını çözebilmek için üç sezgisel yöntem kullanılmıştır. Birincisi meta sezgisel yöntemlerden tabu arama yöntemidir. Bu yöntem de başlangıç çözümü olarak birden fazla seçenek incelenerek eniyi sonucu veren çözüm seçilmiştir. Bu şekilde kullanılan tabu arama yöntemi çok iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu yöntemde kısa dönemli hafıza yapısı kullanılmıştır. Kullanılan ikinci sezgisel ise, n işli m makinalı akış tipi sistemde maksimum

tamamlanma zamanını enküçükleme probleminde iyi sonuçlar veren NEH yöntemidir. Çok ölçütlü problemlere amaç fonksiyonlarına göre uyarlanan NEH yöntemi altı problemde beşinde oldukça iyi sonuçlar vermiştir. Ayrıca üçüncü olarak kullanılan rassal arama yöntemi küçük boyutlu problemlerde iyi çözüm vermesine rağmen problem boyutu büyüdükçe çözüm kalitesinin düştüğü görülmüştür. Son olarak büyük boyutlu problemlerde kullanılan EDD yöntemi basit yapısıyla oldukça iyi çözüm kalitesi göstermiştir. Bu sezgisel yöntemlerle problemler 2500 işe kadar etkin olarak çözülebilmektedir.

Küçük boyutlu problemlerde sezgisel yöntem sonuçları eniyi çözüm sonuçları ile karşılaştırılırken, büyük boyutlu problemlerde çözüm sonuçları eniyi değeri veren sezgisel yöntemle karşılaştırılmıştır. Tüm problem tiplerinde tabu arama yöntemi eniyi sonucu vermiştir.

Ele alınan problemler ve sezgisellerin çözüm kalitesi şöyledir:

Küçük boyutlu toplam tamamlanma zamanı ve toplam gecikmenin ağırlıklı toplamının $(n/2/\alpha\sum C + \beta\sum T)$ enküçüklenmesi probleminde sezgisel yöntemler eniyi sonuçlarla karşılaştırıldığında ortalama olarak çözüm kaliteleri tabu aramada % 99,23; uyarlanan NEH yönteminde % 98,56; ve rassal aramada ise % 92,46 olarak bulunmuştur. Büyük boyutlularda ise tabu arama eniyi sonuçları verirken diğer sezgiseller bu yöntemle göre kıyaslandığında takiben uyarlanan NEH yöntemi, EDD ve rassal arama izlemektedir. Toplam gecikmenin ağırlık değeri arttıkça EDD yönteminin çözüm kalitesinde iyileşme görülürken rassal aramada kötüleşme gözlenmiştir.

Küçük boyutlu toplam gecikmenin ve maksimum tamamlanma zamanının ağırlıklı toplamının $(n/2/\beta\sum T + \gamma C_{\max})$ enküçüklenmesi probleminde sezgisel yöntemler eniyi sonuçlarla karşılaştırıldığında ortalama olarak çözüm kaliteleri tabu aramada % 98,96; rassal aramada % 96,74; uyarlanan NEH yönteminde % 89,72 ve EDD yöntemi ise % 89,12 olarak bulunmuştur. Büyük boyutlularda ise tabu arama eniyi sonuçları verirken diğer sezgiseller bu yöntemle göre kıyaslandığında takiben EDD

yöntemi, NEH yöntemi ve rassal arama izlemektedir. Uyarlanan NEH yöntemi ile EDD yönteminde gecikmenin ağırlığı arttıkça çözüm kalitesi daha da düştüğü görülmüştür. Büyük boyutlularda ise bu problem tipinde uyarlanan NEH ve rassal arama en kötü sonuçları vermiştir.

Küçük boyutlu toplam tamamlanma zamanı, toplam gecikme ve maksimum tamamlanma zamanının ağırlıklı toplamının $(n/2/\alpha \sum C + \beta \sum T + \gamma C_{max})$ enküçüklenmesi probleminde sezgisel yöntemler eniyi sonuçlarla karşılaştırıldığında ortalama olarak çözüm kaliteleri tabu aramada % 99,58; uyarlanan NEH yönteminde % 97,88 ve rassal aramada ise % 89,94 olarak bulunmuştur. Büyük boyutlularda ise tabu arama eniyi sonuçları verirken diğer sezgiseller bu yöneme göre kıyaslandığında onu takiben uyarlanan NEH yöntemi, EDD ve rassal arama izlemektedir.

Küçük boyutlu toplam tamamlanma zamanı ve toplam gecikmenin ağırlıklı toplamının hazırlık zamanlı olarak $(n/2/s_{ji}/\alpha \sum C + \beta \sum T)$ enküçüklenmesi probleminde sezgisel yöntemler eniyi sonuçlarla karşılaştırıldığında ortalama olarak çözüm kaliteleri tabu aramada % 99,46; uyarlanan NEH yönteminde % 96,83; rassal aramada % 87,95 ve EDD yönteminde ise % 75,86 olarak bulunmuştur. Uyarlanan NEH ve rassal arama yöntemlerinde toplam tamamlanma zamanı ağırlığı arttıkça çözüm kalitesinde bir düşme görülmüştür. Büyük boyutlularda ise tabu arama eniyi sonuçları verirken diğer sezgiseller bu yöneme göre kıyaslandığında onu takiben NEH yöntemi, EDD ve rassal arama izlemektedir.

Küçük boyutlu toplam gecikmenin ve maksimum tamamlanma zamanının ağırlıklı toplamını hazırlık zamanlı olarak $(n/2/s_{ji}/\beta \sum T + \gamma C_{max})$ enküçüklenmesi probleminde sezgisel yöntemler eniyi sonuçlarla karşılaştırıldığında ortalama olarak çözüm kaliteleri tabu aramada % 99,50; rassal aramada %92,51; uyarlanan NEH yönteminde % 88,40; ve EDD yönteminde ise % 82,67 olarak bulunmuştur. Uyarlanan NEH, rassal arama ve EDD yöntemlerinde toplam tamamlanma zamanı ağırlığı arttıkça çözüm kalitesinde bir düşme görülmüştür. Büyük boyutlularda ise tabu arama eniyi sonuçları verirken diğer sezgiseller bu yöneme göre kıyaslandığında onu takiben NEH yöntemi, EDD ve rassal arama izlemektedir

Küçük boyutlu toplam tamamlanma zamanı, toplam gecikme ve maksimum tamamlanma zamanının ağırlıklı toplamını hazırlık zamanı olarak $(n/2/s_{ji}/\alpha \sum C + \beta \sum T + \gamma C_{\max})$ enküçüklenmesi probleminde sezgisel yöntemler eniyi sonuçlarla karşılaştırıldığında ortalama olarak çözüm kaliteleri, tabu aramada % 99,34; uyarlanan NEH yönteminde % 96,82 ve rassal aramada ise % 88,96 olarak bulunmuştur. Uyarlanan NEH ve rassal arama yöntemlerinde toplam tamamlanma zamanı ağırlığı arttıkça çözüm kalitesinde bir düşme görülmüştür. Büyük boyutlularda ise tabu arama eniyi sonuçları verirken diğer sezgiseller bu yönetime göre kıyaslandığında takiben NEH yöntemi, EDD ve rassal arama takip etmektedir.

Hazırlık zamanlı problemlerde uyarlanan NEH yönteminin çözüm kalitesi tabu aramaya oldukça yaklaşmaktadır. Hemen hemen tüm problemlerde problem boyutu büyüdükçe rassal aramanın çözüm kalitesinde düşme görülmüştür.

Sonuç olarak, tabu arama yöntemi çalışmada kullanılan sezgiseller arasında tüm problem tiplerinde eniyi çözüm sonuçlarını vermiştir. Diğer taraftan uyarlanan NEH yöntemi de büyük boyutlu problemlerde tabu aramaya çok yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu nedenle bu problemlerde uyarlanan NEH yöntemi kodlama kolaylığı açısından tabu arama yöntemi yerine tercih edilebilir. Ayrıca bazı problemlerde iyi sonuç veren EDD yöntemi bu tip problemlerde bir sezgisel yöntem olarak kullanılabilir.

Bu çalışmayla incelenen 6 tip problemden $(n/2/\alpha \sum C + \beta \sum T + \gamma C_{\max})$, $(n/2/s_{ji}/\beta \sum T + \gamma C_{\max})$ ve $(n/2/s_{ji}/\alpha \sum C + \beta \sum T + \gamma C_{\max})$ problemleri literatürde ilk kez ele alınmıştır. $(n/2/s_{ji}/\alpha \sum C + \beta \sum T)$ problemi için de ilk kez eniyi çözümler bulunurken $(n/2/\alpha \sum C + \beta \sum T)$ ve $(n/2/\beta \sum T + \gamma C_{\max})$ problemleri içinde ilk kez sezgisel yaklaşımlar geliştirilmiştir.

İleriki çalışmalarda, ikiden fazla makina sayısı olan problemler dikkate alınarak çok ölçütlü çizelgeleme problemleri incelenebilir. Problemlerin eniyi çözümlerini bulmak

için çalışmada önerilen tamsayılı programlama modelleri bir başlangıç noktası olabilir.

Literatürde çok ölçütlü hazırlık zamanlı akış tipi çizelgeleme problemleri üzerinde durulmamıştır. Hazırlık zamanlı olarak daha fazla çok ölçütlü problemlerin incelenmesi ve ayrıca sıra bağımlı hazırlık zamanlı problemlerin de dikkate alınmasıyla çizelgeleme literatüre önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Yine ayrıca ele alınan problemler, işin geliş zamanları birbirinden farklı olduğu durumlar için dikkate alınarak incelenebilir. Diğer taraftan öğrenme etkisinin de problemlerde dikkate alınması ile gerçek üretim sistemlerinde daha etkin ve kullanışlı çizelgelerin kurulabileceği ve bunun sisteme fayda sağlayabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Pinedo, M. L., and Chao, X., "Operations scheduling with applications in manufacturing and services", *Irwin McGraw-Hill*, Singapore, 2-37(1999).
2. Baker, K. R., "Introduction to sequencing and scheduling", *John Wiley and Sons*, New York, 8 (1974).
3. Pinedo, M. L., "Scheduling: Theory, algorithms, and systems", *Prentice-Hall*, Englewood, 1-6, 93-117 (1995).
4. Aarts, E., and Lenstra, J. K., "Local search in combinatorial optimization", *John Wiley and Sons*, New York, 1-87 (1997).
5. Allahverdi, A., Gupta, J. N. D. and Aldowaisan, T., "A review of scheduling research involving setup considerations", *Omega*, 27: 219-239 (1999).
6. Cheng, T. C. E., Gupta, J. N. D. and Wang, G., "A review of flowshop scheduling research with setup times", *Production and Operations Management*, 9 (3): 262-282 (2000).
7. Wibreht, J. K. and Prescott, W. B., "The influence of setup time on job shop performance", *Management Science*, 16: B274-B280 (1969).
8. Yang, W. -H. and Liao, C. -J., "Survey of scheduling reseach involving setup times", *International Journal of Systems Science*, 30 (2): 143-155 (1999.)
9. Held, M., and Karp, R. M., "A dynamic programming approach to sequencing problems", *SIAM Journal on Applied Mathematics*, 10 (1), 196-210 (1962).
10. Lawler, E. L., "On scheduling problems with deferral costs", *Management Science*, 11: 280-288 (1964).
11. Lawler, and Moore, J. M., "Functional equation and its application to resource allocation and sequencing problems", *Management Science*, 16: 77-84 (1969).
12. Lenstra, J. K., "Sequencing by enumerative method", Second Printing, *Mathematisch Centrum*, Amsterdam, 43-53, 108-123 (1985).
13. Morton, T. E., Pentico, D. W., "Heuristic scheduling systems", *John Wiley and Sons*, New York, 11-40 (1993).

14. Eastman, W. L., "A solution to the travelling-salesman problem", *Econometrica*, 27: 282 (1959).
15. Nagar, A., Haddadock, J., and Heragu, S., "Multiple and bicriteria scheduling: A literature survey", *European Journal of Operational Research*, 81: 88-104 (1995).
16. French, S., "Sequence and scheduling: an introduction to the mathematics of the job-shop", *John Wiley and Sons*, Toronto, 1-32, 87-135, 176-191 (1982).
17. Rinnooy Kan, A. H. G., "Machine scheduling problems", *Martinus Nijhoff*, The Hague, 5-139,(1976).
18. Eren, T., ve Güner, E., "Tek ve paralel makineli problemlerde çok ölçütlü çizelgeleme problemleri için bir literatür taraması", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17 (4): 37-69 (2002).
19. Eren, T., ve Güner, E., "Çok ölçütlü akış tipi çizelgeleme problemleri için bir literatür taraması", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri*, 10 (1): 19-30 (2004).
20. Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., and Vecchi, M. P., "Optimization by simulated Annealing", *Science*, 220: 671-680 (1983).
21. Cherny, V., "Thermodynamical approach to traveling salesman problem: An efficient simulation algorithm", *Journal of Optimization Theory and Applications*, 45 (1): 41-51 (1985).
22. Aarts, E. H. L., and Korst, J. H., "Simulated annealing and bolzmann machines: A stochastic approach to combinatorial optimization and neural computing", *John Wiley and Sons*, New York, (1989).
23. Aarts, E. H. L., and Korst, J. H., "Boltzmann machiness for traveling salesman problems", *European Journal of Operational Research*, 39 (1): 79-95 (1989).
24. Suppaitnarm, A., Seffen, K. A., Parks, G. T., and Clarkson, P. J., "Simulated annealing algorithm for multiobjective optimization" *Engineering Optimization*, 33 (1), 59-85 (2000).
25. Koulamas, C., Antony S. R. and Jaen, R., "A survey of simulated annealing applications to operations research problems", *Omega*, 22 (1): 41-56 (1994).
26. Glover, F., "Tabu search - part I", *ORSA Journal on Computing*, 1 (3): 190-206 (1989).

27. Glover, F., "Tabu search - part II", *ORSA Journal on Computing*, 2 (1): 4-32 (1990).
28. Glover, F. and Laguna, M., "Tabu Search", *Kluwer Academic Publishers*, United States of America, (1997).
29. Tian, Y., Sannomiya, N. and Xu, Y., "A tabu search with a new neighborhood search technique applied to flow shop scheduling problems", *Proceedings of the IEEE Conference on Decision and Control*, 5: 4606-4611 (2000).
30. Watson, J. - P., Beck, J. C., Howe, A. E. and Whitley, L., "Darrell Problem difficulty for tabu search in job-shop scheduling" *Artificial Intelligence*, 143 (2): 189-217 (2003).
31. Al-Turki, U., Fedjki, C. and Andijani, A., "Tabu search for a class of single-machine scheduling problems", *Computers and Operations Research*, 28 (12): 1223-1230 (2001).
32. Ponnambalam, S. G., Aravindan, P. and Rajesh, S. V., "Tabu search algorithm for job shop scheduling", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 16 (10): 765-771 (2000).
33. Holland, J. H., "Adaptation in natural and artificial systems", *University of Michigan Press*, Michigan, 8-42 (1975)
34. De Jong, K. A., "An Analysis of the Behavior of a Class of Genetic Adaptive Systems", Ph.D. Thesis, *University of Michigan*, 12-62 (1975).
35. Goldberg, D. E., "Genetic Algorithms in Search", *Optimization and Machine Learning*, Addison-Wesley, Reading, M. A. 1-45 (1989).
36. Murata, T., Ishibuchi, H. and Tanaka, H., "Genetic algorithms for flowshop scheduling problems", *Computers and Industrial Engineering*, 30 (4): 1061-1071 (1996).
37. Colin, R. R., "A genetic algorithm for flowshop sequencing", *Computers and Operations Research*, 22: 5-13 (1995).
38. Chen, C.-L., Vempati, V. S. and Aljaber, N., "An application of genetic algorithms for flow shop problems", *European Journal of Operational Research*, 80: 389-396 (1995).

39. Cheng, R., Gen, M. and Tsujimura, Y., "A tutorial survey of job-shop scheduling problems using genetic algorithms part II: Hybrid genetic search strategies", *Computers and Industrial Engineering*, 36: 343–364 (1999).
40. Gen, M., and Cheng. R., "Genetic algorithm and engineering optimization", *Wiley*, New York, (2000).
41. Dorigo, M., Di Caro, G. and Gambardella, L. M., "Ant algorithms for discrete optimization", *Artificial Life*, 5 (2): 137–172 (1999).
42. Dorigo, M., Maniezzo V., and Colomi A., "Ant system: Optimization by a colony of cooperating agents" *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 26 (1): 29–41 (1996).
43. Colomi, A., Dorigo, M., Maniezzo V. and Trubian, M., "Ant system for job-shop scheduling" *Belgian Journal of Operations Research*, 34: 39–53 (1994).
44. Rajendran, C. and Ziegler, H. "Ant-colony algorithms for permutation flowshop scheduling to minimize makespan/total flowtime of jobs", *European Journal of Operational Research*, 155 (2): 426–438 (2004).
45. Gravel, M., Price, W. L. and Gagné, C., "Scheduling continuous casting of aluminum using a multiple objective ant colony optimization metaheuristic", *European Journal of Operational Research*, 143 (1): 218–229 (2002).
46. Gambardella, L. M., Taillard, E. and Dorigo, M., "Ants colonies for the qap", *Journal of the Operational Research Society*, 5: 167–176 (1999).
47. Gupta, J. N. D., Neppalli V. R. and Werner F., "Minimizing total flow time in a two-machine flowshop problem with minimum makespan", *International Journal of Production Economics*, 69: 323–338 (2001).
48. Johnson, S. M., "Optimal two-and three-stage production schedules with setup times included", *Naval Research Logistic Quarterly*, 1: 61–68 (1954).
49. Yoshida, T. and Hitomi, K., "Optimal two-stages production scheduling with setup times separated", *AIIE Transactions*, 11: 261–263 (1979).
50. Garey, M. R., Johnson, D. S., and Sethi, R., "The complexity of flowshop and jobshop scheduling", *Mathematics of Operations Research*, 1 (2): 117–129 (1976).

51. Chen, C.-L., and Bulfin, R. L., "Complexity of single machine multi-criteria scheduling problems", *European Journal of Operational Research*, 70: 115-125 (1993).
52. Ignall, E., and Schrage, L., "Application of the branch-and-bound technique to some flowshop scheduling problems", *Operations Research*, 13: 400-412, (1965).
53. Campbell, G., Dudek, R.A. and Smith, M. L., "A heuristic algorithm for the n -job, m -machine sequencing problem", *Management Science*, 16: B630-B637 (1970).
54. Gupta, J. N. D., "Heuristic algorithms for multistage flowshop scheduling problem", *AIIE Transactions*, 4: 11-18 (1972).
55. Bansal, S. P., "Minimizing the sum of completion times of n jobs over m machines in a flowshop – a branch, bound approach", *AIIE Transactions*, 9: 306-311 (1977).
56. Miyazaki, S., Nishiyama, N. and Hashimoto, F., "An adjacent pairwise approach to the mean flowtime scheduling problem" *Journal of Operations Research Society of Japan*, 21: 287-299 (1978).
57. Gelders, L. F. and Sambandam, N., "Four simple heuristics for scheduling a flow-shop", *International Journal of Production Research*, 16: 221-231 (1978).
58. Miyazaki, S. and Nishiyama, N., "Analysis for minimizing weighted mean flow-time in flow-shop scheduling", *Journal of Operational Research Society of Japan*, 23: 118-132 (1980).
59. Widmer, M. and Hertz, A., "A new heuristic method for the flowshop sequencing problem", *European Journal of Operational Research*, 41: 186-193 (1989).
60. Ahmadi, R. and Bagchi, U., "Improved lower bounds for minimizing the sum of flowtimes of n jobs over m machines in a flow shop", *European Journal of Operational Research*, 44: 331-336 (1990).
61. Van de Velde, S. L., "Minimizing the sum of the job completion times in the two-machine flow shop by Lagrangean relaxation", *Annals of Operations Research*, 26: 257-268 (1990).

62. Ho, J. and Chang, Y., "A new heuristic for the n job, m machine flow-shop problem", *European Journal of Operational Research*, 52: 194–202 (1991).
63. Rajendran, C. and Chaudhuri, D., "An efficient heuristic approach to the scheduling of jobs in a flowshop", *European Journal of Operational Research*, 61: 318–325 (1991).
64. Karabatı, S. and Kouvelis, P., "The permutation flow shop problem with sum-of-completion times performance criterion", *Naval Research Logistics*, 40: 843–862 (1993).
65. Rajendran, C., "Heuristic algorithm for scheduling in a flowshop to minimise total flowtime", *International Journal of Production Economics*, 29: 65–73 (1993).
66. Vempati, V. S., Chen C. L. and Bullington, S. F., "An effective heuristic for flow-shop problems with total flow time as criterion", *Computers and Industrial Engineering*, 25: 219–222 (1993).
67. Hoogeveen, J. A. and Van de Velde S. L., "Minimizing Total Completion Time and Maximum Cost Simultaneously is Solvable in Polynomial Time", *Operations Research Letters*, 17: 205–208 (1995).
68. Ho, J. C., "Flowshop sequencing with mean flow time objective", *European Journal of Operational Research*, 81: 571–578 (1995).
69. Della Croce, F., Narayan, V. and Tadei, R., "The two-machine total completion time flow shop problem", *European Journal of Operational Research*, 90: 227–237 (1996).
70. Wang, C., Chu, C. and Proth, J. M., "Efficient heuristic and optimal approaches for $n/2/F/\sigma C_i$ scheduling problems", *International Journal of Production Economics*, 44 (3): 225–237 (1996).
71. Rajendran, C. and Ziegler, H., "An efficient heuristic for scheduling in a flowshop to minimize total weighted flowtime of jobs", *European Journal of Operational Research*, 103: 129–138 (1997).
72. Wang, C., Chu, C. and Proth, J.-M., "Heuristic approaches for $n/m/F/\sum C_i$ scheduling problems", *European Journal of Operational Research*, 96: 636–644 (1997).

73. Woo, D. S. and Yim, H. S., "A Heuristic Algorithm for Mean Flowtime Objective in Flowshop Scheduling", *Computers and Operations Research*, 25: 175-182 (1998).
74. Della Croce, F., Ghirardi, M. and Tadei, R., "An improved branch-and-bound algorithm for the two machine total completion time flow shop problem", *European Journal of Operational Research*, 139: 293-301 (2002).
75. Chung, C. - S., Flynn, J. and Kirca, O., "A branch and bound algorithm to minimize the total flow time for m -machine permutation flowshop problems", *International Journal of Production Economics*, 79 (3): 185-196 (2002.).
76. Allahverdi, A. and Aldowaisan, T., "New heuristics to minimize total completion time in m -machine flowshops", *International Journal of Production Economics*, 7: 71-83 (2002).
77. Framinan, J. M. Leisten, R. and Rajendran, C., "Different initial sequences for the heuristic of Nawaz, Ensore and Ham to minimize makespan, idle time or flowtime in the static permutation flowshop", *International Journal of Production Research*, 41: 121-148 (2003).
78. Nawaz, M., Ensore, E. E. and Ham, I., "A heuristic algorithm for the m -machine, n -job flow-shop sequencing problem", *Omega*, 11: 91-95 (1983).
79. Akkan, C. and Karabatı, S., "The two-machine flowshop total completion time problem: Improved lower bounds and a branch-and-bound algorithm", *European Journal of Operational Research*, 159 (2): 420-429 (2004).
80. Rajendran, C. and Ziegler, H., "Ant-colony algorithms for permutation flowshop scheduling to minimize makespan/total flowtime of jobs", *European Journal of Operational Research*, 155 (2): 426-438 (2004).
81. Iyer, S. K., and Saxena, B., "Improved genetic algorithm for the permutation flowshop scheduling problem", *Computers & Operations Research*, 31 (4): 593-606 (2004).
82. Framinan, J. M., Leisten, R. and Ruiz-Usano, R., "Comparison of heuristics for flowtime minimisation in permutation flowshops", *Computers & Operations Research*, In Press (2004).

83. Sen, T., Dileepan, P. and Gupta, J. N. D., "The two-machine flowshop scheduling problem with total tardiness", *Computers & Operations Research*, 16: 333–340 (1989).
84. Kim, Y., "A new branch and bound algorithm for minimizing mean tardiness in two-machine flowshops", *Computers & Operations Research*, 20: 391–401 (1993).
85. Kim, Y., "Minimizing total tardiness in permutation flowshops", *European Journal of Operational Research*, 20: 391–401 (1993).
86. Pan J. C. - H. and Fan, E. T., "Two-machine flow-shop scheduling to minimize total tardiness", *International Journal of Systems Science*, 28: 405–414 (1997).
87. Armentano, V. A. and Ronconi, D. P., "Tabu search for total tardiness minimization in flowshop scheduling problems", *Computers & Operations Research*, 26(3): 219-235 (1999).
88. Pan J. C. - H., Chen, J.-S. and Chao, C.-M., "Minimizing tardiness in a two-machine flow-shop", *Computers & Operations Research*, 29 (7): 869-885 (2002).
89. Dileepan, P., and Sen, T., "Bicriterion static scheduling research for a single machine", *Omega*, 16 (1): 53-59 (1988).
90. Fry, T. D., Armstrong, R. D. and Lewis, H., "A framework for single machine multiple objective sequencing research", *Omega*, 17 (6): 595-607 (1989).
91. T'kindt, V. and Billaut J.-C., "Multicriteria scheduling problems: A survey", *RAIRO Operations Research*, 35: 143-163 (2001).
92. Selen, W. J. and Hott, D. D., "A mixed-integer goal-programming formulation of the standard flow-shop scheduling problem", *Journal of Operational Research Society*, 37 (12): 1121-1128 (1986).
93. Wilson, J. M., "Alternative formulations of a flow-shop scheduling problem", *Journal of Operational Research Society*, 40 (4): 395-399 (1989).
94. Rajendran, C., "Two-stage flow shop scheduling problem with bicriteria", *Journal of Operational Research Society*, 43: 871-884 (1992).

95. Gangadharan, R. and Rajendran, C., "A simulated annealing heuristic for scheduling in a flowshop with bicriteria", *Computers & Industrial Engineering*, 27 (1-4): 473-476 (1994).
96. Rajendran, C., "A heuristic for scheduling in flowshop and flowline-based manufacturing cell with multi-criteria", *International Journal of Production Research*, 32 (11): 2541-2558 (1994).
97. Rajendran, C., "Heuristic for Scheduling in Flowshop with Multiple Objectives", *European Journal of Operational Research*, 82: 540-555 (1995).
98. Nagar, A., Heragu, S. S. and Haddock, J., "A branch-and-bound approach for a two-machine flowshop scheduling problem", *Journal of Operational Research Society*, 46: 721-734 (1995).
99. Neppalli, V. R., Chen C. – L. and Gupta J. N. D., "Genetic Algorithms for the two-stage bicriteria flowshop problem", *European Journal of Operational Research*, 95: 356-373 (1996).
100. Şerifoğlu, F. S. and Ulusoy G., "A bicriteria two-machine permutation flowshop problem", *European Journal of Operational Research*, 107: 414-430 (1998).
101. Lee, C. – E. and Chou, F. – D., "A two-machine flowshop scheduling heuristic with bicriteria objective", *International Journal of Industrial Engineering*, 5 (2): 128-139 (1998).
102. Sayın S. and Karabatı, S., "A bicriteria approach to the two-machine flow shop scheduling problem", *European Journal of Operational Research*, 113: 435-449 (1999).
103. Klein, D. and Hannan, E., "An algorithm for the multiple objective integer linear programming problem", *European Journal of Operational Research*, 9 (19): 378-385 (1982).
104. Gupta, J. N. D., Palanimuthu N. and Chen C. – L., "Designing and tabu search algorithm for the two-stage flow shop problem with secondary criterion", *Production Planning & Control*, 10 (3): 251-265 (1999).
105. Yeh, W. – C., "A new branch-and-bound approach for the $n/2$ /flowshop/ $\alpha F + \beta C_{\max}$ flowshop scheduling problem", *Computers & Operations Research*, 26: 1293-1310 (1999).

106. Chou, F. D. and Lee, C. E., "Two-machine flowshop scheduling with B-bicriteria problem", *Computers and Industrial Engineering*, 36: 549-564 (1999).
107. T'Kindt, V., Gupta, J. N. D. and Billaut, J. – C., "A branch-and-bound algorithm to solve a two-machine bicriteria flowshop scheduling problem", *Operational Research Peripatetic Post-Graduate Programme (ORP3), EURO, PARIS (FRANCE)*, 149-167, september 2001.
108. T'kindt, V., Monmarche, N., Tercinet, F. and Laügt, D., "An ant colony optimization algorithm to solve a 2-machine bicriteria flowshop scheduling problem", *European Journal of Operational Research*, 142: 250-257 (2002).
109. Gupta, J. N. D., Hennig, K. and Werner, F., "Local search heuristic for two-stage flow shop problems with secondary criterion", *Computers and Operations Research*, 29: 123-149 (2002).
110. Dueck, G. and Scheuer, T., "Thereshold accepting: A general purpose optimization algorithm apperaing superior to simulated annealing", *Journal of Computational Physics*, 90: 161-175 (1990).
111. Allahverdi, A. and Aldowaisan, T., "No-wait flowshop with bicriteria of makespan and total completion time", *Journal of Operational Research Society*, 53: 1004-1015 (2002).
112. Chen, C., Neppalli, V. and Aljaber, N., "Genetic algorithms applied to the continuous flowshop problem", *Computers and Industrial Engineering*, 30: 919-929 (1996).
113. Allahverdi, A., "The two- and m -machine flowshop scheduling problems with bicriteria of makespan and mean flowtime", *European Journal of Operational Research*, 147 (2): 373-396 (2003).
114. Nagar, A., Haddock, J. and Heragu, S., "A combined branch-and-bound and genetic algorithm based approach for a flowshop scheduling problem", *Annals of Operations Research*, 63: 397-414 (1996).
115. Framinan, J. M., Leisten, R. and Ruiz-Usano, R., "Efficient heuristics for flowshop sequencing with the objectives of makespan and flowtime minimisation", *European Journal of Operational Research*, 141: 559-569 (2002).

116. T'kindt, V., Gupta, J. N. D. and Billaut, J.-C., "Two-machine flowshop scheduling with a secondary criterion", *Computers and Operations Research*, 30 (4): 505-526 (2003).
117. Yeh, W. C. and Allahverdi, A., "A branch-and-bound algorithm for the three-machine flowshop scheduling problem with bicriteria of makespan and total flowtime", *International Transactions in Operational Research*, 11 (3): 323-339 (2004).
118. Daniels, R. L. and Chambers, R. J., "Multiobjective flow-Shop scheduling", *Naval Research Logistics*, 37: 981-995 (1990).
119. Van Wassenhove, L. N. and Gelders, L. F., "Solving a bicriterion scheduling problem", *European Journal of Operational Research*, 4: 42-48 (1980).
120. Murata, T., Ishibuchi, H. and Tanaka, H., "Multi-objective genetic algorithm and its applications to flowshop scheduling", *Computers and Industrial Engineering*, 30 (4): 957-968 (1996).
121. Ishibuchi, H. and Murata, T., "A Multi-objective genetic local search algorithm and its application to flowshop scheduling", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part-C: Applications and Review*, 28 (3): 392-403 (1998).
122. Schaffer, J. D., "Multi-objective optimization with vector evaluated genetic algorithms", *International Processing 1st Conferences Genetic Algorithms*, 93-100 (1985).
123. Allahverdi, A. and Mittenthal, J., "Dual criteria scheduling on a two-machine flowshop subject to random breakdowns", *International Transactions in Operational Research*, 5 (4): 317-324 (1998).
124. Chakravarthy, K. and Rajendran, C., "A Heuristic for scheduling in a flowshop with the bicriteria of makespan and maximum tardiness minimization", *Production Planning and Control*, 10 (7): 707-714 (1999).
125. Chang, P.-C., Hsieh, J.-C. and Lin, S.-G., "The development of gradual priority weighing approach for the multi-objective flowshop scheduling problem", *International Journal of Production Economics*, 79 (3): 171-183 (2002).

126. Allahverdi, A., "A new heuristic for m -machine flowshop scheduling problem with bicriteria of makespan and maximum tardiness", *Computers & Operations Research*, 31 (2): 157-180 (2004).
127. Allahverdi, A. and Aldowaisan, T., "No-wait flowshops with bicriteria of makespan and maximum lateness", *European Journal of Operational Research*, 152 (1): 132-147 (2004).
128. Gangadharan, R. and Rajendran, C., "Heuristic algorithms for scheduling in the no-wait flowshop", *International Journal of Production Economics*, 32: 285-290 (1993).
129. Liao, C. – J., Yu, W. – C. and Joe, C. – B., "Bicriterion scheduling in the two-machine flowshop", *Journal of Operational Research Society*, 48: 929-935 (1997).
130. Sharadapriyadarshini, B. and Rajendran, C., "Formulations and heuristics for scheduling in a buffer-constrained flowshop and flowline-based manufacturing cell with different buffer-space requirements for jobs: Part 2", *International Journal of Production Research*, 35 (1): 101-122 (1997).
131. Lee, W. – C. and Wu, C. – C., "Minimizing the total flow time and the tardiness in a two-machine flow shop", *International Journal of Systems Science*, 32 (3): 365-373 (2001).
132. Allahverdi, A., "The tricriteria two-machine flowshop scheduling problem", *International Transactions in Operational Research*, 8 (4): 403-425 (2001).
133. Lee, H. T., Chen, S. H. and Kang, H. Y., "Multicriteria scheduling using fuzzy theory and tabu search", *International journal of Production Research*, 40 (5): 1221-1234 (2002).
134. Sule, D. R., "Sequencing n jobs on two machines with setup, processing and removal times separated", *Naval Research Logistic Quarterly*, 29: 517–519 (1982).
135. Sule D. R. and Huang, K. Y., "Sequencing on two and three machines with setup, processing and removal times separated", *International Journal of Production Research*, 21 (5): 723–732 (1983).
136. Khurana, K. and Bagga, P. C., "Minimizing the makespan in a two-machine flowshop with time lags and setup conditions", *Zeitschrift Fuer in Operations Research*, 28: 163–174 (1984).

137. Nabeshima, I. and Maruyama, S., "Two- and three-machine flowshop makespan scheduling problems with additional times separated from processing times", *Journal of Operations Research Society of Japan*, 27: 348–366 (1984).
138. Khurana K. and Bagga, P. C., "Scheduling of job-block with deadline in $n \times 2$ flowshop problem with separated setup times", *Indian Journal of Pure and Applied Mathematics*, 16: 213–224 (1985).
139. Szwarc, W., "The flowshop problem with time lags and separated setup times", *ZOK-Z Operations Research*, 30: B15–B22 (1986).
140. Bagga, P. C., Khurana, K., "Two-machine flowshop with separated sequence-independent setup times: mean completion time criterion", *Indian Journal of Management and Systems*, 2: 47-57 (1986).
141. Proust, C., Gupta, J. N. D. and Deschamps, V., "Flowshop scheduling with set-up, processing and removal times separated", *International Journal of Production Research*, 29: 479–493 (1991).
142. Allahverdi, A., "Two-stage production scheduling with separated set-up times and stochastic breakdowns", *Journal of the Operational Research Society*, 46: 896–904 (1995).
143. Rajendran, C. and Ziegler, H., "Heuristics for scheduling in a flowshop with setup, processing, and removal times separated", *Production Planning & Control*, 8: 568–576 (1997).
144. Allahverdi, A., "Scheduling in stochastic flowshops with independent setup, processing and removal times", *Computers & Operations Research*, 24 (10): 955-960 (1997).
145. Aldowaisan, T. and Allahverdi, A., "Total flowtime in no-wait flowshops with separated setup times", *Computers & Operations Research*, 25 (9): 757-765 (1998).
146. Allahverdi, A., "Minimizing mean flowtime in a two-machine flowshop with sequence-independent setup times", *Computers & Operations Research*, 27 (2): 111-127 (2000).

147. Allahverdi, A. and Aldowaisan, T., "No-wait and separate setup three-machine flowshop with total completion time criterion", *International Transactions in Operational Research*, 7 (3): 245-264 (2000).
148. Aldowaisan, T., "A new heuristic and dominance relations for no-wait flowshops with setups", *Computers & Operations Research*, 28 (6): 563-584 (2001).
149. Corwin, B. D. and Esogbue, A. O., "Two-machine flowshop scheduling problems with sequence dependent setup times: A dynamic programming approach", *Naval Research Logistic Quarterly*, 21: 515-524 (1974).
150. Gupta, J. N. D. and Darrow, W. P., "Approximate schedules for the two-machine flowshop with sequence dependent setup times", *Indian Journal of Management and Systems*, 1: 6-11 (1985).
151. Gupta, J. N. D. and Darrow, W. P., "The two-machine sequence dependent flowshop scheduling problem," *European Journal of Operational Research*, 24 (3): 439-446 (1986).
152. Gupta, J. N. D., "Flowshop schedules with sequence dependent setup times", *Journal of Operations Research Society of Japan*, 29: 206-219 (1986).
153. Gupta J. N. D., "Flowshop Scheduling with Sequence Dependent Setup Times", *Proceedings of the ORSA/TIMS national meeting*, Washington, DC, April 1988.
154. Simons, Jr. J. V., "Heuristics in flow shop scheduling with sequence dependent setup times", *Omega*, 20 (2): 215-225 (1992).
155. Das, S. R., Gupta, J. N. D. and Khumawala, B. M., "A savings index heuristic algorithm for flowshopscheduling with sequence dependent set-up times", *Journal of the Operational Research Society*, 46: 1365-1373 (1995).
156. Gupta, J. N. D., Strusevich, V. A. and Zwaneveld, C. M., "Two-stage no-wait scheduling models with setup and removal times separated", *Computers & Operations Research*, 24 (11): 1025-1031 (1997).
157. Rios-Mercado, R. Z. and Bard, J. F., "Computational experience with a branch-and-cut algorithm for flowshop scheduling with setups", *Computers & Operations Research*, 25 (5): 351-366 (1998).

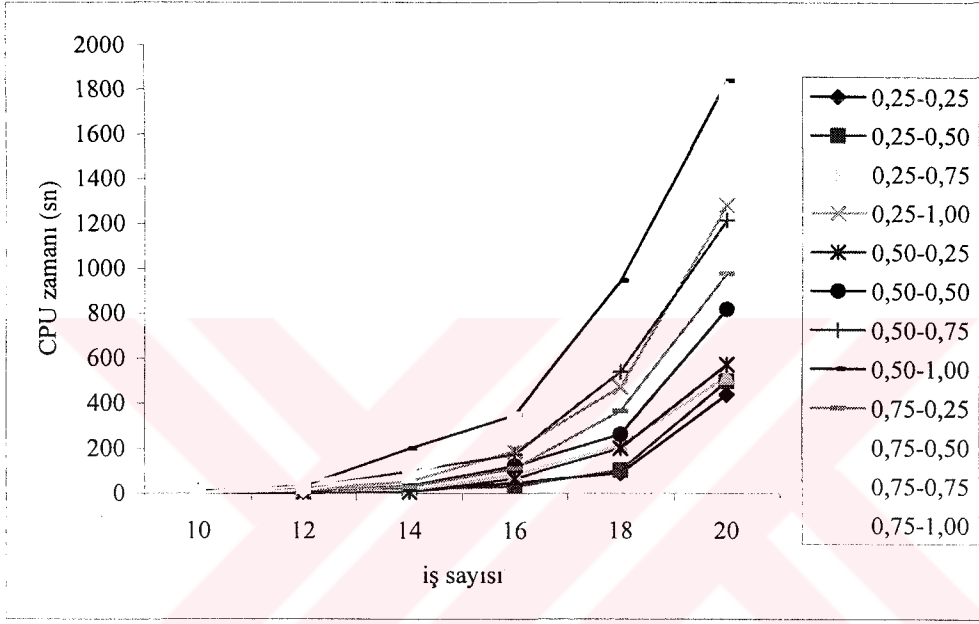
158. Rios-Mercado, R. Z. and Bard, J. F., "Heuristics for the flow line problem with setup costs", *European Journal of Operational Research*, 110 (1): 76-98 (1998).
159. Rios-Mercado, R. Z. and Bard, J. F., "A branch-and-bound algorithm for permutation flow shops with sequencedependent setup times", *IIE Transactions*, 31 (8): 721-731 (1999).
160. Rios-Mercado, R. Z. and Bard, J. F., "An enhanced TSP-based heuristic for makespan minimization in a flow shop with setup times", *Journal of Heuristics*, 5 (1): 57-74 (1999).
161. Ruiz, R., Maroto, C. and Alcaraz, J., "Solving the flowshop scheduling problem with sequence dependent setup times using advanced metaheuristics", *European Journal of Operational Research*, In Press (2004).
162. Srikar, B. N. and Ghosh, S., "A MILP model for the n-job, m-stage flowshop, with sequence-dependent setup times", *International Journal of Production Research*, 24: 1459-1472 (1986).
163. Staford, E. F., Tseng, F. T., "On the Srikar-Ghosh MILP model for the $N \times M$ SDST flowshop problem", *International Journal of Production Research*, 28: 723-732 (1990).
164. Tseng, F. T. and Stafford, E. F., "Two MILP models for the $N \times M$ SDST flowshop sequencing problem", *International Journal of Production Research*, 39 (8): 1777-1809 (2001).
165. Rajendran, C. and Ziegler, H., "A heuristic for scheduling to minimize the sum of weighted flowtime of jobs in a flowshop with sequence-dependent setup times of jobs", *Computers & Industrial Engineering*, 33(1-2): 281-284 (1997).
166. Su, L. H. and Chou, F.-D., "Heuristic for scheduling in a two-machine bicriteria dynamic flowshop with setup and processing times separated", *Production Planning & Control*, 11 (8): 806-819 (2000).
167. Rajendran, C., and Ziegler, H., "Scheduling to minimize the sum of weighted flowtime and weighted tardiness of jobs in a flowshop with sequence-dependent setup times", *European Journal of Operational Research*, 149 (3): 513-522 (2003).
168. Glover F., "Future paths for Integer Programming and Links to Artificial Intelligence", *Computers and Operations Research*, 5: 533-549 (1986).

169. Barnes, J. W., Laguna, M. and Glover, F., "An overview of tabu search approaches to production scheduling problems", *Intelligent Scheduling Systems*, (edt.) by D. E. Brown and W. T. Scherer, 101-127 (1995).
170. Wan, G. and Yen, B. P. -C., "Tabu search for single machine scheduling with distinct due windows and weighted earliness/tardiness penalties", *European Journal of Operational Research*, 142 (2): 271-281 (2002).
171. Logendran, R., Gelogullari, C. A. and Sriskandarajah C., "Minimizing the mean flow time in a two-machine group-scheduling problem with carryover sequence dependency", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 19 (1-2): 21-33 (2003).
172. Grabowski, J. and Pempera, J., "Sequencing of jobs in some production system", *European Journal of Operational Research*, 125 (3): 535-550 (2000).
173. Norman, B. A., "Scheduling flowshops with finite buffers and sequence-dependent setup times", *Computers & Industrial Engineering*, 36 (1): 163-177 (1999).
174. Ben-Daya, M. and Al-Fawzan, M., "A tabu search approach for the flow shop scheduling problem", *European Journal of Operational Research*, 109 (1): 88-95 (1998).
175. Solimanpur, M., Vrat P. and Shankar R., "A neuro-tabu search heuristic for the flow shop scheduling problem" *Computers & Operations Research*, 31 (13): 2151-2164, (2004).
176. Kolahan, F. and Liang, M., "Optimization of hole-making operations: a tabu-search approach", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 40 (12): 1735-1753 (2000).
177. Aggoun, R., "Minimizing the makespan for the flow shop scheduling problem with availability constraints", *European Journal of Operational Research*, 153 (3): 534-543 (2004).
178. Oğuz, C., Zinder, Y., Do, V. H., Janiak, A. and Lichtenstein, M., "Hybrid flow-shop scheduling problems with multiprocessor task systems", *European Journal of Operational Research*, 152 (1): 115-131 (2004).

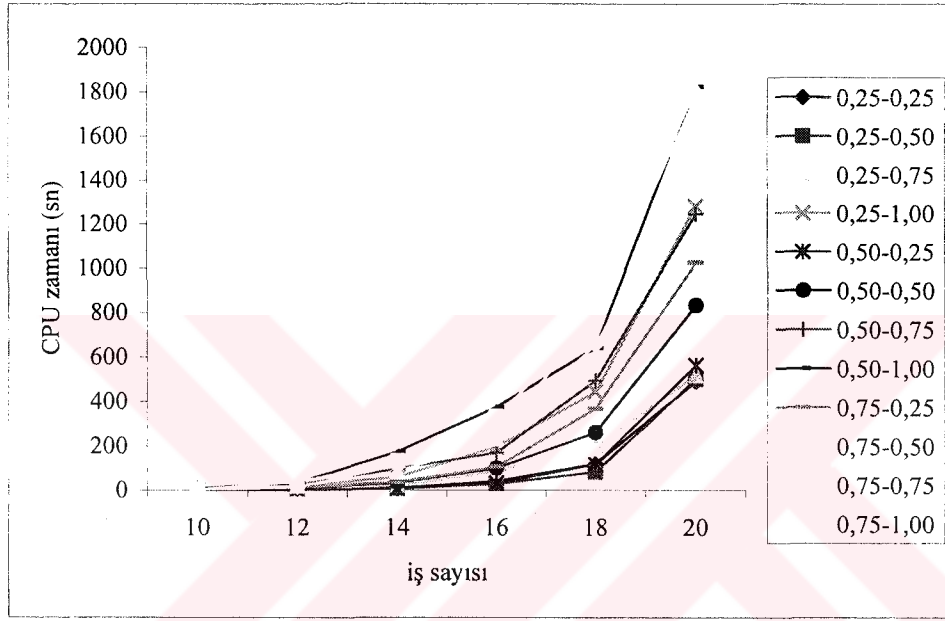
179. Liaw, C. F., "An efficient tabu search approach for the two-machine preemptive open shop scheduling problem", *Computers & Operations Research*, 30: 2081-2095 (2003).
180. El-Amin, I., Duffuaa, S. and Abbas, M., "A Tabu search algorithm for maintenance scheduling of generating", *Electric Power Systems Research*, 54 (2): 91-99 (2000).
181. Bellanti, F., Carello, G., Della Croce F. and Tadei R., "Greedy-based neighborhood search approach to a nurse rostering problem", *European Journal of Operational Research*, 153 (1): 28-40 (2004).
182. Jang, J. -S. R., Sun, C. T. and Mizutani, E., "Neuro-fuzzy and soft computing: A computational approach to learning and machine intelligence", *Prentice Hall*, USA, (1997).
183. Fox, R. L., "Optimization methods for engineering design", *Addision Wesley Publishing Company*, London, (1971).
184. Lindo Systems, Inc, *Hyper LINDO / PC Release 6.01*, Chicago, USA, (1997)
185. Fisher, M. L. "A dual algorithm for the one-machine scheduling problem", *Mathematical Programming*, 11: 229-251 (1976).
186. Beraldii P. and Ruszczyński, A., "Beam search heuristic to solve stochastic integer problems under probabilistic constraints", *European Journal of Operational Research*, *In Press*, (2004).
187. Silver, E. A., "An overview of heuristic solution method", *Journal of the Operational Research Society*, 55: 936-956 (2004).



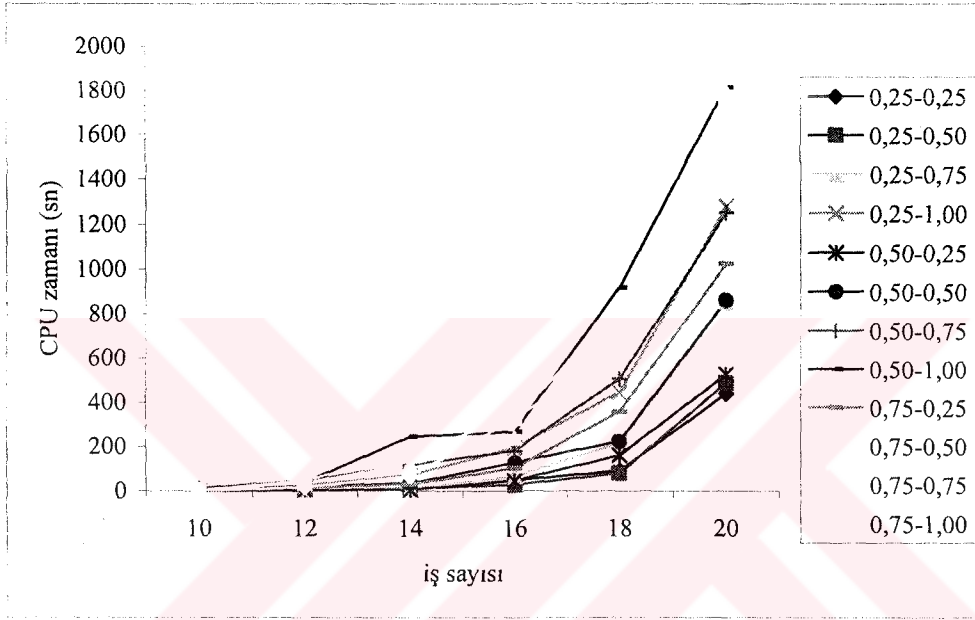
Ek-4. $n/2/\beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminde $\alpha=0,75$ ve $\beta=0,25$ ağırlık değerleri için τ ve R değerlerinde iş sayılarına göre ortalama CPU zaman grafiği



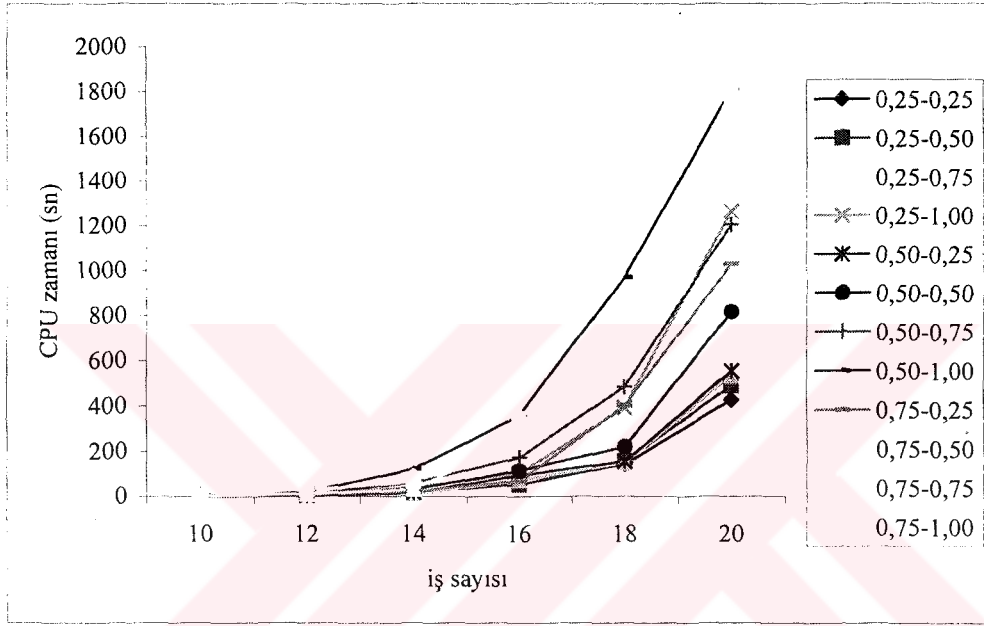
Ek-5. $n/2/\alpha \sum C + \beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,25$; $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,50$ ağırlık değerleri için τ ve R değerlerinde iş sayılarına göre ortalama CPU zaman grafiği



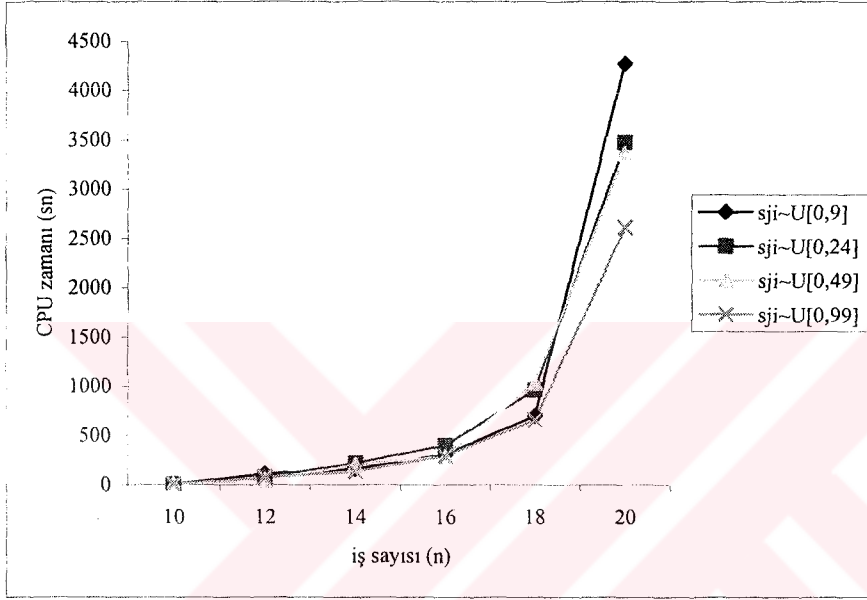
Ek-6. $n/2/\alpha \sum C + \beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,25$; $\beta=0,50$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerleri için τ ve R değerlerinde iş sayılarına göre ortalama CPU zaman grafiği



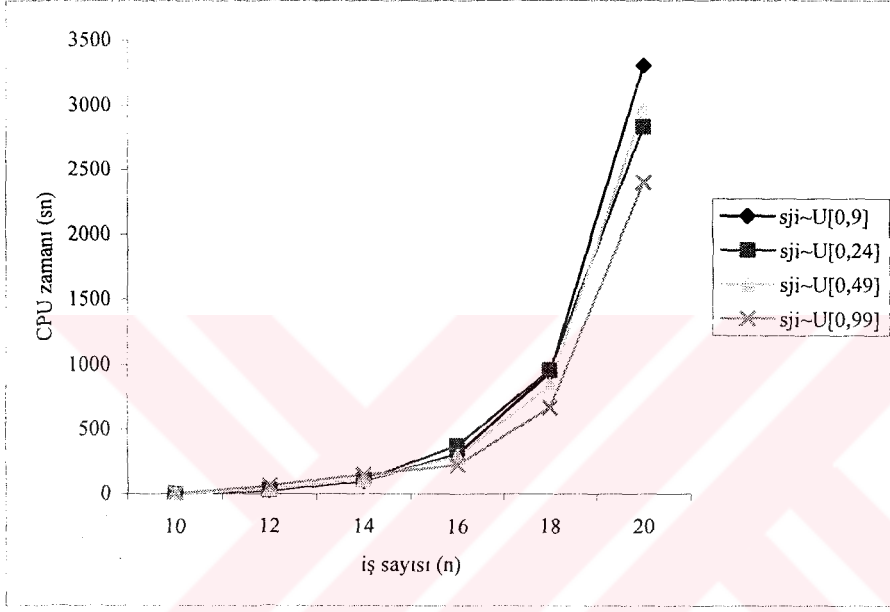
Ek-7. $n/2/\alpha \sum C + \beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,50$; $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerleri için τ ve R değerlerinde iş sayılarına göre ortalama CPU zaman grafiği



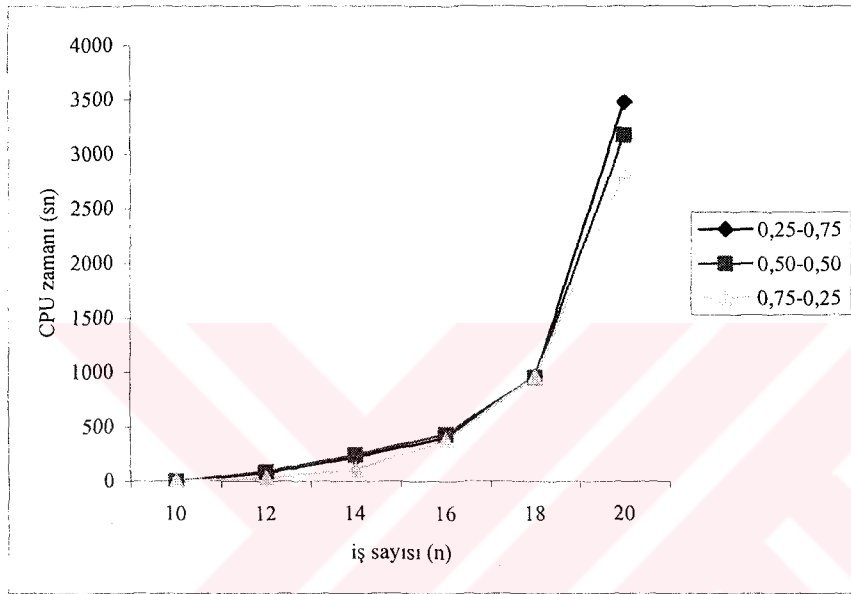
Ek-8. $n/2/s_{ji}/\alpha \sum C + \beta \sum T$ probleminin $\alpha=0,25$ ve $\beta=0,75$ ağırlık değerleri için hazırlık zaman aralıklarına göre iş sayısı işlem zaman grafiği



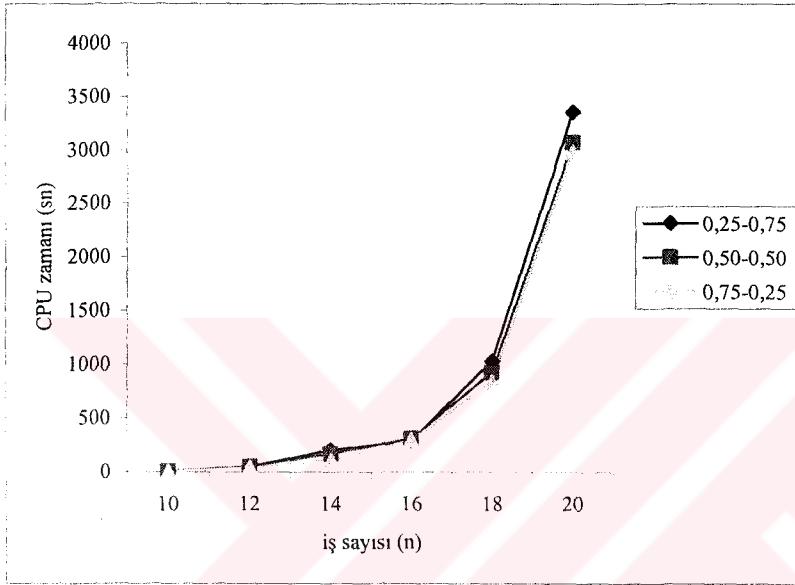
Ek-9. $n/2/s_{ji}/\alpha \sum C + \beta \sum T$ probleminin $\alpha=0,75$ ve $\beta=0,25$ ağırlık değerleri için hazırlık zaman aralıklarına göre iş sayısı işlem zaman grafiği



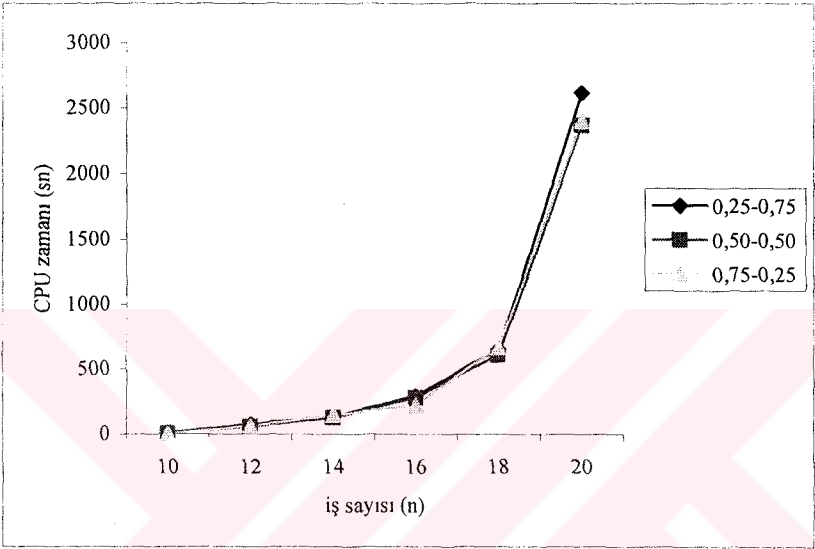
Ek-10. $n/2/s_{ji}/\alpha \sum C + \beta \sum T$ probleminin hazırlık zamanlarının [0-24] aralığında, ağırlık değerlerine göre iş sayıları işlem zaman grafiği



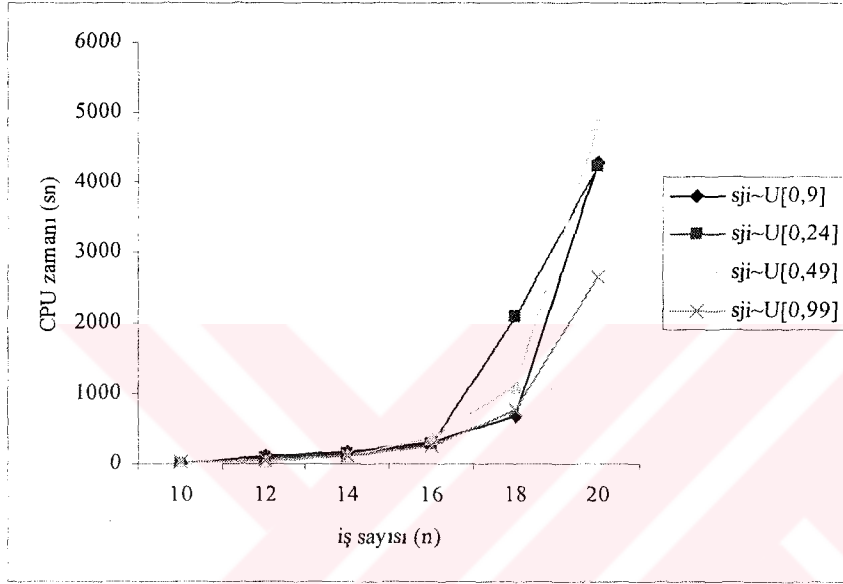
Ek-11. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminin hazırlık zamanlarının [0-49] aralığında, ağırlık değerlerine göre iş sayıları işlem zaman grafiği



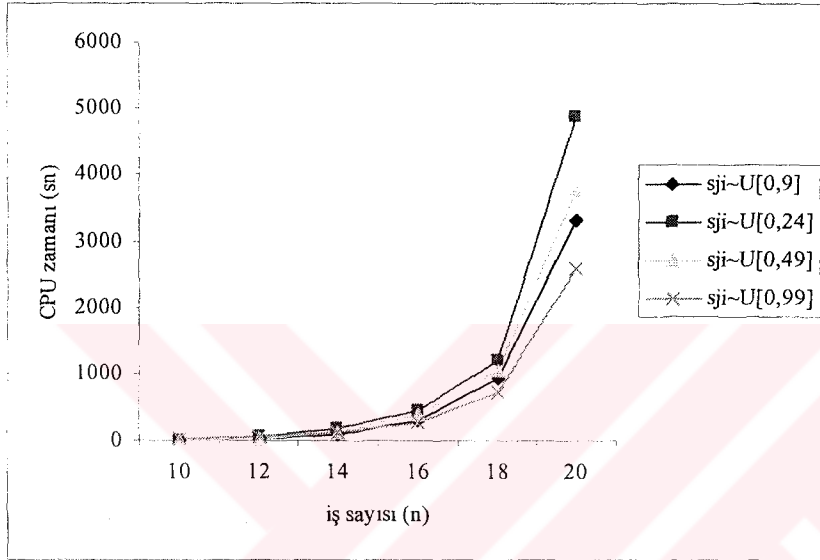
Ek-12. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminin hazırlık zamanlarının [0-99] aralığında, ağırlık değerlerine göre iş sayıları işlem zaman grafiği



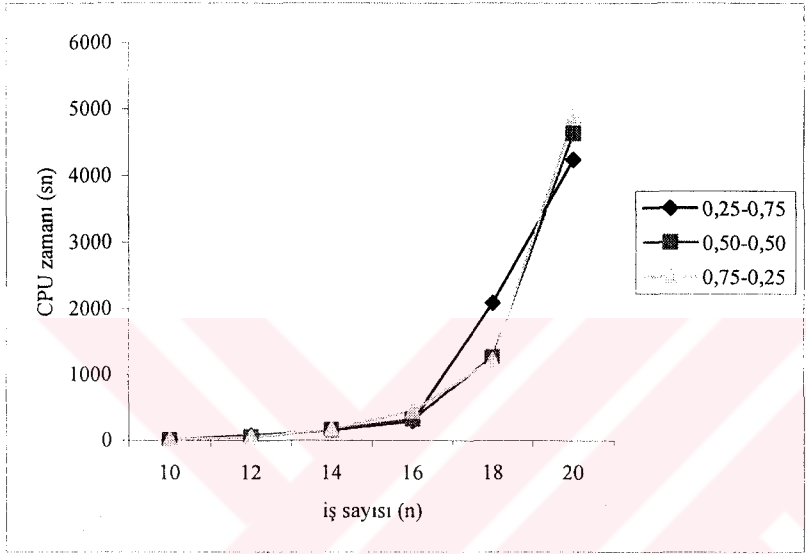
Ek-13. $n/2/s_{ji}/\beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,25$ ve $\beta=0,75$ ağırlık değerleri hazırlık zamanlarına göre iş sayısı işlem zaman grafiği



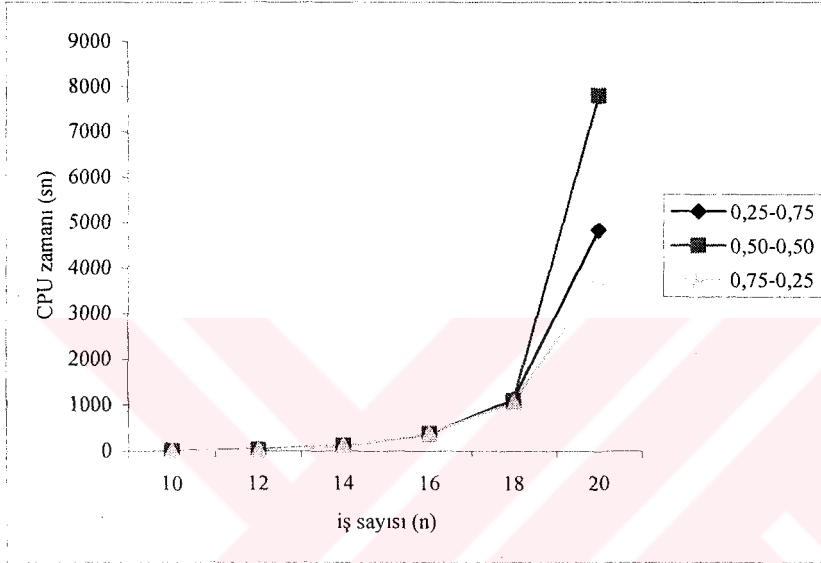
Ek-14. $n/2/s_{ji}/\beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,75$ ve $\beta=0,25$ ağırlık değerleri hazırlık zamanlarına göre iş sayısı işlem zaman grafiği



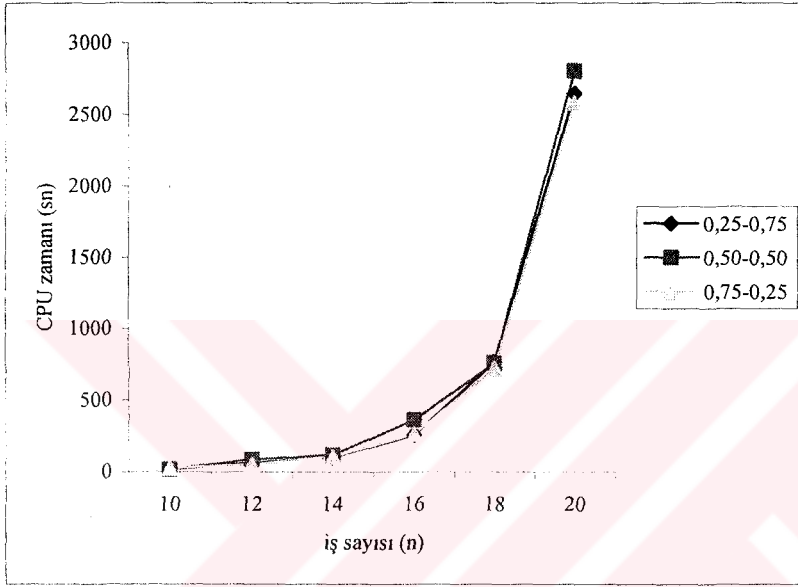
Ek-15. $n/2/s_{ji}/\beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin hazırlık zamanlarının [0-24] aralığında, ağırlık değerlerine göre iş sayıları işlem zaman grafiği



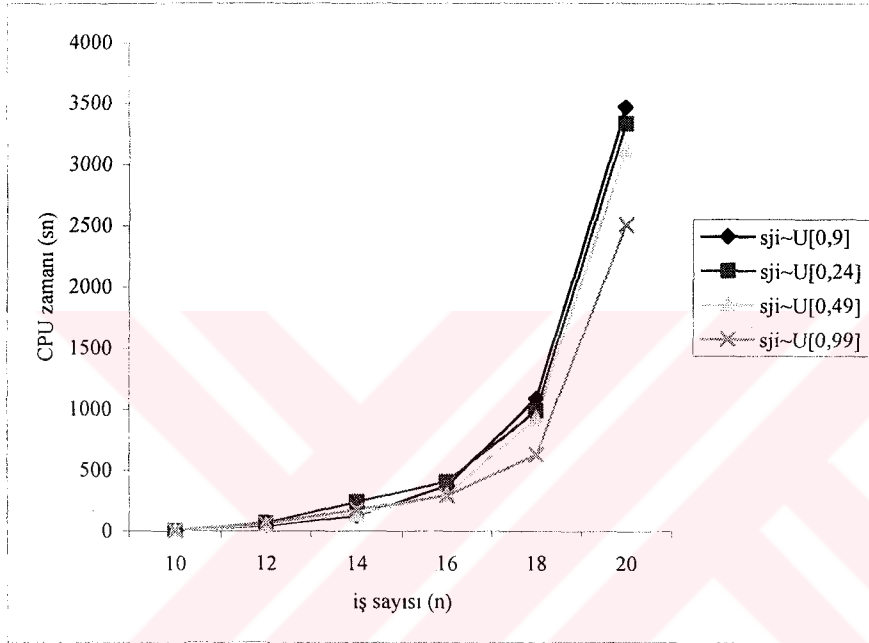
Ek-16. $n/2/s_{ji}/\beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin hazırlık zamanlarının $[0-49]$ aralığında, ağırlık değerlerine göre iş sayıları işlem zaman grafiği



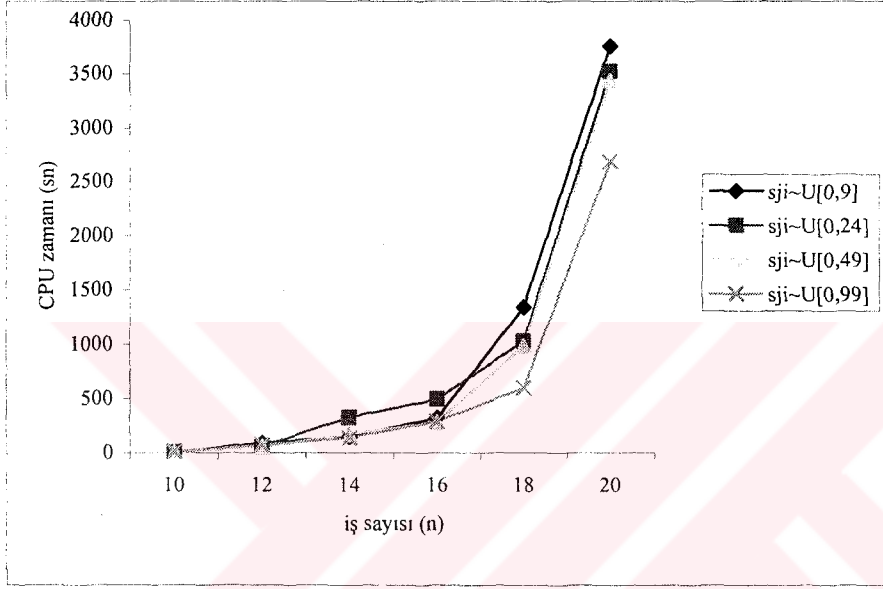
Ek-17. $n/2/s_{ji}/\beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin hazırlık zamanlarının [0-99] aralığında, ağırlık değerlerine göre iş sayıları işlem zaman grafiği



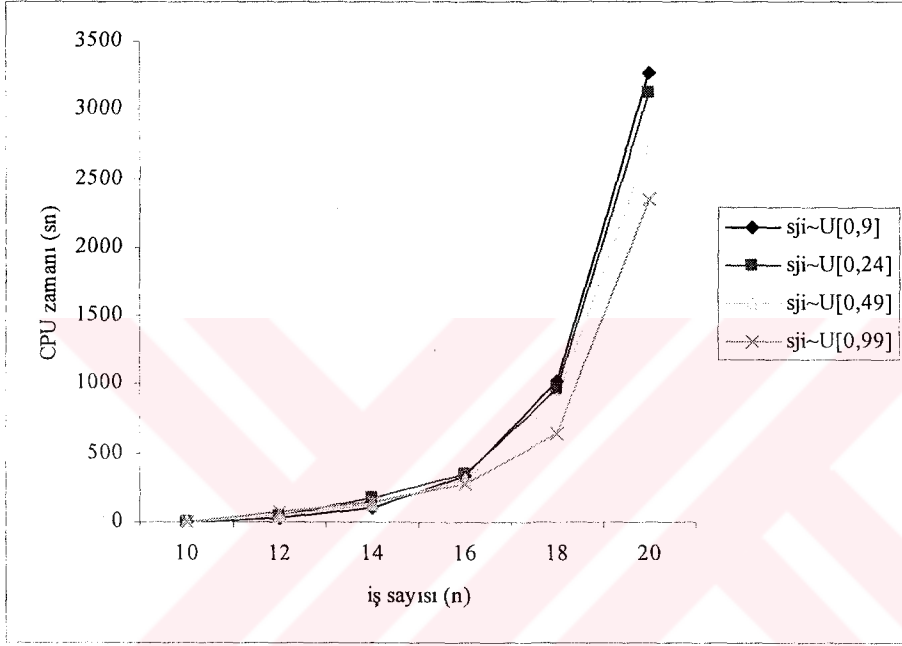
Ek-18. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,25$; $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,50$ ağırlık değerlerinde hazırlık zamanlarına göre iş sayısı işlem zaman grafiği



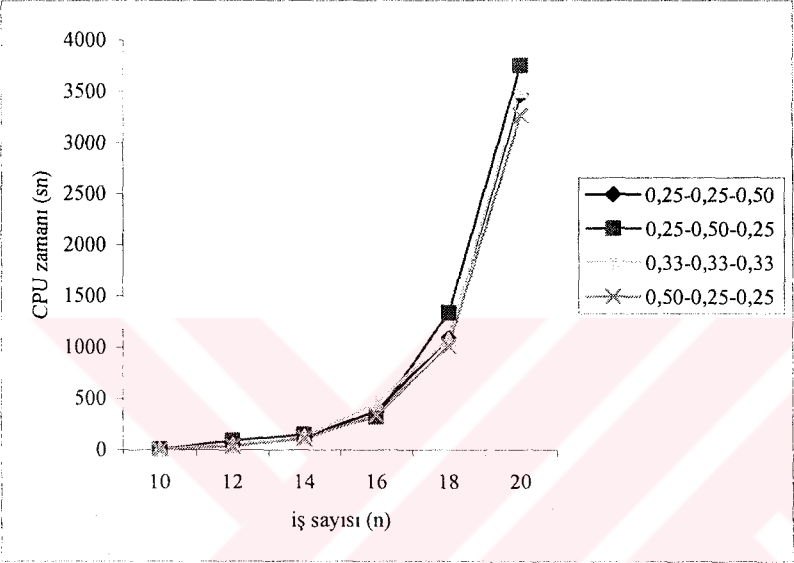
Ek-19. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,25$; $\beta=0,50$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerleri hazırlık zamanlarına göre iş sayısı işlem zaman grafiği



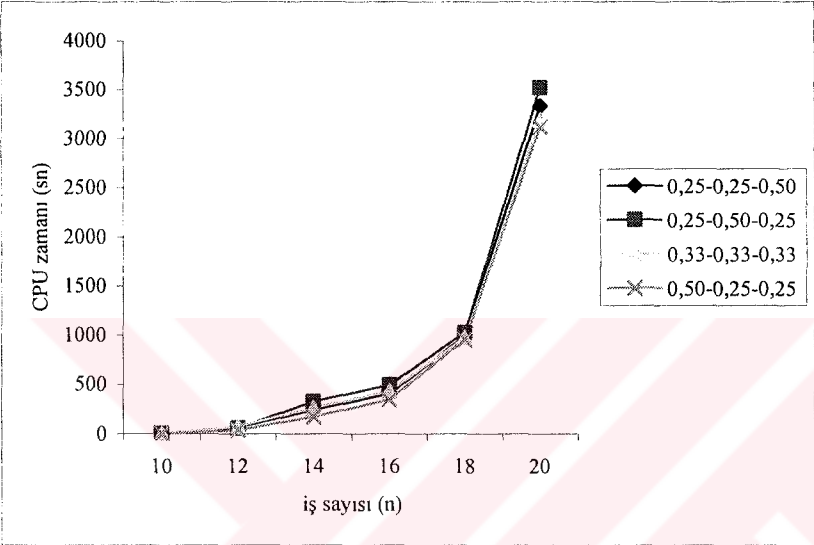
Ek-20. $n/2/s_{ji}/\alpha \sum C + \beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,50$; $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerleri hazırlık zamanlarına göre iş sayısı işlem zaman grafiği



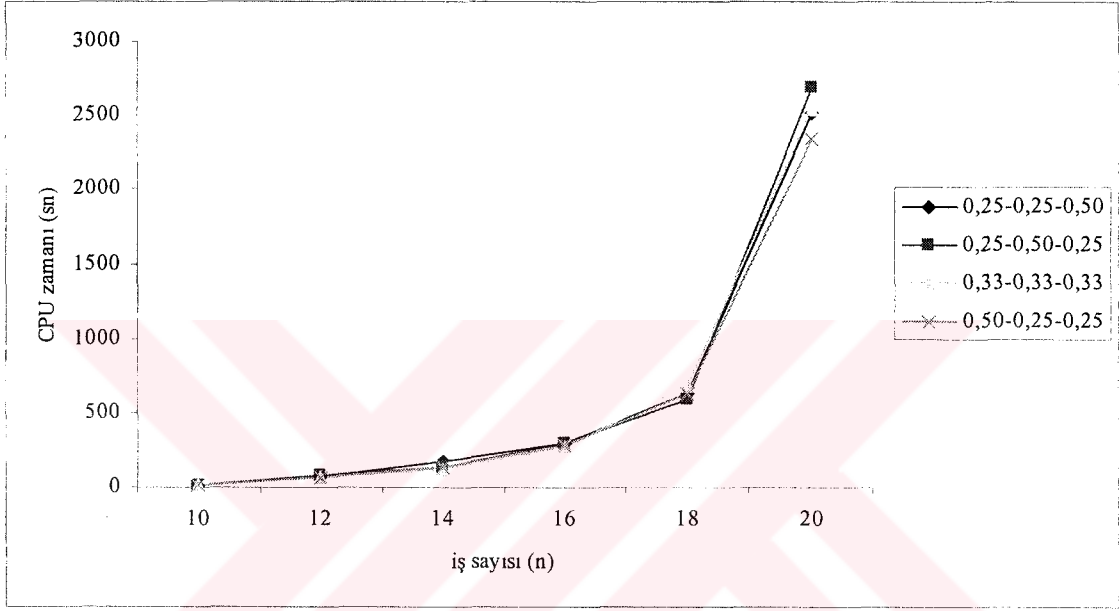
Ek-21. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin hazırlık zamanlarının [0-9] aralığında, ağırlık değerlerine göre iş sayıları işlem zaman grafiği



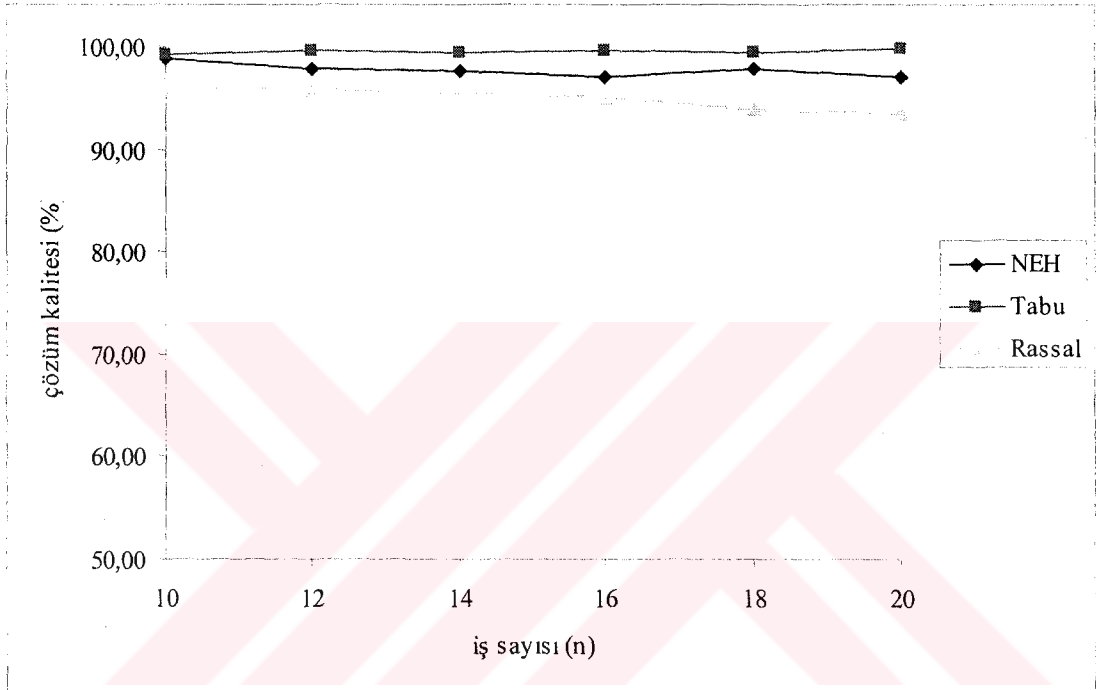
Ek-22. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin hazırlık zamanlarının [0-24] aralığında, ağırlık değerlerine göre iş sayıları işlem zaman grafiği



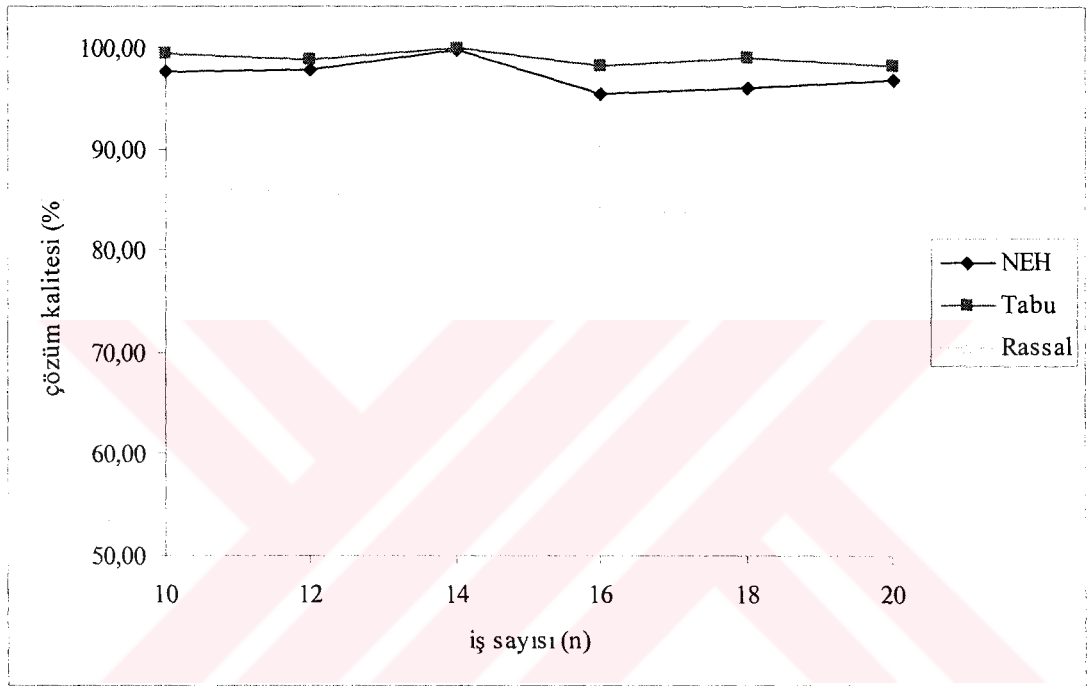
Ek-23. $n/2/s_{ji}/\alpha \sum C + \beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin hazırlık zamanlarının [0-99] aralığında, ağırlık değerlerine göre iş sayıları işlem zaman grafiği



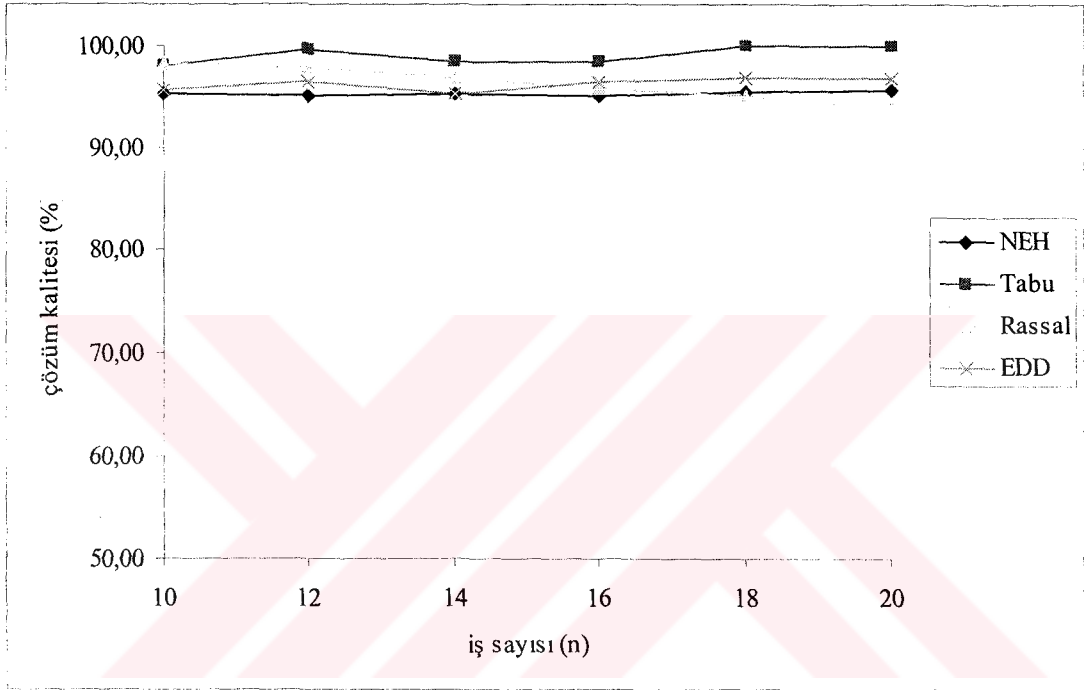
Ek-24. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminde $\alpha= 0,25$ ve $\beta=0,75$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi



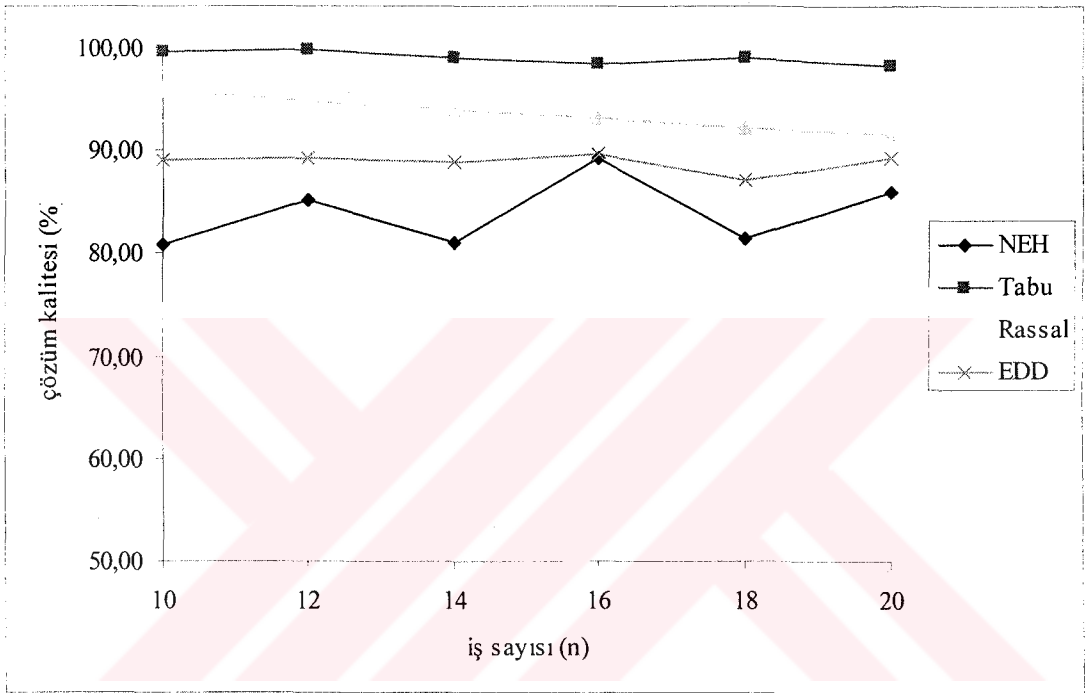
Ek-25. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminde $\alpha=0,75$ ve $\beta=0,25$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi



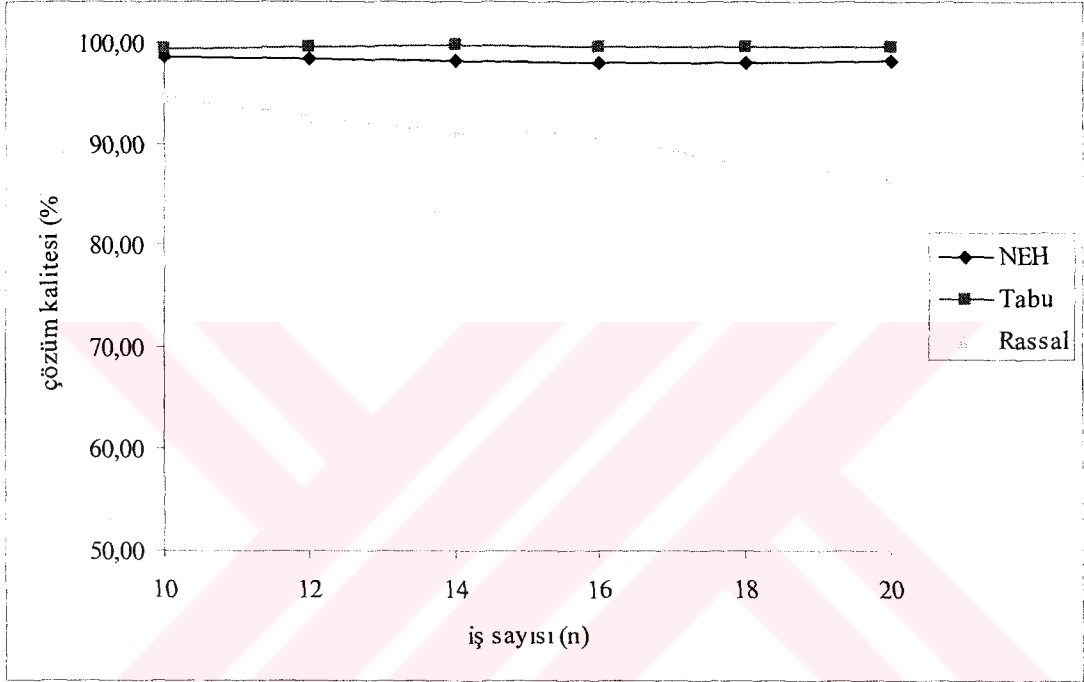
Ek-26. $n/2/\beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminde $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,75$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi



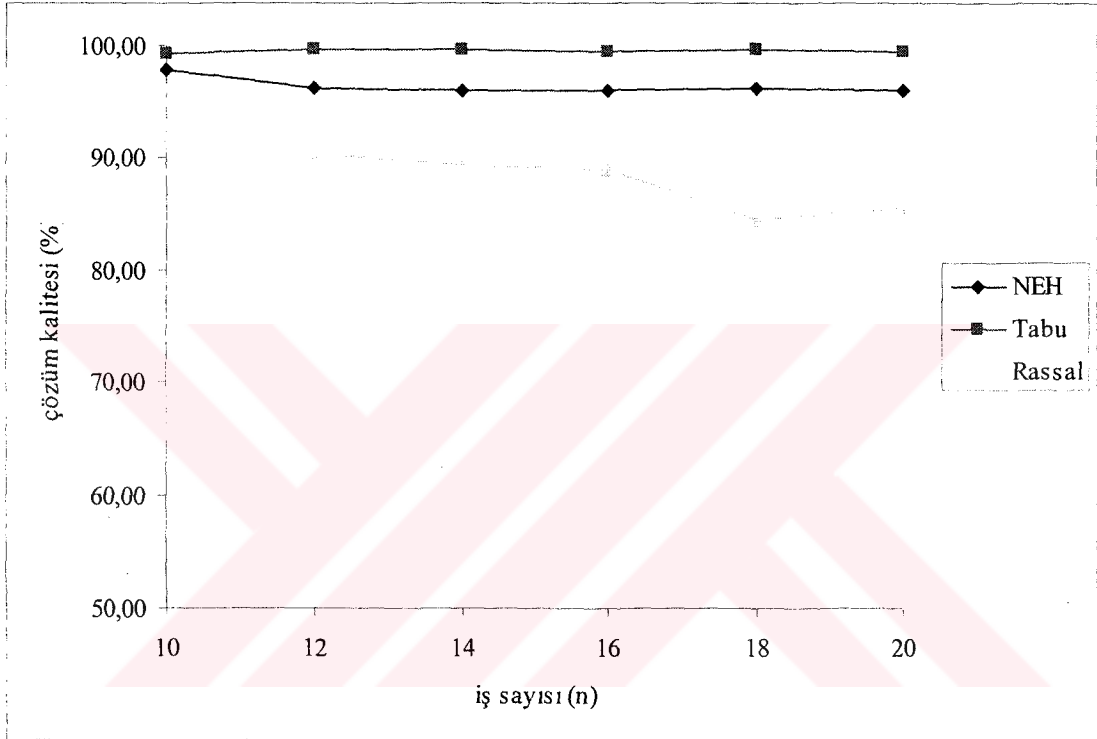
Ek-27. $n/2/\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminde $\beta=0,75$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi



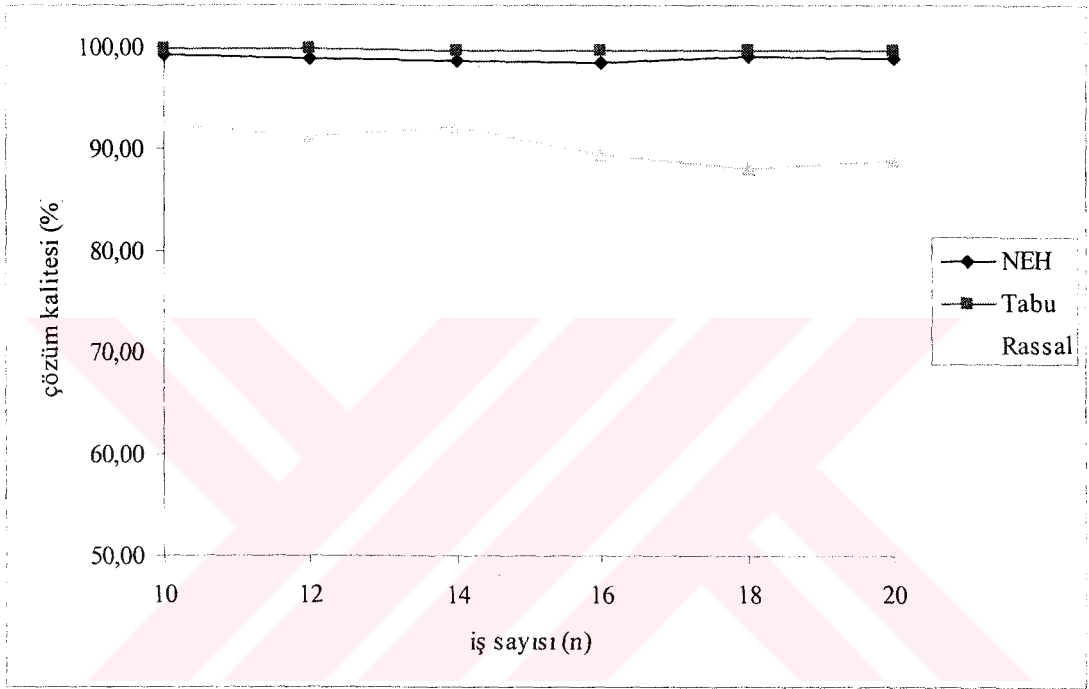
Ek-28. $n/2/\alpha \sum C + \beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminde $\alpha=0,25$; $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,50$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi



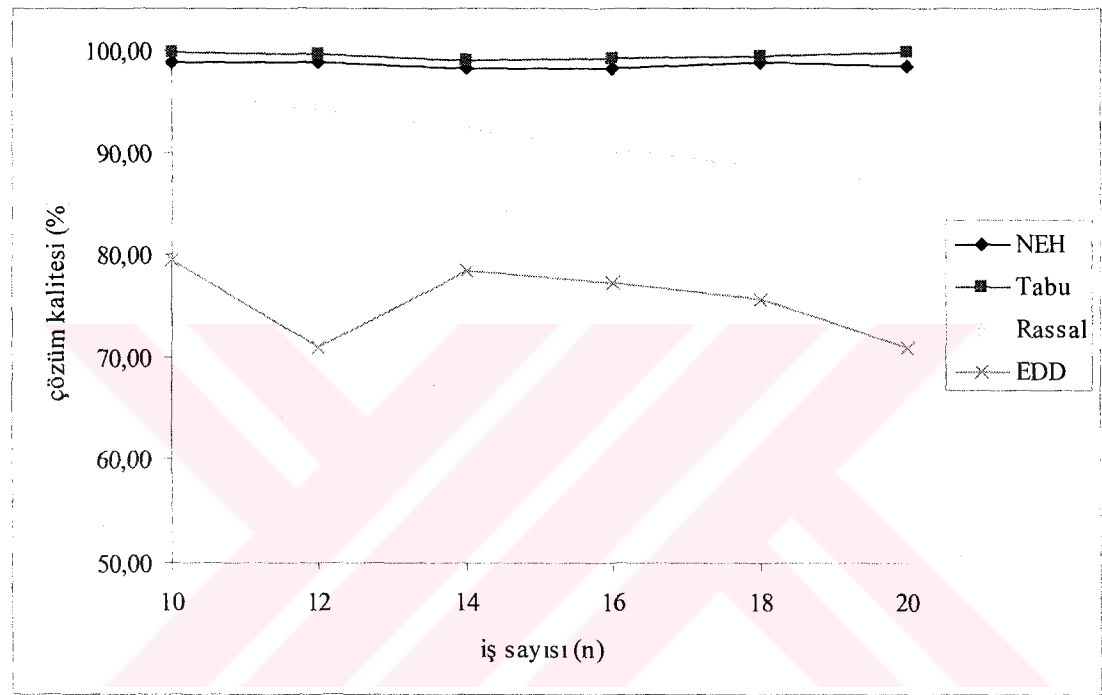
Ek-29. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminde $\alpha=0,25$; $\beta=0,50$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi



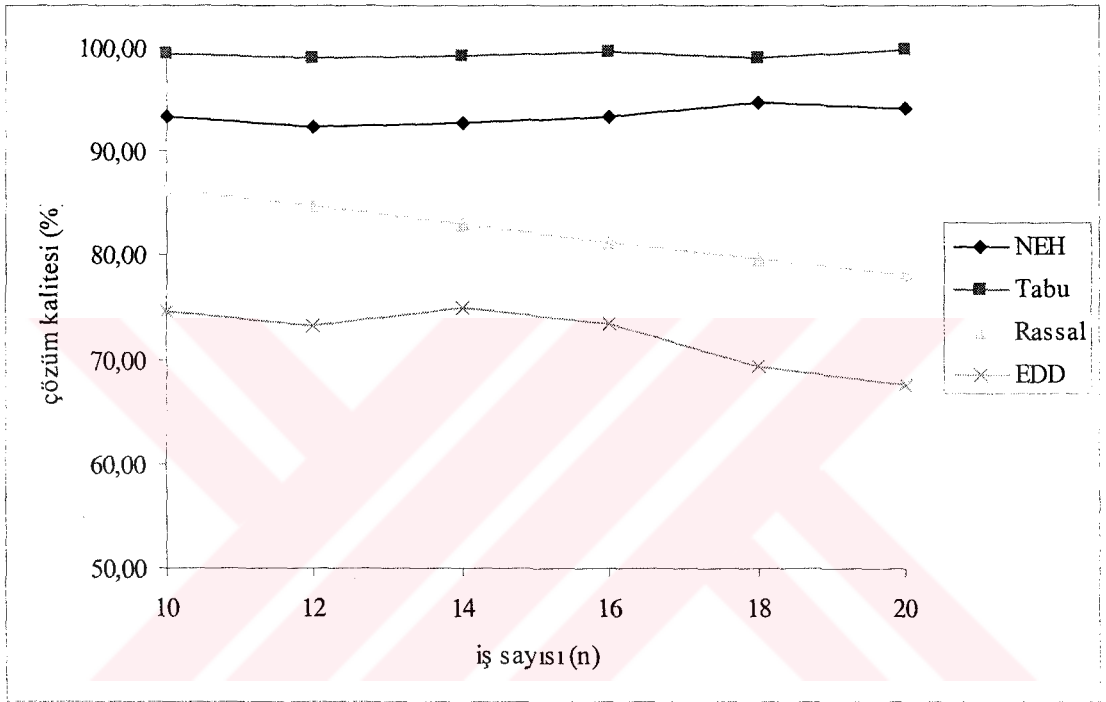
Ek-30. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminde $\alpha=0,50$; $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi



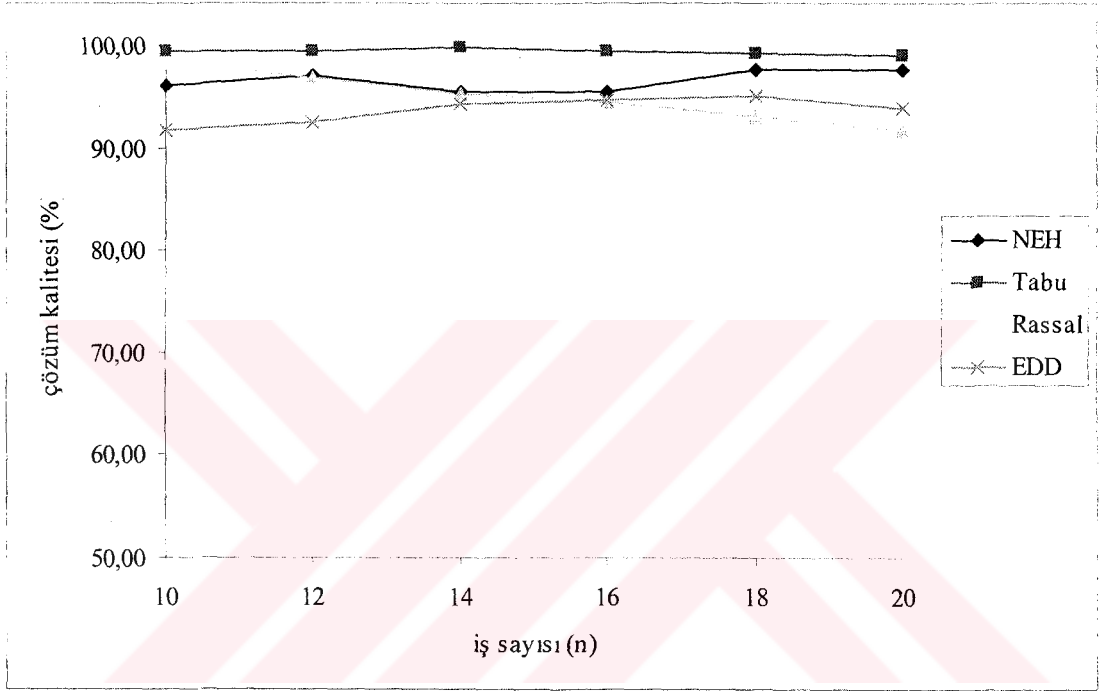
Ek-31. $n/2/s_{ji}/\alpha \sum C + \beta \sum T$ probleminde $\alpha=0,25$ ve $\beta=0,75$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi



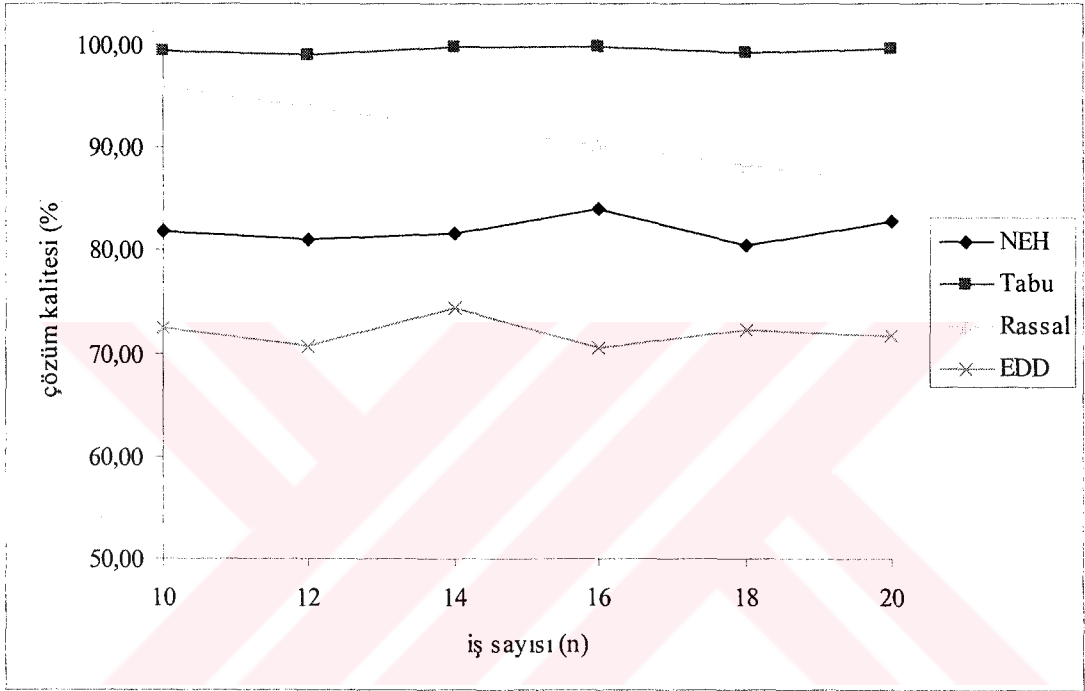
Ek-32. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminde $\alpha=0,75$ ve $\beta=0,25$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi



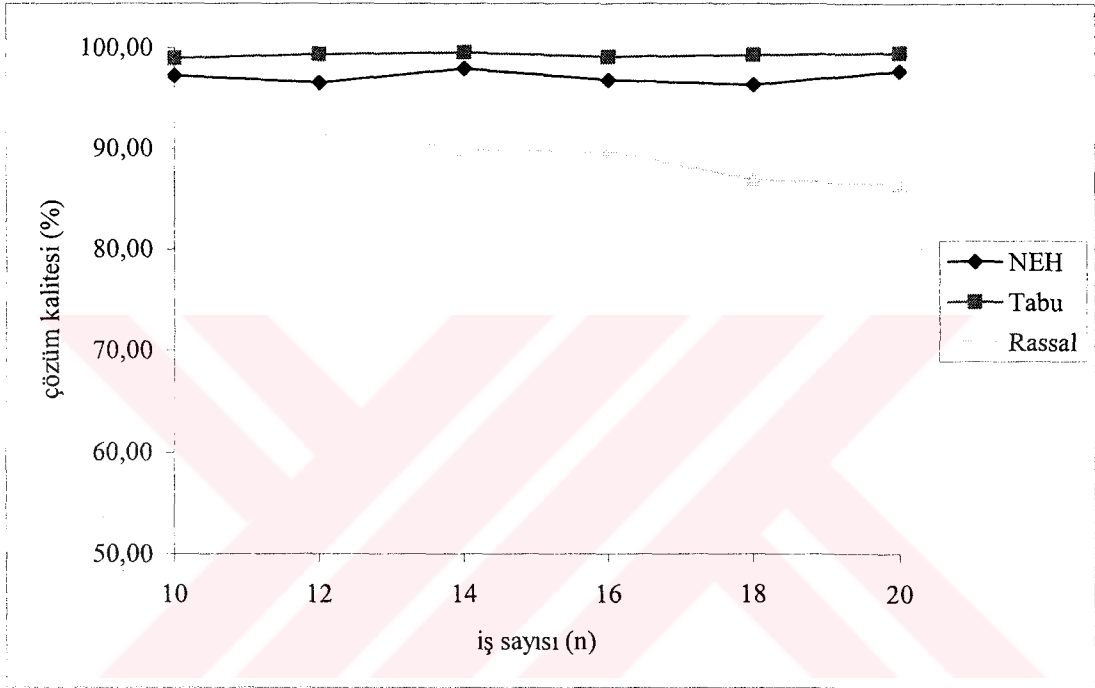
Ek-33. $n/2/s_{ji}/\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminde $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,75$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi



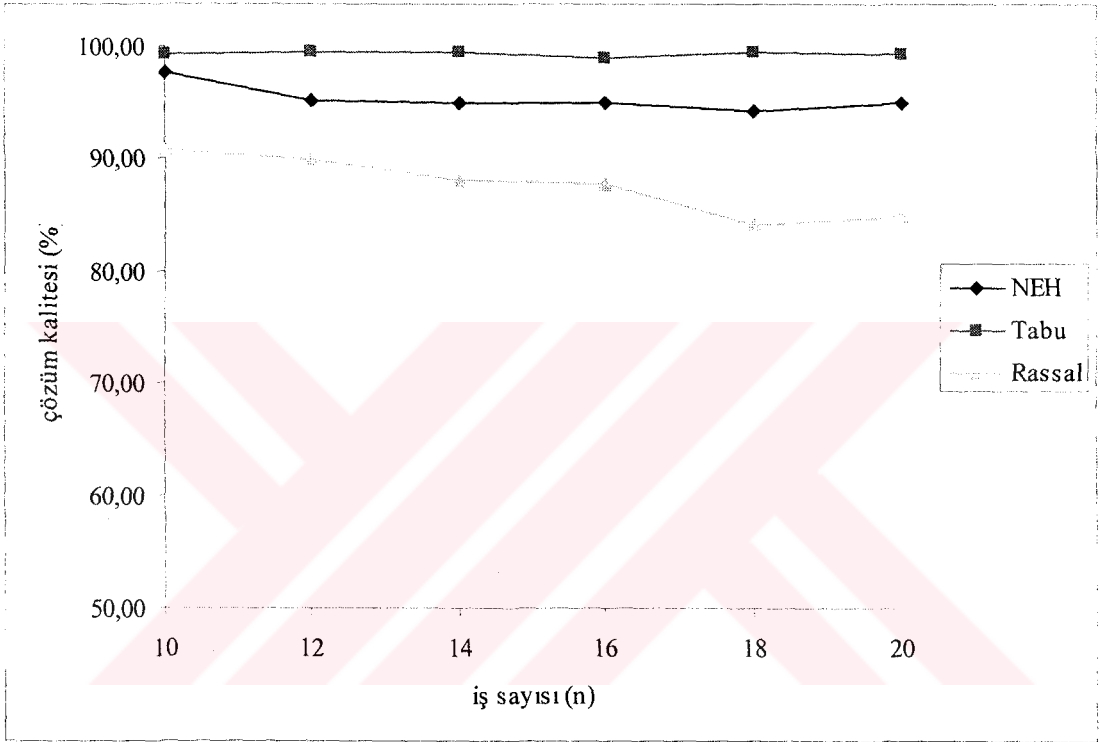
Ek-34. $n/2/s_{ji}/\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminde $\beta=0,75$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi



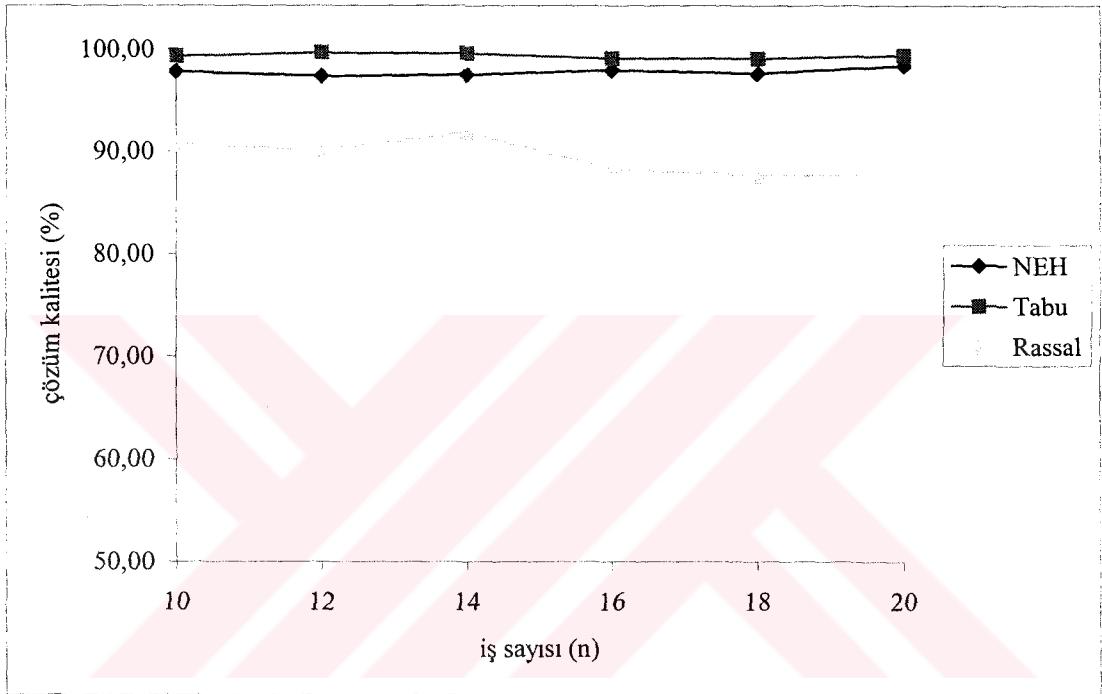
Ek-35. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminde $\alpha=0,25$; $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,50$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi



Ek-36. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminde $\alpha=0,25$; $\beta=0,50$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi



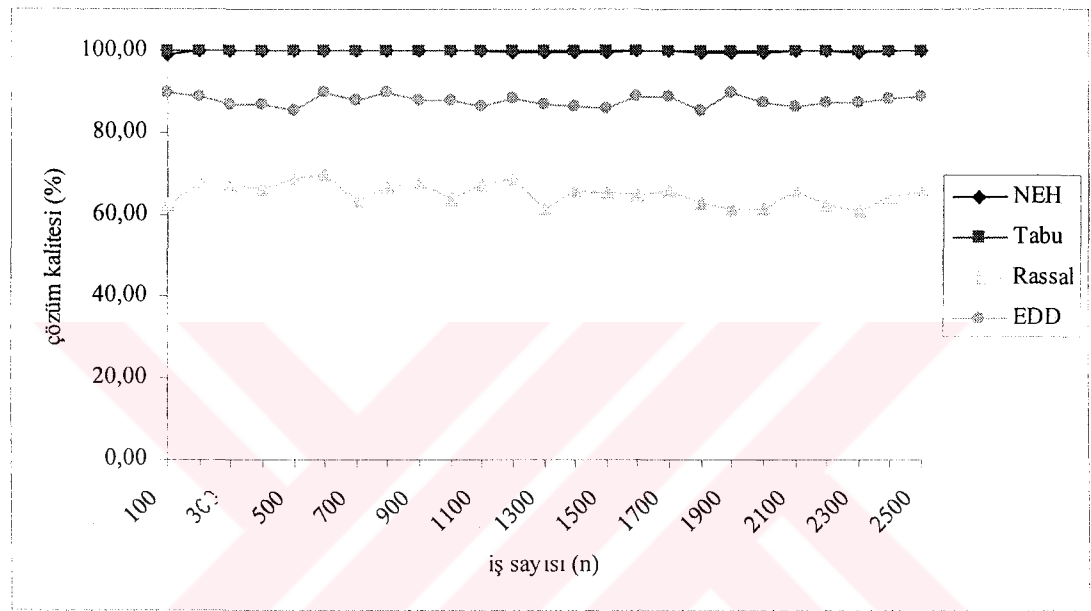
Ek-37. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminde $\alpha=0,50$; $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi



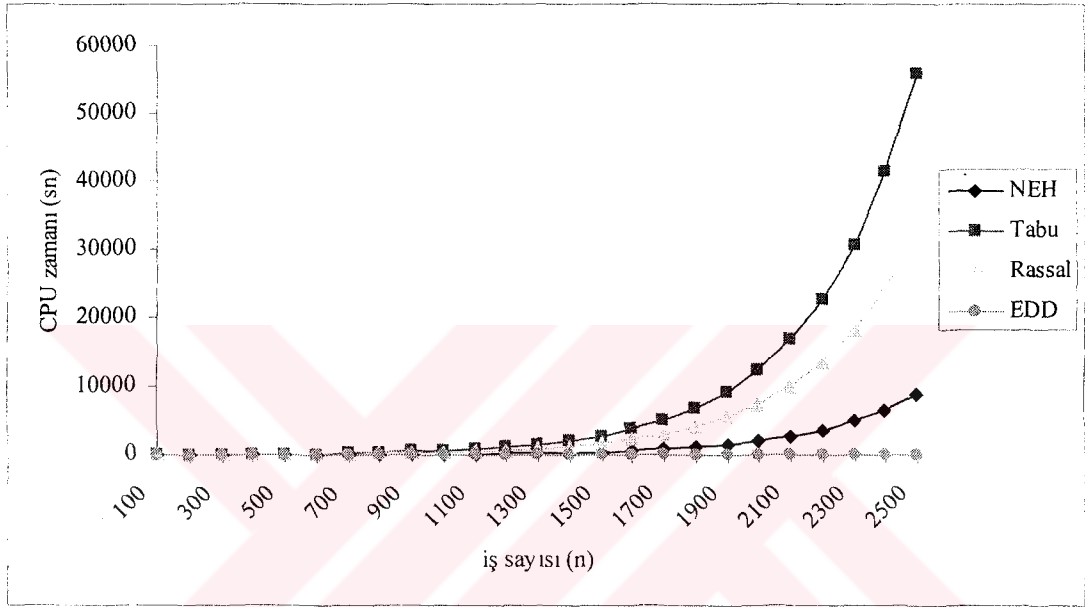
Ek-38. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminin $\alpha=0,50$ ve $\beta=0,50$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda çözüm kalitesi ve CPU zamanları (sn)

n	Çözüm kalitesi				CPU zamanı (sn)			
	NEH	Tabu	Rassal	EDD	NEH	Tabu	Rassal	EDD
100	0,9925	1,0000	0,6209	0,8952	0,4690	4,1250	1,3120	<0,1
200	0,9985	1,0000	0,6758	0,8860	2,1410	13,5630	3,5620	<0,1
300	0,9978	1,0000	0,6705	0,8653	5,2810	39,4530	17,0620	<0,1
400	0,9977	1,0000	0,6605	0,8694	10,0310	59,8130	22,1870	<0,1
500	0,9987	1,0000	0,6876	0,8525	16,8750	111,3910	32,0940	<0,1
600	0,9990	1,0000	0,6970	0,8951	26,1400	145,7970	55,1250	<0,1
700	0,9988	1,0000	0,6304	0,8751	38,0630	200,0940	98,4220	<0,1
800	0,9984	1,0000	0,6682	0,8981	55,6560	345,9530	149,1100	<0,1
900	0,9980	1,0000	0,6742	0,8796	75,6410	473,2810	199,3280	<0,1
1000	0,9985	1,0000	0,6375	0,8761	98,1250	621,1720	366,5780	<0,1
1100	0,9987	1,0000	0,6707	0,8608	132,4688	838,5822	494,8803	<0,1
1200	0,9975	1,0000	0,6860	0,8819	178,8328	1132,0860	668,0884	<0,1
1300	0,9961	1,0000	0,6114	0,8673	241,4243	1528,3161	901,9193	<0,1
1400	0,9962	1,0000	0,6562	0,8634	325,9228	2063,2267	1217,5911	<0,1
1500	0,9964	1,0000	0,6505	0,8559	439,9958	2785,3560	1643,7480	<0,1
1600	0,9978	1,0000	0,6493	0,8862	593,9943	3760,2306	2219,0598	<0,1
1700	0,9984	1,0000	0,6587	0,8877	801,8923	5076,3113	2995,7307	<0,1
1800	0,9968	1,0000	0,6259	0,8505	1082,5546	6853,0203	4044,2365	<0,1
1900	0,9966	1,0000	0,6127	0,8951	1461,4487	9251,5774	5459,7193	<0,1
2000	0,9975	1,0000	0,6145	0,8713	1972,9558	12489,6295	7370,6210	<0,1
2100	0,9977	1,0000	0,6574	0,8644	2663,4903	16860,9999	9950,3384	<0,1
2200	0,9985	1,0000	0,6239	0,8731	3595,7119	22762,3498	13432,9568	<0,1
2300	0,9970	1,0000	0,6062	0,8725	4854,2111	30729,1722	18134,4917	<0,1
2400	0,9980	1,0000	0,6408	0,8837	6553,1850	41484,3825	24481,5638	<0,1
2500	0,9980	1,0000	0,6546	0,8849	8846,7998	56003,9164	33050,1112	<0,1
ortalama	0,9976	1,0000	0,6496	0,8756				

Ek-39. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminin $\alpha=0,50$ ve $\beta=0,50$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi



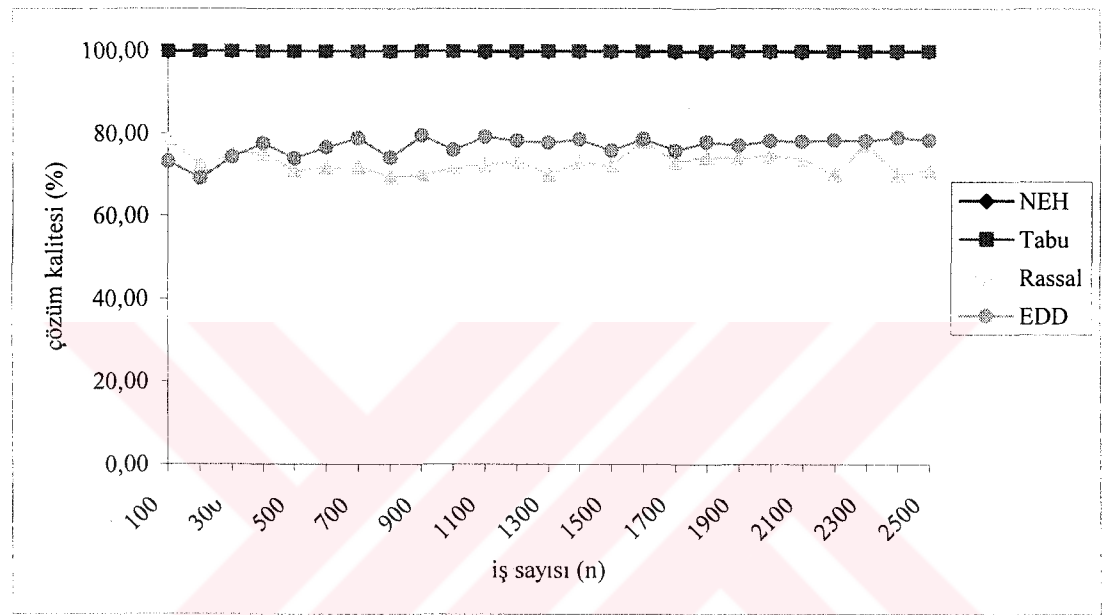
Ek-40. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminin $\alpha=0,50$ ve $\beta=0,50$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm süresi



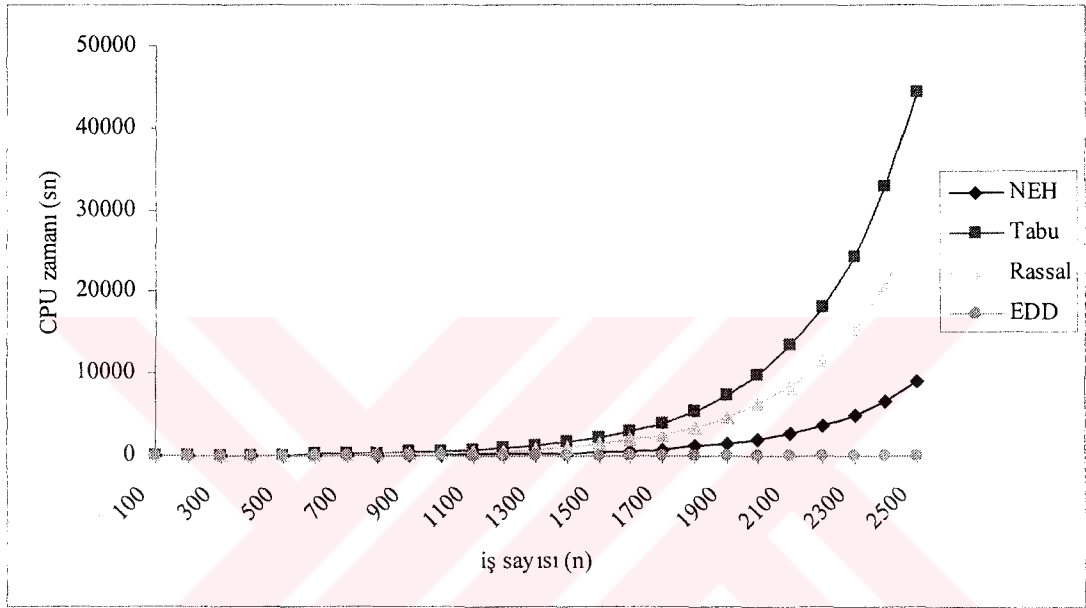
Ek-41. $n/2/\alpha \sum C + \beta \sum T$ probleminin $\alpha=0,75$ ve $\beta=0,25$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda çözüm kalitesi ve CPU zamanları (sn)

n	Çözüm kalitesi				CPU zamanı (sn)			
	NEH	Tabu	Rassal	EDD	NEH	Tabu	Rassal	EDD
100	0,9988	1,0000	0,7848	0,7325	0,4680	3,8280	1,3120	<0,1
200	0,9997	1,0000	0,7241	0,6918	2,1870	10,1400	5,8750	<0,1
300	0,9996	1,0000	0,7512	0,7434	5,2340	40,3280	10,0470	<0,1
400	0,9993	1,0000	0,7524	0,7764	9,7660	44,1250	17,5160	<0,1
500	0,9997	1,0000	0,7101	0,7399	17,1870	107,0940	30,1100	<0,1
600	0,9998	1,0000	0,7184	0,7669	26,5310	160,6250	47,6560	<0,1
700	0,9998	1,0000	0,7190	0,7878	38,2190	193,9690	79,8750	<0,1
800	0,9996	1,0000	0,6957	0,7416	56,6870	325,7030	128,5940	<0,1
900	0,9997	1,0000	0,6998	0,7946	75,4370	584,2500	199,3280	<0,1
1000	0,9998	1,0000	0,7161	0,7607	100,9220	492,7500	311,2660	<0,1
1100	0,9974	1,0000	0,7238	0,7913	136,2447	665,2125	420,2091	<0,1
1200	0,9967	1,0000	0,7319	0,7820	183,9303	898,0369	567,2823	<0,1
1300	0,9984	1,0000	0,7017	0,7781	248,3060	1212,3498	765,8311	<0,1
1400	0,9984	1,0000	0,7286	0,7847	335,2131	1636,6722	1033,8720	<0,1
1500	0,9979	1,0000	0,7229	0,7593	452,5376	2209,5075	1395,7272	<0,1
1600	0,9978	1,0000	0,7821	0,7871	610,9258	2982,8351	1884,2317	<0,1
1700	0,9983	1,0000	0,7319	0,7585	824,7498	4026,8274	2543,7127	<0,1
1800	0,9970	1,0000	0,7432	0,7795	1113,4123	5436,2170	3434,0122	<0,1
1900	0,9989	1,0000	0,7406	0,7708	1503,1065	7338,8929	4635,9165	<0,1
2000	0,9981	1,0000	0,7467	0,7827	2029,1938	9907,5054	6258,4872	<0,1
2100	0,9971	1,0000	0,7383	0,7802	2739,4117	13375,1323	8448,9577	<0,1
2200	0,9986	1,0000	0,7014	0,7835	3698,2058	18056,4286	11406,0930	<0,1
2300	0,9978	1,0000	0,7739	0,7816	4992,5778	24376,1786	15398,2255	<0,1
2400	0,9961	1,0000	0,7018	0,7897	6739,9800	32907,8411	20787,6044	<0,1
2500	0,9990	1,0000	0,7094	0,7841	9098,9730	44425,5855	28063,2660	<0,1
ortalama	0,9985	1,0000	0,7300	0,7691				

Ek-42. $n/2/\alpha \sum C + \beta \sum T$ probleminin $\alpha=0,75$ ve $\beta=0,25$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi



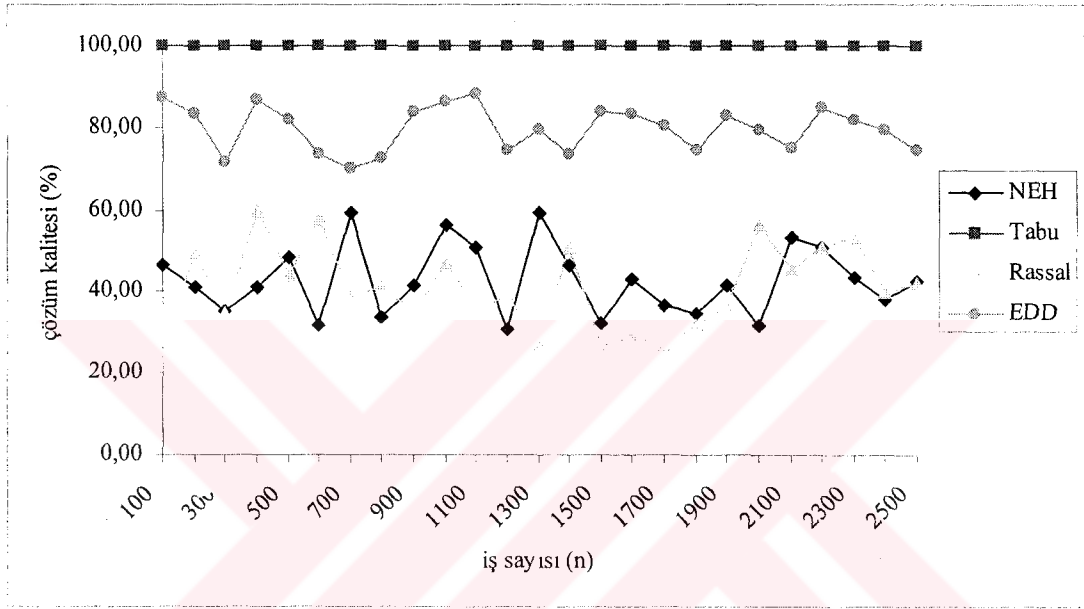
Ek-43. $n/2/\alpha \sum C + \beta \sum T$ probleminin $\alpha=0,75$ ve $\beta=0,25$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm süresi



Ek-44. $n/2/\beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin $\beta=0,50$ ve $\beta=0,50$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda çözüm kalitesi ve CPU zamanları (sn)

n	Çözüm kalitesi				CPU zamanı (sn)			
	NEH	Tabu	Rassal	EDD	NEH	Tabu	Rassal	EDD
100	0,4647	1,0000	0,2773	0,8727	0,453	3,750	1,625	< 0,1
200	0,4113	1,0000	0,4956	0,8333	2,125	17,797	0,062	< 0,1
300	0,3547	1,0000	0,3492	0,7134	5,110	88,547	8,266	< 0,1
400	0,4137	1,0000	0,5969	0,8655	10,266	136,828	16,656	< 0,1
500	0,4853	1,0000	0,4420	0,8192	17,297	177,799	77,063	< 0,1
600	0,3174	1,0000	0,5806	0,7355	29,281	244,188	106,409	< 0,1
700	0,5907	1,0000	0,3946	0,7029	35,485	327,083	141,848	< 0,1
800	0,3374	1,0000	0,4100	0,7257	48,198	395,068	176,305	< 0,1
900	0,4175	1,0000	0,3514	0,8393	65,546	541,827	241,223	< 0,1
1000	0,5657	1,0000	0,4729	0,8631	81,534	715,341	303,138	< 0,1
1100	0,5104	1,0000	0,3589	0,8844	99,246	933,772	381,514	< 0,1
1200	0,3076	1,0000	0,3900	0,7430	123,394	1215,087	494,283	< 0,1
1300	0,5919	1,0000	0,2715	0,7962	170,573	1695,957	621,080	< 0,1
1400	0,4672	1,0000	0,5089	0,7354	235,490	2195,568	821,136	< 0,1
1500	0,3248	1,0000	0,2624	0,8362	302,737	2648,155	1122,992	< 0,1
1600	0,4325	1,0000	0,2899	0,8354	398,571	3464,240	1493,528	< 0,1
1700	0,3653	1,0000	0,2714	0,8041	529,209	4824,355	1855,307	< 0,1
1800	0,3469	1,0000	0,3210	0,7456	737,755	6383,667	2268,865	< 0,1
1900	0,4149	1,0000	0,3665	0,8289	1029,445	8626,856	2757,863	< 0,1
2000	0,3206	1,0000	0,5614	0,7925	1356,674	11155,447	3408,220	< 0,1
2100	0,5328	1,0000	0,4547	0,7523	1657,856	13899,908	4471,522	< 0,1
2200	0,5101	1,0000	0,5087	0,8470	2014,774	16717,320	6225,466	< 0,1
2300	0,4380	1,0000	0,5332	0,8185	2631,444	21543,221	8674,354	< 0,1
2400	0,3848	1,0000	0,4011	0,7954	3395,841	28782,646	11327,240	< 0,1
2500	0,4274	1,0000	0,4227	0,7454	4104,990	37707,200	15271,990	< 0,1
ortalama	0,4293	1,0000	0,4117	0,7972				

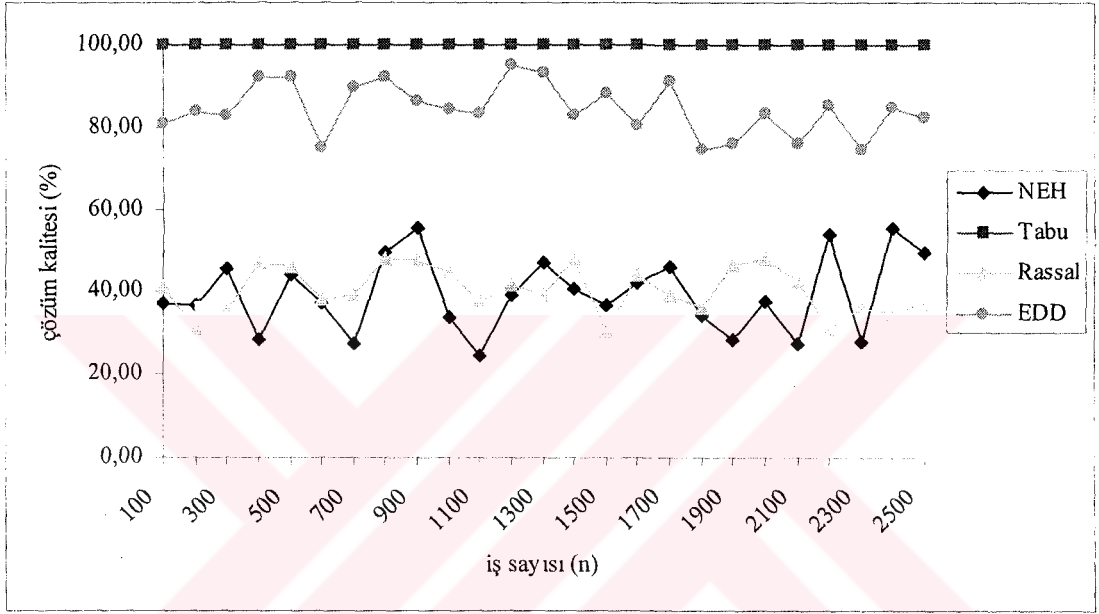
Ek-45. $n/2/\beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin $\beta=0,50$ ve $\gamma=0,50$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi



Ek-46. $n/2/\beta\sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin $\beta=0,75$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda çözüm kalitesi ve CPU zamanları (sn)

n	Çözüm kalitesi				CPU zamanı (sn)			
	NEH	Tabu	Rassal	EDD	NEH	Tabu	Rassal	EDD
100	0,3713	1,0000	0,4100	0,8077	0,469	3,797	2,735	< 0,1
200	0,3656	1,0000	0,3111	0,8395	2,078	17,922	12,703	< 0,1
300	0,4575	1,0000	0,3543	0,8281	5,187	90,407	12,515	< 0,1
400	0,2862	1,0000	0,4716	0,9232	10,047	135,187	24,797	< 0,1
500	0,4409	1,0000	0,4617	0,9204	16,657	173,359	36,703	< 0,1
600	0,3719	1,0000	0,3809	0,7494	21,207	231,698	46,953	< 0,1
700	0,2721	1,0000	0,3925	0,8947	29,635	285,946	60,974	< 0,1
800	0,4943	1,0000	0,4814	0,9216	39,825	358,788	83,757	< 0,1
900	0,5541	1,0000	0,4741	0,8614	50,196	439,344	102,927	< 0,1
1000	0,3403	1,0000	0,4476	0,8452	68,449	570,424	140,441	< 0,1
1100	0,2457	1,0000	0,3792	0,8322	89,051	776,272	178,171	< 0,1
1200	0,3901	1,0000	0,4183	0,9496	124,042	1037,750	228,995	< 0,1
1300	0,4715	1,0000	0,3915	0,9327	152,231	1371,998	302,110	< 0,1
1400	0,4070	1,0000	0,4809	0,8261	191,093	1766,437	410,138	< 0,1
1500	0,3671	1,0000	0,3056	0,8838	262,782	2306,032	499,182	< 0,1
1600	0,4204	1,0000	0,4391	0,8042	318,001	2931,493	629,394	< 0,1
1700	0,4629	1,0000	0,3936	0,9142	434,211	4020,618	789,997	< 0,1
1800	0,3434	1,0000	0,3610	0,7471	526,253	5620,743	1004,958	< 0,1
1900	0,2839	1,0000	0,4673	0,7576	657,991	6755,529	1376,419	< 0,1
2000	0,3782	1,0000	0,4806	0,8352	895,074	8296,148	1873,872	< 0,1
2100	0,2763	1,0000	0,4245	0,7589	1150,795	11219,097	2357,819	< 0,1
2200	0,5387	1,0000	0,3120	0,8552	1474,552	13867,328	2878,693	< 0,1
2300	0,2789	1,0000	0,3651	0,7438	1799,248	17434,000	3543,425	< 0,1
2400	0,5522	1,0000	0,3467	0,8461	2199,540	24404,973	4437,199	< 0,1
2500	0,4937	1,0000	0,3709	0,8233	3063,918	33245,609	5499,893	< 0,1
ortalama	0,3946	1,0000	0,4049	0,8440				

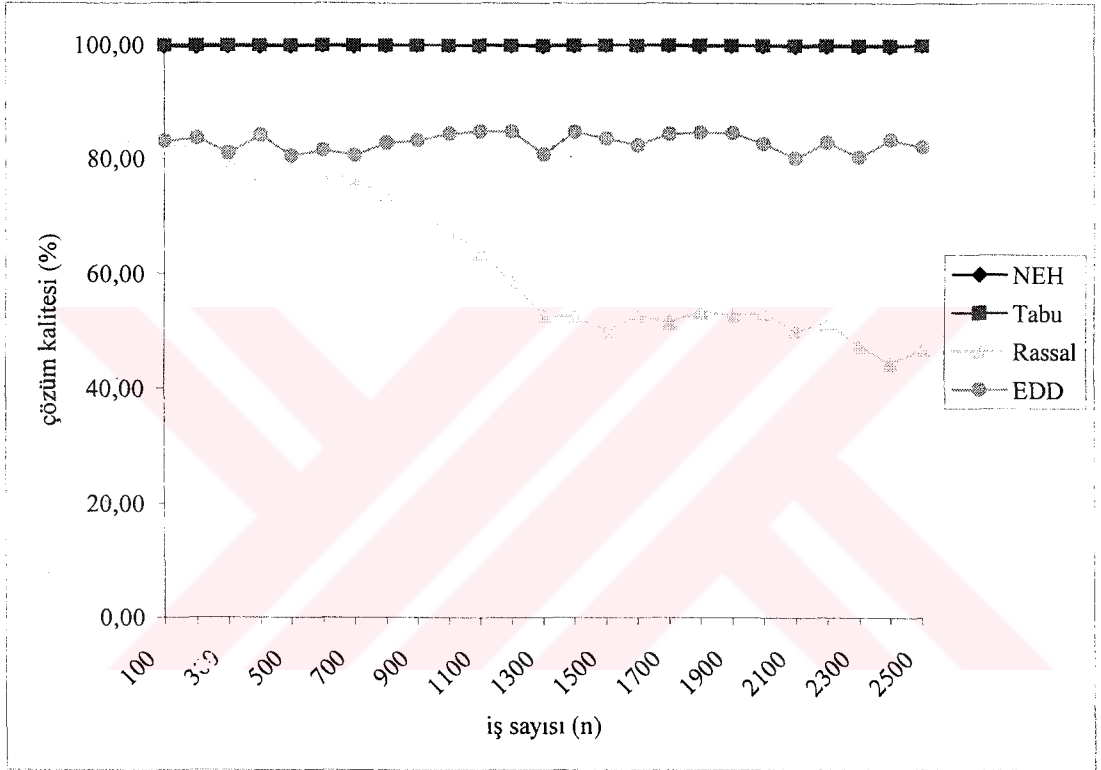
Ek-47. $n/2/\beta\sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin $\beta=0,75$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi



Ek-48. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,25$; $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,50$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda çözüm kalitesi ve CPU zamanları (sn)

n	Çözüm kalitesi			
	NEH	Tabu	Rassal	EDD
100	0,9981	1,0000	0,8244	0,8315
200	0,9971	1,0000	0,8222	0,8367
300	0,9977	1,0000	0,7943	0,8112
400	0,9982	1,0000	0,7730	0,8416
500	0,9976	1,0000	0,7785	0,8053
600	0,9988	1,0000	0,7733	0,8149
700	0,9976	1,0000	0,7645	0,8059
800	0,9990	1,0000	0,7347	0,8282
900	0,9997	1,0000	0,7024	0,8325
1000	0,9995	1,0000	0,6743	0,8451
1100	0,9983	1,0000	0,6362	0,8484
1200	0,9993	1,0000	0,5848	0,8482
1300	0,9977	1,0000	0,5286	0,8087
1400	0,9990	1,0000	0,5265	0,8473
1500	0,9996	1,0000	0,5005	0,8352
1600	0,9997	1,0000	0,5268	0,8247
1700	0,9986	1,0000	0,5162	0,8437
1800	0,9981	1,0000	0,5343	0,8460
1900	0,9989	1,0000	0,5285	0,8462
2000	0,9991	1,0000	0,5313	0,8264
2100	0,9980	1,0000	0,5004	0,8021
2200	0,9976	1,0000	0,5138	0,8291
2300	0,9975	1,0000	0,4755	0,8025
2400	0,9973	1,0000	0,4437	0,8334
2500	0,9998	1,0000	0,4697	0,8207
ortalama	0,9985	1,0000	0,6183	0,8286

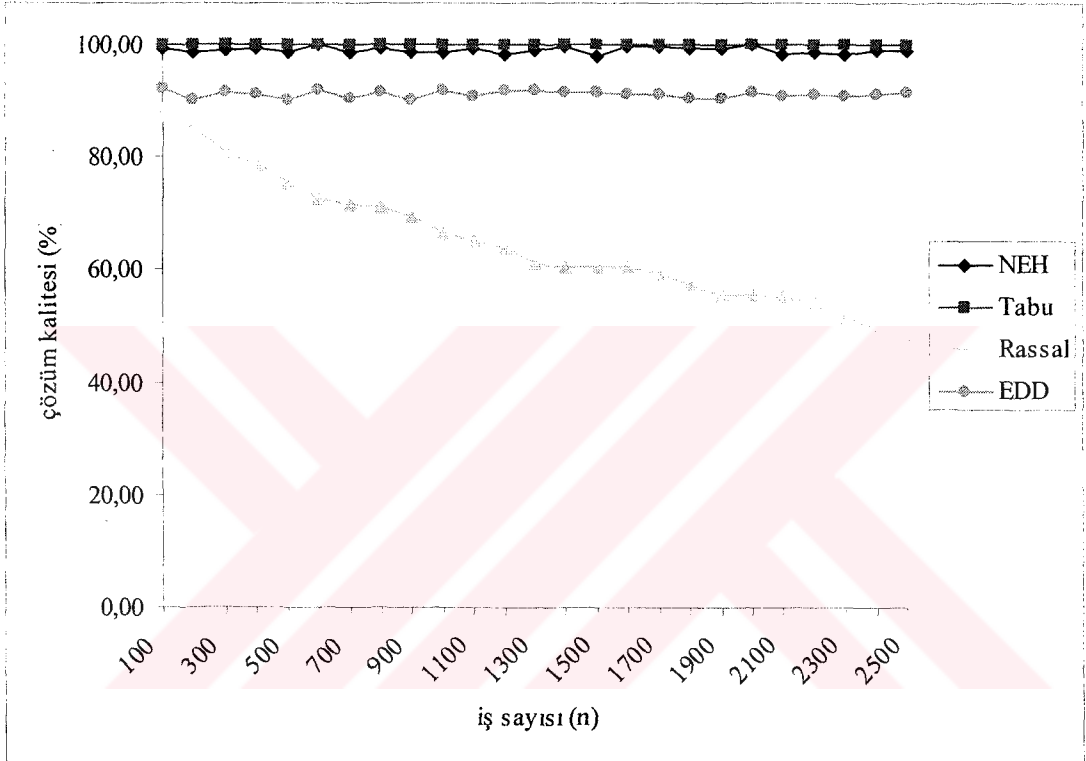
Ek-49. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,25$; $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,50$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi



Ek-50. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,25$; $\beta=0,50$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda çözüm kalitesi ve CPU zamanları (sn)

n	Çözüm kalitesi			
	NEH	Tabu	Rassal	EDD
100	0,9928	1,0000	0,8770	0,9200
200	0,9859	1,0000	0,8504	0,9007
300	0,9884	1,0000	0,8086	0,9146
400	0,9937	1,0000	0,7850	0,9110
500	0,9851	1,0000	0,7540	0,9015
600	0,9988	1,0000	0,7244	0,9165
700	0,9863	1,0000	0,7149	0,9055
800	0,9928	1,0000	0,7130	0,9154
900	0,9852	1,0000	0,6922	0,9006
1000	0,9858	1,0000	0,6648	0,9184
1100	0,9932	1,0000	0,6524	0,9061
1200	0,9817	1,0000	0,6417	0,9170
1300	0,9887	1,0000	0,6123	0,9175
1400	0,9955	1,0000	0,6048	0,9162
1500	0,9801	1,0000	0,6038	0,9133
1600	0,9965	1,0000	0,6037	0,9099
1700	0,9975	1,0000	0,5927	0,9099
1800	0,9927	1,0000	0,5746	0,9028
1900	0,9914	1,0000	0,5566	0,9050
2000	0,9994	1,0000	0,5549	0,9149
2100	0,9817	1,0000	0,5517	0,9091
2200	0,9846	1,0000	0,5413	0,9101
2300	0,9833	1,0000	0,5173	0,9084
2400	0,9888	1,0000	0,4988	0,9099
2500	0,9889	1,0000	0,4777	0,9143
ortalama	0,9928	1,0000	0,8770	0,9200

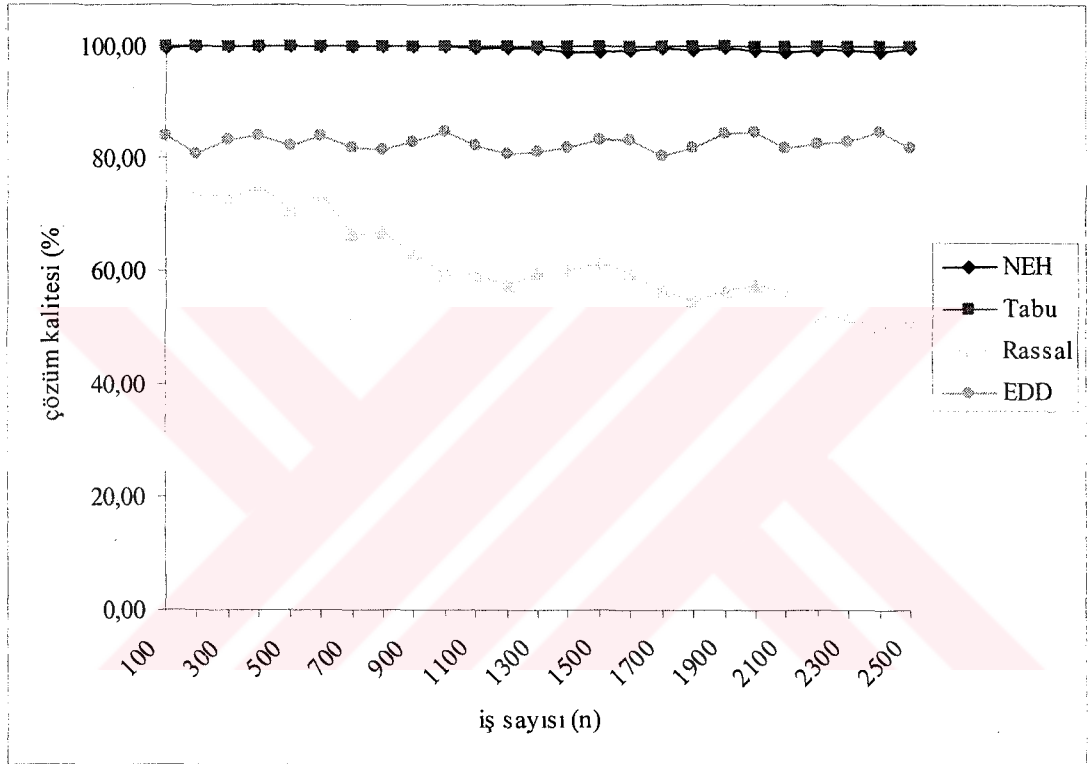
Ek-51. $n/2/\alpha \sum C + \beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,25$; $\beta=0,50$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi



Ek-52. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,50$; $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda çözüm kalitesi ve CPU zamanları (sn)

n	Çözüm kalitesi			
	NEH	Tabu	Rassal	EDD
100	0,9958	1,0000	0,8221	0,8409
200	0,9996	1,0000	0,7450	0,8091
300	0,9996	1,0000	0,7247	0,8326
400	0,9993	1,0000	0,7519	0,8390
500	0,9997	1,0000	0,7095	0,8206
600	0,9997	1,0000	0,7383	0,8391
700	0,9997	1,0000	0,6647	0,8193
800	0,9993	1,0000	0,6688	0,8134
900	0,9994	1,0000	0,6320	0,8279
1000	0,9995	1,0000	0,5943	0,8462
1100	0,9971	1,0000	0,5941	0,8223
1200	0,9980	1,0000	0,5782	0,8085
1300	0,9982	1,0000	0,5987	0,8124
1400	0,9907	1,0000	0,6017	0,8190
1500	0,9906	1,0000	0,6143	0,8310
1600	0,9917	1,0000	0,5973	0,8344
1700	0,9973	1,0000	0,5648	0,8047
1800	0,9946	1,0000	0,5470	0,8173
1900	0,9952	1,0000	0,5675	0,8444
2000	0,9944	1,0000	0,5750	0,8476
2100	0,9900	1,0000	0,5653	0,8190
2200	0,9931	1,0000	0,5210	0,8253
2300	0,9919	1,0000	0,5185	0,8297
2400	0,9903	1,0000	0,4969	0,8463
2500	0,9969	1,0000	0,5127	0,8188
ortalama	0,9961	1,0000	0,6202	0,8267

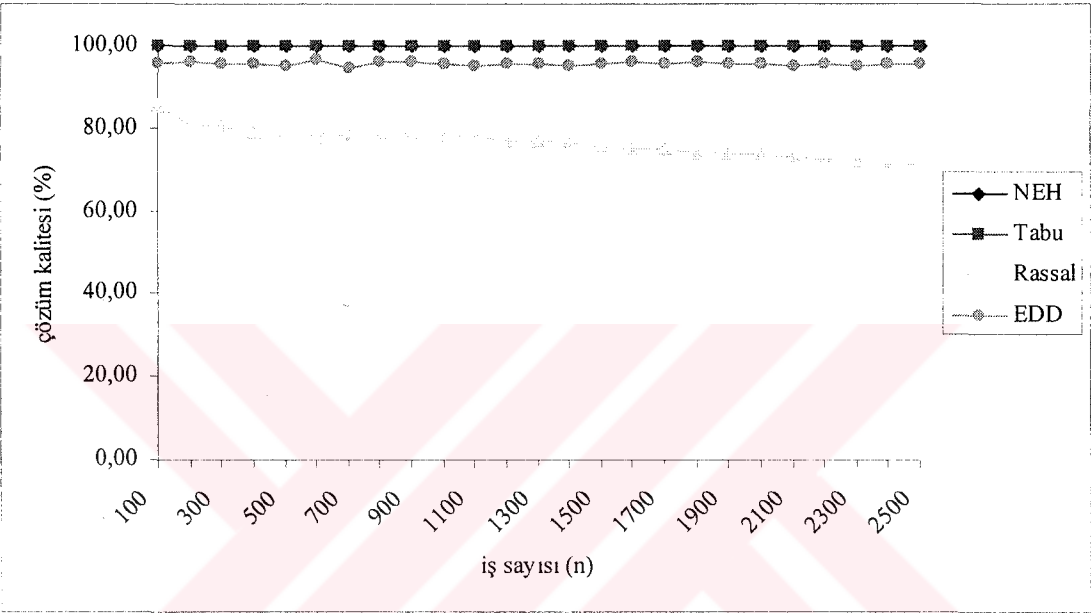
Ek-53. $n/2/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,50$; $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda sezgisellerin çözüm kalitesi



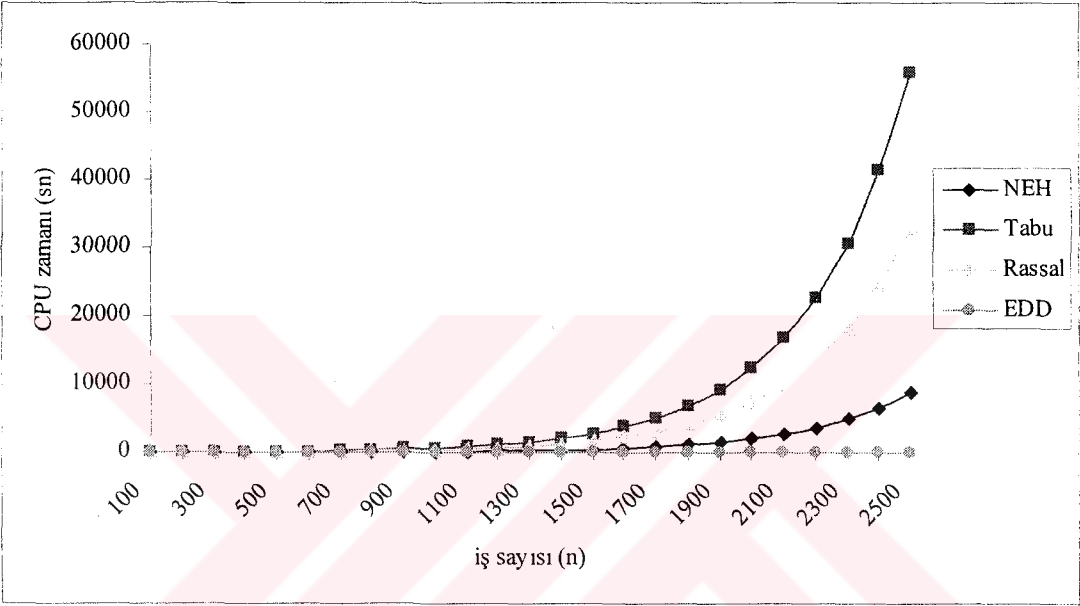
Ek-54. $n/2/s_{ji}/\alpha \sum C + \beta \sum T$ probleminin $\alpha=0,50$ ve $\beta=0,50$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda çözüm kalitesi ve CPU zamanları (sn)

n	Çözüm kalitesi				CPU zamanı (sn)			
	NEH	Tabu	Rassal	EDD	NEH	Tabu	Rassal	EDD
100	0,9997	1,0000	0,8522	0,9568	0,4690	4,1250	1,3120	< 0,1
200	0,9995	1,0000	0,8084	0,9592	2,1410	13,5630	3,5620	< 0,1
300	0,9998	1,0000	0,8038	0,9561	5,2810	39,4530	17,0620	< 0,1
400	0,9997	1,0000	0,7909	0,9578	10,0310	59,8130	22,1870	< 0,1
500	0,9999	1,0000	0,7935	0,9504	16,8750	111,3910	32,0940	< 0,1
600	0,9999	1,0000	0,7809	0,9639	26,1400	145,7970	55,1250	< 0,1
700	0,9999	1,0000	0,7848	0,9472	38,0630	200,0940	98,4220	< 0,1
800	0,9997	1,0000	0,7908	0,9626	55,6560	345,9530	149,1100	< 0,1
900	0,9999	1,0000	0,7879	0,9632	75,6410	473,2810	199,3280	< 0,1
1000	0,9999	1,0000	0,7860	0,9573	98,1250	621,1720	366,5780	< 0,1
1100	0,9996	1,0000	0,7792	0,9521	132,4688	838,5822	494,8803	< 0,1
1200	0,9995	1,0000	0,7705	0,9576	178,8328	1132,0860	668,0884	< 0,1
1300	0,9994	1,0000	0,7679	0,9555	241,4243	1528,3161	901,9193	< 0,1
1400	0,9999	1,0000	0,7638	0,9519	325,9228	2063,2267	1217,5911	< 0,1
1500	0,9997	1,0000	0,7571	0,9580	439,9958	2785,3560	1643,7480	< 0,1
1600	0,9996	1,0000	0,7518	0,9593	593,9943	3760,2306	2219,0598	< 0,1
1700	0,9999	1,0000	0,7476	0,9562	801,8923	5076,3113	2995,7307	< 0,1
1800	0,9997	1,0000	0,7404	0,9588	1082,5546	6853,0203	4044,2365	< 0,1
1900	0,9998	1,0000	0,7380	0,9560	1461,4487	9251,5774	5459,7193	< 0,1
2000	0,9995	1,0000	0,7351	0,9578	1972,9558	12489,6295	7370,6210	< 0,1
2100	0,9994	1,0000	0,7315	0,9531	2663,4903	16860,9999	9950,3384	< 0,1
2200	0,9995	1,0000	0,7252	0,9536	3595,7119	22762,3498	13432,9568	< 0,1
2300	0,9994	1,0000	0,7221	0,9512	4854,2111	30729,1722	18134,4917	< 0,1
2400	0,9996	1,0000	0,7200	0,9545	6553,1850	41484,3825	24481,5638	< 0,1
2500	0,9998	1,0000	0,7116	0,9582	8846,7998	56003,9164	33050,1112	< 0,1
ortalama	0,9997	1,0000	0,7656	0,9563				

Ek-55. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminin $\alpha=0,50$ ve $\beta=0,50$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi



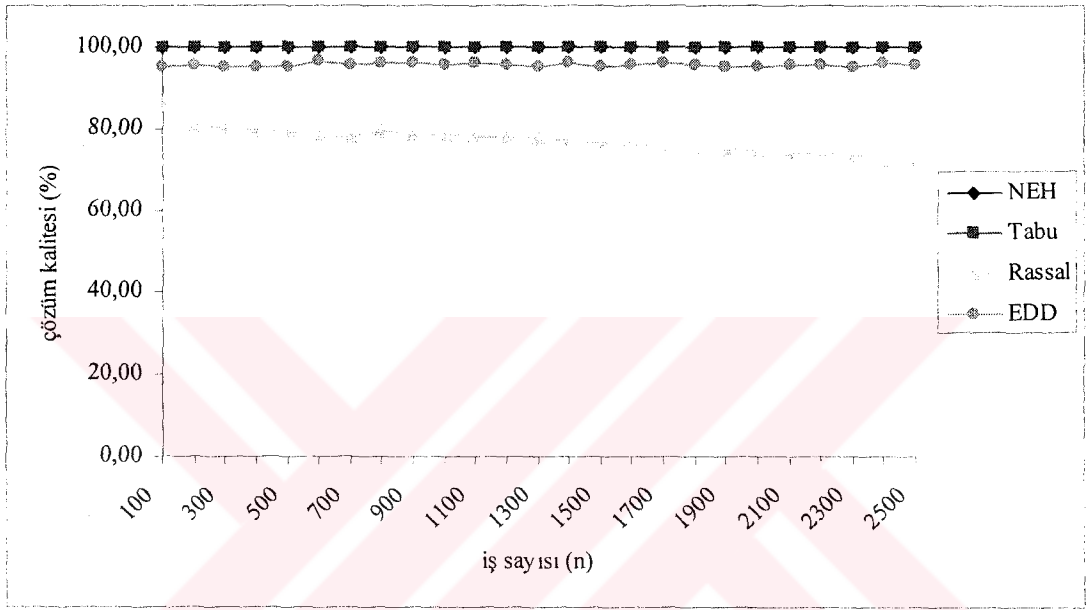
Ek-56. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminin $\alpha=0,50$ ve $\beta=0,50$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm süresi



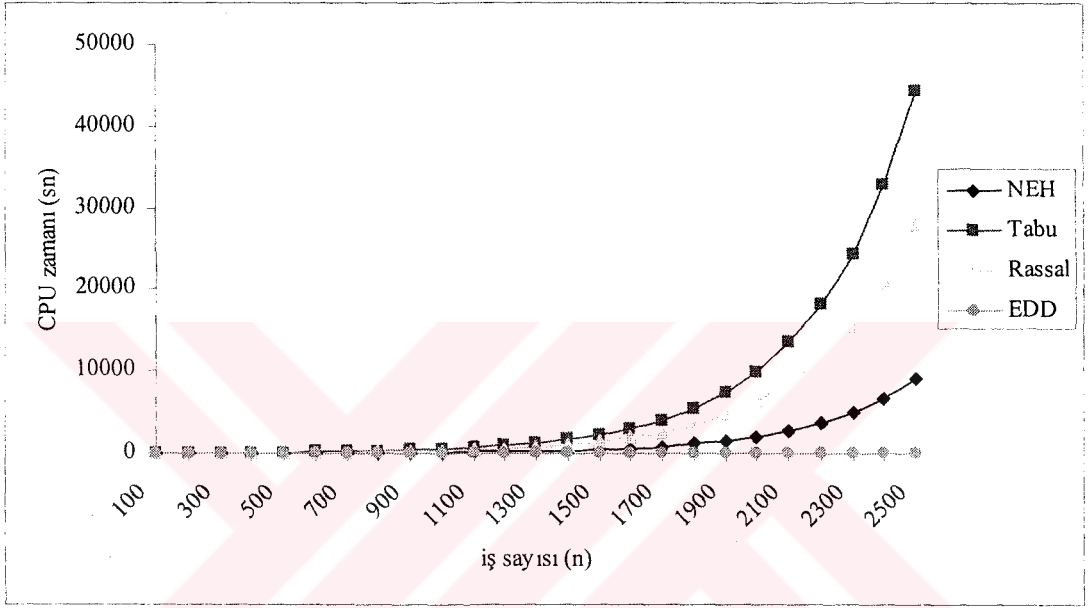
Ek-57. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminin $\alpha=0,75$ ve $\beta=0,25$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda çözüm kalitesi ve CPU zamanları (sn)

n	Çözüm kalitesi				CPU zamanı (sn)			
	NEH	Tabu	Rassal	EDD	NEH	Tabu	Rassal	EDD
100	0,9995	1,0000	0,8576	0,9523	0,4680	3,8280	1,3120	< 0,1
200	0,9995	1,0000	0,8031	0,9554	2,1870	10,1400	5,8750	< 0,1
300	0,9998	1,0000	0,8020	0,9506	5,2340	40,3280	10,0470	< 0,1
400	0,9998	1,0000	0,7924	0,9516	9,7660	44,1250	17,5160	< 0,1
500	0,9999	1,0000	0,7958	0,9506	17,1870	107,0940	30,1100	< 0,1
600	0,9999	1,0000	0,7791	0,9640	26,5310	160,6250	47,6560	< 0,1
700	0,9995	1,0000	0,7817	0,9564	38,2190	193,9690	79,8750	< 0,1
800	0,9997	1,0000	0,7952	0,9626	56,6870	325,7030	128,5940	< 0,1
900	0,9999	1,0000	0,7848	0,9631	75,4370	584,2500	199,3280	< 0,1
1000	0,9999	1,0000	0,7865	0,9574	100,9220	492,7500	311,2660	< 0,1
1100	0,9995	1,0000	0,7806	0,9585	136,2447	665,2125	420,2091	< 0,1
1200	0,9997	1,0000	0,7771	0,9569	183,9303	898,0369	567,2823	< 0,1
1300	0,9998	1,0000	0,7752	0,9519	248,3060	1212,3498	765,8311	< 0,1
1400	0,9996	1,0000	0,7674	0,9597	335,2131	1636,6722	1033,8720	< 0,1
1500	0,9999	1,0000	0,7648	0,9530	452,5376	2209,5075	1395,7272	< 0,1
1600	0,9998	1,0000	0,7585	0,9536	610,9258	2982,8351	1884,2317	< 0,1
1700	0,9996	1,0000	0,7544	0,9587	824,7498	4026,8274	2543,7127	< 0,1
1800	0,9994	1,0000	0,7525	0,9561	1113,4123	5436,2170	3434,0122	< 0,1
1900	0,9998	1,0000	0,7489	0,9518	1503,1065	7338,8929	4635,9165	< 0,1
2000	0,9998	1,0000	0,7466	0,9517	2029,1938	9907,5054	6258,4872	< 0,1
2100	0,9997	1,0000	0,7424	0,9547	2739,4117	13375,1323	8448,9577	< 0,1
2200	0,9996	1,0000	0,7401	0,9541	3698,2058	18056,4286	11406,0930	< 0,1
2300	0,9996	1,0000	0,7331	0,9508	4992,5778	24376,1786	15398,2255	< 0,1
2400	0,9994	1,0000	0,7278	0,9586	6739,9800	32907,8411	20787,6044	< 0,1
2500	0,9996	1,0000	0,7212	0,9542	9098,9730	44425,5855	28063,2660	< 0,1
ortalama	0,9997	1,0000	0,7707	0,9555				

Ek-58. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminin $\alpha=0,75$ ve $\beta=0,25$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi



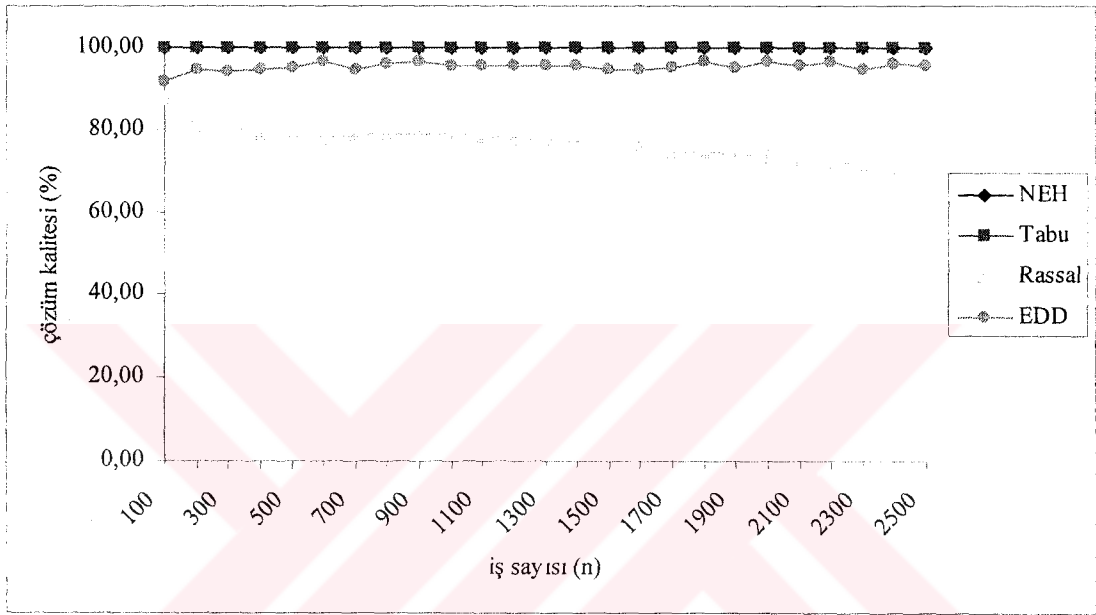
Ek-59. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T$ probleminin $\alpha=0,75$ ve $\beta=0,25$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm süresi



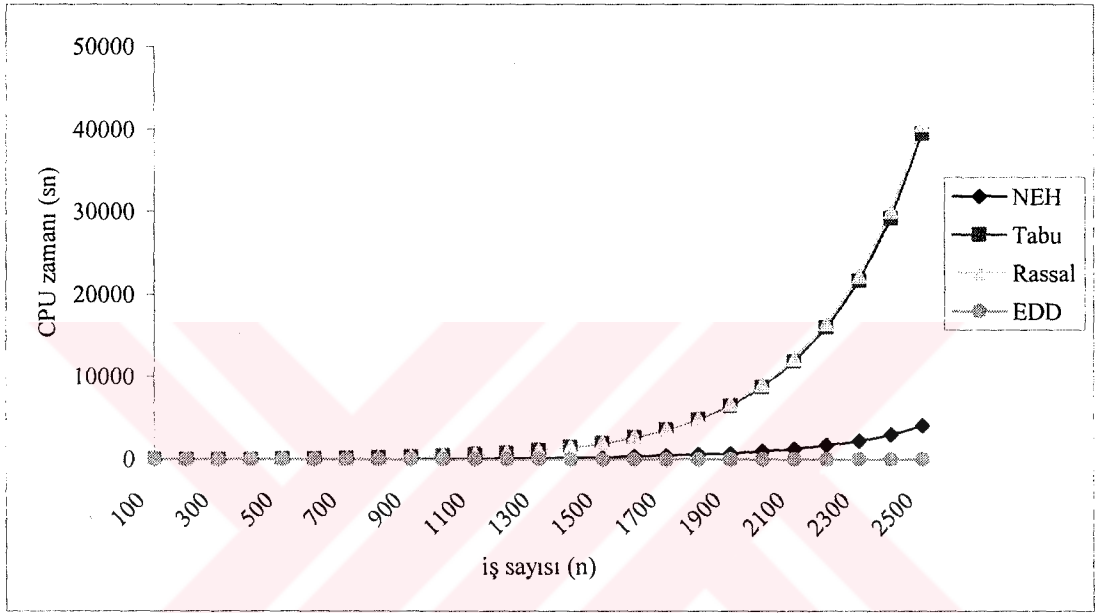
Ek-60. $n/2/s_{ji}/\beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin $\beta=0,50$ ve $\gamma=0,50$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda çözüm kalitesi ve CPU zamanları (sn)

n	Çözüm kalitesi				CPU zamanı (sn)			
	NEH	Tabu	Rassal	EDD	NEH	Tabu	Rassal	EDD
100	0,9994	1,0000	0,8764	0,9147	0,3750	2,7810	0,7500	< 0,1
200	0,9998	1,0000	0,8030	0,9463	1,5940	6,2660	3,4850	< 0,1
300	0,9999	1,0000	0,8076	0,9427	4,1560	20,6720	21,2190	< 0,1
400	0,9999	1,0000	0,7907	0,9482	8,1250	26,9690	40,6250	< 0,1
500	0,9995	1,0000	0,7959	0,9508	13,1250	74,0310	65,4060	< 0,1
600	0,9999	1,0000	0,7771	0,9644	22,3590	94,9220	101,2820	< 0,1
700	0,9999	1,0000	0,7857	0,9481	30,6880	153,9690	148,4220	< 0,1
800	0,9990	1,0000	0,7914	0,9627	44,3910	261,4220	219,9690	< 0,1
900	0,9999	1,0000	0,7885	0,9644	60,1880	333,0160	324,8130	< 0,1
1000	0,9993	1,0000	0,7892	0,9576	77,3440	457,3440	442,2970	< 0,1
1100	0,9990	1,0000	0,7866	0,9550	101,0251	591,3603	607,9231	< 0,1
1200	0,9992	1,0000	0,7793	0,9543	123,7922	798,3364	820,6962	< 0,1
1300	0,9995	1,0000	0,7753	0,9578	162,5238	1077,7541	1107,9398	< 0,1
1400	0,9997	1,0000	0,7680	0,9551	226,8178	1454,9680	1495,7188	< 0,1
1500	0,9989	1,0000	0,7609	0,9477	272,6094	1964,2068	2019,2204	< 0,1
1600	0,9996	1,0000	0,7533	0,9475	375,2132	2651,6792	2725,9475	< 0,1
1700	0,9994	1,0000	0,7475	0,9516	464,4695	3579,7670	3680,0291	< 0,1
1800	0,9990	1,0000	0,7428	0,9677	592,7865	4832,6854	4968,0393	< 0,1
1900	0,9990	1,0000	0,7379	0,9503	740,9033	6524,1253	6706,8531	< 0,1
2000	0,9991	1,0000	0,7332	0,9637	1013,6540	8807,5691	9054,2516	< 0,1
2100	0,9994	1,0000	0,7264	0,9542	1290,8317	11890,2183	12223,2397	< 0,1
2200	0,9993	1,0000	0,7205	0,9670	1725,3915	16051,7947	16501,3736	< 0,1
2300	0,9994	1,0000	0,7139	0,9480	2229,3730	21669,9229	22276,8544	< 0,1
2400	0,9998	1,0000	0,7057	0,9625	2955,9442	29254,3959	30073,7534	< 0,1
2500	0,9995	1,0000	0,6995	0,9575	4102,4959	39493,4345	40599,5671	< 0,1
ortalama	0,9995	1,0000	0,7663	0,9536				

Ek-61. $n/2/s_{ji}/\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\beta=0,50$ ve $\gamma=0,50$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi



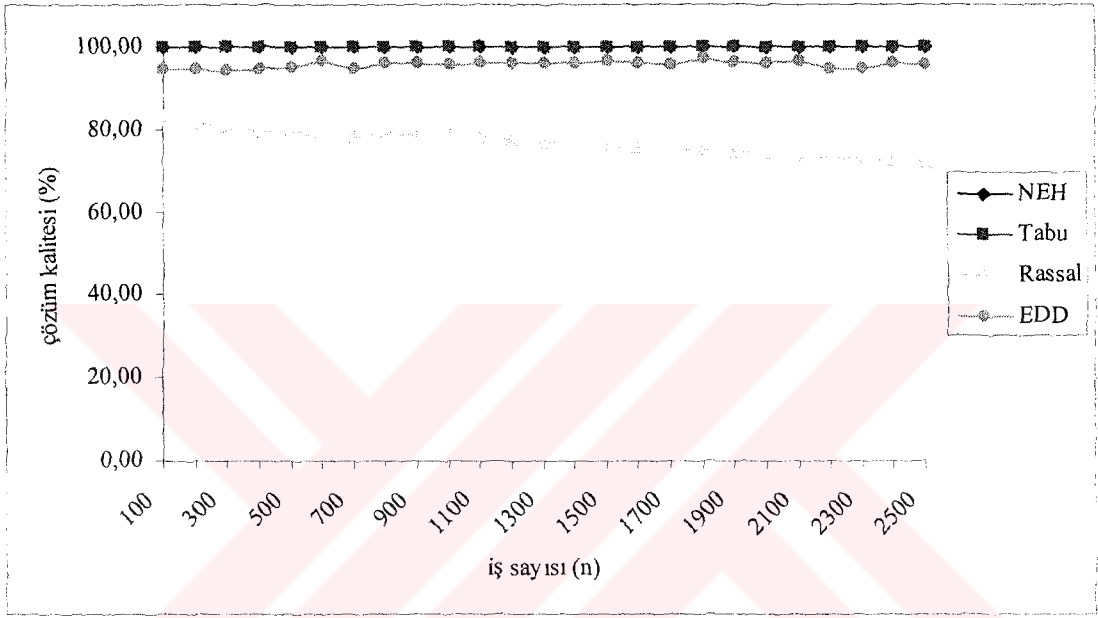
Ek-62. $n/2/s_{ji}/\beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin $\beta=0,50$ ve $\gamma=0,50$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm süresi



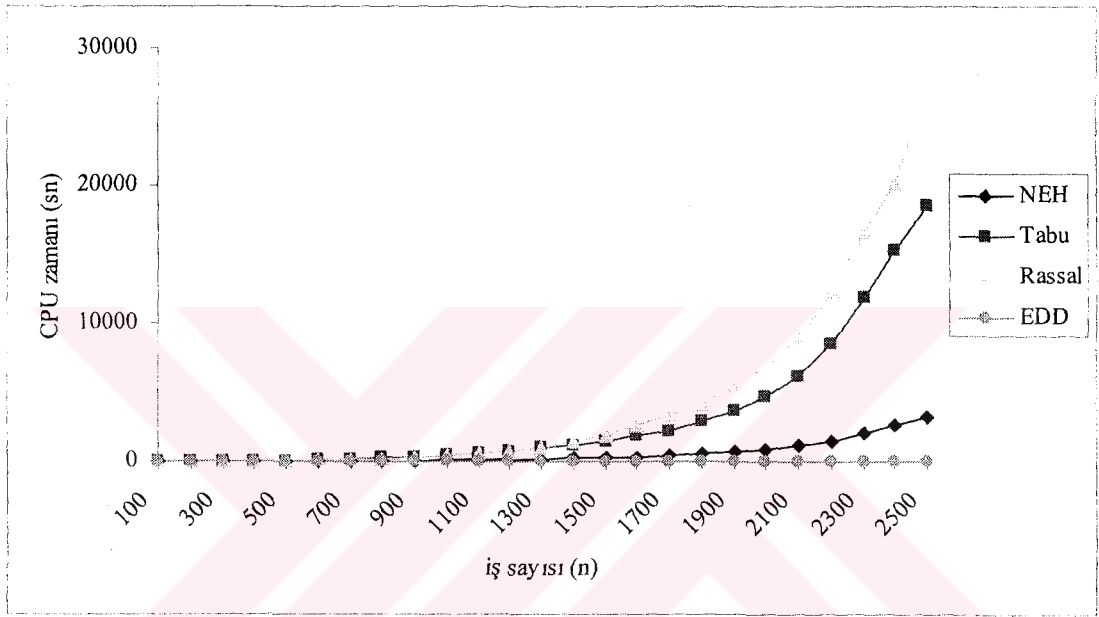
Ek-63. $n/2/s_{ji}/\beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin $\beta=0,75$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda çözüm kalitesi ve CPU zamanları (sn)

n	Çözüm kalitesi				CPU zamanı (sn)			
	NEH	Tabu	Rassal	EDD	NEH	Tabu	Rassal	EDD
100	0,9991	1,0000	0,8267	0,9478	0,375	2,359	0,516	< 0,1
200	0,9998	1,0000	0,8138	0,9461	1,625	8,250	0,141	< 0,1
300	0,9997	1,0000	0,8078	0,9420	4,172	25,609	1,172	< 0,1
400	0,9999	1,0000	0,7919	0,9484	8,156	27,281	11,047	< 0,1
500	0,9999	1,0000	0,7978	0,9506	13,218	52,453	25,937	< 0,1
600	0,9999	1,0000	0,7771	0,9637	22,656	84,985	78,031	< 0,1
700	0,9999	1,0000	0,7799	0,9471	31,000	128,328	107,843	< 0,1
800	0,9999	1,0000	0,7919	0,9625	44,265	227,219	178,171	< 0,1
900	0,9999	1,0000	0,7865	0,9631	60,360	341,906	269,109	< 0,1
1000	0,9994	1,0000	0,7852	0,9571	77,109	435,187	425,922	< 0,1
1100	0,9996	1,0000	0,7832	0,9604	99,767	547,307	568,029	< 0,1
1200	0,9996	1,0000	0,7765	0,9619	132,357	710,408	778,845	< 0,1
1300	0,9991	1,0000	0,7675	0,9631	178,496	959,486	1074,880	< 0,1
1400	0,9990	1,0000	0,7659	0,9585	240,308	1167,604	1448,453	< 0,1
1500	0,9999	1,0000	0,7603	0,9643	293,067	1479,593	1911,016	< 0,1
1600	0,9995	1,0000	0,7566	0,9626	352,335	1862,859	2624,642	< 0,1
1700	0,9994	1,0000	0,7539	0,9539	423,874	2278,914	3347,440	< 0,1
1800	0,9993	1,0000	0,7491	0,9688	563,104	2928,509	4147,300	< 0,1
1900	0,9990	1,0000	0,7460	0,9630	753,897	3737,553	5549,292	< 0,1
2000	0,9999	1,0000	0,7408	0,9586	926,542	4633,973	6793,333	< 0,1
2100	0,9993	1,0000	0,7354	0,9651	1190,308	6143,662	8934,706	< 0,1
2200	0,9991	1,0000	0,7317	0,9476	1500,810	8587,207	12389,138	< 0,1
2300	0,9995	1,0000	0,7293	0,9483	2002,247	11946,406	16629,232	< 0,1
2400	0,9997	1,0000	0,7277	0,9632	2702,669	15339,434	20118,474	< 0,1
2500	0,9993	1,0000	0,7195	0,9539	3249,153	18570,151	26985,949	< 0,1
ortalama	0,9996	1,0000	0,7656	0,9572				

Ek-64. $n/2/s_{ji}/\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\beta=0,75$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi



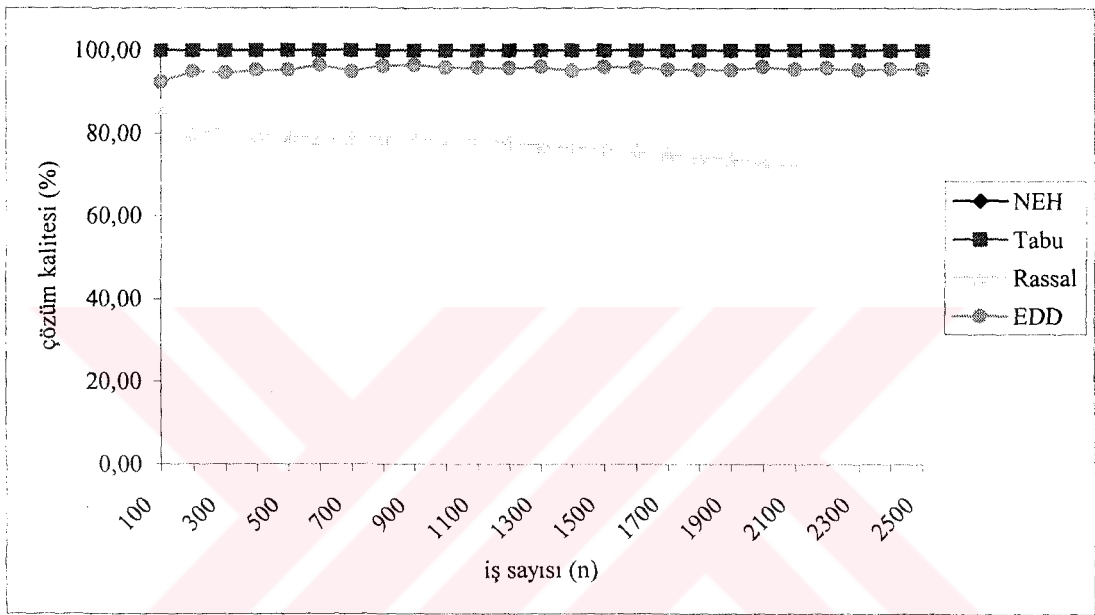
Ek-65. $n/2/s_{ji}/\beta \sum T + \gamma C_{\max}$ probleminin $\beta=0,75$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm süresi



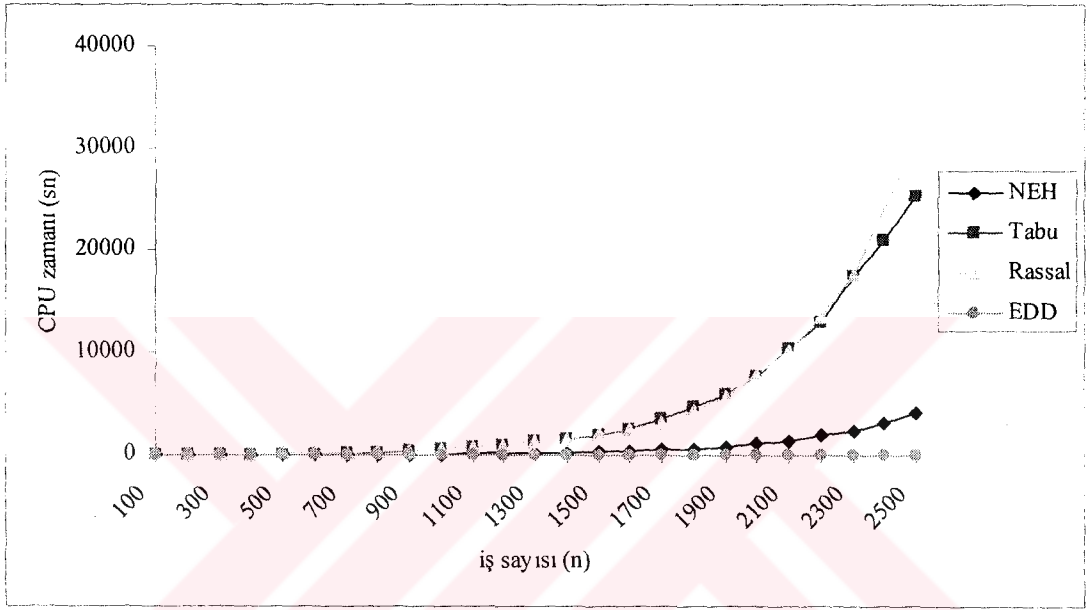
Ek-66. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,25$; $\beta=0,50$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda çözüm kalitesi ve CPU zamanları (sn)

n	Çözüm kalitesi				CPU zamanı (sn)			
	NEH	Tabu	Rassal	EDD	NEH	Tabu	Rassal	EDD
100	0,9996	1,0000	0,8617	0,9234	0,407	2,031	0,094	< 0,1
200	0,9999	1,0000	0,8001	0,9490	1,750	9,781	6,532	< 0,1
300	0,9998	1,0000	0,8103	0,9448	4,500	26,906	20,516	< 0,1
400	0,9995	1,0000	0,7939	0,9511	8,922	29,594	54,021	< 0,1
500	0,9999	1,0000	0,7926	0,9510	16,515	59,156	98,203	< 0,1
600	0,9999	1,0000	0,7857	0,9643	23,953	95,422	168,360	< 0,1
700	0,9998	1,0000	0,7869	0,9482	34,625	127,719	283,078	< 0,1
800	0,9995	1,0000	0,7891	0,9627	49,922	205,640	324,375	< 0,1
900	0,9997	1,0000	0,7875	0,9643	67,937	325,328	443,875	< 0,1
1000	0,9996	1,0000	0,7867	0,9574	88,218	584,485	560,203	< 0,1
1100	0,9997	1,0000	0,7816	0,9577	111,870	782,988	762,662	< 0,1
1200	0,9997	1,0000	0,7781	0,9563	154,132	985,916	1055,758	< 0,1
1300	0,9997	1,0000	0,7688	0,9596	198,199	1296,981	1318,926	< 0,1
1400	0,9997	1,0000	0,7652	0,9505	252,107	1603,683	1651,534	< 0,1
1500	0,9997	1,0000	0,7606	0,9599	341,501	2006,725	2119,469	< 0,1
1600	0,9996	1,0000	0,7546	0,9582	423,363	2560,822	2573,490	< 0,1
1700	0,9995	1,0000	0,7483	0,9537	518,550	3439,235	3194,392	< 0,1
1800	0,9998	1,0000	0,7407	0,9525	626,659	4654,519	4407,550	< 0,1
1900	0,9995	1,0000	0,7365	0,9517	856,281	5940,319	5599,429	< 0,1
2000	0,9994	1,0000	0,7277	0,9590	1098,233	7648,045	7777,898	< 0,1
2100	0,9997	1,0000	0,7216	0,9522	1382,616	10313,899	10239,893	< 0,1
2200	0,9998	1,0000	0,7142	0,9560	1906,804	12939,660	13501,743	< 0,1
2300	0,9995	1,0000	0,7112	0,9508	2379,323	17482,667	17734,911	< 0,1
2400	0,9999	1,0000	0,7051	0,9552	3182,629	21060,913	23852,488	< 0,1
2500	0,9998	1,0000	0,7028	0,9544	4200,500	25346,161	31340,512	< 0,1
ortalama	0,9997	1,0000	0,7645	0,9538				

Ek-67. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,25$ ve $\beta=0,50$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi



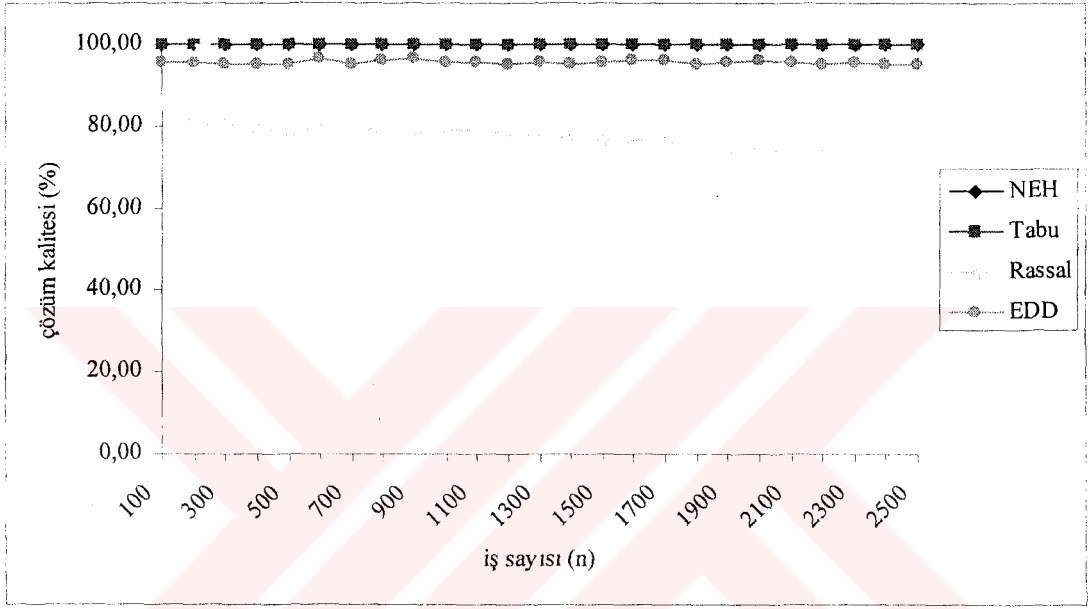
Ek-68. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,25$ ve $\beta=0,50$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm süresi



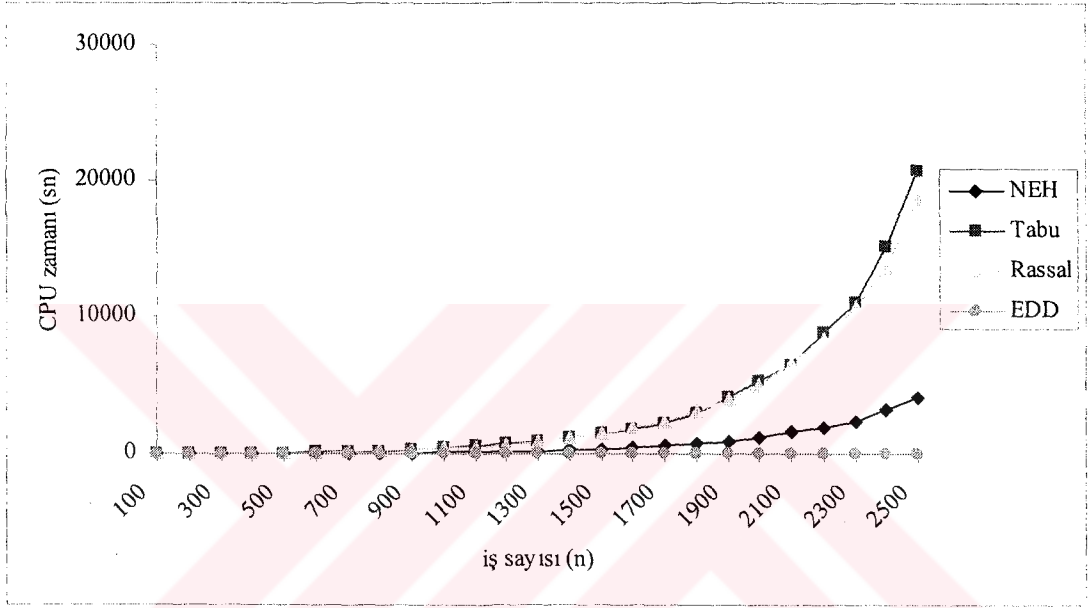
Ek-69. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,33$; $\beta=0,33$ ve $\gamma=0,33$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda çözüm kalitesi ve CPU zamanları (sn)

n	Çözüm kalitesi				CPU zamanı (sn)			
	NEH	Tabu	Rassal	EDD	NEH	Tabu	Rassal	EDD
100	0,9995	1,0000	0,8548	0,9545	0,390	3,250	0,219	< 0,1
200	0,9999	1,0000	0,8053	0,9543	1,703	11,297	6,797	< 0,1
300	0,9998	1,0000	0,8033	0,9505	4,484	29,563	13,235	< 0,1
400	0,9999	1,0000	0,7947	0,9516	8,921	49,265	26,391	< 0,1
500	0,9999	1,0000	0,7872	0,9512	14,640	63,609	43,297	< 0,1
600	0,9999	1,0000	0,7887	0,9644	23,922	86,297	60,031	< 0,1
700	0,9996	1,0000	0,7856	0,9522	34,297	113,844	133,703	< 0,1
800	0,9995	1,0000	0,7930	0,9628	49,828	188,297	233,328	< 0,1
900	0,9997	1,0000	0,7865	0,9644	67,688	274,984	290,031	< 0,1
1000	0,9994	1,0000	0,7898	0,9575	88,265	382,891	408,469	< 0,1
1100	0,9994	1,0000	0,7876	0,9567	117,480	518,805	505,205	< 0,1
1200	0,9996	1,0000	0,7800	0,9529	149,310	710,330	658,544	< 0,1
1300	0,9996	1,0000	0,7722	0,9577	197,224	878,076	850,698	< 0,1
1400	0,9996	1,0000	0,7690	0,9531	256,218	1155,107	1139,038	< 0,1
1500	0,9995	1,0000	0,7667	0,9567	310,786	1489,643	1536,107	< 0,1
1600	0,9995	1,0000	0,7641	0,9587	420,948	1798,981	1940,959	< 0,1
1700	0,9995	1,0000	0,7584	0,9596	559,236	2165,880	2369,338	< 0,1
1800	0,9999	1,0000	0,7559	0,9509	679,631	2946,816	3152,584	< 0,1
1900	0,9995	1,0000	0,7480	0,9545	856,839	4057,919	4002,393	< 0,1
2000	0,9999	1,0000	0,7429	0,9598	1150,636	5343,109	5071,254	< 0,1
2100	0,9999	1,0000	0,7369	0,9571	1565,405	6467,795	6546,292	< 0,1
2200	0,9994	1,0000	0,7351	0,9510	1934,805	8889,241	8367,797	< 0,1
2300	0,9997	1,0000	0,7277	0,9536	2389,260	11013,977	10804,104	< 0,1
2400	0,9995	1,0000	0,7260	0,9515	3291,522	15093,684	13571,306	< 0,1
2500	0,9995	1,0000	0,7174	0,9510	4077,965	20744,999	18733,808	< 0,1
ortalama	0,9996	1,0000	0,7711	0,9555				

Ek-70. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,33$; $\beta=0,33$ ve $\gamma=0,33$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi



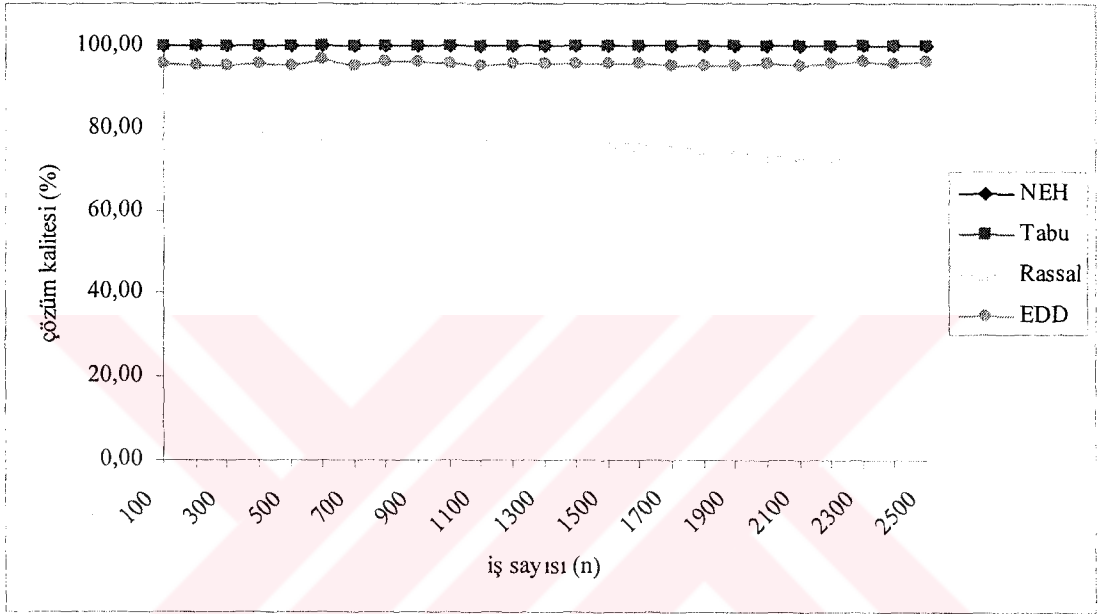
Ek-71. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,33$; $\beta=0,33$ ve $\gamma=0,33$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm süresi



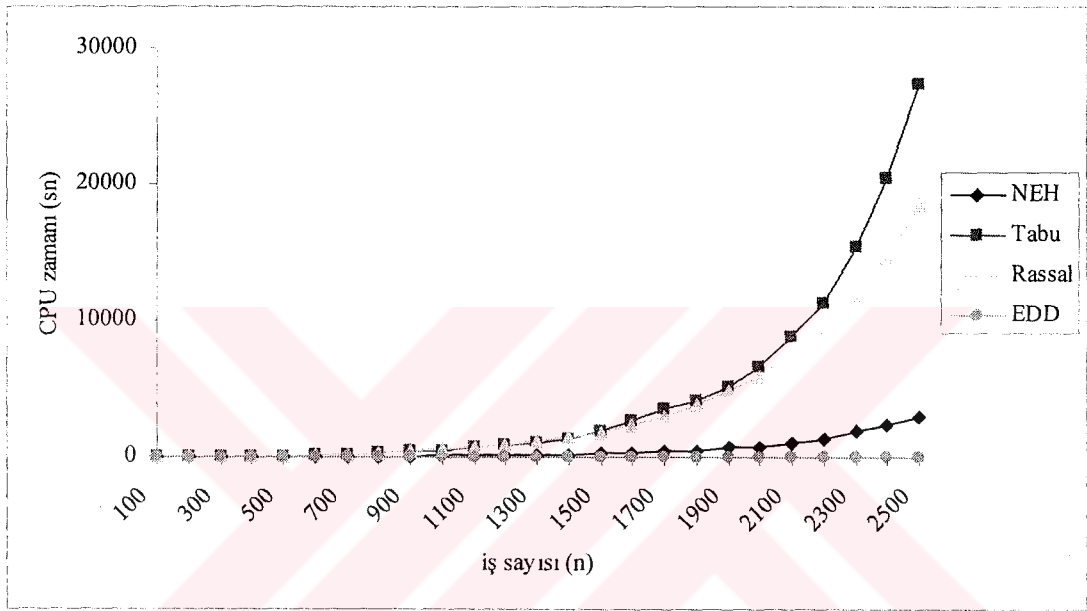
Ek-72. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,50$; $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde büyük boyutlularda çözüm kalitesi ve CPU zamanları (sn)

n	Çözüm kalitesi				CPU zamanı (sn)			
	NEH	Tabu	Rassal	EDD	NEH	Tabu	Rassal	EDD
100	0,9995	1,0000	0,8557	0,9551	0,375	1,969	0,328	< 0,1
200	0,9998	1,0000	0,8067	0,9507	1,609	6,375	1,735	< 0,1
300	0,9997	1,0000	0,8178	0,9528	4,188	16,109	9,141	< 0,1
400	0,9996	1,0000	0,7991	0,9567	8,266	27,422	17,187	< 0,1
500	0,9999	1,0000	0,8002	0,9509	13,406	52,984	48,875	< 0,1
600	0,9999	1,0000	0,7795	0,9639	22,031	97,860	84,609	< 0,1
700	0,9995	1,0000	0,7875	0,9505	31,390	125,171	134,625	< 0,1
800	0,9997	1,0000	0,7905	0,9627	44,766	264,641	227,234	< 0,1
900	0,9999	1,0000	0,7871	0,9632	61,484	386,812	381,453	< 0,1
1000	0,9998	1,0000	0,7882	0,9573	78,266	501,969	517,360	< 0,1
1100	0,9998	1,0000	0,7804	0,9506	96,217	668,920	720,015	< 0,1
1200	0,9997	1,0000	0,7771	0,9578	127,270	824,987	884,641	< 0,1
1300	0,9997	1,0000	0,7745	0,9556	168,913	1037,212	1122,349	< 0,1
1400	0,9999	1,0000	0,7717	0,9574	217,863	1370,339	1459,037	< 0,1
1500	0,9999	1,0000	0,7642	0,9548	262,041	1858,867	1819,785	< 0,1
1600	0,9996	1,0000	0,7581	0,9575	326,834	2590,195	2336,586	< 0,1
1700	0,9997	1,0000	0,7500	0,9501	416,045	3464,451	2987,740	< 0,1
1800	0,9997	1,0000	0,7477	0,9501	509,496	4186,006	3881,537	< 0,1
1900	0,9995	1,0000	0,7421	0,9524	666,052	5089,869	4821,296	< 0,1
2000	0,9994	1,0000	0,7338	0,9565	803,770	6579,145	5921,486	< 0,1
2100	0,9997	1,0000	0,7301	0,9502	999,608	8759,863	7721,540	< 0,1
2200	0,9996	1,0000	0,7249	0,9561	1396,179	11318,682	9467,953	< 0,1
2300	0,9996	1,0000	0,7225	0,9585	1880,714	15374,530	11577,358	< 0,1
2400	0,9997	1,0000	0,7147	0,9563	2297,127	20416,333	14635,084	< 0,1
2500	0,9996	1,0000	0,7121	0,9595	2887,606	27397,134	18466,202	< 0,1
ortalama	0,9997	1,0000	0,7687	0,9555				

Ek-73. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,50$; $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm kalitesi



Ek-74. $n/2/s_{ji}/\alpha\sum C+\beta\sum T+\gamma C_{\max}$ probleminin $\alpha=0,50$; $\beta=0,25$ ve $\gamma=0,25$ ağırlık değerlerinde sezgisellerin çözüm süresi



ÖZGEÇMİŞ

Balıkesir’de 1974 yılında doğan Tamer EREN, ilk, orta ve lise öğrenimini Balıkesir’de tamamladı. Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesinin Endüstri Mühendisliği Bölümünden 1996 yılında mezun oldu. Aynı yıl Kırıkkale Üniversitesinde araştırma görevlisi oldu. 1997 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Endüstri Mühendisliği anabilim dalında yüksek lisansa başladı. 1999 yılında Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesinin Endüstri Mühendisliği Bölümüne araştırma görevlisi olarak görevlendirildi. 2000 yılında yüksek lisansını tamamlayıp aynı yıl doktora başladı.

