



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İŞLERİN BÖLÜNEREK ÇİZELGELENMESİ İÇİN  
GELİŞTİRİLEN GENETİK ALGORİTMA VE  
UYGULAMA**

**Duygu YILMAZ EROĞLU**

Prof. Dr. H. Cenk ÖZMUTLU  
(Danışman)

DOKTORA TEZİ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2014

## Her Hakkı Saklıdır

### TEZ ONAYI

Duygu YILMAZ EROĞLU tarafından hazırlanan “İşlerin Bölünerek Çizelgelenmesi İçin Geliştirilen Genetik Algoritma ve Uygulama” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Prof. Dr. H. Cenk ÖZMUTLU

<b>Başkan:</b>	Prof. Dr. Erdal EMEL Uludağ Ü., Mühendislik Fakültesi, Endüstri Müh. Anabilim Dalı	İmza
<b>Üye :</b>	Prof. Dr. H. Cenk ÖZMUTLU Uludağ Ü., Mühendislik Fakültesi, Endüstri Müh. Anabilim Dalı	İmza
<b>Üye :</b>	Doç. Dr. Aydın SİPAHİOĞLU Osmangazi Ü., Müh. Mim. Fakültesi, Endüstri Müh. Anabilim Dalı	İmza
<b>Üye :</b>	Doç. Dr. A. Yurdun ORBAK Uludağ Ü., Mühendislik Fakültesi, Endüstri Müh. Anabilim Dalı	İmza
<b>Üye :</b>	Doç. Dr. Kemal KILIÇ Sabancı Ü., Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Üretim Sistemleri /Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı	İmza

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Ali Osman DEMİR**  
**Enstitü Müdürü**  
**16/10/2014**

**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**16/10/2014**

**İmza**

**Duygu YILMAZ EROĞLU**

## ÖZET

Doktora Tezi

### İŞLERİN BÖLÜNEREK ÇİZELGELENMESİ İÇİN GELİŞTİRİLEN GENETİK ALGORİTMA VE UYGULAMA

**Duygu YILMAZ EROĞLU**

Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. H. Cenk ÖZMUTLU

Bu tez çalışmasında, bölünebilir ve aynı zamanda iş sırası ve makine bağımlı hazırlık süreli ( $S_{ijk}$ ) işler içeren, ilişkisiz paralel makine ( $R_m$ ) çizelgeleme probleminde, işin tamamlanma zamanının ( $C_{max}$ ) en küçüklenmesi hedeflenerek, karışık tam sayılı modeller (MIP) ve genetik algoritmalar geliştirilmiştir. Tez çalışmasının literatüre ilk katkısı, iş bölme ve çizelgelemenin eş zamanlı yapıldığı, değişken alt iş sayıları içeren yeni algoritmalar tanıtması olmuştur. Bilindiği kadarıyla, işlerin bölünebildiği  $R_m/S_{ijk}/C_{max}$  problemi için, literatürde herhangi bir veri kümesi bulunmamaktadır. Önerilen algoritmanın doğrulanabilmesi amacıyla,  $R_m/S_{ijk}/C_{max}$  problemi için, literatürdeki veri kümesi dikkate alınmış ve önerilen algoritma, işlerin bölünmediği duruma indirgenmiştir. Daha rekabetçi sonuçlar elde edebilmek için ise, genetik algoritmaya yerel arama tekniği de dâhil edilmiş ve GALA geliştirilmiştir. Yerel arama sonuçlarını genetik algoritmaya adapte edebilen algoritmalar geliştirilmiştir ve bu da tez çalışmasının literatüre ikinci katkısıdır. Yeni melez yapıya dayanarak, işlerin bölünebildiği  $R_m/S_{ijk}/C_{max}$  problemi için geliştirilen algoritma tekrar tasarlanmış ve GAspLA ortaya çıkmıştır. Geliştirilen üç adet yeni MIP modeli, bölme çizelgeleme kararını eş zamanlı vermektedir ve tez çalışmasının literatüre üçüncü katkısıdır. GAspLA sonuçlarının, MIP modelini başlangıç çözüm kümesi ile beslediği GAspLAMIP uygulaması ise tez çalışmasının literatüre dördüncü katkısıdır. Çalışmanın, literatüre beşinci katkısı, tekstil endüstrisinde, gerçek çizelgeleme problemini de çözümlenebilmesidir. Bu aşamada, makine uygunluk kısıtı da eklenmiş, büyük boyutlu problemler için GAspLA\_LSP geliştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İlişkisiz paralel makine çizelgeleme, iş bölme, işin tamamlanma zamanı, makine ve sıra bağımlı hazırlık süresi, karışık tam sayılı programlama, melez genetik algoritmalar, büyük boyutlu problemler

**2014, ix+204 sayfa.**

## ABSTRACT

PhD Thesis

### GENETIC ALGORITHM FOR BATCH SPLITTING & SCHEDULING AND APPLICATION

**Duygu YILMAZ EROĞLU**

Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Industrial Engineering

**Supervisor:** Prof. Dr. H. Cenk ÖZMUTLU

This thesis develops mixed integer programming models (MIP) and genetic algorithms for the scheduling problem of unrelated parallel machines ( $R_m$ ) with job sequence- and machine-dependent setup times ( $S_{ijk}$ ) and job splitting properties to reduce makespan. The first contribution of this thesis is to introduce novel algorithms which make splitting and scheduling simultaneously with a variable number of sub jobs. There is no dataset for the problem of  $R_m/S_{ijk}/C_{max}$  with job splitting in the literature according to our knowledge. To verify the proposed algorithm, datasets from the literature for the problem of  $R_m/S_{ijk}/C_{max}$  is considered and the proposed algorithm is demoted to the without job splitting property. To get more competitive results, a local search technique is implemented into the genetic algorithm and GALA is developed. Algorithms that satisfy the adaptation of local search results into genetic algorithms are developed and this is the second contribution of the thesis. According to the new hybrid structure, the algorithm for the problem of  $R_m/S_{ijk}/C_{max}$  with splitting is redesigned and the algorithm GAspLA is constituted. As the third contribution of this thesis, three new MIP models that simultaneously make splitting and scheduling decisions are developed. The fourth contribution of this thesis is the implementation of the GAspLAMIP, in which the result of the GAspLA feeds MIP formulation with initial solution set. The fifth contribution of this research is solving the real scheduling problem of the textile industry. In this step, machine eligibility constraint is enclosed and GAspLA\_LSP is developed for large scale problems.

**Key words:** Unrelated parallel machine scheduling, job splitting, makespan, machine and sequence-dependent setup times, mixed integer program, hybrid genetic algorithms, large scale problems

**2014, ix+204 pages.**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Çizelgeleme, tüm üretim sektörlerinin en temel operasyonlarındandır ve milyonlarca çalışmaya konu olmuştur. Bu nedenle, geliştirilen algoritmaların literatürdeki yöntemlerle karşılaştırılabilir seviyede olması gerçekten önemli çaba gerektirmektedir. İlaveten, gerçek problemi tam olarak temsil eden çözüm yöntemleri halen nadiren çalışılmaktadır. Tez çalışmamızda, hem literatürdeki algoritmalar ile karşılaştırılabilir nitelikte algoritmalar önerilmiş, hem de elde edilen sonuçlar geliştirilen matematiksel modellerle doğrulanmıştır. Ayrıca, tekstil sektörü dokuma aşamasındaki büyük boyutlu gerçek çizelgeleme problemi için mevcut durumdan daha iyi sonuç verebilen yöntemler geliştirilmiştir. Bu yönleri ile hem literatüre katkıda bulunan, hem de ülke endüstrisine yarar sağlayabilecek bir çalışma ortaya konulmuştur.

Tez çalışmam sırasında bilimsel katkıları ile yolumu aydınlatan tez danışmanım ve değerli hocam Prof. Dr. H. Cenk ÖZMUTLU'ya en içten teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Tez çalışması sürecinde küresel bakış açısı ile doğru hedefler koyulmasına ve o yolda ilerlenmesine destek olan değerli hocam Prof. Dr. Erdal EMEL'e saygı ve teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmaları boyunca, pozitif yaklaşımı ile beni yüreklendiren, tüm tez toplantılarına katılarak değerli katkılarını esirgemeyen saygıdeğer hocam Doç. Dr. Aydın SİPAHİOĞLU'na saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Araştırmanın uygulama aşamasında, problemin detayları konusunda tüm bilgi birikimini paylaşan Boyteks Tekstil A.Ş., Bursa Fabrikası Planlama Bölümü çalışanlarına, geçmişe dönük planlama verilerini sağlayan Güncel Yazılım Ltd. Şti.'ne teşekkürlerimi sunarım.

Maddi ve manevi her türlü desteği sağlayan aileme en içten teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Duygu YILMAZ EROĞLU

16/10/2014

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

### Açıklama

$C_{max}$	Makespan (işin tamamlanma zamanı)
$P_c$	Çaprazlama oranı
$p_{ij}$	$j$ işinin $i$ makinesinde işlenme süresi
$P_m$	Mutasyon oranı
$P_{size}$	Anakütle büyüklüğü
$R_m$	$m$ adet ilişkisiz paralel makine
$S_{ijk}$	$i$ makinesinde $j$ işinden sonra gelen $k$ işini işlerken oluşan Hazırlık süresi
$\delta$	Bağlı iyileştirme oranı

### Kısaltmalar

### Açıklama

ACO	Ant Colony Optimization (İki Aşamalı Karınca Kolonisi Karınca Kolonisi Eniyilemesi)
GAsp	Genetic Algorithm For Job Splitting Property (İşlerin Bölünebilme Özelliğinde Olduğu Durum İçin Geliştirilen Genetik Algoritma)
GALA	Hybrid Genetic-Local Search Algorithm (Melez Yerel Aramalı Genetik Algoritma)
GAspLA	Hybrid Genetic-Local Search Algorithm For Job Splitting Property (İşlerin Bölünebilme Özelliğinde Olduğu Durum İçin Geliştirilen Melez Yerel Aramalı Genetik Algoritma)
GAspLAMIP	GAspLA Algoritması İle Elde Edilen Sonuçların MIP İçin Başlangıç Çözümü Olarak Kullanılması İle Elde Edilen Melez Çözüm
GAspLA_LSP	Hybrid Genetic-Local Search Algorithm For Job Splitting Property, Convenient For Large Scale Problems (Büyük Boyutlu Problemler İçin Uygun, İşlerin Bölünebilme Özelliğinde Olduğu Durum İçin Geliştirilen Melez Yerel Aramalı Genetik Algoritma)
MIP	Mixed Integer Programming (Karışık Tam Sayılı Programlama)

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 1.1. Tekstil üretim süreci .....	2
Şekil 2.1. İş atölyesi çizelgeleme için bölünme ile gerçekleşen iyileşme.....	18
Şekil 2.2. İki aşamalı algoritmadaki kromozom yapıları .....	19
Şekil 3.1. Genetik algorithmada örnek bir kromozomun gösterimi.....	28
Şekil 3.2. Şekil 3.1 deki kromozoma ait çizelge ve $C_{max}$ değeri .....	29
Şekil 3.3. Çaprazlama operasyonu .....	30
Şekil 3.4. Mutasyon operatörü .....	31
Şekil 3.5. $P_c$ ve $P_m$ arasındaki etkileşim grafiği .....	32
Şekil 3.6. Üç faktöre ait ana etkiler grafiği .....	32
Şekil 3.7. Belirlenen nesiller için ortalama hesaplama süreleri ve makespan değerleri .	33
Şekil 3.8. Önerilen GA'daki kromozom gösterimi .....	35
Şekil 3.9. Şekil 3.8'deki kromozomun sonuç çizelgesi ve $C_{max}$ değeri.....	36
Şekil 3.10. 7 iş 2 makine içeren bir örneğin gen yapısı .....	38
Şekil 3.11. Makine içi iş değişimi ve komşu işler durumu .....	39
Şekil 3.12. Makine içi iş değişimi ve komşu olmayan işler durumu .....	39
Şekil 3.13. Makineler arası iş değişimi .....	41
Şekil 3.14. Aynı makine içinde iş değişimi durumunda kromozomdaki düzeltmeler için örnek.....	42
Şekil 3.15. Farklı makineler arasında iş değişimi durumunda kromozomdaki düzeltmeler için örnek .....	43
Şekil 3.16. Belirlenen nesil sayıları için ortalama makespan değerleri ve hesaplama süreleri.....	44
Şekil 3.17. $P_c$ ve $P_m$ arasındaki etkileşim grafiği .....	45
Şekil 3.18. Üç faktöre ait ana etkiler grafiği .....	46
Şekil 3.19. Küçük örnekler için ortalama bağıl iyileştirme oranları ( $\delta$ ) .....	48
Şekil 3.20. GALA ve ACO için SS değerlerinin karşılaştırılması.....	50
Şekil 3.21. Büyük örnekler için ortalama bağıl iyileştirme oranları( $\delta$ ) .....	51
Şekil 3.22. GAsp ve GALA birleşimi ile oluşan GAspLA .....	61
Şekil 3.23. Bölünmeli yerel aramalı durum için makine içinde iş değişiminde kromozomdaki düzeltmelere örnek.....	63
Şekil 3.24. Bölünmeli yerel aramalı durum için makineler arası iş değişiminde kromozomdaki düzeltmelere örnek .....	64
Şekil 3.25. Küçük problemler için her algoritmanın alt sınırdan sapma oranları .....	70
Şekil 3.26. Büyük problemler için her algoritmanın alt sınırdan sapma oranları .....	71
Şekil 3.27. Büyük ölçekli problem için kullanılan kromozom yapısının gösterimi.....	73
Şekil 3.28. Şekil3.27'deki kromozomun çizelgesi ve $C_{max}$ değeri.....	76
Şekil 3.29. GAspLA_LSP için aynı makine içinde iş değişiminde kromozomdaki düzeltmeler için örnek .....	78
Şekil 3.30. GAspLA_LSP için farklı makineler arasında iş değişiminde kromozomdaki düzeltmeler için örnek .....	79
Şekil 3.31. Farklı sipariş sayıları için değişen hesaplama süreleri grafiği .....	83



## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 1.1. Tez çalışması ana aşamaları.....	4
Çizelge 3.1. İşlerin makinelerde işlenme süreleri .....	29
Çizelge 3.2. Makine <sub>1</sub> için hazırlık süreleri.....	29
Çizelge 3.3. Makine <sub>2</sub> için hazırlık süreleri.....	29
Çizelge 3.4. Önerilen genetik algoritma için denenen parametre değerleri.....	32
Çizelge 3.5. İşlerin makinelerdeki toplam işlenme süreleri (GALA) .....	35
Çizelge 3.6. Makine <sub>1</sub> için hazırlık süreleri (GALA) .....	35
Çizelge 3.7. Makine <sub>2</sub> için hazırlık süreleri (GALA) .....	36
Çizelge 3.8. Önerilen genetik algoritma için denenen parametre değerleri.....	44
Çizelge 3.9. Parametre tahminleri.....	45
Çizelge 3.10. GALA ve ACO için $C_{max}$ ve SS değerleri.....	49
Çizelge 3.11. GALA ve ACO karşılaştırmasında her kombinasyon için ikili t testi sonuçları .....	50
Çizelge 3.12. Önerilen GALA ile elde edilen ortalama hesaplama süreleri.....	52
Çizelge 3.13 GALA ve GADP2 için en küçük, en büyük ve ortalama $C_{max}$ değerlerinin karşılaştırılması .....	53
Çizelge 3.14. İkili değişkenler kümesi için başlangıç değerleri.....	65
Çizelge 3.15. MIP0, GALA, MIP3, GAspLA ve GAspLAMIP çözümlerin karşılaştırılması .....	68
Çizelge 3.16. İşler için dizim tipleri.....	74
Çizelge 3.17. Makinelerin işleyebileceği dizim tipleri .....	74
Çizelge 3.18. İşlerin makinelerde işleme süreleri (GAspLA_LSP).....	75
Çizelge 3.19. Dizimler arası geçiş hazırlık süreleri .....	75
Çizelge 3.20. Siparişlerin dizim tipleri ve en fazla bölünme sayıları .....	80
Çizelge 3.21. Dizim tipleri arası geçişlerde oluşan hazırlık süresi .....	80
Çizelge 3.22. Dizim tipini işleyebilen makine numaraları.....	81
Çizelge 3.23. Siparişlerin makinelerdeki işlem süreleri .....	81
Çizelge 3.24. Farklı sipariş sayıları için hesaplama süreleri.....	83

## İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET .....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vi
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	1
1.2. Çalışmanın Önemi ve Literatüre Katkıları .....	2
1.3. Çalışmanın Yöntemi .....	3
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	7
2.1. Literatür İnceleme Çalışmaları.....	7
2.2. Paralel Makine Çizelgeleme Algoritmalarına Genel Bakış .....	8
2.3. $R_m/S_{ijk}/C_{max}$ Problem Tipine Yönelik Çalışmalar .....	12
2.4. İşlerin Bölünebildiği Problem Tipine Yönelik Çalışmalar .....	13
2.4.1. İşlerin kesikli alt işlere bölünebildiği durum .....	14
2.4.2. İşlerin sürekli alt işlere bölünebildiği durum.....	16
2.5. Makine Uygunluk Kriteri İçeren Çalışmalar .....	19
2.6. Çizelgeleme Problemi Çözümü İçin Kullanılan Diğer Bazı Yöntemler .....	22
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	24
3.1. İşlerin Bölünebildiği $R_m/S_{ijk}/C_{max}$ Problemi İçin Geliştirilen Genetik Algoritma: GAsp .....	26
3.1.1. Problem tanımı.....	26
3.1.2. Önerilen genetik algoritma .....	27
3.1.2.1. Kodlama şeması .....	27
3.1.2.2. Uygunluk fonksiyonu (makespan: $C_{max}$ ).....	28
3.1.2.3. Genetik operatörler .....	29
3.1.3. Sayısal örnek.....	31
3.1.3.1. Deneysel sonuçlar ve parametre değerleri .....	31
3.1.3.2. Hesaplama Sonuçları .....	33
3.2. $R_m/S_{ijk}/C_{max}$ Problemi İçin Geliştirilen Melez Yerel Aramalı Genetik Algoritma : GALA .....	34
3.2.1. Önerilen genetik algoritma .....	34
3.2.1.1. Kodlama şeması .....	34

3.2.1.2. Uygunluk fonksiyonu (makespan: $C_{max}$ ).....	35
3.2.1.3. Genetik operatörler.....	36
3.2.2. Yerel arama.....	36
3.2.3. Deneysel tasarım ve hesaplama sonuçları .....	43
3.2.3.1. Deneysel sonuçlar ve parametre değerleri .....	43
3.2.3.2. Hesaplama sonuçları .....	46
3.2.3.2.1. ACO ile karşılaştırma .....	47
3.2.3.2.2. GADP2 ile karşılaştırma .....	52
3.3. İşlerin Bölünebildiği $R_m/S_{ijk}/C_{max}$ İçin Geliştirilen MIP modelleri, Melez Yerel Aramalı Genetik Algoritma (GAspLA) ve Melez Çözüm (GAspLAMIP) .....	53
3.3.1. Geliştirilen MIP matematiksel modelleri.....	54
3.3.1.1. Eşit olmayan alt iş miktarları (MIP1) .....	55
3.3.1.2. Eşit alt iş miktarları (MIP2) .....	57
3.3.1.3. Rassal olarak verilen bölünme sayıları (MIP3) .....	58
3.3.2. İşlerin bölünebildiği $R_m/S_{ijk}/C_{max}$ problemi için geliştirilen GAspLA ve GAspLAMIP .....	60
3.3.2.1. İşlerin bölünebildiği $R_m/S_{ijk}/C_{max}$ problemi için geliştirilen melez yerel aramalı genetik algoritma: GAspLA.....	60
3.3.2.2. Melez çözüm: GAspLAMIP .....	64
3.3.3. Elde edilen sonuçlar.....	65
3.3.3.1. MIP, GAspLA ve GAspLAMIP sonuçları .....	66
3.3.3.2. GAspLA yönteminin literatürdeki problem kümelerine uygulanması ile elde edilen sonuçlar .....	69
3.4. İşlerin Bölünebildiği Büyük Boyutlu $R_m/S_{jk},M_j/C_{max}$ Problemi İçin Geliştirilen Melez Yerel Aramalı Genetik Algoritma (GAspLA_LSP) .....	71
3.4.1. Kodlama şeması.....	72
3.4.2. Amaç fonksiyonu ( $C_{max}$ ).....	73
3.4.3. Yerel arama.....	75
3.4.4. GAspLA_LSP kullanarak gerçek problem için elde edilen sonuçlar .....	79
4. SONUÇLAR .....	84
4.1. İşlerin Bölünebildiği $R_m/S_{ijk}/C_{max}$ İçin Geliştirilen GAsp ve Elde Edilen Sonuçlar .....	84
4.2. $R_m/S_{ijk}/C_{max}$ İçin Geliştirilen GALA ve Elde Edilen Sonuçlar .....	85
4.3. İşlerin Bölünebildiği $R_m/S_{ijk}/C_{max}$ İçin Geliştirilen MIP Modelleri, GAspLA, GAspLAMIP ve Elde Edilen Sonuçlar .....	88
4.4. İşlerin Bölünebildiği Büyük Boyutlu $R_m/S_{jk},M_j/C_{max}$ Problemi İçin Geliştirilen GAspLA_LSP ve Elde Edilen Sonuçlar .....	91
4.5. Gelecekte Yapılabilecek Çalışmalar ve Öneriler .....	93

KAYNAKLAR .....	94
EKLER .....	98
EK 1 GALA ve GAspLA Yerel Arama Taslak Kodu.....	98
EK 2 Küçük Problemler İçin Sonuçlar (GALA, $P_c$ : 0,5, Nesil Sayısı: 300).....	100
EK 3 Küçük Problemler İçin Sonuçlar (GALA, $P_c$ : 1, Nesil Sayısı: 500).....	114
EK 4 Büyük Problemler İçin Sonuçlar (GALA, $P_c$ : 0,5, Nesil Sayısı: 300).....	128
EK 5 Büyük Problemler İçin Sonuçlar (GALA, $P_c$ : 1, Nesil Sayısı: 500).....	138
EK 6 Küçük Problemler İçin Sonuçlar (GALA ve GAspLA, $P_c$ :1, Nesil Sayısı: 500)	148
EK 7 Büyük Problemler İçin Sonuçlar (GALA ve GAspLA, $P_c$ :1, Nesil Sayısı: 500)	161
EK 8 GAspLA_LSP Yerel Arama Taslak Kodu.....	167
EK 9 Gerçek Örnek ve Elde Edilen Son Çizelge.....	169
EK 10 Makine Bazında Tamamlanma Zamanları.....	198
EK 11 Her Makineye Yüklenebilecek İş Adedi Analizi.....	199
EK 12 Her Makineye Yüklenebilecek İş Adedi Grafiği .....	201
ÖZGEÇMİŞ .....	202

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Çalışmanın Amacı

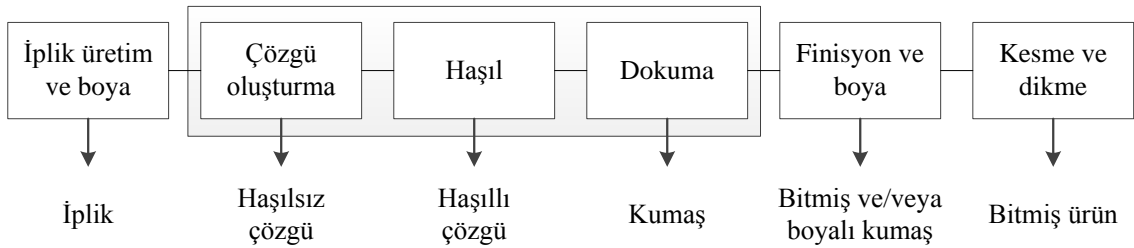
Modern tekstil endüstrisi, kısa ürün ömürlerini, esnek tedarik zincirini, düşük maliyetli, kaliteli ve konforlu ürün ihtiyaçlarını da içeren rekabetçi zorluklarla karşı karşıya bulunmaktadır. (Zeng 2008)

Şekil 1.1., tekstil üretim sürecinin ana aşamalarını göstermektedir (Karacapilidis ve Pappis 2002). Her bir aşamanın kendine has problemleri mevcuttur. İplik üretimi ve boya aşamasında çizelgeleme önemli bir problemdir. Bu aşamada, iplik eğirme aparatlarının ömürleri ve aparat değişim sürelerinin önemi, benzer işlerin ardışık gelmesini gerekli kılmaktadır. Konu ile ilgili çizelgeleme probleminin çözümü için yapılan çalışmalardan biri de Silva ve Magalhaes'e (2006) ait olup, çalışmada, probleminin çözümü için sezgiseller geliştirilmiş ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Finisyon ve boya ile kesme ve dikme olarak belirtilen aşamalar, hazır giyim sektöründe örme, dikme, yıkama, boya, aksesuar takma, bitim işlemleri gibi alt gruplarda incelenebilir. Her aşamanın farklı firmalar tarafından üretildiği yapıda zincirin koordinasyonu özellikle önemlidir. Üretim planlamasının uzunluğu, iplik bulunurluğu ve renk karışımını dikkate alacak şekilde üretim siparişleri ve müşterilerin siparişleri arasındaki ilişkileri kurma problemleri, üzerinde çalışılmaya devam edilen problemler olarak karşımıza çıkmaktadır (Toni ve Meneghetti 2000). Finisyon ve boya aşamasının özellikle boya bölümünde, işlerin yığınlara atanması ve yığınların makinelerde çizelgelenmesi için sezgiseller geliştirilmiş (Kashan ve ark. 2010), farklı teslim zamanlı siparişler için makinelerin kapasite kısıtlarını da dikkate alacak şekilde genetik algoritma kromozomu geliştirilmiş ve çözüme ulaşılabilmektedir (Wang ve Chou 2010). Çizelgeleme ile karmaşık bir problem olarak karşılaşıldığı bölüm, iplikten kumaşın üretildiği dokuma aşamasıdır. Günümüzde gelişen teknoloji ve ürünlerle birlikte, üretim sistemleri oldukça karmaşık hale gelmiştir. Bu durum, işletmelerin üretim çizelgeleri oluşturmalarını zorlaştırmakta ve yeni çizelgeleme algoritmalarına ihtiyaç oluşturmaktadır (Özkan 2009).

Çizelgeleme problemi, dokumada makinelerin yüksek üretim performansları nedeniyle genellikle deterministik problem olarak nitelendirilmektedir. Atölye ise paralel makineli üretim şekline karşılık gelmektedir. Bu yapıda sisteme giren işler, mevcut makinelerin herhangi birinde işlem görebilir (Eren ve Güner 2002). Yapılan tez çalışmasında, dokuma sürecine odaklanılmıştır. Literatürde dokuma süreci, işlerin bölünebildiği  $R_m/S_{ijk}/C_{max}$  problemine karşılık gelmektedir. Sonraki bölümlerde de detaylandırılacağı gibi,

- $R_m$  : ilişkisiz paralel makineleri,
- $S_{ijk}$  : makine ve sıra bağımlı hazırlık süresini,
- $C_{max}$  : makespan'in en küçüklenmesi amaç fonksiyonunu ifade eder.

Tez kapsamında, işlerin bölündüğü, bölünmediği ve makine uygunluk (machine eligibility) kriterinin de probleme dâhil edildiği tüm durumlar ayrı ayrı irdelenmiştir.



Şekil 1.1. Tekstil üretim süreci

## 1.2. Çalışmanın Önemi ve Literatüre Katkıları

İşlerin bölünmesi, bazı endüstriler için gerçek bir ihtiyaçtır. Örneğin, baskı devre kartı (printed circuit board (PCB)) üretiminde delme süreci, yarıiletken yonga plakası (semiconductor wafer) üretiminde dilimleme (dicing) süreci, tekstil üretim sektöründe dokuma süreci darboğaz operasyonlarıdır. Tüm bu süreçlerde, eldeki işleri alt işlere bölerek farklı makinelerde üretmek, müşterilerin teslim zamanı baskısından dolayı modern üretim endüstrisi ve rekabetçi üretim koşullarının bir gereğidir. Tez çalışmasında önerilen metotlar, tekstil üretiminde dokuma sürecindeki gerçek problemler dikkate alınarak geliştirildiğinden uygulamaya yöneliktir ve gerçek hayat problemlerinin önerilen metotlarla çizelgelenmesinde mevcut duruma göre önemli iyileştirmeler sağlanmıştır.

Tez çalışmasında önerilen algoritmalarda, işler eşzamanlı olarak bölünmekte ve çizelgelenmektedir. Bilindiği kadarıyla literatürde aynı özelliklere sahip bir algoritma mevcut değildir. Bu, literatüre sağlanan ilk katkıdır. Sonraki bölümlerde de değinileceği gibi, rassal anahtar sayılardan oluşan kromozomun melez yapıya sahip bir algoritmada yönetiminden kaynaklanan zorluklarla baş edebilmek ise tez çalışmasının literatüre ikinci katkısıdır. Çalışmanın literatüre üçüncü katkısı, geliştirilen üç adet matematiksel modeldir. Melez algoritma ile matematiksel modeli besleyerek oluşturulan uygulama ise dördüncü katkıdır. Tüm bu sonuçlara, geliştirilen algoritmaların, literatürden alınan veri kümelerini (SchedulingResearch 2005), en iyi sonuçlarla çözen algoritmalar ile karşılaştırılması ile ulaşılmıştır. Son olarak, yapıya makine uygunluk kriteri de eklenmiş olup, küçük problemleri olduğu gibi, gerçek hayatta karşılaşılan büyük ölçekli problemleri de çözümlenebilen özgün bir algoritma elde edilmiş ve sadece literatüre değil aynı zamanda üretim sektörüne de önemli bir katkıda bulunulmuştur.

### 1.3. Çalışmanın Yöntemi

Özdeş (identical) paralel makine sayısının  $m$  olduğu ve sıra bağımlı hazırlık sürelerinin mevcut olduğu çizelgeleme probleminde makespan en küçüklenmesi NP-zor'dur (Yalaoui ve Chu 2003). Bu nedenle ilişkisiz makinelerin yer aldığı, daha karmaşık olan, tez çalışmasında incelenen problemler de NP-zor'dur.

Problem için her ne kadar matematiksel modeller önerilse ve küçük boyuttaki problemler, geliştirilen modeller ile çözümlense bile, daha büyük boyuttaki problemlerin çözümü için sezgisel yöntemlerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Tez çalışmasında, sezgisel yöntemlerin arasından genetik algoritmanın seçilmesinin nedeni ise, genetik algoritmanın sağladığı ve aşağıda da belirtilen bazı avantajlar yatmaktadır (Haupt ve Haupt 2004). Bunlar:

- Sürekli ya da kesikli değişkenler ile en uygun değer bulunabilir.
- Türev ile elde edilmiş bilgiye ihtiyacı yoktur.
- Değer yüzeyinin geniş örneklemeden eş zamanlı tarama yapılabilir.
- Çok sayıda değişken ile çalışılabilir.

- Paralel bilgisayarlarda çalıştırmaya uygundur.
- Çok zorlu değer yüzeylemindeki değişkenler için en uygun noktanın bulunmasında kullanılabilir (yerel noktaları atlayabilme performansından dolayı).
- Tek çözüm yerine en uygun değişkenlerin listesini sağlayabilir.
- Değişkenler kodlanabildiğinden, eniyileme, kodlanmış değişkenler ile yapılabilir.

Önerilen melez algoritmalar özel olarak tasarlandığı için, standart genetik algoritma uygulamalarının kullanılması mümkün olamamıştır. Bu nedenle, tüm genetik algoritmalar için C# programlama dili kullanılarak bilgisayar programları oluşturulmuştur.

Yapılan doktora tez çalışması, dört ana aşamada yürütülmüştür. Her bir aşamanın farklı alt başlıklarda tanımlanmasının nedeni, tanımlı olan probleme en çok uyacak olan bölümü incelemenin yaratacağı zaman tasarrufunu sağlayabilmektir. Çizelge 1.1, her aşamada irdelenen problemin hangi özellikler içerdiğine dair bilgiyi özet olarak sağlamaktadır.

Çizelge 1.1. Tez çalışması ana aşamaları

Aşama	İşlerin Özellikleri→ Aşamaların Özellikleri↓	İşler bölünebilir	Makine uygunluk kriteri mevcut	İşlerin bölünme sayıları rassal	Yerel arama mevcut
1	GAsp	✓		✓	
2	GALA				✓
3	GAspLA	✓		✓	✓
4	GAspLA_LSP	✓	✓		✓

Tüm aşamalar ve önerilen algoritmalara dair genel bilgilendirme şu şekilde yapılabilir;

**Birinci aşamada**, paralel makineli akışa sahip olan dokuma süreci siparişlerinin çizelgelenmesi problemi (işlerin bölünebildiği  $R_m/S_{ijk}/C_{max}$ ) için bir genetik algoritma geliştirilmiştir. GAsp (genetic algorithm for job splitting property) olarak anılacak olan, işlerin bölünebilme özelliğinde olduğu durum için geliştirilen genetik algoritma, Bursa



Organize Sanayii'nde faaliyet gösteren bir döşemelik kumaş üretim fabrikası olan Boyteks Tekstil Endüstri ve Ticaret A.Ş.'de, küçük problemlere ait veriler dikkate alınarak çalıştırılmış, sonuçları mevcut sistemle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçların, mevcut sistemden daha iyi olması nedeniyle, algoritmanın literatürdeki problemler kullanılarak doğrulanması aşaması olan ikinci aşamaya geçilmiştir.

**İkinci aşamada**, geliştirilen algoritmayı doğrulayabilmek için, literatürde farklı algoritmalarla çözülmüş benzer bir problem kümesi araştırılmıştır. Fakat problemin az çalışılmış olmasından dolayı aynı özelliklerde veri kümesine ulaşamadığından, karşılaştırmalara olanak sağlayabilmek için problemin bölünebilme özelliği ortadan kaldırılmıştır ve genetik algoritma, işlerin bölünmediği çizelgeleme problemini ( $R_m/S_{ijk}/C_{max}$ ) çözebilecek şekilde tekrar yapılandırılmıştır. GALA (hybrid genetic-local search algorithm) olarak anılacak olan melez yerel aramalı genetik algoritma, literatürden alınan (SchedulingResearch 2005) veri kümesindeki problemleri çözümlenmiş ve birçok kombinasyonda daha önce önerilen algoritmalarından daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Algoritma doğrulama aşaması olduğu için deneysel tasarım (Design of Experiments) bu aşamada da yapılmış ve melez algoritma için en uygun parametreler belirlenmiştir. Problemin çözümü için iyi sonuçlar veren yeni melez yapıyı, bölünmeli işlerin bulunduğu probleme adapte etmek ve matematiksel modeller geliştirerek problemi eniyi olarak çözebilmek için üçüncü aşamaya geçilmiştir.

**Üçüncü aşamada** ise yerel arama ile güçlendirilen yeni melez yapı, işlerin bölünebildiği probleme (işlerin bölünebildiği  $R_m/S_{ijk}/C_{max}$ ) adapte edilmiştir. GAspLA (hybrid genetic-local search algorithm for job splitting property) olarak anılacak olan, işlerin bölünebilme özelliğinde olduğu durum için geliştirilen melez yerel aramalı genetik algoritma kullanılmış, literatürdeki (Scheduling Research 2005) problemler bölünmeli hale getirilmiş ve önerilen algoritma ile işlerin bölünmediği durumda elde edilenlerden daha iyi sonuçlar elde edildiği ortaya konulabilmiştir. İlaveten, problemin en uygun çözümü için geliştirilen matematiksel modellerin çözümlenmesi ile elde edilen sonuçlar, önerilen genetik algoritmanın etkinliğini de doğrulamıştır.

**Dördüncü aşamada**, önerilen yöntemin büyük ölçekli probleme adaptasyonu sürecine odaklanılmıştır. Bu aşamada, en başta çözülmek istenen, küçük ve büyük tüm işleri içeren gerçek siparişlerin çizelgenmesi problemi (işlerin bölünebildiği  $R_m/S_{jk}, M_j/C_{max}$ ) için önerilen, büyük boyutlu problemler için uygun, işlerin bölünebilme özelliğinde olduğu durum için geliştirilen melez yerel aramalı genetik algoritma GAspLA\_LSP (hybrid genetic-local search algorithm for job splitting property, convenient for large scale problems) ile gerçek problem, mevcut sisteme göre %14 iyileştirme ile çözümlenebilmiştir. Veriler, daha önce bahsi geçen Boyteks Tekstil Endüstri ve Ticaret A.Ş. Bursa Fabrikası'ndan alınmıştır ve mevcut sistem, firmanın hâlihazırda kullandığı çizelgeleme sistemidir. Bu aşamada algoritmaya makine uygunluk kriteri eklenmiştir.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Kaynak özetlerinin ilk bölümünde literatür inceleme çalışmaları, ikinci bölümünde paralel makine çizelgeleme algoritmalarına dair çalışmalar, üçüncü bölümünde, özdeş olmayan paralel makinelerde, iş sırası ve makine bağımlı hazırlık süreleri içeren çizelgeleme probleminde makespan en küçüklenmesini esas alan  $R_m/S_{ijk}/C_{max}$  problem tipine odaklanan çalışmalara, dördüncü bölümünde işlerin alt işlere bölünebildiği çalışmalar, beşinci bölümünde makine uygunluk kriterinin irdelendiği çalışmalara, altıncı bölümünde çizelgeleme problemlerinin çözümünde kullanılan diğer bazı algoritmalar ile ilgili çalışmalara değinilmiştir.

### 2.1. Literatür İnceleme Çalışmaları

Çizelgeleme problemlerine ilgi 1960'lı yılların ortalarında başlamıştır ve araştırmacılar tarafından sürekli ve artan ilgi o tarihlerden beri süregelenmektedir. Bahsi geçecek literatür inceleme çalışmaları, irdelenebilecek kaynaklar, problem sınıfları ve kullanılan yöntemler hakkında önemli ölçüde bilgi içermektedir.

Allahverdi ve ark. 'nın (2008) hazırlık süresi ve maliyetlerinin dahil edildiği çizelgeleme problemleri ile ilgili sunduğu 300'den fazla makalenin incelendiği literatür inceleme çalışmasında, çizelgeleme problemleri, yığın haline getirilen-getirilmeyen ve sıra bağımlı-bağımsız hazırlık sürelerinin değerlendirildiği olarak sınıflandırılmıştır. İlave olarak, literatür, tek makineli, paralel makineli, akış atölyeli, esnek akış atölyeli, iş atölyeli ve diğer başlıklarda atölye tiplerine göre kategorize edilmiştir.

Zhu ve Wilhelm (2006), sıra bağımlı hazırlık sürelerinin dahil edildiği çizelgeleme problemleri için bir literatür inceleme çalışması sunmuşlardır. Makine hazırlık süreleri, imalat ortamında üretim çizelgeleme için önemli bir faktördür ve sıra bağımlı hazırlık süreleri araştırmacılar tarafından irdelenmektedir. Çalışmada, son on yılda, tek makineli, paralel makineli, akış atölyeli, iş atölyeli makine yapılandırmalarına dair tüm kategorilerdeki eniyileme ve sezgisel çözüm metotlarına odaklanılmıştır. Çalışma, bu

yöndeki araştırmalara dair bir bakış açısı geliştirmekte, sonuçlara ulaşmakta ve muhtemel çalışma alanlarını tartışmaktadır.

Li ve Yang (2009) tarafından yapılan çalışmada, özdeş olmayan (non-identical) paralel makinalarda toplam ağırlıklı tamamlanma süresinin en küçüklenmesini amaçlayan çizelgeleme problemi için, modeller, gevşetme yöntemleri ve algoritmalar sınıflandırılmış, ilgili problemler için sezgisel ve eniyileme teknikleri incelenmiştir. İlaveten, sonraki çalışmalar için ilginç olabilecek araştırma alanları da önerilmiştir.

## 2.2. Paralel Makine izelgeleme Algoritmalarına Genel Bakış

Literatürde, tez çalışmasında odaklanılan problem tiplerine yakın, paralel makine çizelgeleme problemlerine ve muhtemel çözüm yöntemlerine ışık tutabilecek başlıca kaynaklar ve bunların kısa özetlerine aşağıdaki gibi değinilecektir. Problemin karmaşıklığından dolayı, paralel makinelerde çizelgeleme problemi için en uygun çözümler yerine, sezgiseller daha yaygın olarak kullanılmıştır.

Park ve ark. (2000), özdeş (identical) paralel makinelerde sıra bağımlı hazırlık sürelerinin olduğu durum için sinirsel ağlar ve sezgisel yaklaşımları birlikte kullanmışlardır. Çalışma, Lee ve ark. (1997) tarafından geliştirilen ve ATCS (Apparent Tardiness Cost with Setups) olarak anılan, her işin öncelik indisinin hesaplanmasında, öngörölü parametrelerden yararlanan, hazırlık süreli görünen gecikme maliyeti kuralının uzantısı olarak ortaya çıkmıştır. İşlerin hazırlık süreleri sıra bağımlıdır fakat makine bağımsızdır. Amaç fonksiyonu, toplam ağırlıklı gecikmenin en küçüklenmesidir. Teslim zaman darlığı, teslim zamanı aralık faktörü, hazırlık süresi önemi, iş makine faktörü, hazırlık zaman aralığı parametreleri girdi düğümleri olacak şekilde, yedi adet gizli düğümü içeren ve hiperbolik tanjant fonksiyonunun kullanıldığı “back propagation” algoritması uygulanmış ve deneysel tasarım yapılarak probleme uygun parametreler belirlenmiştir. Her işin öncelik indisini hesaplayabilmek için sinirsel ağlar kullanılmış ve önerilen yaklaşım ile elde edilen hesaplama sonuçlarının Lee ve ark. (1997)’nin elde ettiğinden daha iyi olduğu gösterilebilmiştir. Çalışma, işlerin öncelik durumlarının dikkate alınması durumunda dikkate değer iyileştirmeler sağlayabilir.

Hop ve Nagarur (2004), n adet baskı devre kartının (printed circuit boards (PCBs)), m adet özdeş olmayan paralel makinede, toplam makespan'ın en küçüklenmesinin amaçlandığı çizelgeleme problemi için, bütünleşik bir genetik algoritma geliştirmişlerdir. Aynı tip yongalar, makinenin sınırlı sayıdaki stoklama bölümüne yerleştirilir, makinenin kolları PCB için gereken yongaları kollarıyla alır ve monte eder. Burada üç problem söz konusudur. İlk problem, gruplama olup, benzer işlerin birlikte gruplandırılması önemlidir. Böylece yükleme boşaltma hazırlık süreleri en küçüklenir. İkinci problem kart gruplarının makine bazında sıralanmasıdır. Makinelerin sınırlı sayıdaki stoklama bölümleri olduğundan, makinede sonraki iş için gerekebilecek yeni yonga ihtiyacı, ilgili stoklama bölgesindeki yongaların değişmesini gerektirecektir. Bu nedenle sıralama önemlidir. Üçüncü problem değiştirme problemi. Her yeni iş başlangıcında bazı parçaların değişimleri gereklidir. Burada işlerin öncelik durumları da dikkate alınarak sıralama gözden geçirilir. Problemin üç ayrı aşamada çözülmesi yerine tek aşamada çözülmesi için geliştirilen genetik algoritma kromozom yapısı yardımı ile çok amaçlı (benzerlerin gruplanması, yükün dengelenmesi, farklı gruplardaki hazırlık süreleri) eniyileme problemi çözümleri elde edilebilmiştir ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Test sonuçlarına göre, önerilen yöntem ile elde edilen sonuçlar etkindir ve makul süreler içerisinde elde edilmiştir. Araştırmada, kapsamlı olarak değinilen uygunluk fonksiyonu, çok amaçlı eniyileme problemi çalışmaları için yararlı olabilecek niteliktedir.

Behnamian ve ark. (2009), sıra bağımlı hazırlık süreleri içeren paralel makineli çizelgeleme problemi için, karınca kolonisi eniyilemesi, değişken komşuluk arama (Variable Neighborhood search (VNS)), tavlama benzetimi (Simulated Annealing (SA)) ve VNS melez algoritmaları ile elde edilen makespan sonuçlarını karşılaştırmışlardır. VNS, üç aşamalı olarak dikkate alınmıştır. İlk aşamada, aynı makine içinde işlerin değişimi, ikinci aşamada, makineler arası iş değişimleri, üçüncü aşamada, bir makinedeki işi diğer makinedeki iki işin arasına sokma söz konusudur. Melez yapılandırılmalar, VNS tabanlıdır. Çalışmada, karınca kolonisi-tavlama benzetimi-VNS melez yapılandırmasının, diğerlerinden daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bu yöntemin ilk aşamasında, karınca kolonisi ile başlanarak farklı karıncalar yaratılır.

İkinci aşamasında her bir karınca için başlangıç çözüm oluşturulur, tavlama benzetimi çalıştırılarak başlangıç sıcaklığından bitiş sıcaklığına düşene kadar yinelemeler devam eder. Son aşamasında, tavlama benzetiminde bulunan her sonuç, VNS algoritmasına sokularak en uygun çözüm bulunmaya çalışılır. Araştırma, yerel aramalarla melez hale getirilen algoritmaların daha iyi sonuçlar vereceğini göstermiştir. Tez çalışmamızda da, önerilen algoritmanın karşılaştırılabilir nitelikte olabilmesini sağlayabilmek için temel algoritma, yerel arama yöntemleri ile güçlendirilmiştir.

Lin ve ark. (2011), ilişkisiz (unrelated) paralel makinelerde çizelgeleme problemleri için önerilen farklı sezgisellerin ve bir meta sezgiselin performanslarını karşılaştırmışlardır. Amaç fonksiyonları, makespan en küçüklmesi, toplam ağırlıklı tamamlanma zamanı ve toplam ağırlıklı gecikmedir. Araştırmacıların, çalışmada önerdikleri bir sezgisel, uygun parametreler kullanıldığında, çeşitli paralel makine ortamlarında, her üç performans ölçüsü (makespan, toplam ağırlıklı tamamlanma zamanı ve toplam ağırlıklı gecikme) için de, karşılaştırılan algoritmalarından daha iyi sonuç vermiştir.

Yang (2009), evrimsel benzetim eniyileme yaklaşımını paralel makineli çizelgeleme problemi için kullanmıştır. Entegre devre üretimi (integrated circuit (IC)), üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamasında yonga plakası üretilir. İkinci aşamasında yonga plakası işlenir. Üçüncü aşamada paketleme ve son test yapılır. Çalışmada, ikinci aşamadaki çizelgeleme problemi dikkate alınmıştır. İlk aşama sonucunda oluşan stok miktarlarını ve makine hatalarını da dikkate alacak olan stokastik süreç nedeniyle, benzetimden de yararlanılmıştır. Yapıda, sıra bağımlı hazırlık süresi vardır, sistem dinamiktir, makine hataları dikkate alınmıştır ve paralel makine olarak çizelgeleme yapılacaktır. Amaç, makespan en küçüklmesidir. Genetik algoritmalar ile evrimsel algoritmalar arasındaki temel fark, genetik algoritmanın çaprazlama ve mutasyonu kullanması, evrimsel algoritmaların sadece mutasyonu kullanmasıdır. Temel prensip aynıdır: En güçlü üyenin yaşama şansının daha fazla olmasıdır. Örnek olayda, hatalar arası ortalama süre ve tamir süresi için dağılımlar tarihsel verilerle belirlenmiş, 3 ürün tipi ve 40 özdeş makine için benzetim modellemesi yapılmış, sonuçlar deneysel tasarım yardımı ile yorumlanmıştır. Önerilen yöntem ile elde edilen sonuçlar, alt sınır çözümleri ile karşılaştırılmış ve etkili sonuçlar elde edilmiştir. Stokastik süreçlerin dâhil edildiği durumlar için irdelenebilecek

bir çalışmadır. Tez çalışmamızda ise, makinelerin yüksek üretim performansları nedeniyle süreç deterministik olarak değerlendirilmiştir.

Balin (2011), genetik algoritmayı, özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemine adapte edebilmek için, yeni çaprazlama operatörü ve uygunluk kriteri önermiştir. Kromozom, 0 ve 1 değerlerinden oluşan matris yapısındadır ve makine sayısı kadar satır, iş sayısı kadar sütun mevcuttur. Her iş, sadece bir makinede üretileceğinden, her sütünün toplamı 1 olacaktır. Satırlardaki 1 değerleri, ilgili makinede, karşılık gelen işlerin üretileceğini göstermektedir. Çaprazlama, alışıldığından farklı olarak kromozomlarla değil, genlerle yapılmıştır. Yeni algoritma, sayısal örnekler üzerinde test edilmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki, büyük boyuttaki problemlerdeki yüksek hesaplama hızına ilaveten, önerilen genetik algoritma, özdeş olmayan paralel makinelerde makespan en küçüklenmesi amacı ile de uyum sağlamaktadır. Uygunluk kriterinde, sadece makespan en küçüklenmesi yerine, makespan değerini bir formül içinde kullanmanın getirebileceği iyileştirmeler ise sonraki çalışmalar için dikkate değerdir.

Keskinturk ve ark. (2010), sıra bağımlı hazırlık sürelerinin olduğu paralel makine çizelgeleme probleminde, ortalama göreceli dengesizlik oranını (average relative percentage of imbalance (ARPI)) en küçükleyebilmek için, karınca kolonisi algoritması önermişlerdir. Önerilen algoritmada, her iş, içerisinde mevcut makinelerin tamamını barındıracak şekilde düzenlenmiş olup, yuvasından çıkan her bir karınca, olasılıklara bağlı olarak sonraki işteki makineye uğramıştır. Böylece her bir karıncanın her işi hangi makinede işleyeceği belirlenmiştir. Algoritma parametrelerinin daha iyi belirlenebilmesi için deneysel tasarım da yapılmıştır. Bazı sezgiseller, iki adet meta sezgisel ve geliştirilen karınca kolonisi algoritması ile genetik algoritma, çeşitli rassal veriler ile test edilmiştir. Önerilen karınca kolonisi algoritması, sezgisellerinden ve genetik algoritmadan daha iyi performans göstermiştir.

Hsu ve ark. (2009) tarafından yapılan çalışmada, boyalı iplikten gömlek kumaşı dokuma süreci ile ilgili olarak, iplik boyama ve dokuma süreçlerinin çizelgelenmesine odaklanılmıştır. Probleme yönelik varsayımlar, çok aşamalı üretim, sıra bağımlı hazırlık süreleri, hiyerarşik ürün yapısı, grup teslimatı olup, boya ve dokuma süreçleri için ayrı

ayrı kromozomlar tasarlanmış ve ardıl olarak çalıştırılarak, çözüm önerisi sunulmuştur. Sayısal analizler, geliştirilen metodun, mevcut sistemde kullanılan yöntem olan en kısa teslim tarihi (earliest due date (EDD)) algoritmasından daha iyi çözümler elde ettiğini göstermiştir. Tez çalışmamızda ise sadece dokuma sürecine odaklanılmış olup, işlerin alt işlere bölünmesi söz konusudur. İlâveten hazırlık süreleri makine bağımlıdır. Ayrıca döşemelik kumaş dokuma sürecinde hem boyalı hem boyasız ipliklerden üretim söz konusu olduğundan, incelenen süreçler arasında önemli farklar bulunmaktadır.

### 2.3. $R_m/S_{ijk}/C_{max}$ Problem Tipine Yönelik Çalışmalar

Amaç fonksiyonunun makespan en küçüklenmesi olduğu ilişkisiz paralel makinelerin çizelgelenmesi problemi ile ilgili literatürdeki bazı çalışmalar aşağıdaki gibidir. Çalışmaların tamamında, makine bağımlı ve iş sırası bağımlı hazırlık süreleri mevcuttur ve tüm işler sıfır anında hazırdır.

Rabadi ve ark. (2006), Meta-Raps meta-sezgiselini geliştirmişlerdir. Algoritmanın performansı, literatürde sıklıkla kullanılan problem kümeleri kullanılarak (Scheduling Research 2005) gözden geçirilmiş olup, aynı problem kümelerini kullanan sezgisellerden daha iyi makespan değerleri elde edilmiştir. Aynı çalışmada, problem için karışık tam sayılı programlama (mix integer programming (MIP)) modeli de geliştirilmiştir ve bazı küçük problem kümeleri, model yardımı ile de çözümlenebilmiştir.

Arnaout ve ark. (2010), iki aşamalı karınca kolonisi eniyilemesi algoritması (Ant Colony Optimization (ACO)) geliştirilmiştir. Algoritmanın performansını ortaya koyabilmek için aynı problem küme kaynağını (SchedulingResearch 2005) kullanan algoritmalar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre ACO diğer algoritmalarından daha iyi sonuç vermiştir. Tez çalışmamızın doğrulama aşamasında, aynı problem kümesi kullanılarak, ACO ile karşılaştırmalar sunulmuş, birçok kombinasyonda daha iyi çözümler elde edilebildiği gösterilmiştir.



Chang ve Chen (2011) ise, bahsi geçen probleme dair farklı bir yöntem önermişlerdir. Çalışmada, aynı makine içindeki ve makineler arası işlerin değişimi için üstünlük özellikleri türetilmiştir. Geliştirilen üstünlük özellikleri genetik algoritmaya eklenmiş ve bir meta sezgisel önerilmiştir. Algoritmanın performansı, Scheduling Research (2005)'deki problem kümeleri kullanılarak gözden geçirilmiştir. Test sonuçlarına göre algoritmanın başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Tez çalışmamızın özellikle yerel arama aşamasında esinlenen bu kaynak ile de algoritma karşılaştırması yapılmış ve tez çalışmasında önerilen algoritmanın daha iyi performans sunduğu ortaya konulabilmiştir.

Vallada ve Ruiz (2011) tarafından yapılan çalışmada ise bahsi geçen probleme dair, MIP modeli ve genetik algoritma adımları detaylandırılmıştır. Algoritmada, başlangıç çözümü oluştuktan sonra, çoklu ekleme (multiple insertion (MI)) sezgiseli kullanılmıştır. Her iş, her makinede, her pozisyona sokularak, algoritmanın iyi başlangıç anakütlesi ile çalışmaya başlaması sağlanmıştır. Seçim operatörü olarak, hızlı sonuç veren turnuva seçim operatörü kullanılmıştır. Buna göre rassal seçilen orandaki bireyler arasından en düşük makespan'e sahip aday turnuvada seçilir. Çalışmada, ilaveten bölgesel aramayı güçlendirmek için çaprazlama operatörü geliştirilmiştir. Çaprazlama sonrası, çözümleri iyileştirebilmek için yerel arama yöntemi de uygulanmıştır. Belirlenen anakütle büyüklüğü, çaprazlama oranı, mutasyon oranı, yerel arama oranı ile tekrarlar yapılarak deneysel tasarım tamamlanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, önerilen genetik algoritma, sınırlı yerel aramaları olan çaprazlama operatörü ve hızlı yerel arama süreci içermekte olup, literatürden bir veri kümesi üzerinde denenmiş ve karşılaştırılan metotlardan daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

#### **2.4. İşlerin Bölünebildiği Problem Tipine Yönelik Çalışmalar**

İşlerin alt işlere bölünerek çizelgelendiği durumlar, literatürde nadiren çalışılmıştır. Aşağıda, bu çalışmalardan öne çıkanlar irdelenmiştir. Tez çalışmamızın 1., 3. ve 4. aşamalarında işlerin, alt işlere bölüldüğü durum analiz edilmiştir.

İşlerin, alt işlere bölünerek çizelgelendiği çalışmalar, işlerin kesikli ya da sürekli alt işlere bölünme durumuna göre sınıflandırılabilir. Kesikli alt işlere bölünme ile ilgili bazı çalışmalar şöyledir.

#### 2.4.1. İşlerin kesikli alt işlere bölünebildiği durum

Kim ve ark. (2002), yarı iletken yonga plakaları (semiconductor wafer) üretiminde, tüm üretimin darboğaz süreci olan dilimleme (dicing) sürecine odaklanmışlardır.  $N$  adet alt parçaya bölünebilen  $L$  adet işi,  $M$  adet ilişkisiz makinede üretme problemi için tavlama benzetimi algoritması önermişlerdir. Problemden makine bağımsız fakat iş sırası bağımlı hazırlık süreleri mevcuttur. İlâveten hazırlık sürelerinin üçgen eşitsizliği (triangle inequality) sağladığı da kabul edilmiştir. Buna göre  $S_{ijk}$ :  $k$  makinesinde  $i$  lotundan  $j$  lotuna olan değişimde ortaya çıkan hazırlık süresi iken, hazırlık süreleri,  $S_{ijk}+S_{jlk} \geq S_{ilk}$  üçgen eşitsizliğini sağlayacaktır. Toplam gecikme amacı ile incelendiğinde, önerilen algoritma komşuluk arama metodundan daha iyi sonuçlar vermiştir. Tez çalışmamızda irdelenen problem ile karşılaştırıldığında ise en temel fark makine bağımsız hazırlık süreleridir. Tez çalışmamızda incelenen problemlerde, hem makine bağımlı, hem iş sırası bağımlı hazırlık süreleri mevcuttur. Ayrıca çalışmamızda, hazırlık sürelerinde üçgen eşitsizliği söz konusu değildir.

Shim ve Kim (2008) de PCB üretiminin darboğaz noktası olan delme sürecine odaklanmışlardır. Bölünebilen işlerin çizelgelenmesi probleminde, bazı üstünlük özellikleri ve alt sınırlar geliştirmişler ve bunları kullanarak dal sınır algoritması geliştirmişlerdir. Sundukları algoritma ise orta büyüklükte problemleri, kabul edilebilir hesaplama zamanlarında çözümlenebilmiştir.

Xing ve Zhang (2000), çalışmalarında  $P$ /bölünebilen işler/ $C_{max}$  problemi için sezgisel algoritma geliştirmişlerdir.  $N$  adet işi,  $m$  adet paralel makinede minimum toplam maliyet ile çizelgeleme probleminde, işler alt işlere ayrılabilir ve makinelerde bağımsız olarak üretilebilir. İlgili problem için yapılan çalışma kapsamında, geliştirilen algoritmanın en kötü durum performansı da analiz edilmiştir.

Bu tip problemler için, literatürde sıklıkla önerilen aşamalı algoritmalarından bazıları aşağıdaki gibi detaylandırılmıştır. Bu çalışmalardan farklı olarak, tez çalışmamızda önerilen yöntemde, bölme ve çizelgeleme eş zamanlı yapılmaktadır.

Kim ve ark. (2004) PCB üretim sisteminin delme sürecindeki çizelgeleme problemi için iki aşamalı sezgisel yaklaşım önermişlerdir. İşlerin kesikli sayıda alt işlere bölünebildiği ve özdeş (identical) makinelerde işlenebildiği varsayılmıştır. Algoritmanın ilk aşamasında, başlangıç çözüm mevcut sezgisel metotlar kullanılarak oluşturulmuş ve ikinci aşamada, önerilen yöntem ile her iş alt işlere ayrılarak makinelerde tekrar çizelgelenmiştir. Önerilen algoritmanın performansının mevcut olanlardan daha iyi olduğu, hesaplama sonuçları ile ortaya konulmuştur.

Yalaoui ve Chu (2003), sıra bağımlı hazırlık süreleri içeren, işlerin bölünebildiği, makespan'ı enküçüklemeye çalışan, özdeş paralel makine çizelgeleme problemini dikkate almıştır. Önerilen yöntem, iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada problem, tek makineli çizelgeleme problemine indirgenmekte ve gezgin satıcı problemi (Traveling Salesman Problem (TSP))'ne dönüştürülerek Little's yöntemi ile etkin şekilde çizelgelenmektedir. İkinci aşamada ise, ilk aşamada elde edilen başlangıç çözüm, hazırlık süreleri ve iş bölmeleri de dikkate alarak adım adım iyileştirilmektedir. İlave olarak, alt sınır geliştirilmiş ve önerilen algoritmanın performansı, rasgele türetilen çok sayıda örnek ile gözden geçirilmiş ve iyi sonuçlar elde edilmiştir. Alt sınırları kullanarak algoritmanın literatürde bulunduğu yeri tespit etme, tezimiz kapsamında da kullanılmıştır.

Tahar ve ark. (2006), sıra bağımlı hazırlık süreleri içeren ve bölünebilen bağımsız işlerin, özdeş paralel makine kümesinde makespan en küçüklenmesi amacıyla çizelgelenen NP-zor problemde, Yalaoui ve Chu (2003) tarafından önerilen metodu iyileştiren bir metot önermişlerdir. Yeni yöntemin performansı, 6000'den fazla, farklı boyutlarda örnekler üzerinde, alt sınırlarla karşılaştırılarak test edilmiştir.

Koyuncu (2009), tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışmasında, iş bölme ve makine uygunluk kriterli paralel makine çizelgeleme probleminin çözümü için üç aşamalı bir

yöntem önerilmiştir. Amaç, toplam gecikmenin en küçüklenmesidir. Problemden, işler arası değil iş aileleri arası hazırlık süreleri mevcuttur ve işlerin iş ailelerine atanması söz konusudur. Önerilen yöntemde, aşamalar kısaca aşağıdaki gibidir.

- İlk fazda iki adet kontrol parametresi (hazırlık süresi başına üretim süresi=üretim süresi/hazırlık süresi ve en büyük fark=en geç teslim tarihi-en erken teslim tarihi) kullanılarak ve bir sezgisel yardımıyla aynı aileden olan işler yığın haline getirilmeye çalışılır. İşler, aynı aileden ise hazırlık süreleri yoktur ve tek makinede üretilebiliyorlarsa bunlara yığın denir. Eğer kontrol parametreleri sınırları zorlamıyorsa işler aynı yığın içine atılabilir.
- İkinci fazda, oluşturulan yığınlardaki işlerin teslim tarihlerinin, kaynak makine zaman ölçeğine izdüşümleri girdi olarak kullanılarak minimum gecikmeyi sağlayacak doğrusal program çalıştırılır. Kaynak zaman aralıkları her makine için bulunur.
- Üçüncü fazda, her yığını bir makine üretecek şekilde, bulunan kaynak zaman aralıkları dikkate alınarak teslim zamanlarının artan sırasına göre, yığın içindeki işler makinelerle yerleştirilir.

#### **2.4.2. İşlerin sürekli alt işlere bölünebildiği durum**

İşlerin sürekli birimler halinde bölünmesi problemi ile ilgili olarak Serafini (1996), tekstil endüstrisinde dokuma tezgâhlarının çizelgelenmesi problemine odaklanmıştır. Burada işler, farklı makinelerde üretilmek üzere bağımsız olarak bölünebilmektedir ve öne almaya izin verilmiştir. Her iş için teslim tarihleri belirlenmiştir ve işlere sıfır anında ulaşılabilir. Standart (uniform) paralel makinelerin olduğu yapıda, hazırlık süreleri yoktur. Maksimum ağırlıklı gecikmeyi en aza indirebilmek amacıyla sezgisel yöntem geliştirmiştir. İlgili çalışmada, tekstil sektöründeki dokuma problemi detaylandırılmıştır. Her gün değişen ve gelişen yeni teknoloji, farklı makine tiplerini gündeme taşımış, müşteri talepleri çok şekillenmiş ve hazırlık süreleri, özdeş olmayan makineler, makine uygunluk kriteri gibi yeni kavramlar eklenmiştir. Tez çalışmamız kapsamında ise, dokuma süreci ile ilgili tüm bu kavramlar dikkate alınarak modeller geliştirilmiş, yeni teknolojinin çizelgelemeye getirdiği zorluklar alt edilmeye çalışılmıştır.

Sarıççek ve Çelik (2011) tarafından yapılan diğerk bir çalışmada, özdeş paralel makinelerde, işleri bölerek çizelgeleme problemi için sezgisel geliştirilmiştir. Sezgiselde, her makine için her pozisyondaki işler ve miktarları, öncelikle en erken teslim tarihine göre sıralanmış, sonra tabu arama ve tavlama benzetimi sezgiselleri kullanılarak çözümler elde edilmiş ve hesaplama sonuçları karşılaştırılmıştır.

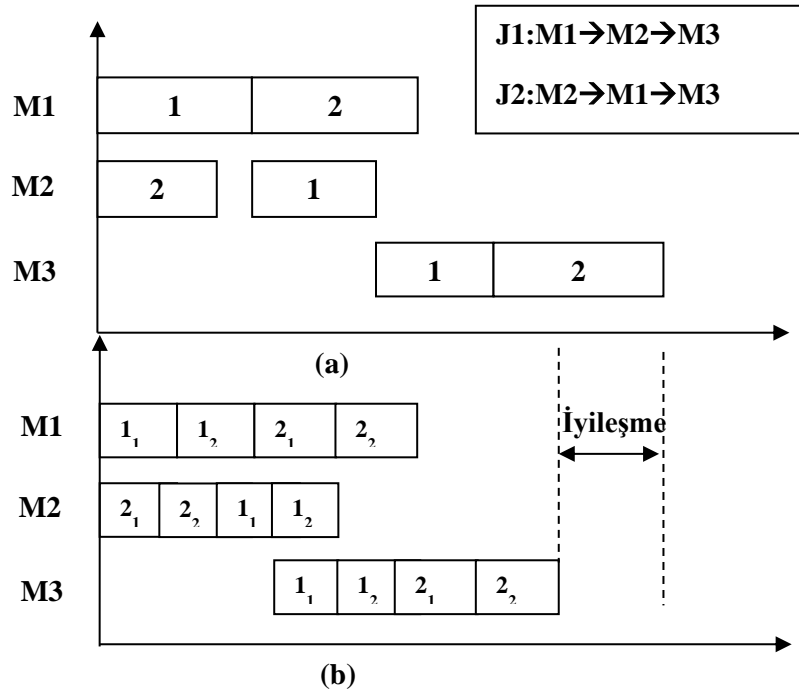
İşlerin alt işlere bölünerek çizelgelenmesi paralel makine ortamının yanında iş atölyesi (job-shop) makine ortamında da irdelenmiştir. Konu ile ilgili literatür yine sınırlı olup yapılan bazı çalışmalar aşağıdaki gibi detaylandırılabilir. Çözüm yöntemlerinin çoğunlukla aşamalı olması yine dikkat çekicidir.

Jeong (1997) tarafından yapılan çalışmada, dinamik iş atölyesi çizelgeleme probleminde yığın bölme sezgiseli geliştirilmiştir. İşlerin bölünerek çizelgelenmesi, makespan'ı iyileştirir fakat en uygun bölünecek parça sayısını bulmak zordur ve yeni eklenen iş parçasını da dâhil ederek problemi tekrar çözmeyi gerektirir. Makine arızaları, acele siparişler, erteleme gibi beklenmedik durumları da dikkate alan dinamik ortamda, iş atölyesi çizelgeleme probleminin incelendiğı çalışmada algoritma adımları aşağıdaki gibidir

- Çizelge mevcut durumda çözüldür.
- Oluşturulan çizelge içerisinde boşluklar, belirlenen eşik değerinden daha fazla ise;
  - en küçük yığın büyüklüğü,
  - eşit yığın büyüklüğü,
  - istenen yığın sayısı gibi yöntemlerle işler bölünür.
- En uygun sonucu veren çözüm seçilir.
- Durdurma kriteri sağlanana kadar döngüye devam edilir.

Chan ve ark. (2004), iş atölyesi çizelgeleme probleminde, eşit büyüklükte lot bölmeyi çözebilmek için, genetik algoritma kullanarak çözüm yöntemi geliştirmişlerdir. Yöntemde, problem iki aşamalı algoritma ile çözümlenmiştir.

- İlk aşamadaki genetik algoritmada, iki adet işin olduğu durumdaki kromozom yapısının [2,2] ile belirtilmesi, 1. ve 2. işin 2'ye bölüneceğini gösterir. Yapıda, işlerin makinelerdeki sıraları aynı kalmak koşuluyla, sadece bölünüp boşlukların ortadan kaldırılması ile elde edilecek iyileştirmeler dikkate alınmıştır. Eniyilemeyi sağlayacak kromozom, çözüm değerini verecektir. Şekil 2.1. sadece işleri bölerek ve dolayısıyla boşlukları ortadan kaldırarak elde edilebilecek iyileşmeyi göstermektedir.
- İkinci aşamadaki genetik algoritmada ise, önceki aşamada işlerin kaç bölüneceği netleştirilmiş olduğundan alt lotlar makinelere farklı sıralarda atanır ve en uygun çizelgeye karar verilir.



Şekil 2.1. İş atölyesi çizelgeleme için bölünme ile gerçekleşen iyileşme

Chan ve ark. (2007) tarafından yapılan diğer bir çalışmada, işlerin kaç parçaya ve hangi miktarda bölünebileceğinin alternatiflerinin mevcut olduğu durum için, işlerin bölme sayısı ve şekline ilk aşamadaki genetik algoritma ile, alt lotların makinelere atanmasına ikinci aşamadaki genetik algoritma ile karar verilmekte olup, algoritmaların aşamaları aşağıdaki gibidir.

- İlk aşamadaki genetik algoritmanın (GA1) temelini Şekil 2.2 (a)'daki kromozom yapısı teşkil eder. Kromozomda, üç adet işin kaç parçaya ve hangi şekilde

bölüneceği bilgisi bulunmaktadır. C1 kromozomunda, birinci işin ilk parçasının 2, ikinci parçasının 6 birimden oluşacağı gözlemlenebilir. Genetik algoritmanın çaprazlama, mutasyon ve diğer aşamaları ile bölme miktar ve şekline eniyilemeyi sağlayacak şekilde karar verildiğinde ikinci aşamadaki genetik algoritmaya geçilebilir.

- İkinci aşamadaki genetik algoritmanın (GA2) temelini Şekil 2.2 (b)'deki kromozom yapısı teşkil eder. Eğer ilk aşamada C1 kromozomu seçilir ve işlerin  $2+3+3=8$  alt parçaya ayrılmasına karar verilirse, üç adet makinede operasyon sırası da dikkate alınarak çizelgelenir. Genetik algoritmanın adımları ilerletilerek en uygun çizelgeye karar verilir.

C1	2	3	3
	2	1	2
	6	3	2
		4	6
C2	1	4	2
	8	1	3
		1	7
		2	
	4		

D1	1	12345678
	2	28137654
	3	54721836

D2	1	13572468
	2	43826517
	3	63128475

(a) GA1

(b) GA2

Şekil 2.2. İki aşamalı algoritmadaki kromozom yapıları

## 2.5. Makine Uygunluk Kriteri İçeren Çalışmalar

Tüm işlerin tüm makinelerde işlenemediği durum olarak karşımıza çıkan makine uygunluk kriteri, literatürde nadiren çalışılmıştır. Literatürde makine uygunluk kriterinin dâhil edildiği çalışmalar, aşağıdaki gibi özetlenebilir. Makine uygunluk kriteri, çalışmalarımızda 4. Aşamada incelenmiştir.

Hu ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışma, tersanelerde gemi yapımında ortaya çıkan blok dikme çizelgeleme problemi ile ilgilidir. Gemi yapım süreci, ön işlem, üretim, montaj, öncelik donatımı, boyama ve blok dikme aşamalarından oluşmaktadır. Blok

dikme problemi, öncelik kısıtlı, makine uygunluk kriterli paralel makine çizelgeleme problemi olarak tanımlanabilmektedir. En büyük toplam miktarının ilk işlenmesi kuralı (largest total amount of processing first rule (LTAP)) ve geliştirilmiş en az yüklü makineye ilk yükleme (enhanced smallest machine load first rule (ESML)) kuralının kombinasyonu olan yeni bir sezgisel geliştirilmiş ve makespan en küçüklenmesi amaçlı gerçek problemde iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Ruiz ve Maroto (2006), her aşamada ilişkisiz paralel makinelerin olduğu, sıra bağımlı hazırlık süreleri ve makine uygunluk kriterlerini içeren, melez akış tipi çizelgeleme problemi için genetik algoritma formatında sezgisel geliştirmişlerdir. Bahsi geçen problem tipi ile seramik sektörünün yanında tekstilde iplik üretim sürecinde ya da sentetik boyamada da karşılaşılabileceği belirtilmiştir. Problemden, tüm ürünler fabrikada aynı rotayı izler. Her üretim aşamasında birkaç adet çok amaçlı makine mevcuttur ve her aşama sıra bağımlı hazırlık süreleri içerir. Tüm ürünler tüm makineler tarafından işlenemez. Bu durumda üretim problemi, her aşamada ilişkisiz paralel makinelerin olduğu melez akış tipi olarak anılmaktadır. Çözömlenen problemde aşama sayıları üç ile beş arasında, aşamalardaki makine sayıları bir ile üç arasında değişmektedir. Problem, çok işlemcili akış tipi (flowshop with multiple processors (FSMP)) ya da esnek akış hattı (flexible flow line (FFL)) problemlerinden farklıdır. Çünkü bunlarda özdeş makineler vardır. Oysa melez akış tipi problemi, ilişkisiz paralel makineler içermektedir. İlgili problem için önerilen algoritma, yeni karakteristikler ve dört adet yeni çaprazlama operatörü içermektedir. Seramik fayans üretim sektöründe, gerçek veriler üzerinde de önerilen algoritma denenmiş ve mevcut duruma göre %9 iyileştirme sağlanmıştır. Çalışmaların gerçek üretim süreçlerine adapte olması, her ne kadar problemleri karmaşık hale getirirse de, bu yapılara uygun olarak tasarlanan algoritmalar yeni açılımlar sağlamıştır. Bu nedenle, tez çalışmamızda da, her ne kadar ilave zorluklar getirirse de gerçek problem çözümü için çaba harcanmıştır.

Ruiz ve ark.(2008) tarafından önerilen diğer bir çalışmada ise, esnek akış tipi yapısı mevcuttur. İşlerin aşama atlayabilmesi nedeniyle esnek akış tipi olarak anılmaktadır. Her aşamada belirli sayıda ilişkisiz paralel makine bulunan problem için, karışık tam sayılı modelleme ve bazı sezgiseller önerilmiştir. Yine gerçek bir problem olan seramik



fayans üretim süreci irdelenmiş olup, bu defa işin öncülleri, makine serbest kalma zamanları ve aşamalar arasında oluşan zaman boşlukları da dikkate alınmıştır. MIP model ve sezgiseller, kapsamlı veri kümeleri kullanılarak test edilmiştir.

Lin ve Li (2004) tarafından yapılan çalışmada ise, birim uzunluklu her işin, belirli makine kümesindeki makinelerden birinde işlenebildiği paralel makine çizelgeleme problemi irdelenmiştir.  $P/p_j=1, M_j/C_{max}$  olarak anılabilecek problem tipinde  $P$ : özdeş paralel makineleri,  $p_j=1$ : birim üretim süresini,  $M_j$ , makine uygunluk kriterini,  $C_{max}$  makespan'ı işaret eder. Çalışmada, ikili arama (binary search), en az esnek iş (least feasible job (LFJ)) gibi yöntemlerin probleme özel adaptasyonları detayları ile irdelenmiştir. Makine hızlarının farklı olduğu durum olan  $Q/p_j=1, M_j/C_{max}$  problemine de önerilen algoritma adapte edilebilmiştir.

Liao ve Sheen (2008) tarafından yapılan çalışmada,  $n$  adet bağımsız işin,  $m$  adet özdeş makinede, makespan en küçüklenmesini sağlayacak şekilde, makine ulaşılabilirlik ve uygunluk kısıtlarını kapsayan çizelgeleme problemine odaklanılmıştır. Her makinenin sürekli olarak her zaman ulaşılabilirliği söz konusu değildir. Buna ilaveten her iş sadece belirli makinelerde işlenebilir. Çalışmada, ağ akış yaklaşımı ve ikili arama algoritmaları önerilmiştir.

Centeno ve Armacost (2004) tarafından yapılan çalışmada da makine uygunluk kısıtının mevcut olduğu durumdaki çizelgeleme problemi üzerine odaklanılmıştır. Makine uygunluk kümelerinin oluşturulabildiği durum için, paralel makine ortamında ve eşit işleme süreleri varlığında makespan en küçüklenmesi amaçlandığında, en az esnek iş kuralının (least flexible job (LFJ)) iyi sonuçlar verdiği bilinmektedir. Yapılan çalışmada ise makine uygunluk kümelerinin oluşturulamadığı (eşit olmayan işleme süreleri nedeniyle) gerçekçi durumlar için en uzun işleme süresi (longest processing time (LPT)) kuralı önerilmiş ve LFJ'den daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Çalışma kapsamında önerilen ve gözden geçirilen yeni sezgisel, paralel makine çizelgeleme problemi ve çalışmanın ortaya çıkmasındaki temel motivasyon olan yarıiletken endüstrisindeki uygulamaları için önemli sonuçlar sunmuştur.

Literatürde, bölünme ve makine uygunluk koşullarının birlikte incelendiği, tez çalışmamızın kapsamı ile karşılaştırılabilir içerikte bir çalışma bulunamamıştır. Bu anlamda da literatüre katkı söz konusu olacaktır.

## 2.6. Çizelgeleme Problemi Çözümü İçin Kullanılan Diğer Bazı Yöntemler

Çizelgeleme problemlerinde kullanılan diğer bazı yöntemlerin irdelendiği kaynaklardan aşağıdaki gibi bahsedilebilir.

Naderi ve ark. (2010), akış atölyesi çizelgeleme problemi için, elektrik yüklü parçacıkların çözüm uzayında birbirlerini çekip itmesine dayanan bir algoritma olan, elektromanyetizma tabanlı EMA (electromagnetism-like mechanism algorithm) kullanmışlardır. Çalışmada önerilen EMA, yerel arama algoritması ile melez hale getirilmiştir. Aday çözümlerde, işlerin sırasının belirlenmesinde rassal anahtar sayılar kullanılmıştır. Algoritmada, her parçacık bir çözümü ifade eder ve her parçacık yükü, amaç fonksiyonu değeridir. Daha yüksek yük, daha iyi amaç fonksiyonunu gösterir. Tüm alternatifler için alternatif sıralamalı parçacıklar oluşturulur, amaç fonksiyonu değerleri elde edilir. Çalışmada belirtilen formüller ile parçacık yükleri ve parçacıkların birbirlerine olan çekim kuvvetleri hesaplanır. Parçacık pozisyonu, elde edilen toplam kuvvete göre güncellenir. Çalışmada, yerel eniyileme için tavlama benzetimi kullanılmıştır ve deneysel tasarım yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çizelgeleme problemleri için alternatif sezgisellerin kullanılabilmesi ve iyi sonuçlar alınabileceğini gösterdiği için dikkate değer bir çalışmadır.

Khilwani ve ark. (2008) tarafından yapılan bir çalışmada, bağışıklık sistemleri temelinde çalışan algoritma kapsamında “chaotic generators” ile rassal sayılar üretilmiştir. Rassal sayı üretmek için önerilen üç fonksiyonun (logistic, tent, sinusoidal) denklemleri tanımlanmıştır. Her defasında bu fonksiyonlardan biri rassal olarak seçilerek o fonksiyon ile rassal sayı türetilmesi sağlanmaktadır. Çalışmada, ileri mutasyon stratejileri ve elitizm tabanlı bağışıklık hafızası incelenmiş ve elde edilen hesaplama sonuçları karşılaştırılmıştır.

Chang ve ark. (2009) tarafından yapılan, sıralamanın rassal anahtar sayılara göre elde edildiği diğer bir çalışmada ise, tek makine çizelgeleme probleminin çözümü için electromagnetism like-mechanism algoritması (EMA) ile genetik algoritma melez hale getirilmiştir. Yerel arama süreci ile başlatılan sıralamanın elde edilen sonucu, belirlenen ortalama değerden iyi ise genetik algoritma kullanılarak diğer iyi çözümle eşleştirilmiş, aksi durumda EMA'sına göre hareket ettirilmiştir. Genetik algoritma ve melez algoritma sonuçları karşılaştırılmıştır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Tez çalışmasının ana başlıklarına, önceki bölümde, (bkz. Çizelge 1.1) gösterildiği gibi değinilmiş, işlerin farklı özelliklerine göre, paralel makine çizelgeleme ana başlığının altında şekillenen problemler için çözüm önerileri geliştirilmiştir. Tez çalışması kapsamında, problemlerin küçük boyutlu olduğu durumlar için, matematiksel modeller geliştirilmiş, daha büyük boyutlu problemler için sezgisel yöntemler geliştirilmiş, deneysel tasarım yöntemi ile parametre ayarları yapılmış, geliştirilen yöntemler mevcuttaki algoritmalar ile karşılaştırılarak doğrulanmış ve gerçek hayat probleminin çözümü için çeşitli adaptasyonlar yapılmıştır.

MIP, MPL programı ile kodlanmış, çözücü olarak ise CPLEX 11.00 kullanılmıştır. Sezgisel yöntem olarak ise genetik algoritma kullanılmıştır. Geliştirilen genetik algoritma ve melez algoritmalar özel olarak tasarlandığı için, çalışmamız kapsamında, standart genetik algoritma uygulamaları kullanılmamış, problemlere özel modellerin yazımında C# programlama dili kullanılmıştır.

Genetik algoritma, yaşayan canlıların doğal evrim sürecini taklit eden bir arama tekniğidir. Anakütledeki her çözümün genetik gösterimi (sembollerin dizilimi) önemli konulardan biri olup, dizilim, kromozom ve semboller de gen olarak adlandırılır. Başlangıç anakütlenin yaratılması ve her kromozomun uygunluk fonksiyonunun hesaplanmasının ardından genetik algoritma, üreme, çaprazlama, mutasyon gibi işlemlerle seçim sürecine devam eder. Algoritma, ilk kez Holland (1975) tarafından geliştirilmiş olup Goldberg (1989) ile arama tekniği olarak kullanımı popüler hale gelmiş, 1980'li yılların ortalarında çizelgeleme problemleri için uygulanmaya başlanmıştır.

İrdelenecek olan problemlerdeki  $R_m/S_{ijk}/C_{max}$  yapısındaki elemanlar aşağıdaki gibi açıklanabilir. Bahsi geçen problemlerde,

- $N = \{1, \dots, n\}$  kümesinde  $n$  adet iş mevcuttur.
- İşler,  $M = \{1, \dots, m\}$  kümesindeki  $m$  adet ilişkisiz (unrelated,  $R_m$ ) makineden birinde üretilecektir. Eğer, işlerin işlenme süreleri, atanan makineye bağlı ise ve

bu makinelerin hızları arasında herhangi bir ilişki mevcut değilse, makineler ilişkisiz (unrelated) olarak incelenebilir. (Vallada ve Ruiz 2011).

- Hazırlık süreleri ( $S_{ijk}$ ), iş ve makineye bağlı olarak değişmektedir. Her makinenin kendine ait hazırlık süre matrisi vardır ve bu matrisler birbirinden farklıdır.  $i$  makinesinde  $j$  ve  $k$  işleri arasındaki hazırlık süresi, aynı makinede  $k$  ve  $j$  işleri arasındaki hazırlık süresinden farklıdır. Hazırlık süreleri ile ilgili tanım 3.4 alt bölümünde bir miktar değişikliğe uğramıştır. Aynı alt bölümde makine uygunluk kriteri de devreye girmiştir.
- Amaç fonksiyonu olarak makespan dikkate alınmıştır. Çizelgeleme teorisinde, makespan, sistemden ayrılan son işin tamamlanma zamanına eşittir. Daha küçük makespan daha yüksek kullanım oranı sağlar ve bu da sistemin çıktı hızı ile bağıntılıdır. Sonuç olarak,  $C_{max}$ 'ın azaltılması daha yüksek çıktı hızı sağlayacaktır (Kashan ve ark. 2010). Bu nedenle makespan'ın en küçüklenmesi, tüm algoritmalarda bu çalışmanın amacı olmuştur.

Problem, literatürde  $R_m/S_{ijk}/C_{max}$  problemi olarak anılmaktadır. Özdeş (identical) paralel makine sayısının  $m$  olduğu ve sıra bağımlı hazırlık sürelerinin mevcut olduğu çizelgeleme probleminde makespan en küçükleme NP-zor'dur (Yalaoui ve Chu 2003). Bu nedenle ilişkisiz makinelerin yer aldığı daha karmaşık olan bu problem de NP-zor olacaktır.

Problem parametre kümesinin gösterimi önemlidir. Kodlamanın, kromozom dizilimleri arasında etkin ve verimli olarak bilgi alışverişini sağlayacak şekilde tasarlanması gerekir (Goldberg, 1989). Kodlama şemasının kalitesini arttırabilmek için çalışmada rassal sayılar kullanılmış olup, her iş için 0 ile 1 arasında türetilmiş rassal sayılar mevcuttur. Bu rassal sayılar, her makinede işlerin sırasını gösterecektir. Her problem için kromozom yapısı farklılaşacağı için, kodlama ile ilgili detaylı bilgi, alt bölümlerde irdelenecektir. İlâveten, karşılaştırmalar ve sonuçlar da, konuların dağılmaması için alt bölümler içerisinde derlenecektir. Elde edilen bulgular ve sonuç ise sonraki bölümde analiz edilecektir.

### 3.1. İşlerin Bölünebildiği $R_m/S_{ijk}/C_{max}$ Problemi İçin Geliştirilen Genetik

#### Algoritma: GAsp

Bu aşamada, paralel makineli akışa sahip olan dokuma sürecinin siparişlerinin çizelgelenmesi problemi (işlerin bölünebildiği  $R_m/S_{ijk}/C_{max}$ ) için bir genetik algoritma geliştirilmiştir. Algoritmanın gerçek hayat problemi ile denenmesi amacıyla, Bursa’da döşemelik kumaş üreten Boyteks Tekstil Endüstri ve Ticaret A.Ş. firmasının dokuma tezgâhı çizelgeleme problemi ele alınmıştır.

#### 3.1.1. Problem tanımı

Değişen teknoloji, firmaları yeni donanım yatırımlarına itmektedir. Makine ve müşteri sipariş yelpazesinin geniş olması da, makine ortamını ilişkisiz hale getirmiştir. Ayrıca, siparişlerin taahhüt edilen teslim tarihlerine yetiştirilmesini sağlayabilmek için, siparişlerin alt işlere bölünerek üretilmesi zorunludur. Bu nedenle hedef, makespan en küçüklenmesi amacıyla, her işin bölünmesi gereken alt iş sayısına, her bir alt işin üretileceği makineye ve makinedeki işlenme sırasına eş zamanlı olarak karar vermektir. Bilindiği kadarıyla, bu içerikte bir problem için geliştirilen algoritma literatürde bulunmamaktadır.

$R_m/S_{ijk}/C_{max}$  probleminin daha karmaşık durumu olan bu problem tipinde, işler alt işlere bölünebilmektedir. GAsp olarak anılacak olan, işlerin bölünebilme özelliğinde olduğu durum için geliştirilen genetik algoritmanın kromozom gösterimi için, rassal anahtar sayılar kullanılmıştır. Algoritma, gerçek hayat çizelgeleme problemi ile karşılaştırılmış ve kabul edilebilir hesaplama süreleri içerisinde firmanın mevcut çizelgesinden daha iyi sonuçlar elde edilebilmiştir.

Algoritmada en uygun alt iş sayısının bulunabilmesi için işin en fazla kaç alt işe bölünebileceğinin bilinmesi gerekir. Siparişlerin alt işlere bölünmesi genellikle deneyimli personel tarafından yapılmaktadır. Geliştirilen algoritmanın girdileri arasında yer alacak olan, “her iş için en fazla bölünme sayısı” değerinin bulunması amacıyla ön

analiz yapılmıştır. Buna göre, üzerinde çalışılan firmanın dört yıllık siparişleri incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Küçük siparişler olarak ele alınabilecek 10 000 mt.'den küçük siparişler, en büyük planlama süresini almaktadır. Küçük siparişler, 3.1 alt bölümünün kapsamını oluşturacaktır.
- Küçük siparişler için alt-işler incelendiğinde aşağıdaki verilere ulaşılmıştır.
  - 500 mt.'den daha küçük olan siparişler bölünmemektedir.
  - 500-1 000 mt. arasında olan siparişler en fazla 2 alt işe bölünmüştür.
  - 1 000-2 000 mt. arasında olan siparişler en fazla 3 alt işe bölünmüştür.
  - 2 000-5 000 mt. arasında olan siparişler en fazla 4 alt işe bölünmüştür.
  - 5 000-10 000 mt. arasında olan siparişler en fazla 5 alt işe bölünmüştür.

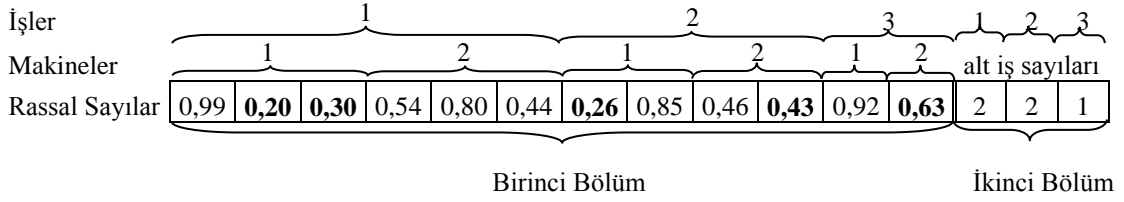
Algoritmamızda bölünme, ana sipariş uzunluğuna göre yapılacaktır. Örneğin eğer sipariş büyüklüğü 5 000-10 000 mt. arasında ise alt iş sayısı 1, 2, 3, 4 ya da 5 olabilir. Geliştirilen algoritma çizelgelemeyi ve alt iş sayısının bulunmasını eşzamanlı yapacaktır. Önerilen algoritma, çözüm yöntemi ve karşılaştırmalar devam eden bölümlerde açıklanacaktır.

### 3.1.2. Önerilen genetik algoritma

#### 3.1.2.1. Kodlama şeması

Kromozom, rassal sayıların dizilimi ile gösterilmiştir. Şekil 3.1 örnek bir kromozom yapısını göstermektedir. Kromozoma ait “birinci bölüm”  $n$  (iş sayısı) kadar bölme içerir. Her bölme ise ayrıca  $m$  (makine sayısı) kadar gene bölünmüştür. İşlerin sırası, her gen için 0 ile 1 arasında üretilen rassal sayılar ile belirlenecektir. “İkinci bölüm” ise yine  $n$  (iş sayısı) kadar bölme içerir. Alt işlerin sayısı 1 ile ana işin bölünebileceği maksimum iş sayısı arasında rassal olarak üretilecektir. Şekil 3.1'deki kromozom yapısı için, 2 makine ve 3 iş söz konusudur.  $İş_1$ ,  $İş_2$  ve  $İş_3$  için maksimum alt iş sayısı sırası ile 3, 2 ve 1'dir.  $İş_1$  için, kromozomun ikinci bölümünde yaratılan sayı 2 olduğu için, kromozomun birinci bölümünden  $İş_1$  için yaratılan rassal sayılar arasından en küçük iki sayı seçilir. Seçilen değerler ( $İş_1$  için 0,2 ve 0,3) Şekil 3.1'de koyu renk ile belirtilmiştir.  $İş_1$ 'e ait birinci ve ikinci alt işler Makine<sub>1</sub>'de üretilecektir. Benzer şekilde  $İş_2$  için alt iş sayısı 2

olup bunlar Makine<sub>1</sub> ve Makine<sub>2</sub>'de üretileceklerdir, İş<sub>3</sub> için alt iş sayısı 1'dir ve Makine<sub>2</sub>'de üretilecektir,



Şekil 3.1. Genetik alırtmada örnek bir kromozomun gösterimi

### 3.1.2.2. Uygunluk fonksiyonu (makespan: $C_{max}$ )

Daha önce de belirtildiği gibi, incelenen sistemde her işin her makinede işleme süresi ve makine ve sıra bağımlı hazırlık süreleri vardır.

- $p_{ij}$ :  $j$  işinin  $i$  makinesinde işlenme süresi ( $j \in N$  ve  $i \in M$ ).
- $S_{ijk}$ :  $i$  makinesinde  $j$  işinden sonra gelen  $k$  işini işlerken oluşan hazırlık süresidir ( $j, k \in N$  ve  $i \in M$ ).

Örnekteki 3 iş ve 2 makineli çizelgeleme problemi incelenmeye devam edilirse, Çizelge 3.1, Makine<sub>1</sub> ve Makine<sub>2</sub> için işlerin işlenme sürelerini göstermektedir. Çizelge 3.2, Çizelge 3.3 sırası ile, Makine<sub>1</sub> ve Makine<sub>2</sub> için işler arası geçişlerdeki hazırlık sürelerini göstermektedir. Şekil 3.1 de gösterilen kromozoma göre Makine<sub>1</sub>, İş<sub>1</sub>'in 2 alt işini (alt iş<sub>11</sub>, alt iş<sub>12</sub>) ve İş<sub>2</sub>'nin 1 alt işini (alt iş<sub>21</sub>) işleyecektir. Makine<sub>2</sub> ise İş<sub>2</sub>'nin 1 alt işini (alt iş<sub>22</sub>) ve İş<sub>3</sub>'ün 1 alt işini (alt iş<sub>31</sub>) işleyecektir. Makine<sub>1</sub>'de işlenecek olan işlerin sırası kromozomdaki rassal sayılara göre belirlenecektir. Bu sayıların küçükten büyüğe doğru sıralanması (0,20, 0,26 ve 0,30) ile oluşan sıra Makine<sub>1</sub>'in çizelgesini oluşturacaktır. Makine<sub>1</sub>'deki sıra, alt iş<sub>11</sub>, alt iş<sub>21</sub>, alt iş<sub>12</sub> olacaktır. Eğer, ana iş alt işlere ayrılıyorsa, işleme süresi de ana işin ilgili makinedeki işleme süresinin alt iş sayısına bölünmesi ile elde edilir.  $p_{ij}$  ve  $S_{ijk}$  değerlerine göre Makine<sub>1</sub>'deki işlerin tamamlanma zamanı 130 ve Makine<sub>2</sub>'deki işlerin tamamlanma zamanı 78'dir. Bu durumda makespan değeri, en büyük değeri olan 130 olarak alınır. İlgili kromozoma ait çizelge ve makespan değeri Şekil 3.2'deki gibidir. Anakütle sayısı, farklı kromozom ve  $C_{max}$  değerlerinin sayısını belirleyecektir.



Çizelge 3.1. İşlerin makinelerde işlenme süreleri

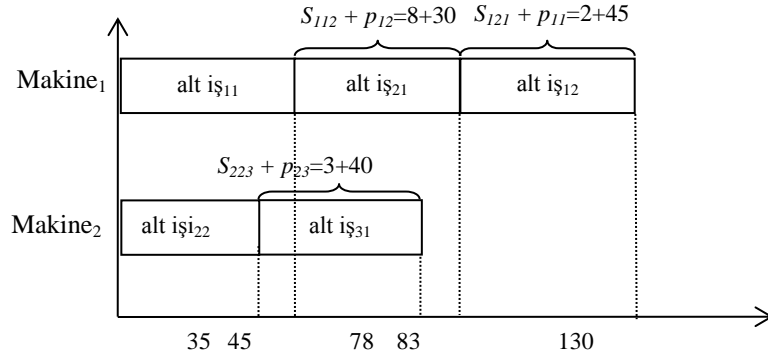
$p_{ij}$	İş <sub>1</sub>	İş <sub>2</sub>	İş <sub>3</sub>
Makine <sub>1</sub>	90	60	30
Makine <sub>2</sub>	95	70	40

Çizelge 3.2. Makine<sub>1</sub> için hazırlık süreleri

$S_{ijk}$	İş <sub>1</sub>	İş <sub>2</sub>	İş <sub>3</sub>
İş <sub>1</sub>	-	8	6
İş <sub>2</sub>	2	-	4
İş <sub>3</sub>	3	7	-

Çizelge 3.3. Makine<sub>2</sub> için hazırlık süreleri

$S_{ijk}$	İş <sub>1</sub>	İş <sub>2</sub>	İş <sub>3</sub>
İş <sub>1</sub>	-	2	6
İş <sub>2</sub>	4	-	3
İş <sub>3</sub>	2	1	-



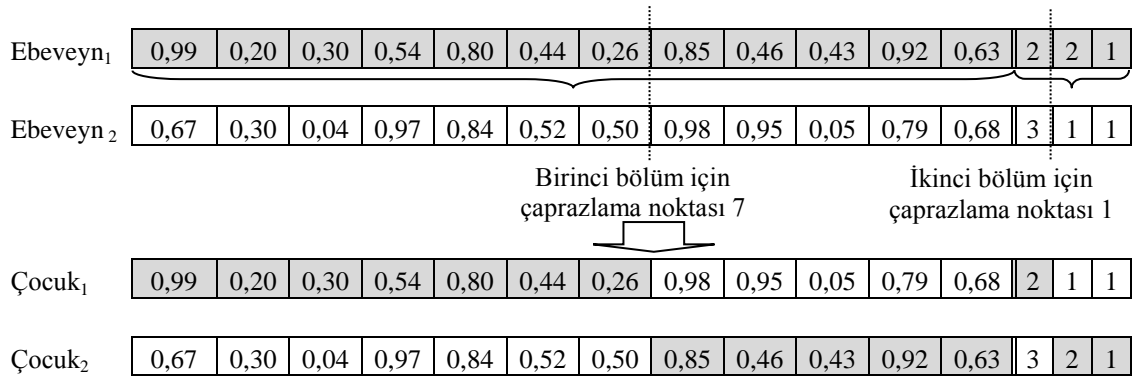
Şekil 3.2. Şekil 3.1 deki kromozoma ait çizelge ve  $C_{max}$  değeri

### 3.1.2.3. Genetik operatörler

Başlangıç anakütlenin oluşturulmasının ardından, seçim, çaprazlama ve mutasyon operatörleri en uygun çözümü bulabilmek için tekrarlanarak ilerletilir

Seçim: Kromozomlar evlenme havuzuna rassal seçim yöntemi (Haupt ve Haupt 2004)'ne göre alınacaklar. Bu yöntemde anne ve babalar anakütleden rassal olarak seçilir. Ayrıca “elitizm” de uygulanacak, her nesilde bulunan en iyi değere sahip kromozom mutasyona uğratılmayacaktır.

Çaprazlama:  $P_c$  çaprazlama oranı değerine göre uygulanacak olan çaprazlama operatörü, kromozomlar arasında bilgi alışverişinin sağlanması için kullanılacaktır. Algoritmamızda tek noktalı çaprazlama kullanılacaktır. Buna göre, çaprazlama noktası rassal olarak seçilir ve iki ebeveyn arasında gen değişimi gerçekleştirilerek 2 çocuk üretilir. Şekil 3.3 bu işlemi göstermektedir. Şekil 3.3'deki örnekte, birinci bölüm için çaprazlama noktası rassal olarak 7 noktasında seçilmiştir. Çocuklar şöyle türetilir. Ebeveyn<sub>1</sub>, çaprazlama noktasının solunda kalan genlerini Çocuk<sub>1</sub>'e, Ebeveyn<sub>2</sub> ise çaprazlama noktasının solunda kalan genlerini Çocuk<sub>2</sub>'ye aktarır. Sonrasında Ebeveyn<sub>1</sub>'in çaprazlama noktasının sağında kalan genler Çocuk<sub>2</sub>'ye, Ebeveyn<sub>2</sub>'in çaprazlama noktasının sağında kalan genler Çocuk<sub>1</sub>'e aktarılır, Aynı prosedür kromozoma ait ikinci bölüm için de tekrarlanır.



Şekil 3.3. Çaprazlama operasyonu

Mutasyon: Mutasyon, anakütlerdeki çözümlerin yerel eniyeye takılmasını engelleyebilmek için kullanılır. Algoritmamızda, anakütleden mutasyon oranına ( $P_m$ ) göre rassal olarak seçilen kromozomlara mutasyon uygulanacaktır. Seçilen kromozomun rassal olarak seçilen bir geni yeni üretilen bir rassal sayı ile değiştirilecek ve bu operasyon tüm seçilen kromozomlar için uygulanacaktır. Bu yöntem ile yeni çizelge ve makespan değerleri elde edilebilir. Tekrar hesaplanan uygunluk değeri öncekinden daha iyi, daha kötü ya da aynı değerde olabilir. İncelenen örnek için

mutasyon operatörü Şekil 3.4'deki gibi gösterilmiştir. Burada, rassal seçilen kromozom Ebeveyn<sub>1</sub> olup, rassal seçilen genin 0,54 değeri 0,15 değeri ile değiştirildiğinde Makine<sub>1</sub> ve Makine<sub>2</sub>'nin çizelgeleri değişecektir. Bu durumda elde edilen makespan değeri olan 127,5 eskisinden daha iyidir. Mutasyon bu örnekte iyileşme sağlamıştır.

Ebeveyn <sub>1</sub>	0,99	<b>0,20</b>	<b>0,30</b>	0,54	0,80	0,44	<b>0,26</b>	0,85	0,46	<b>0,43</b>	0,92	<b>0,63</b>	2	2	1
				↓											
Ebeveyn <sub>1</sub>	0,99	<b>0,20</b>	0,30	<b>0,15</b>	0,80	0,44	<b>0,26</b>	0,85	0,46	<b>0,43</b>	0,92	<b>0,63</b>	2	2	1

Şekil 3.4. Mutasyon operatörü

### 3.1.3. Sayısal örnek

Önerilen algoritmayı test edebilmek için, problem tanımı bölümünde bahsi geçen küçük siparişler, bir aylık zaman dilimi için çalışılmıştır. Tekrar edilebilirliğin sağlanabilmesi için sipariş büyüklükleri, işlem süreleri, hazırlık süreleri dağılımları verilecektir. Küçük siparişlerin dağılımı, %95 güven seviyesi ile minimum değeri 1, konum (location) değeri 6,22 ve ölçek (scale) değeri 1,88 birim uzunluk olan lognormal dağılım fonksiyonuna uymaktadır. 111 adet iş mevcuttur ve makinelerde işleme süreleri, minimum değeri 0,0024 ile maksimum değeri 0,1248 saat/birim uzunluk olan düzgün dağılım fonksiyonuna uymaktadır. 75 makine mevcuttur ve bu makinelerin %23'ü armürlü dokuma makinesidir. Armürlü dokuma makinelerinin %35'i için işler arası hazırlık süreleri mevcuttur ve minimum değeri 0,37, ölçek değeri 10,49 saat olan üssel dağılım fonksiyonuna uymaktadır (güven seviyesi %95). 75 makinenin %77'si ise jakarlı dokuma makinesidir ve bunların %42'si için işler arası hazırlık süreleri mevcuttur ve minimum değeri 0,18, ölçek değeri 18,85 saat olan üssel dağılıma uymaktadır (güven seviyesi %95). Her iş, her makinede (armürlü ya da jakarlı) üretilebilir fakat hazırlık süreleri ve işleme süreleri farklı olacaktır.

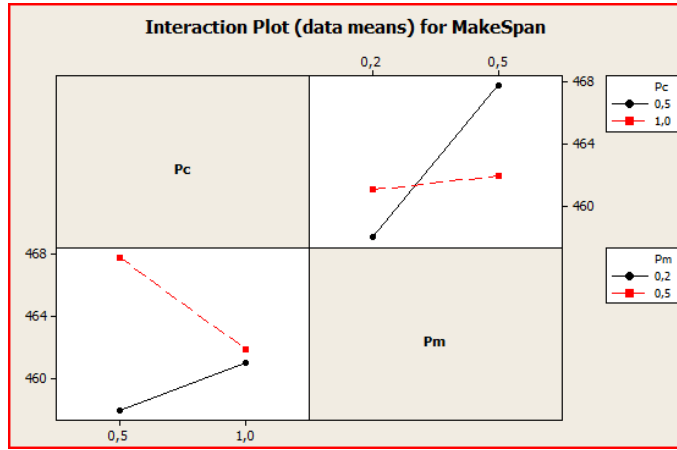
#### 3.1.3.1. Deneysel sonuçlar ve parametre değerleri

Genetik algoritmanın parametre konfigürasyonu deneysel tasarım yaklaşımı ile, Minitab 16 kullanılarak yapılmıştır. Faktörler ve seviyeleri Çizelge 3.4'de verilmiştir. Her parametre kombinasyonu 5'er kez tekrarlanmıştır. Şekil 3.5'deki etkileşim grafiği, çaprazlama oranı ( $P_c$ ) ve mutasyon oranı ( $P_m$ ) arasında güçlü etkileşim olduğunu

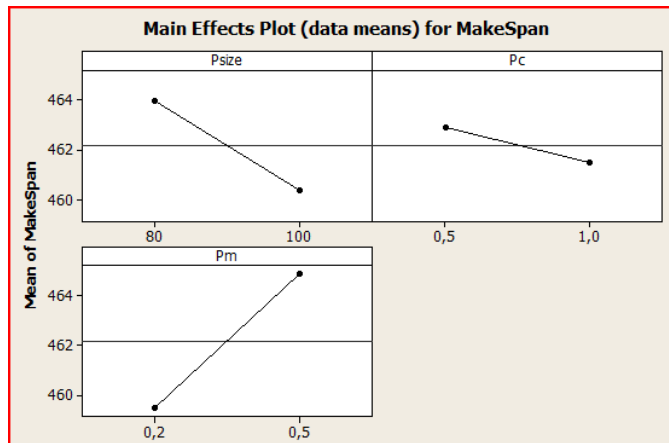
gösterir. Çaprazlama oranı 0,5 ve mutasyon oranı 0,2 değerine sabitlenirse, algoritma daha iyi kalitede sonuçlar verecektir. Anakütle büyüklüğü ( $P_{size}$ ) ise Şekil 3.6'daki ana etkiler grafiğine göre 100 olarak alınacaktır.

Çizelge 3.4. Önerilen genetik algoritma için denenen parametre değerleri

Parametreler	Değerler
Anakütle büyüklüğü ( $P_{size}$ )	80; 100
Çaprazlama oranı ( $P_c$ )	0.5; 1,0
Mutasyon oranı ( $P_m$ )	0.2; 0,5



Şekil 3.5.  $P_c$  ve  $P_m$  arasındaki etkileşim grafiği

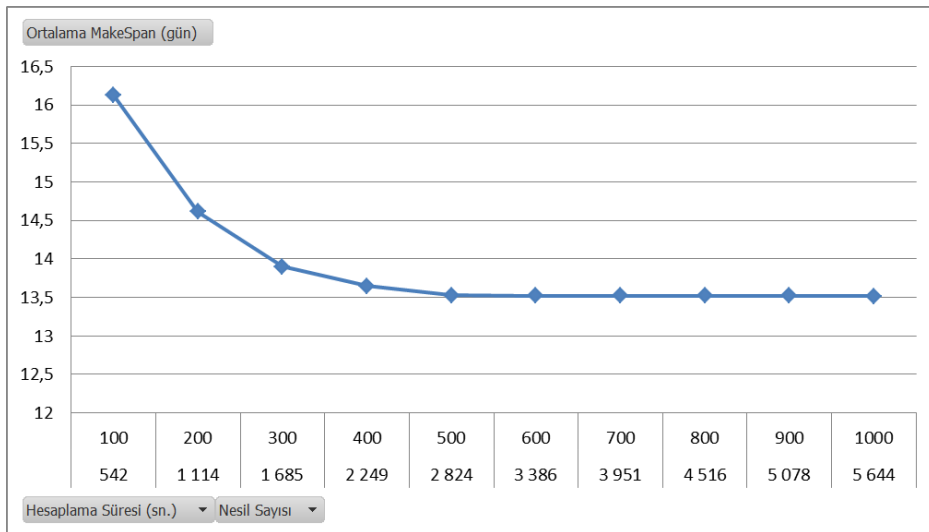


Şekil 3.6. Üç faktöre ait ana etkiler grafiği

### 3.1.3.2. Hesaplama Sonuçları

Önerilen algoritma, C# programlama dilinde kodlanmış ve Intel Core 2 Duo işlemcili 2.26 GHz ile çalışan bilgisayarda çalıştırılmıştır. Beş tekrar yapılmış ve 1000 nesle kadar her 100 nesilde bir makespan değerleri ve hesaplama süreleri kayıt altına alınmıştır. Şekil 3.7, incelenen nesillerdeki ortalama makespan ve hesaplama süresi değerlerini göstermektedir. Şekil 3.7’den da görülebileceği gibi 500 nesilden sonra makespan’da önemli bir iyileşme görülmemektedir. Dolayısıyla, nesil sayısı 500 ile sabitlenebilir. Hesaplamaların sonuçları göstermektedir ki 111 iş ve 75 makine içeren problem kabul edilebilir CPU süresi içerisinde, geliştirilen GAsp ile çözümlenebilmiştir. İncelenen 111 iş için gerçek sistemdeki makespan değeri 19,74 gündür. Algoritmamız ile bulunan 13,52 değeri, mevcut değerden daha iyidir. Sonuç olarak, önerilen genetik algoritma ile makespan değerinde mevcut sistemdekine göre önemli oranda iyileşme elde edilmiştir.

Geliştirilen GAsp algoritması ile mevcut durumdan daha iyi sonuçlar elde edilmiş olmasına rağmen, literatürdeki yerinin belirlenmesi açısından algoritmanın doğrulamasının yapılmasına ihtiyaç duyulmuştur. 3.2 alt bölümünde algoritmanın doğrulamasının ilk adımı tamamlanmıştır. 3.3. bölümünde ise algoritmanın doğrulaması tamamlanacak, 3.4 alt bölümünde firmaya ait tüm siparişler dikkate alınarak çizelgeleme yapılabilecektir.



Şekil 3.7. Belirlenen nesiller için ortalama hesaplama süreleri ve makespan değerleri

### 3.2. $R_m/S_{ijk}/C_{max}$ Problemi İçin Geliştirilen Melez Yerel Aramalı Genetik Algoritma : GALA

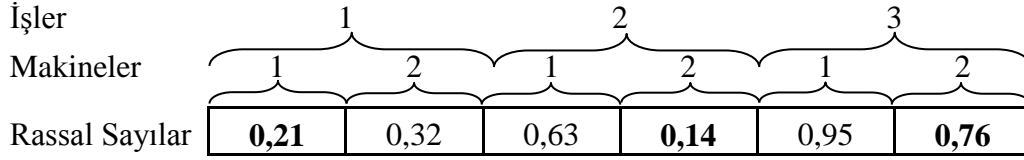
Tez çalışmasının temel konusu olan, bölünebilen ve makine ve sıra bağımlı hazırlık süreleri içeren işlerin ilişkisiz (unrelated) makinelerde maksimum tamamlanma zamanını (makespan) enküçükleyebilmek amacı ile çizelgelenmesi probleminin (işlerin bölünebildiği  $R_m/S_{ijk}/C_{max}$ ) çözümüne dair, önerilen yöntemi karşılaştırabilmek için literatürde kullanılmış herhangi bir problem kümesi mevcut değildir. Algoritmanın etkisini gözlemleyebilmek için bölünebilme kısmı kaldırılmış, işlerin bölünmediği durumda oluşan yeni problem ( $R_m/S_{ijk}/C_{max}$ ) için, kod tekrar düzenlenmiştir. İlâveten yerel arama yöntemi geliştirilmiş ve algoritmaya dâhil edilmiştir. Literatürde sıklıkla kullanılan problem kümesi (Scheduling Research 2005) dikkate alınarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Geliştirilen algoritma, aynı problem kümesini kullanarak çözüm sunan İki Aşamalı Karınca Kolonisi Eniyilemesi (Ant Colony Optimization (ACO)) (Arnaout ve ark. 2010) ile karşılaştırılmış ve hesaplama sonuçları önerilen algoritmanın etkinliğini doğrulamıştır. İlâveten, önerilen algoritmayı doğrulayabilmek için, Chang ve Chen (2011) tarafından önerilen GADP2 (integrating the dominance properties with a genetic algorithm (genetik algoritma uygulamalı bütünleşik üstünlük özellikleri)) ile karşılaştırılmış ve önerilen GALA ile daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

#### 3.2.1. Önerilen genetik algoritma

##### 3.2.1.1. Kodlama şeması

Önerilen algoritmada kromozom, yine rassal sayıların dizilimi ile gösterilmiştir. Şekil 3.8 örnek bir kromozom yapısını göstermektedir. Kromozom  $n$  (iş sayısı) kadar bölme içerir. Her bölme ayrıca  $m$  (makine sayısı) kadar gene bölünmüştür. Her gen 0-1 arasında türetilmiş rassal anahtar sayılar içerir. İşlerin dizilimi rassal anahtar sayıların sıralanması ile oluşturulur. Şekil 3.8'deki kromozom yapısı 2 makine 3 iş içindir. İş<sub>1</sub> için türetilmiş rassal sayılar arasından en küçük olan rassal sayıya ait olan makinede İş<sub>1</sub> üretilecektir. Seçilen değer 0,21 ile Makine<sub>1</sub>'dir. Bunun anlamı, İş<sub>1</sub> Makine<sub>1</sub>'de işlenecektir. İş<sub>2</sub> için 0,14 değeri ile Makine<sub>2</sub> seçilecektir. Benzer şekilde İş<sub>3</sub> için 0,76 en

küçük değeri ile Makine<sub>2</sub> seçilecektir. Seçilen değerler Şekil 3.8’de koyu olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Önerilen GA’daki kromozom gösterimi

### 3.2.1.2. Uygunluk fonksiyonu (makespan: $C_{max}$ )

İncelenen problemde, makine bağımlı işleme süreleri ve sıra bağımlı hazırlık süreleri mevcuttur ve  $p_{ij}$  ve  $S_{ijk}$  tanımları, daha önce 3.1.2.2 alt bölümünde açıklandığı gibidir.

3 iş 2 makinenin olduğu, Şekil 3.8’deki örnek dikkate alınır, Çizelge 3.5, Makine<sub>1</sub> ve Makine<sub>2</sub>’deki işlerin işlenme sürelerini göstermektedir. Makine<sub>1</sub> ve Makine<sub>2</sub>’de tüm işler arasındaki hazırlık süreleri sırasıyla Çizelge 3.6 ve Çizelge 3.7’de gösterilmiştir. Çizelge 3.6 ve Çizelge 3.7’nin köşegenindeki değerler ise karşılık gelen işin o makinede çalışan ilk iş olması durumundaki hazırlık süreleridir. Şekil 3.8’deki kromozom yapısına göre Makine<sub>1</sub> İş<sub>1</sub>’i işlerken Makine<sub>2</sub> hem İş<sub>2</sub> hem İş<sub>3</sub>’ü işleyecektir. Makine<sub>2</sub>’deki işlerin işlenme sırası rassal sayıların (0.14 ve 0.76) küçükten büyüğe dizilimi ile ortaya çıkacaktır. Makine<sub>2</sub> için iş dizilimi İş<sub>2</sub>-İş<sub>3</sub> şeklinde olacaktır. İşlemlerin Makine<sub>1</sub>’de tamamlanma süresi 18 Makine<sub>2</sub>’de tamamlanma süresi 33 olup Şekil 3.8’deki kromozomun oluşturduğu çizelge Şekil 3.9’deki gibidir. Farklı kromozom yapılarının ve  $C_{max}$  değerlerinin sayısı anakütle boyutu ile belirlenecektir.

Çizelge 3.5. İşlerin makinelerdeki toplam işlenme süreleri (GALA)

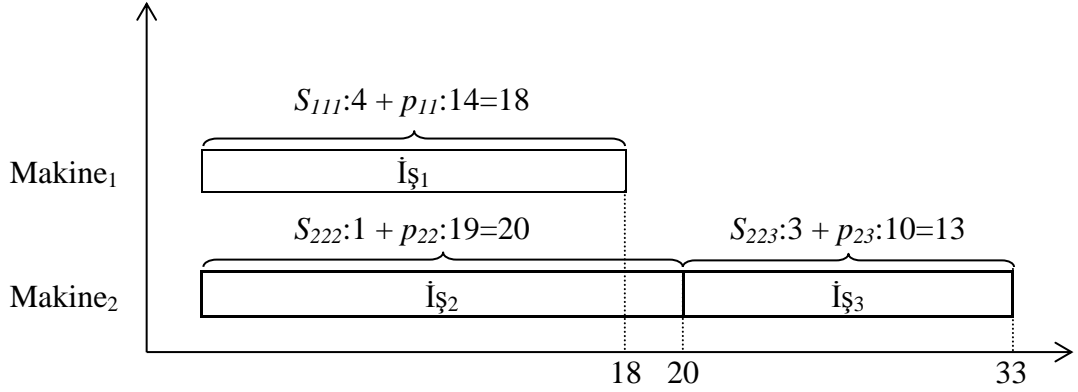
$p_{ij}$	İş <sub>1</sub>	İş <sub>2</sub>	İş <sub>3</sub>
Makine <sub>1</sub>	14	11	12
Makine <sub>2</sub>	17	19	10

Çizelge 3.6. Makine<sub>1</sub> için hazırlık süreleri (GALA)

$S_{ijk}$	İş <sub>1</sub>	İş <sub>2</sub>	İş <sub>3</sub>
İş <sub>1</sub>	4	8	2
İş <sub>2</sub>	6	3	4
İş <sub>3</sub>	3	7	1

Çizelge 3.7. Makine<sub>2</sub> için hazırlık süreleri (GALA)

$S_{ijk}$	İş <sub>1</sub>	İş <sub>2</sub>	İş <sub>3</sub>
İş <sub>1</sub>	2	5	6
İş <sub>2</sub>	4	1	3
İş <sub>3</sub>	2	1	4



Şekil 3.9. Şekil 3.8'deki kromozomun sonuç çizelgesi ve  $C_{max}$  değeri

### 3.2.1.3. Genetik operatörler

Genetik algoritmanın sonraki aşamasında, Seçim, Çaprazlama ve Mutasyon operatörleri, 3.1.2.3 Genetik operatörler alt bölümünde anlatıldığı mantık ile ilerler. Bahsi geçen bölümden farklı olarak bu alt bölümdeki kromozom, işlerin bölünme sayılarını içermemektedir.

### 3.2.2. Yerel arama

Bir yerel arama tekniğini genetik algoritmaya entegre etmek genellikle daha iyi sonuçlar elde edilmesine yardımcı olur. Önerilen genetik algoritma ile bütünleştirilecek yerel arama tekniğinin esinlendiği bütünleşik üstünlük özellikleri yöntemi Chang ve Chen (2011) tarafından önerilmiştir. Bu yöntemde, seçilen iki işin aynı makinede ya da makineler arası yer değişimi için birtakım hesaplamalar yapılır ve elde edilen sonuca göre değişim yapılmasına karar verilir. Önerilen yerel arama yönteminde Chang ve



Chen (2011) tarafından önerilen bütünleşik üstünlük özellikleri yöntemine göre aşağıdaki farklılıklar yaratılmıştır.

- Aynı makine içinde iş değişimlerine karar verirken, Chang ve Chen (2011) tarafından kullanılan ayarlanmış işleme süreleri yerine sadece hazırlık süreleri dikkate alındı.
- İncelenen işlerin aynı makinede olmadığı durumda ise hem işleme hem de hazırlık süreleri dikkate alınarak değişime karar verildi.
- İşlerin değişim kararından sonra istenen sıralamayı elde edebilmek için kromozomlardaki rassal sayıların tekrar düzenlenmesi gerekir. Bu durum da önerilen yerel arama yöntemi içerisinde yönetilebilmiş ve kodlanarak entegrasyon sağlanmıştır.

Önerilen yerel arama yöntemi ile ilgili tüm durumlar dikkate alınarak EK 1'deki kod taslağında yazılmıştır. Önerilen, makine içi ve makineler arası iş değişim kararları, alt bölüm "A" içerisinde, değişim sonrası kromozomdaki entegrasyon ise alt bölüm "B" içerisinde açıklanacaktır. Taslak kod için notasyon ve yerel arama ile ilgili açıklamalar aşağıdaki gibidir.

$g$ : Kromozomdan seçilen, makine ve sonra iş sırasına göre sıralanmış genlerin toplam sayısıdır. Her bir gen, makine ve işlerin özelliklerini içermektedir. Şekil 3.10, 7 iş 2 makine içeren bir örnek için gen yapısını açıklamaktadır. Yapı aynı zamanda her makinedeki iş sırasını da belirtmektedir.

- $i$  ve  $j$ : İşlerindeki işlere dair yer değiştirme ya da değiştirmeme kararı verilecek olan ve karşılaştırılan gen numaralarıdır.
- $Gen(i)_{Makine}$ :  $i$ . Gendeki makine numarasını gösterir. Şekil 3.10'daki yapıya göre, 1. Gen için makine numarası ( $Gen(1)_{Makine}$ ) 1'dir.
- $Gen(i)_{İş}$ :  $i$ . Gendeki iş numarasını gösterir. Şekil 3.10'daki yapıya göre, 1. Gen için iş numarası ( $Gen(1)_{İş}$ ) 4'dür.
- $ST_{Mak(i)İş(j,k)}$ :  $Gen(i)_{Makine}$  üzerinde işlenen  $Gen(j)_{İş}$  ve  $Gen(k)_{İş}$  arasındaki hazırlık süresi.
- $PT_{Mak(i)İş(j)}$ :  $Gen(j)_{İş}$ 'in  $Gen(i)_{Makine}$  üzerinde işlenme süresi.
- $CT_{Gen(i)_{Makine}}$ :  $Gene(i)_{Makine}$  tamamlanma zamanı.

Gen numarası	1	2	3	4	5	6	7
Makine numarası	1	1	1	1	2	2	2
İş numarası	4	5	7	2	1	3	6

Şekil 3.10. 7 iş 2 makine içeren bir örneğin gen yapısı

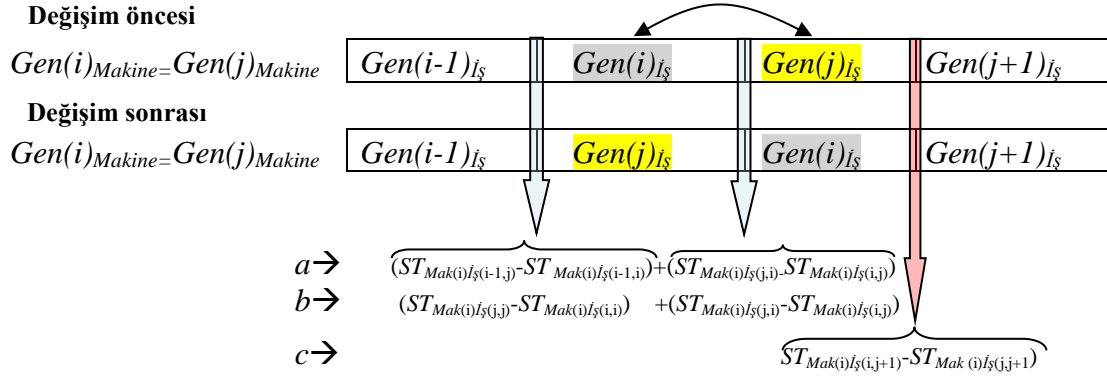
A. Makine içi ve makineler arası iş değişimi: Makine içi iş değişimi ve Makineler arası iş değişimi karar mekanizması aşağıda açıklandığı gibi ilerleyecektir.

i. Makine içi iş değişimi: Makine içi iş değişiminde iki durum söz konusudur. Biri Şekil 3.11’de gösterilen komşu işler durumu, diğeri ise Şekil 3.12’de gösterilen komşu olmayan işler durumu.

I. Komşu işlerin değişimi: Algoritmayı daha iyi açıklayabilmek için, komşu iş değişimi durumu Şekil 3.11’de da gösterilmiştir. Şeklin üzerindeki oklar, değişim sonrası ve öncesi durumlar arasında, belirtilen genler arasında oluşan hazırlık süreleri farklarını belirtmek için kullanılmıştır. Şekil 3.11’de ve EK 1’de gösterilen kod taslağının makine içi komşu makineler arası iş değişimi kısmında adımlar aşağıdaki gibidir.

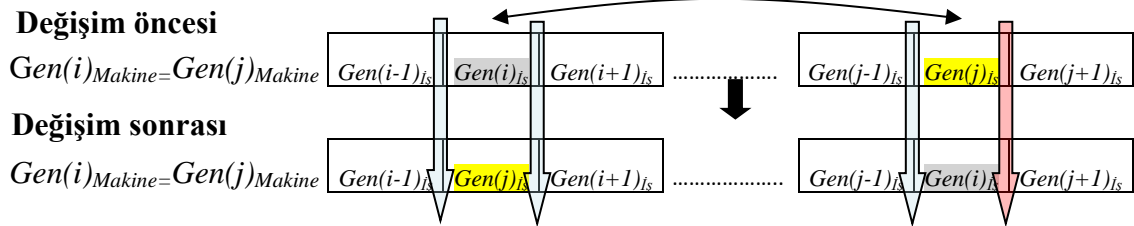
- Şekil 3.11 değişim öncesi kısmında eğer  $Gen(i-1)_{i_s}$ ,  $Gen(i)_{i_s}$ ’den önce işleniyorsa “a”, değişim sonrası ve değişim öncesi durumlar arasında, mavi oklarla gösterilmiş olan bölgelerdeki hazırlık süreleri farklarının toplamıdır.
- Şekil 3.11 değişim öncesi kısmında eğer  $Gen(i)_{i_s}$  makinedeki ilk iş ise “b”, değişim sonrası ve değişim öncesi durumlar arasında, mavi oklarla gösterilmiş olan bölgelerdeki hazırlık süreleri farklarının toplamıdır.
- “a” ve “b” den biri 0 olmalıdır.
- Şekil 3.11 değişim öncesi kısmında  $Gen(j+1)_{i_s}$ ,  $Gen(j)_{i_s}$ ’den sonra geliyorsa “c”, değişim sonrası ve değişim öncesi durumlar arasında, kırmızı ok ile gösterilmiş olan hazırlık süreleri farkıdır.
- Eğer a, b, c toplamı 0’den küçük ise, bu durum daha iyi tamamlanma zamanı elde edildiğinin bir göstergesidir. Çizelgede  $Gen(i)_{i_s}$  ve  $Gen(j)_{i_s}$  değişimi yapılır.

- Sonrasında rassal anahtar sayıların kalibre edilmesi gerekir. “B” altbölümü, Madde “i” makine içi değişimlerdeki kalibrasyonu açıklamaktadır



Şekil 3.11. Makine içi iş değişimi ve komşu işler durumu

- II. Komşu olmayan iş değişimi: Bu durum Şekil 3.12’de gösterilmiştir. Çizelgede  $Gen(i)_{Iş}$  ve  $Gen(j)_{Iş}$  değişimi kararı komşu iş değişimi ile hemen hemen aynıdır. a, b, c’nin anlamı, aynı makine komşu iş değişimi için olan açıklama ile benzerdir. Tek farklılık “a” ve “b” nin hesaplanmasında üç adet hazırlık süresi farkının (üç adet mavi ok) toplanmasının gerekliliğidir. Bu durum ise, değişimi planlanan işlerin arasında bulunan diğer işlerden dolayı oluşan yeni hazırlık sürelerinden kaynaklanmıştır. Diğer adımlar komşu iş değişimi ile aynıdır.

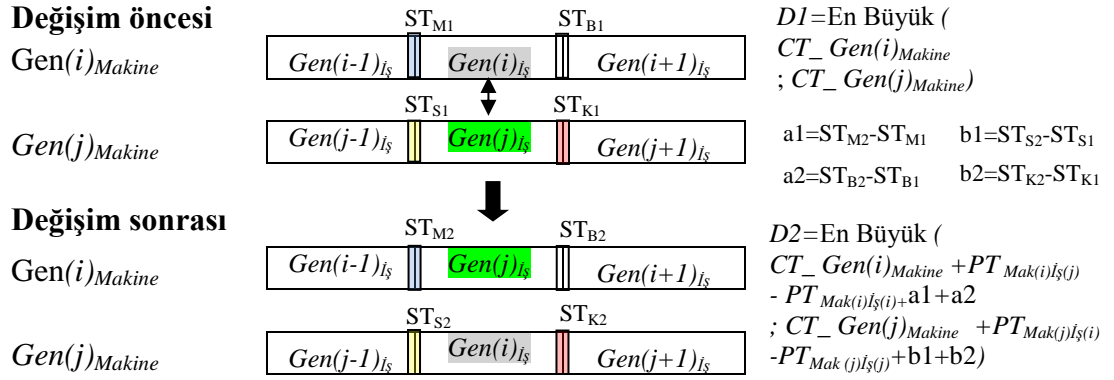


Şekil 3.12. Makine içi iş değişimi ve komşu olmayan işler durumu

- ii. Makineler arası değişim: Farklı makineler arası değişim Şekil 3.13’de gösterilmiştir. Şekil 3.13’de ve EK 1’de gösterilen kod taslağının makineler arası iş değişimi kısmında adımlar aşağıdaki gibidir.

- Değişim öncesinde  $Gen(i)_{Makine}$  ve  $Gen(j)_{Makine}$  için tamamlanma zamanlarını hesaplanır. “D1” bu iki değer in en yüksek olanına karşılık gelir.
- Şekil 3.13, değişim öncesi kısmında  $Gen(i)_{Makine}$  üzerinde, eğer  $Gen(i-1)_{İş}$ ,  $Gen(i)_{İş}$ ’ten önce işleniyorsa “a1” değişim sonrası ve değişim öncesi durumlar arasında, mavi dikdörtgenlerle gösterilmiş olan bölgelerdeki hazırlık süreleri farkıdır ( $ST_{M1}, ST_{M2}$ ). ( $a1=ST_{M2}-ST_{M1}$ ). (Eğer  $Gen(i)_{İş}$ ’ilk iş ise taslak koddaki ikinci “a1”, değişim sonrası ve değişim öncesi durumlar arasındaki hazırlık süreleri farkını ifade eder.)
- Şekil 3.13, değişim öncesi kısmında  $Gen(i)_{Makine}$  üzerinde, eğer  $Gen(i)_{İş}$   $Gen(i+1)_{İş}$ ’ten önce işleniyorsa “a2” değişim sonrası ve değişim öncesi durumlar arasında, beyaz dikdörtgenlerle gösterilmiş olan bölgelerdeki hazırlık süreleri farkıdır ( $ST_{B1}, ST_{B2}$ ). ( $a2=ST_{B2}-ST_{B1}$ ).
- Şekil 3.13, değişim öncesi kısmında eğer  $Gen(j)_{Makine}$  üzerine  $Gen(j-1)_{İş}$ ,  $Gen(j)_{İş}$ ’ten önce işleniyorsa “b1” değişim sonrası ve değişim öncesi durumlar arasında, sarı dikdörtgenlerle gösterilmiş olan bölgelerdeki hazırlık süreleri farkıdır ( $ST_{S1}, ST_{S2}$ ). ( $b1=ST_{S2}-ST_{S1}$ ). (Eğer  $Gen(j)_{İş}$ ’ilk iş ise taslak koddaki ikinci “b1”, değişim sonrası ve değişim öncesi durumlar arasındaki hazırlık süreleri farkını ifade eder.)
- Şekil 3.13, değişim öncesi kısmında eğer  $Gen(j)_{Makine}$  üzerine  $Gen(j)_{İş}$   $Gen(j+1)_{İş}$ ’ten önce işleniyorsa “b2” değişim sonrası ve değişim öncesi durumlar arasında, kırmızı dikdörtgenlerle gösterilmiş olan bölgelerdeki hazırlık süreleri farkıdır ( $ST_{K1}, ST_{K2}$ ). ( $b2=ST_{K2}-ST_{K1}$ ).
- Değişim sonrasında  $Gen(i)_{Makine}$  ve  $Gen(j)_{Makine}$  için tamamlanma zamanlarını hesaplanır. “D2” bu iki değer in en yüksek olanına karşılık gelir.
- Eğer D2, D1’den küçük ise daha iyi tamamlanma zamanı elde edilmiş demektir. Çizelgede  $Gen(i)_{İş}$  ve  $Gen(j)_{İş}$  değişimi yapılır.

- Sonrasında rassal anahtar sayılarının kalibre edilmesi gerekir. “B” altbölümü, Madde “ii” makineler arası değişimlerdeki kalibrasyonu açıklamaktadır

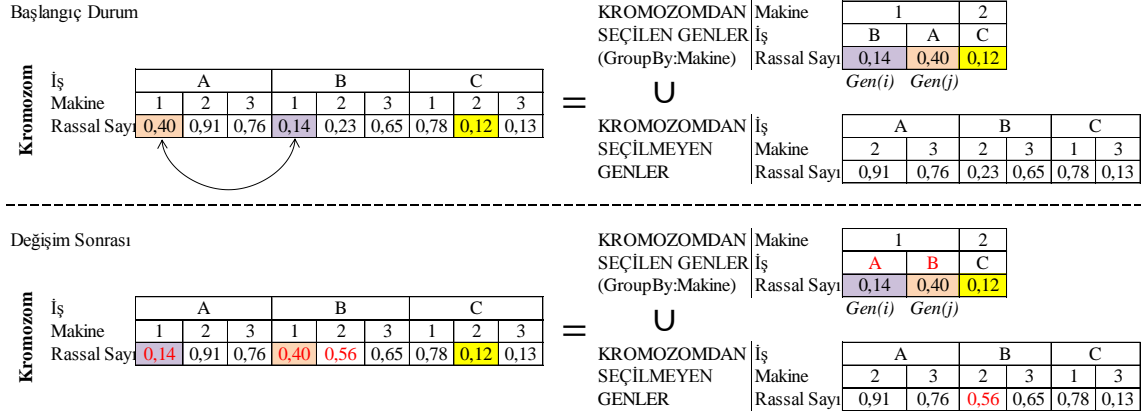


Şekil 3.13. Makineler arası iş değişimi

B. Değişim sonrası kromozomda entegrasyon: Gerçekleştirilen iş değişiminin kromozom tarafından tanınmasının sağlanması için aşağıdaki yapılar kod ile bütünleştirilmiştir.

- Aynı makine içinde iş değişimi durumu: Aynı makine içindeki iş değişimi ile ilgili olarak başlangıç durum ve değişim sonrası durum Şekil 3.14'deki gibi gösterilmiştir. Kromozom, kromozomdan seçilen genler ve kromozomdan seçilmeyen genler'den oluşmaktadır. Gerçekleştirilen değişimler Şekil 3.14 değişim sonrası kısmında kırmızı yazı ile gösterilmiştir. Şekil 3.14'deki örnek için  $Gen(i)_{Iş}$  ve  $Gen(j)_{Iş}$  değişiminin adımları aşağıdaki gibidir.
  - İşlere ait rassal sayılar yer değiştirir. ( $Gen(i)_{Iş} \rightarrow \dot{I}_{ŞB}$  için 0,14 ve  $Gen(j)_{Iş} \rightarrow \dot{I}_{ŞA}$  için 0,40 yer değiştirecek ve  $Gen(i)_{Iş} \rightarrow \dot{I}_{ŞA}$  için 0,14,  $Gen(j)_{Iş} \rightarrow \dot{I}_{ŞB}$  için 0,40 durumuna dönüşecektir.)
  - 0,14 sayısı 0,40 sayısından küçüktür. Bundan dolayı değişim sonrasında  $\dot{I}_{ŞA}$  için diğer rassal sayıların değişmesine gerek yoktur. Çünkü mevcut durumda  $\dot{I}_{ŞA}$ , Makine<sub>1</sub> seçimini sağlamaktadır.
  - 0,40 sayısı 0,14 sayısından büyüktür. Bundan dolayı değişim sonrasında  $\dot{I}_{ŞB}$  için 0,40'dan daha küçük olan diğer rassal sayıların değiştirilmesi gerekir. Örneğin 0,23 sayısı 0,40'dan küçüktür. 0,40'dan daha büyük bir

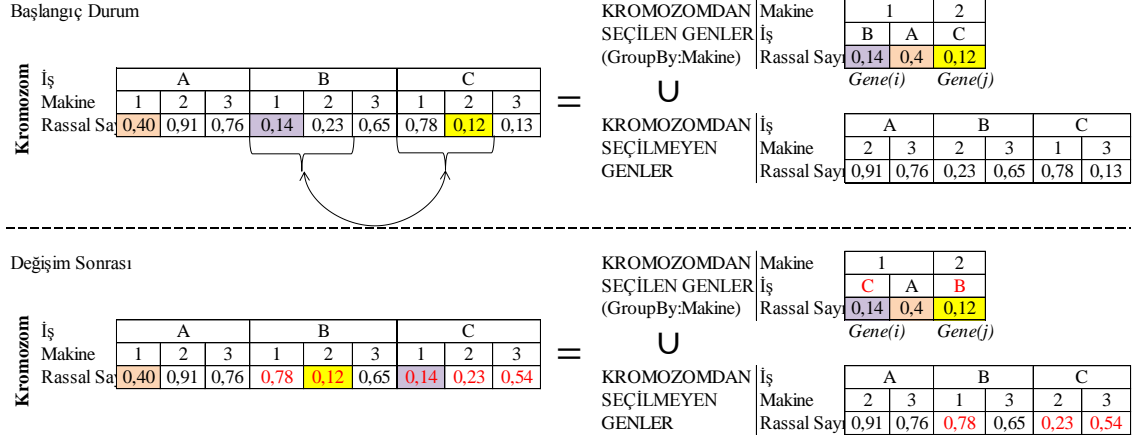
rassal sayı türetilir (0,56) ve bu sayı 0,23 ile değiştirir. Böylece İş<sub>B</sub>'nin Makine<sub>1</sub>'i seçmesi sağlanmış olur.



Şekil 3.14. Aynı makine içinde iş değişimi durumunda kromozomdaki düzeltmeler için örnek

ii. Farklı makineler arasında iş değişimi durumu: Farklı makineler arasındaki iş değişimi ile ilgili olarak başlangıç durumu ve değişim sonrası durumu Şekil 3.15'deki gibi gösterilmiştir. Gerçekleştirilen değişimler Şekil 3.15 değişim sonrası kısmında kırmızı yazı ile gösterilmiştir. Şekil 3.15'deki örnek için  $Gen(i)_{Iş}$  ve  $Gen(j)_{Iş}$  değişiminin adımları aşağıdaki gibidir.

- I. Değişim yapılacak makineler (Makine<sub>1</sub>, Makine<sub>2</sub>) için işlere ( $Gen(i)_{Iş} \rightarrow İş_B$  ve  $Gen(j)_{Iş} \rightarrow İş_C$ ) ait rassal sayıların yerleri değiştirilir. (0,14 ve 0,23 sayıları 0,78 ve 0,12 sayılarıyla yer değiştirir.)
- II. 0,12 sayısı 0,14 sayısından küçüktür. Bundan dolayı değişim sonrasında İş<sub>B</sub> için diğer rassal sayıların değişmesine gerek yoktur. Çünkü mevcut durumda İş<sub>B</sub> Makine<sub>2</sub> seçimini sağlamaktadır.
- III. 0,14 sayısı 0,12 sayısından büyüktür. Bundan dolayı değişim sonrasında İş<sub>C</sub> için 0,14'den daha küçük olan diğer rassal sayıların değiştirilmesi gerekir. Örneğin 0,13 sayısı 0,14'dan küçüktür. 0,14'den daha büyük bir rassal sayı türetilir (0,54) ve bu sayı 0,13 ile değiştirir. Böylece İş<sub>C</sub>'nin Makine<sub>1</sub>'i seçmesi sağlanmış olur.



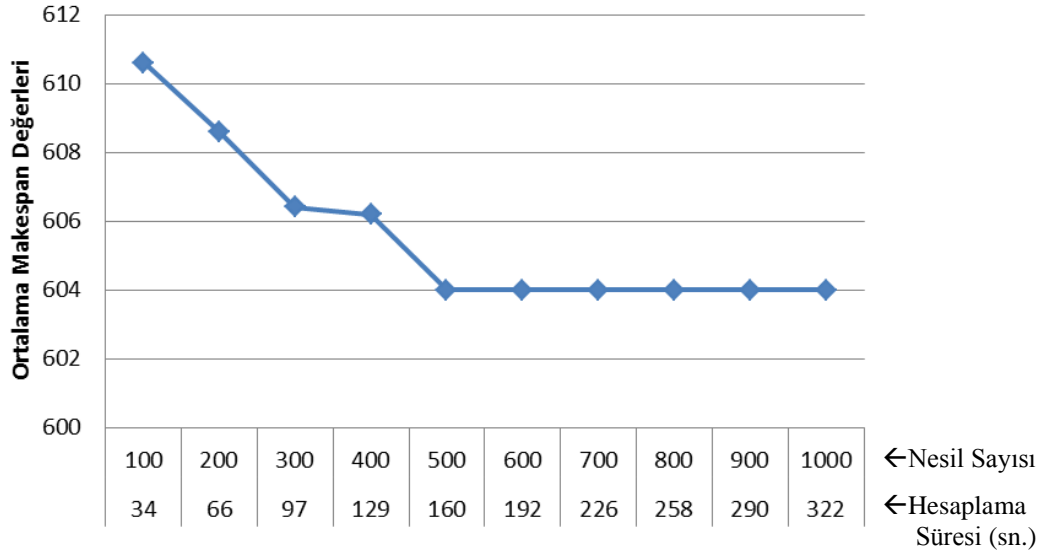
Şekil 3.15. Farklı makineler arasında iş değişimi durumunda kromozomdaki düzeltmeler için örnek

### 3.2.3. Deneysel tasarım ve hesaplama sonuçları

Önerilen algoritma, C# programlama dilinde kodlanmış ve Intel Core 2 Duo işlemcili 2.26 GHz ile çalışan bilgisayarda çalıştırılmıştır. Test örnekleri Scheduling Research (2005)'den sağlanmıştır.

#### 3.2.3.1. Deneysel sonuçlar ve parametre değerleri

Nesil sayısının tespiti için 4 makine 20 iş problemi seçilmiş 1000 nesle kadar her 100 nesilde bir makespan değerleri ve hesaplama süreleri kayıt altına alınmıştır. Program, deneysel tasarımdan elde edilen parametrelerle çalıştırılmıştır. Şekil 3.16, beş tekrar sonrası elde edilen ortalama makespan değerlerini ve hesaplama sürelerini, incelenen nesiller için göstermektedir. Şekil 3.16 de görülebileceği gibi 500 nesilden sonra iyileşme olmadığından nesil sayısı 500 ile sabitlenebilir.



Şekil 3.16. Belirlenen nesil sayıları için ortalama makespan değerleri ve hesaplama süreleri

Genetik algoritmanın parametre yapılandırması deneysel tasarım (Design-of-Experiment (DoE)) yaklaşımı ile Minitab 16 kullanılarak yapılmıştır. GALA için en iyi sonuçları üretecek parametre değerlerini DoE yardımıyla bulabilmek için 4 makine 20 iş problemi dikkate alınmıştır. 3 faktörün seviyeleri Çizelge 3.8’de verilmiştir. Her kombinasyon için beş tekrar yapılmıştır ve program 500 nesle kadar çalıştırılarak makespan değerleri elde edilmiştir. Regresyon analizi yardımıyla elde edilen ve etki faktörlerini ( $p$ -değeri $\leq 0.05$ ) de içeren bilgiler Çizelge 3.9’daki gibidir. Çaprazlama oranı ( $P_c$ ) ve mutasyon oranı ( $P_m$ ), Çizelge 3.9’da da işaretlendiği gibi düşük  $p$ -değerleri ile etkilidir. Şekil 3.17’deki etkileşim grafiği ve Çizelge 3.9’daki  $P_c * P_m$ ’nin düşük  $p$ -değeri,  $P_c$  ve  $P_m$  arasında belirgin bir etkileşim olduğunu gösterir. Şekil 3.17 ve Şekil 3.18’ye göre  $P_c$  değeri 1 ve  $P_m$  değeri 0,2 olarak seçilirse algoritma daha kaliteli sonuçlar oluşturabilecektir. Anakütle büyüklüğü ( $P_{size}$ ) ise Şekil 3.18’deki ana etkiler grafiğine göre 100 olarak seçilmiştir.

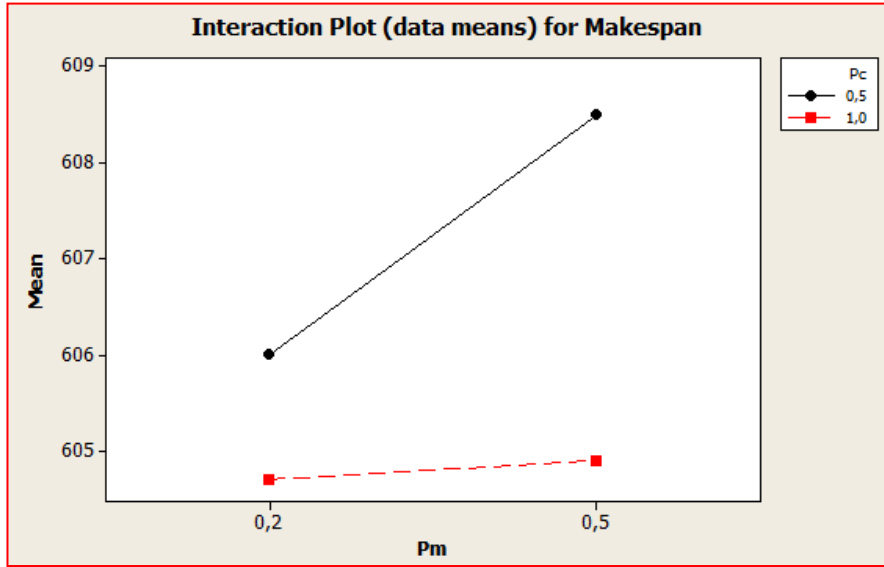
Çizelge 3.8. Önerilen genetik algoritma için denenen parametre değerleri

Parametreler	Değerler
Anakütle büyüklüğü ( $P_{size}$ )	80; 100
Çaprazlama oranı ( $P_c$ )	0,5; 1,0
Mutasyon oranı ( $P_m$ )	0,2; 0,5

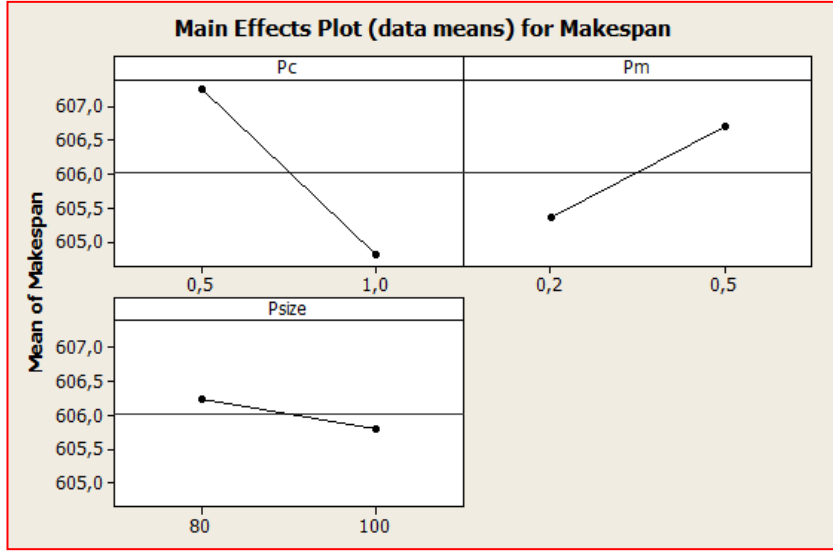


Çizelge 3.9. Parametre tahminleri

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		606,025	0,2789	2172,53	0,000
Psize	-0,450	-0,225	0,2789	-0,81	0,426
Pc	-2,450	-1,225	0,2789	-4,39	0,000
Pm	1,350	0,675	0,2789	2,42	0,021
Psize*Pc	0,050	0,025	0,2789	0,09	0,929
Psize*Pm	-0,150	-0,075	0,2789	-0,27	0,790
Pc*Pm	-1,150	-0,575	0,2789	-2,06	0,047
Psize*Pc*Pm	0,750	0,375	0,2789	1,34	0,188



Şekil 3.17.  $P_c$  ve  $P_m$  arasındaki etkileşim grafiği



Şekil 3.18. Üç faktöre ait ana etkiler grafiği

### 3.2.3.2. Hesaplama sonuçları

Önerilen algoritma, Scheduling Research (2005)'den elde edilen problem kümelerinin üzerinde test edilmiştir. Tüm örnekler için işlem ve hazırlık süreleri 50 ile 100 arasında dağılmaktadır ve işlem ve hazırlık süreleri dengeli (balanced) veri kümesi olarak adlandırılmaktadır. İş ve makine sayısının algoritma üzerine etkisini gözlemleyebilmek için 2 ayrı grup problem kümesi ele alınmıştır. Küçük problem kümelerinde kombinasyonlar 2 makine, 6, 7, 8, 9, 10, 11 iş, 4 makine 6, 7, 8, 9, 10, 11 iş, 6 makine 8, 9, 10, 11 iş, 8 makine 10,11 iş olarak belirlenmiştir. Büyük problem kümelerinde ise kombinasyonlar 2 makine, 20 iş, 4 makine, 20 iş, 6 makine 20, 40, 60, 80 iş, 8 makine 20, 40, 60, 100 iş, 10 makine 20, 40, 60 iş olarak seçilmiştir. Her iş-makine kombinasyonu 15 farklı problem örneği ile test edilmiştir.

Arnaout ve ark.(2010) tarafından yayınlanan makalede aynı problem kümesi kaynağını kullanan tüm algoritmalar karşılaştırılmış ve makalede önerilen ACO'nun diğerlerine göre daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir. Önerdiğimiz GALA, ilk olarak Arnaout ve ark.(2010) tarafından önerilen ACO ile, sonrasında da Chang ve Chen (2011) tarafından önerilen GADP2 karşılaştırılmış ve birçok kombinasyonda her iki algoritmadan da iyi sonuçlar üretebilmiştir.

### 3.2.3.2.1. ACO ile karşılaştırma

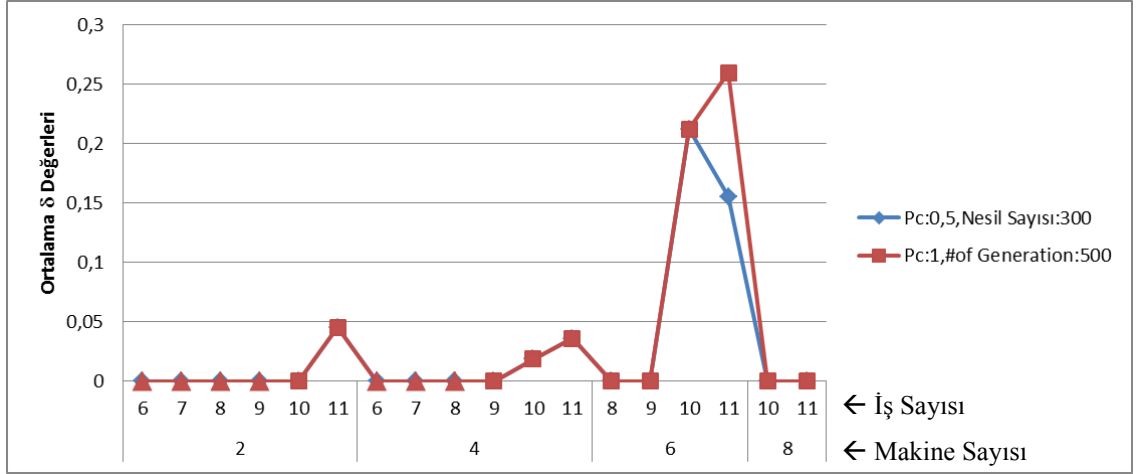
Ortalama bağıl iyileştirme oranı( $\delta$ ) aşağıdaki formülasyona göre tüm örnekler için hesaplanmıştır.

$$\text{Bağıl İyileştirme Oranı}(\delta) = -1 * \frac{C_{maxGALA} - C_{maxACO}}{C_{maxACO}} . 100,$$

Formülasyonda  $C_{maxACO}$ , Arnaout ve ark. (2010) tarafından önerilen ACO algoritmasının sonuçlarını,  $C_{maxGALA}$  ise önerdiğimiz GALA ile elde edilen sonuçları temsil etmektedir. İyileştirme genellikle pozitif sayılarla ifade edildiğinden, formül -1 ile çarpılmıştır. Algoritmamız küçük ve büyük problem kümeleri için iki farklı durumda çalıştırılmıştır. İlk durum " $P_c$ : 0,5, Nesil Sayısı: 300" olup ikinci durum, deneysel tasarım sonuçlarına istinaden " $P_c$ : 1, Nesil Sayısı: 500" durumudur. Diğer deneysel tasarım parametreleri ise her iki durum için de aynı kalmıştır.

Küçük problemlere ait sonuçlara,  $P_c$ :0,5, Nesil Sayısı: 300 durumu için EK 2'den,  $P_c$ :1, Nesil Sayısı: 500 durumu için EK 3'den ulaşılabilir. EK 2 ve EK 3'de her iş ve makine kombinasyonu ve her dosya (örnek) için ACO, En İyi, Alt Sınır, GALA'ya ait  $C_{max}$  değerleri ve GALA için hesaplama süreleri yer almaktadır. EK 2 ve EK 3'deki ortalama  $\delta$  ve GALA ortalama hesaplama süreleri de her kombinasyon (grup) için hesaplanmıştır. EK 2 ve EK 3'deki ACO, En İyi, Alt Sınır  $C_{max}$  değerleri, her kombinasyonun her bir örneği için Rabadi, Ghaith A. tarafından mail ortamından, talebimiz üzerine gönderilmiştir (Scheduling Research 2005).

Şekil 3.19 ise, EK 2 ve EK 3'de detayları ile yer alan ortalama  $\delta$  değerlerinin grafiksel gösterimidir. Önerilen algoritma ile Şekil 3.19'deki  $\delta$  değerlerinden de gözlemlenebileceği gibi, diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında iyi sonuçlar veren ACO'dan daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ortalama  $\delta$  değeri " $P_c$ : 0,5, Nesil Sayısı: 300" için 0,027 iken, " $P_c$ : 1, Nesil Sayısı: 500" için ortalama  $\delta$  değeri iyileşerek 0.032'ye ulaşmıştır. Şekil 3.19'deki üçgen ile belirtilen noktalar Rabadi ve ark. (2006) tarafından önerilen MIP ile bulunan en uygun sonuçlardır.



Şekil 3.19. Küçük örnekler için ortalama bağıl iyileştirme oranları ( $\delta$ )

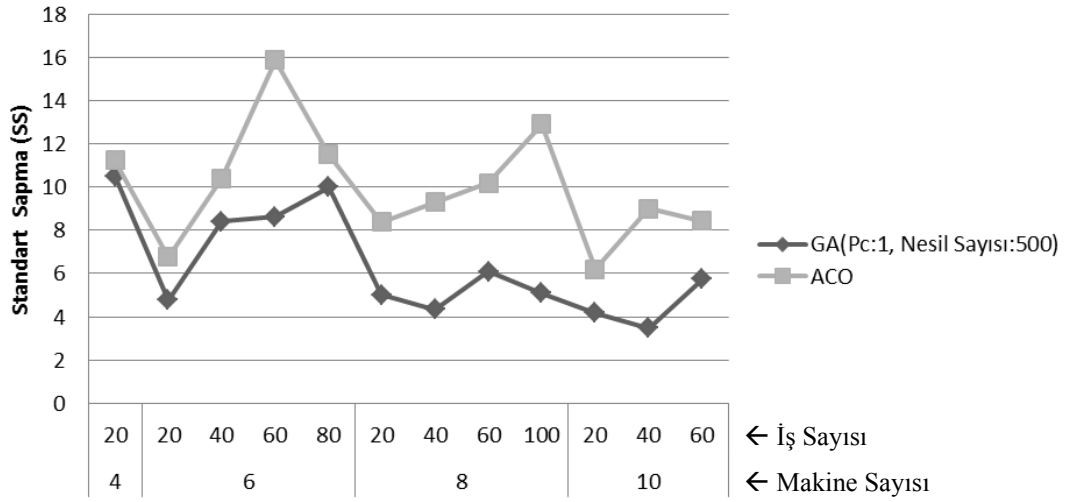
Büyük problemlerin detaylı sonuçlarına,  $Pc:0,5$ , Nesil Sayısı: 300 durumu için EK 4'den,  $Pc:1$ , Nesil Sayısı: 500 durumu için EK 5'den ulaşılabilir. EK 4 ve EK 5'de her iş ve makine kombinasyonu ve her dosya (örnek) için ACO, Alt Sınır, GALA 'ya ait  $C_{max}$  değerleri ve GALA için hesaplama süreleri yer almaktadır. Her kombinasyon (grup) için ortalama  $\delta$  ve GALA ortalama hesaplama süreleri de hesaplanmıştır. EK 4 ve EK 5'deki ACO, En İyi, Alt Sınır 'a ait  $C_{max}$  değerleri, her kombinasyonun her bir örneği için Rabadi, Ghaith A. tarafından mail ortamından, talebimiz üzerine gönderilmiştir. EK 5'deki verilerde GALA,  $Pc:1$ , Nesil Sayısı: 500 durumu için tüm kombinasyonlarda iyi sonuçlar elde etmiş olup, GALA ve ACO için  $C_{max}$ 'in ortalama ve standart sapma değerleri de çizelgeye dâhil edilmiştir.

EK 5'deki  $C_{max}$ 'in ortalama ve standart sapma ( $SS$ ) değerleri, önerilen GALA ve ACO için Çizelge 3.10'daki gibi özetlenmiştir. Çizelge 3.10'daki değerlere göre, önerilen GALA ile elde edilen ortalama ve  $SS$  değerleri ACO ile elde edilenlerden daha iyidir. Şekil 3.20, GALA ve ACO için  $SS$  değerlerinin karşılaştırmasını grafik üzerinde göstermektedir. Şekil 3.20'a göre büyük problemlerde GALA,  $SS$  değerleri için tüm noktalarda, ACO'dan daha iyi sonuç vermektedir. Farkın anlamlı olup olmadığını gösterebilmek için, her kombinasyon için, 15 adet örneğin, GALA ve ACO ile bulunan sonuçlarına ikili (paired) t testi uygulanmıştır. İkili t testi için de, EK 5'deki her bir örneğin GALA ve ACO'ya ait  $C_{max}$  değerleri kullanılmıştır. İkili t testinin sonuçları Çizelge 3.11'deki gibidir. Çizelge 3.11'deki düşük p değerleri ( $\leq 0,05$ ) göstermektedir

ki, 13 adet örneğin 10 adedi için, GALA ile elde edilen sonuçlar, ACO ile elde edilenlerden belirgin şekilde daha iyidir. Şekil 3.21, EK 4 ve EK 5’de detayları ile yer alan ortalama  $\delta$  değerlerinin grafiksel gösterimidir. Ortalama  $\delta$  değeri “ $P_c$ : 0,5, Nesil Sayısı: 300” için 0,55 iken “ $P_c$ : 1, Nesil Sayısı: 500” için ortalama  $\delta$  değeri 1,27 olarak elde edilebilmiştir. Çizelge 3.10, Çizelge 3.11, Şekil 3.20 ve Şekil 3.21’ye göre, belirtilen kombinasyonlarda önerilen GALA, ACO algoritmasından daha iyi performans göstermektedir.

Çizelge 3.10. GALA ve ACO için  $C_{max}$  ve SS değerleri

Makine Sayısı	İş Sayısı	GALA		ACO	
		<i>Ort C<sub>max</sub></i>	SS	<i>Ort C<sub>max</sub></i>	SS
2	20	1 236,20	31,39	1 237,80	32,15
4	20	609,73	10,50	617,13	11,23
	20	445,93	4,76	452,73	6,77
6	40	790,87	8,42	805,40	10,39
	60	1 162,40	8,62	1 163,47	15,87
	80	1 543,93	10,00	1 545,33	11,49
8	20	340,13	5,01	347,60	8,38
	40	589,27	4,35	599,27	9,30
	60	882,67	6,09	893,80	10,19
	100	1430,87	5,08	1439,07	12,91
10	20	245,73	4,18	252,53	6,20
	40	474,53	3,48	485,53	8,99
	60	699,47	5,73	708,27	8,44

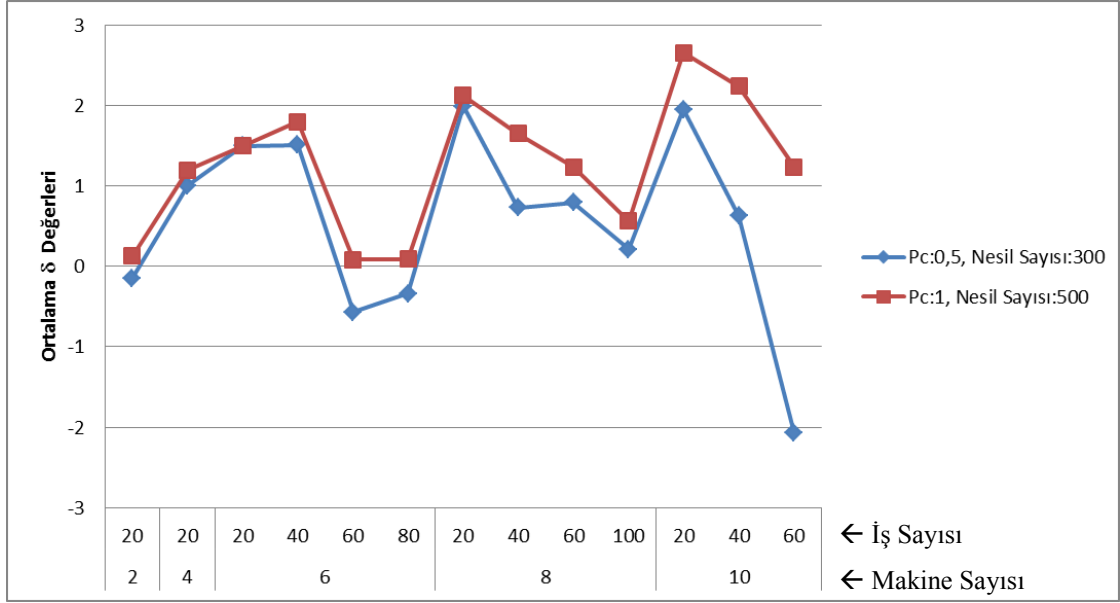


Şekil 3.20. GALA ve ACO için SS değerlerinin karşılaştırılması

Çizelge 3.11. GALA ve ACO karşılaştırmasında her kombinasyon için ikili t testi sonuçları

Makine Sayısı	İş Sayısı	İkili t testi sonuçları *		
		Ortalama Fark İçin %95 CI	T-Değeri	p-Değeri
2	20	(-0,70; 3,90)	1,49	0,158
4	20	(4,78; 10,02)	6,06	0,000
	40	(4,769; 8,831)	7,10	0,000
6	40	(10,52; 18,54)	7,78	0,000
	60	(-5,28; 7,42)	0,36	0,724
	80	(-4,63; 7,43)	0,50	0,626
8	20	(4,43; 10,51)	5,27	0,000
	40	(4,83; 15,17)	4,15	0,001
	60	(5,75; 16,52)	4,43	0,001
10	100	(1,94; 14,46)	2,80	0,014
	20	(3,61; 9,99)	4,57	0,000
	40	(6,01; 15,99)	4,73	0,000
	60	(4,23; 13,37)	4,13	0,001

\*(T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0))



Şekil 3.21. Büyük örnekler için ortalama bağıl iyileştirme oranları( $\delta$ )

Her ne kadar, önerilen GALA'nın hesaplama sürelerinin karşılaştırılabilmesi için ACO algoritmasının hesaplama süreleri mevcut olmasa da, belirtilen küçük ve büyük problem kümeleri için ortalama hesaplama süreleri Çizelge 3.12'deki gibi sunulmuştur. Küçük problem kümeleri için  $P_c$ : 0,5, Nesil Sayısı: 300" durumunun hesaplama süresi " $P_c$ : 1, Nesil Sayısı: 500" durumundan ortalama 3,14 kat daha iyidir. Benzer şekilde büyük problem kümeleri için  $P_c$ : 0,5, Nesil Sayısı: 300" durumunun hesaplama süresi " $P_c$ : 1, Nesil Sayısı: 500" durumundan ortalama 3,19 kat daha iyidir.

Nesil sayısının hesaplama süreleri üzerindeki etkisi de (bkz. Şekil 3.16) incelenebilir. 4 makine 20 iş durumu için  $C_{max}$  en iyi değeri 604'dür. Algoritma, nesil sayısı 500'e yükseldiğinde ortalamada en iyi  $C_{max}$  değerini verirken 300 nesil için beş sonucun üçünde en iyi  $C_{max}$  değeri elde edilmekte ve ortalama 4,83 standart sapma kaydedilmektedir (bkz. Şekil 3.16). Nesil sayısının 500'den 300'e düşmesi hesaplama süresinde yaklaşık %39'luk kazanç sağlamaktadır.

Çizelge 3.12. Önerilen GALA ile elde edilen ortalama hesaplama süreleri

Küçük Problemler Kümesi				Büyük Problemler Kümesi			
Makine Sayısı	İş Sayısı	Ortalama Hesaplama Süreleri (sn.)		Makine Sayısı	İş Sayısı	Ortalama Hesaplama Süreleri (sn.)	
		Pc : 1 , nesil sayısı:500	Pc : 0.5 , nesil sayısı:300			Pc : 1 , nesil sayısı:500	Pc : 0.5 , nesil sayısı:300
2	6	8,55	2,74	2	20	107,94	31,01
2	7	11,28	3,56	4	20	169,94	49,56
2	8	14,44	4,60	6	20	213,03	61,67
2	9	18,02	5,73	6	40	1 096,83	338,38
2	10	23,45	7,10	6	60	3 012,35	921,70
2	11	26,30	8,66	6	80	6 201,28	1 905,52
4	6	12,43	3,99	8	20	238,27	72,96
4	7	16,54	5,27	8	40	1 239,80	402,04
4	8	21,57	6,88	8	60	3 313,30	1 092,21
4	9	26,73	8,64	8	100	12 736,27	3 944,99
4	10	35,47	10,94	10	20	267,34	80,95
4	11	41,91	13,28	10	40	1 396,59	451,70
6	8	26,09	8,44	10	60	3 715,72	1 199,50
6	9	33,03	10,62	Ortalama Hesaplama Süresi		<b>2 592,97</b>	<b>811,71</b>
6	10	42,20	13,34				
6	11	50,94	16,57				
8	10	47,67	15,36				
8	11	58,73	18,61				
Ortalama Hesaplama Süresi		<b>28,63</b>	<b>9,13</b>				

### 3.2.3.2.2. GADP2 ile karşılaştırma

Önerilen GALA, Chang ve Chen (2011) tarafından önerilen GADP2 algoritması sonuçları ile de karşılaştırılmıştır. Çizelge 3.13 karşılaştırmanın sonuçlarını göstermektedir. Karşılaştırma için, her iki algoritmanın ortak olarak kullandığı 5 kombinasyon dikkate alınmıştır. Çizelge 3.13’de her bir kombinasyonun 15 örneğinin çalıştırılmasının sonucunda elde edilen alt sınır değeri Min ile, üst sınır değeri Maks ile ve ortalama değeri Ort ile ifade edilmiştir. Çizelge 3.13, belirtilen kombinasyonlarda, 15 karşılaştırmanın 14 adedinde, Min, Maks ve Ort Değerleri için GALA’nın GADP2’den daha iyi  $C_{max}$  verdiğini göstermektedir. Değerler, GALA’da Pc:1, Nesil Sayısı 500 durumu için elde edilmiş olup, kombinasyonlar için elde edilen tüm değerler EK 5’deki gibidir.



Çizelge 3.13 GALA ve GADP2 için en küçük, en büyük ve ortalama  $C_{max}$  değerlerinin karşılaştırılması

Makine Sayısı	İş Sayısı	GALA			GADP2		
		$C_{max}$			$C_{max}$		
		<i>Min</i>	<i>Ort</i>	<i>Maks</i>	<i>Min</i>	<i>Ort</i>	<i>Maks</i>
2	20	1 196,00	1 236,20	1 297,00	1 242,00	1 254,00	1 266,00
	20	434,00	445,93	452,00	448,00	454,00	459,00
6	40	778,00	790,87	805,00	809,00	831,00	853,00
	60	1 147,00	1 162,40	1 176,00	1 219,00	1 246,00	1 270,00
	80	1 526,00	1 543,93	1 569,00	1 622,00	1 648,00	1 672,00

### 3.3. İşlerin Bölünebildiği $R_m/S_{ijk}/C_{max}$ İçin Geliştirilen MIP modelleri, Melez Yerel Aramalı Genetik Algoritma (GAspLA) ve Melez Çözüm (GAspLAMIP)

İşlerin bölünebildiği  $R_m/S_{ijk}/C_{max}$  problemi için geliştirilen GAsp yöntemi, Boyteks Tekstil Endüstri ve Ticaret A.Ş.'den alınan küçük örneklerle analiz edilmiş ve mevcut sistemden daha iyi sonuçlar elde edilebilmiştir. Algoritma ve karşılaştırma detayları 3.1 bölümündeki gibi detaylandırılmıştır.

Bununla birlikte, algoritmanın performansını ortaya koyabilmek için bölünmeli işler durumu ortadan kaldırılarak, sıra ve makine bağımlı hazırlık süreleri içeren, işlerin paralel makinelerde makespan en küçüklenmesi amacıyla çizelgenmesi problemi ( $R_m/S_{ijk}/C_{max}$ ) üzerinde 3.2 bölümünde çalışılmıştır. Önerilen genetik algoritma, yerel arama ile güçlendirilerek literatürdeki problemler çözümlenmiş ve geliştirilen GALA, birçok kombinasyonda daha önce önerilen algoritmalarından daha iyi sonuçlar elde etmiştir.

Tekrar işlerin bölünebildiği  $R_m/S_{ijk}/C_{max}$  problemine dönüldüğünde ise, hem geliştirilen yerel aramanın adaptasyonu hem de kesin yöntemlerle karşılaştırılarak tekrar doğrulanması gerekmektedir. Bu nedenle ilk alt bölümde, probleme dair MIP matematiksel modeller oluşturulacak, ikinci alt bölümde, problem için önerilen aşağıdaki algoritmalar detaylandırılacaktır.

- İşlerin bölünebildiği  $R_m/S_{ijk}/C_{max}$  problemi için melez yerel aramalı genetik algoritma (GAspLA)
- GAspLA algoritması ile elde edilen sonuçların MIP için başlangıç çözümü olarak kullanılması ile elde edilen melez çözüm (GAspLAMIP).

İkinci alt bölümde ayrıca, MIP, GAspLA ve GAspLAMIP ile elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

### 3.3.1. Geliştirilen MIP matematiksel modelleri

Bu bölümde, ilişkisiz paralel makinelerde, işlerin bölünebildiği, sıra ve makine bağımlı hazırlık sürelerinin bulunduğu çizelgeleme probleminin (işlerin bölünebildiği  $R_m/S_{ijk}/C_{max}$ ) en uygun çözümü için geliştirilen MIP (Mixed Integer Programming) modelleri formüle edilmiştir. Konu kapsamında, üç farklı matematiksel model geliştirilmiştir. İlk iki modelde işlerin bölünme sayıları, 1 ile en büyük bölünme sayısı arasında, model tarafından belirlenmektedir. Üçüncü modelde ise işlerin bölünme sayısı yine 1 ile en büyük bölünme sayısı arasında rassal olarak belirlenmekte ve modele girdi verisi olarak verilmektedir. İlk modelde, işler eşit olmayan miktarlarda alt işlere bölünürken, ikinci ve üçüncü modellerde işler eşit olarak alt işlere bölünmektedir.

Bahsi geçen problem, alt işlere bölünebilen  $n$  adet iş ( $N = \{1, \dots, n\}$ ) içermektedir ve her işin en fazla kaç alt işe bölüneceği  $B = \{B[1], \dots, B[n]\}$  kümesinde tanımlanmıştır. İlk iş sanal iş olduğundan, en büyük bölünme sayısı,  $B[1]=1$ 'dir. İlk iki modelde kümenin diğer elemanları, yani en büyük bölünme sayıları her iş için aynıdır. Her işin en uygun değer olarak kaç adet alt işe bölüneceğine modeller karar vermektedir. Üçüncü modelde ise B kümesinin elemanları 1 ile 3 arasında rassal olarak değer almaktadır ve model, başlangıçta belirli olan bölünme sayıları ile çalışmaktadır. Bahsi geçen alt işler  $m$  adet ( $M = \{1, \dots, m\}$ ) ilişkisiz paralel makinelerden ( $R_m$ ) birinde işlenecektir ve  $p_{ij}$  ve  $S_{ijk}$  tanımları, daha önce 3.1.2.2 alt bölümünde açıklandığı gibidir. Modeller ile ilgili detaylar sonraki alt bölümlerde verilmiştir.

### 3.3.1.1. Eşit olmayan alt iş miktarları (MIP1)

Bu modelin GAspLA modelinin koşulları ile ayrılan noktası, eşit olmayan alt iş miktarlarıdır.

- $q^p$ : Her iş için sabit toplam üretim miktarı
- $D_{ij} = \frac{p_{ij}}{q^p}$ : İş<sub>j</sub>'nin ( $j \in N$ ) birim miktarının Makine<sub>i</sub>'de işlenme süresi, ( $i \in M$ ).

Model için karar değişkenleri aşağıdaki gibidir.

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{eğer İş}_k, \text{ İş}_j \text{'den sonra Makine}_i \text{'de işlenirse} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

$$Q_{ij} = \text{İş}_j \text{'nin Makine}_i \text{'de üretilen miktarı}$$

$$C_{ij} = \text{İş}_j \text{'nin Makine}_i \text{'de tamamlanma zamanı}$$

$$C_{max} = \text{Makespan}$$

Amaç fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$\text{En küçük } C_{max} \tag{1}$$

Kısıtlar ise aşağıda tanımlanmıştır.

$$\sum_{i \in M} \sum_{\substack{j \in \{0\} \cup \{N\} \\ j \neq k}} X_{ijk} \leq B[k], \quad \forall k \in N \tag{2}$$

$$\sum_{i \in M} \sum_{\substack{j \in \{0\} \cup \{N\} \\ j \neq k}} X_{ijk} \geq 1, \quad \forall k \in N \tag{3}$$

$$Q_{ik} \leq V * \sum_{\substack{j \in \{0\} \cup \{N\} \\ j \neq k}} X_{ijk}, \quad \forall i \in M, \quad \forall k \in N \tag{4}$$

$$\sum_{i \in M} Q_{ij} = q^p, \quad \forall j \in N \tag{5}$$

$$\sum_{i \in M} Q_{i0} = 0, \tag{6}$$

$$\sum_{\substack{k \in N \\ j \neq k}} X_{ijk} \leq 1, \quad \forall j \in N, \quad \forall i \in M \quad (7)$$

$$\sum_{k \in N} X_{i0k} \leq 1, \quad \forall i \in M \quad (8)$$

$$\sum_{\substack{h \in \{0\} \cup \{N\} \\ h \neq k, h \neq j}} X_{ihj} \geq X_{ijk}, \quad \forall j, k \in N, j \neq k, \quad \forall i \in M \quad (9)$$

$$C_{ik} + V * (1 - X_{ijk}) \geq C_{ij} + S_{ijk} + D_{ik} * Q_{ik}, \quad \forall j \in \{0\} \cup \{N\}, \forall k \in N, j \neq k, \forall i \in M \quad (10)$$

$$C_{i0} = 0, \quad \forall i \in M \quad (11)$$

$$C_{max} \geq C_{ij}, \quad \forall j \in N, \quad \forall i \in M \quad (12)$$

$$C_{ij} \geq 0, \quad \forall j \in N, \quad \forall i \in M \quad (13)$$

$$X_{ijk} \in \{0,1\}, \quad \forall j \in \{0\} \cup \{N\}, k \in N, j \neq k, \quad \forall i \in M \quad (14)$$

$$Q_{ij} \geq 0 \text{ ve Tamsayı}, \quad \forall j \in N, \quad \forall i \in M \quad (15)$$

Amaç fonksiyonu (1) makespan en küçüklenmesidir. 2 ve 3 numaralı kısıtlar kümesi, her işin alt parça sayısının 1 ile en büyük alt parça sayısı arasında olmasını garanti altına alır. Sanal iş 0'ın  $X_{i0k}$  olarak kullanımı İş<sub>k</sub>'nin Makine<sub>i</sub>'de ilk iş olduğunu gösterir. 4 numaralı kısıtlar kümesi, üretim miktarlarını kontrol eder. İş<sub>k</sub>, Makine<sub>i</sub>'de işleniyorsa üretim miktarı  $Q_{ik}$  oluşur, aksi durumda üretim miktarı sıfırdır. 5 numaralı kısıtlar kümesi, her işin farklı makinelerde üretilen parçalarının toplamının belirli sabit bir sayı olmasını sağlar. Her iş için üretim miktarı sabit bir sayıdır ( $q^p$ ). İşlerin makinelerdeki farklı birim üretim süreleri  $D_{ij} = \frac{p_{ij}}{q^p}$  ile sağlanacaktır.  $q^p$ , birim üretim süresini ifade edebilmek için kullanılan bir sabittir. 10 numaralı kısıt dâhilinde birim üretim süresi, üretim miktarı ile çarpılarak, işin ilgili makinedeki üretim süresine ulaşılabilecektir. 6 numaralı kısıtlar kümesi, sanal iş için toplam üretim miktarının sıfır olduğunu ifade eder. 7 numaralı kısıtlar kümesi, işe ait alt parçaların aynı makinede olmasını engeller. 8 numaralı kısıtlar kümesi, her makinede en fazla bir işin ilk iş olabilmesini sağlar. 9 numaralı kısıtlar kümesi, işler ve makineler arasındaki bağlantıyı güvence altına alır. Eğer İş<sub>k</sub> Makine<sub>i</sub>'de üretiliyorsa, bir önceki iş olan İş<sub>j</sub>'nin de o makinede üretilmesi

gerekir. Kısıtlar kümesi 10 ise tamamlanma zamanlarının hesaplanması ve kontrolü için kullanılır. Eğer  $j$  işi Makine <sub>$i$</sub> 'ye atanmışsa ve ardından  $k$  işi geliyorsa bu durumda  $X_{ijk}=1$  olacaktır. Bu durumda  $C_{ik}, j$  işinin tamamlanma zamanı olan  $C_{ij}$ ,  $i$  makinesinde İş <sub>$j$</sub>  ve İş <sub>$k$</sub>  arasındaki hazırlık süresi olan  $S_{ijk}$  ve  $k$  işinin işlenme süresi toplamlarından büyük ya da eşit olacaktır.  $k$  işinin Makine <sub>$i$</sub> 'de işlenme süresi, İş <sub>$k$</sub> 'nın Makine <sub>$i$</sub> 'de birim üretim süresi olan  $D_{ik}$ 'nin İş <sub>$k$</sub> 'nın Makine <sub>$i$</sub> 'de üretilen miktarı olan  $Q_{ik}$  ile çarpılmasıyla elde edilir. Eğer  $X_{ijk}=0$  ise büyük bir katsayı olan  $V$  ile çarpım, kısıtı geçersiz kılacaktır. 11 numaralı kısıtlar kümesi sanal iş 0 için tamamlanma zamanının sıfır olduğunu, 12 numaralı kısıtlar kümesi en büyük tamamlanma zamanını tanımlar. Kısıtlar kümesi 13 ise sanal olmayan gerçek işler için tamamlanma zamanının negatif olmadığını ifade eder. 14 numaralı küme ikili değişkenleri, 15 numaralı küme tam sayılı değişkenleri tanımlar. Problem için en uygun çözüm bu MIP modelin CPLEX 11.0 çözücü ile çözümlenmesi ile elde edilmiştir. 6 iş 2 makine durumunda modelden cevap alınabilmiştir fakat 6 iş 4 makine durumunda dahi model 1 günden daha uzun sürede cevap verebilmiştir. Bu nedenle çözüm uzayı biraz daha daraltılarak GAspLA modelinin koşullarını tam olarak sağlayan ve bir sonraki alt bölümde detaylandırılan kısıtlar, bu modele ilave edilmiştir.

### 3.3.1.2. Eşit alt iş miktarları (MIP2)

Bu modelin içeriği, GAspLA modelinin koşulları ile bire-bir aynıdır. Eşit bölünme sayıları vardır ve en uygun bölünme sayısına model karar vermektedir. Önceki alt bölümde verilen modele aşağıdaki iki kısıt eklendiğinde model, işleri eşit olarak bölmektedir.

$$Q_{ij} - Q_{tj} \leq 0.1 + V * \left( 2 - \sum_{\substack{h \in \{0\} \cup \{N\} \\ h \neq j}} X_{ihj} - \sum_{\substack{h \in \{0\} \cup \{N\} \\ h \neq j}} X_{thj} \right) \forall i, t \in M, i \neq t, \forall j \in N \quad (16)$$

$$Q_{ij} - Q_{tj} \geq -0.1 - V * \left( 2 - \sum_{\substack{h \in \{0\} \cup \{N\} \\ h \neq j}} X_{ihj} - \sum_{\substack{h \in \{0\} \cup \{N\} \\ h \neq j}} X_{thj} \right) \forall i, t \in M, i \neq t, \forall j \in N \quad (17)$$

16 ve 17 numaralı kısıtlar kümesi, işin var ise alt parçalarının üretim miktarlarının eşit olmasını garantiler.  $j$  işinin, birbirinden farklı olan Makine <sub>$i$</sub>  ve Makine <sub>$i'$</sub> 'de üretimleri durumu söz konusu ise, iş parçaları arasındaki miktar yönünden farklılığın 0,1 sayısından daha küçük olması durumunda kısıt sağlanabilecektir. (Büyük bir sayı ile çarpım, eşitlik durumunda çalışmadığı için küçük bir sayı olan 0,1 denkleme eklenmiştir).  $Q_{ij}$  tamsayı olduğundan iş parçaları arasındaki 0,1 fark önemini yitirecek sadece eşit miktarlar durumunda kısıt sağlanabilecektir. Aksi durumda ise büyük bir katsayı olan  $V$  ile çarpım kısıtı geçersiz kılacaktır. Problem için en uygun çözüm bu MIP modelin CPLEX 11.0 çözücü ile çözümlenmesi ile elde edilmiştir. 6 iş 2 makine durumunda modelden cevap alınabilmiştir fakat 6 iş 4 makine durumunda dahi model, 1 günden daha uzun sürede cevap verebilmiştir. Bu nedenle, aşağıda önerilen yöntem geliştirilmiştir.

### 3.3.1.3. Rassal olarak verilen bölünme sayıları (MIP3)

İlk iki modelin çalışma performansları düşük olduğundan bir alternatif olarak aşağıdaki model geliştirilmiştir ve geliştirilen meta sezgiseller ile bu model karşılaştırılmıştır. Bu modelin GAspLA modelinin koşulları ile ayrılan noktası, başlangıçta rassal olarak oluşturulan bölünme sayılarıdır.

Model için karar değişkenleri aşağıdaki gibidir.

$$X_{ijrks} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } \text{İş}_k \text{ nin s. alt işi ks, } \text{İş}_j \text{ nin r. alt işi jr den sonra Makine}'_i \text{ de işlenirse} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

$$C_{ijr} = \text{Alt iş jr'nin Makine}'_i \text{ de tamamlanma zamanı}$$

$$C_{max} = \text{Makespan}$$

Amaç fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$\text{En küçük } C_{max} \tag{18}$$

Kısıtlar ise aşağıda tanımlanmıştır.

$$\sum_{i \in M} \sum_{j \in \{0\} \cup \{N\}} \sum_{r \in B} X_{ijrks} = 1, \quad \forall k \in N, \forall s \leq B[k] \quad (19)$$

$$\sum_{i \in M} \sum_{k \in N} \sum_{s \in B} X_{ijrks} \leq 1, \quad \forall j \in N, \forall r \leq B[j] \quad (20)$$

$$\sum_{r \in B} \sum_{k \in N} \sum_{s \in B} X_{i0rks} \leq 1, \quad \forall i \in M \quad (21)$$

$$\sum_{\substack{h \in \{0\} \cup \{N\} \\ h=j \Rightarrow m \neq r \\ h=k \Rightarrow m \neq s}} \sum_{m \in B} X_{ihmjr} \geq X_{ijrks}, \quad \forall i \in M, \forall j \in N, \forall r \leq B[j], \forall k \in N, \forall s \leq B[k] \quad (22)$$

$$C_{iks} + V(1 - X_{ijrks}) \geq C_{ijr} + S_{ijk} + \frac{p_{ik}}{B[k]} \quad \forall i \in M, \forall j \in \{0\} \cup \{N\}, \forall s \leq B[j], \quad (23)$$

$$\forall k \in N, \forall s \leq B[k]$$

$$C_{i0r} = 0 \quad \forall i \in M, \forall r \leq B[j] \quad (24)$$

$$C_{max} \geq C_{ijr} \quad \forall i \in M, \forall j \in N, \forall r \leq B[j] \quad (25)$$

$$C_{ijr} \geq 0 \quad \forall i \in M, \forall j \in N, \forall r \leq B[j] \quad (26)$$

$$X_{ijrks} \in \{0,1\} \quad \forall j \in \{0\} \cup \{N\}, \forall r \leq B[j], \forall k \in N, \forall s \leq B[k], \quad (27)$$

$$\forall i \in M, \stackrel{j=k}{\implies} r \neq s$$

Amaç fonksiyonu (18) makespan en küçüklenmesidir. 19 numaralı kısıtlar kümesi her alt işin bir makineye atanmasını ve bir öncülü olmasını sağlar. Sanal iş 0'nın  $X_{i0rks}$  olarak kullanımı  $\dot{I}_{\dot{s}_k}$ 'nin alt işi olan  $ks$ 'nin Makine <sub>$i$</sub> 'de ilk iş olduğunu gösterir. 20 numaralı kısıtlar kümesi her alt işten sonra en fazla bir adet alt iş gelmesini sağlar. 21 numaralı kısıtlar kümesi her makinede en fazla bir alt işin ilk iş olabilmesini sağlar. 22 numaralı kısıtlar kümesi işler ve makineler arasındaki bağlantıyı güvence altına alır. Eğer  $ks$  alt işi Makine <sub>$i$</sub> 'de üretiliyorsa, bir önceki alt iş olan  $jr$ 'nin de o makinede üretilmesi gerekir. Kısıtlar kümesi 23 ise tamamlanma zamanlarının hesaplanması ve kontrolü için kullanılır. Eğer  $jr$  alt işi Makine <sub>$i$</sub> 'ye atanmışsa ve ardından  $ks$  alt işi geliyorsa bu durumda  $X_{ijrks}=1$  olacaktır. Bu durumda  $C_{iks}$ ,  $jr$  alt işinin tamamlanma zamanı olan  $C_{ijr}$ ,  $i$  makinesinde  $\dot{I}_{\dot{s}_j}$  ve  $\dot{I}_{\dot{s}_k}$  arasındaki hazırlık süresi olan  $S_{ijk}$  ve  $ks$  alt işinin işlenme süresi toplamlarından büyük ya da eşit olacaktır.  $ks$  alt işinin işlenme süresi,  $\dot{I}_{\dot{s}_k}$ 'nin Makine <sub>$i$</sub> 'de üretim süresi olan  $p_{ik}$ 'nin  $\dot{I}_{\dot{s}_k}$ 'nin alt iş sayısı olan  $B[k]$ 'ya bölünmesi ile elde

edilir. Eğer  $X_{ijrks}=0$  ise büyük bir katsayı olan  $V$  ile çarpım kısıtı geçersiz kılacaktır. 24 numaralı kısıtlar kümesi sanal iş 0 için tamamlanma zamanının sıfır olduğunu, 25 numaralı kısıtlar kümesi en büyük tamamlanma zamanını tanımlar. Kısıtlar kümesi 26 ise sanal iş dışındaki diğer işler için tamamlanma zamanının negatif olmadığını ifade eder. Son olarak 27 numaralı küme ikili değişkenleri tanımlar. Problem için en uygun çözüm bu MIP modelin CPLEX 11.0 çözücü ile çözümlenmesi ile elde edilmiştir. Modelin, karşılaştırılan kombinasyonlardan birçoğu için çözüm üretebilmesinden dolayı sonraki bölümlerde MIP olarak geçecek içerik, bu bölümde anlatılan modeldir.

### **3.3.2. İşlerin bölünebildiği $R_m/S_{ijk}/C_{max}$ problemi için geliştirilen GAspLA ve GAspLAMIP**

Bu bölümde irdelenecek olan problem tipi, 3.1 bölümünde açıklanan problem tipi ile aynıdır. Farklılık, çözüm yönteminde olup, 3.2 bölümünde  $R_m/S_{ijk}/C_{max}$  problemin çözümü için algoritmaya dahil edilerek iyi sonuçlar elde edilmesini sağlayan yerel arama yöntemi, bu defa işlerin bölünebildiği duruma da adapte edilecek ve elde edilen sonuçlar yorumlanacaktır. Bu aşamada elde edilen sonuçlar, tüm işleri içeren gerçek problemin çözülmesi için önemli bir adım olacaktır.

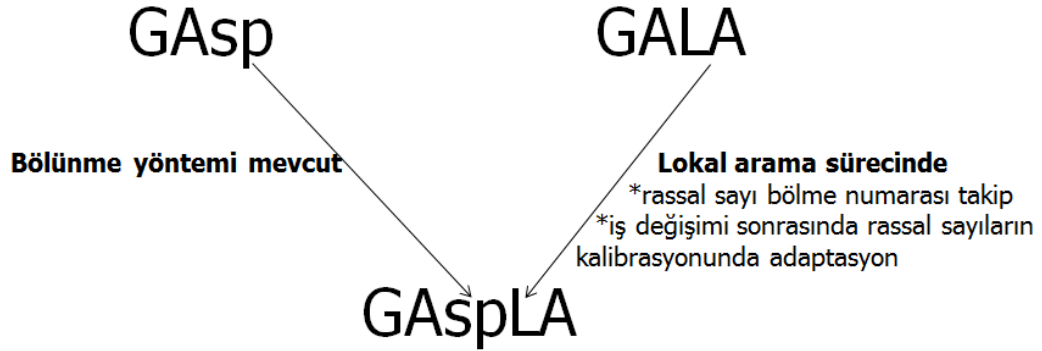
İlk alt bölümde, GAspLA olarak anılacak olan, işlerin bölünebilme özelliğinde olduğu durum için geliştirilen melez yerel aramalı genetik algoritma detaylandırılacaktır. İkinci alt bölümde ise, GAspLA algoritması ile elde edilen sonuçların MIP için başlangıç çözümü olarak kullanılması ile elde edilen melez çözüm (GAspLAMIP) ve sonuçları irdelenecektir.

#### **3.3.2.1. İşlerin bölünebildiği $R_m/S_{ijk}/C_{max}$ problemi için geliştirilen melez yerel aramalı genetik algoritma: GAspLA**

Kromozom, GAspLA'da da rassal sayıların dizilimi ile gösterilmiştir. Daha önce 3.1.2.1 alt bölümünde aktarılan kodlama şeması ve örnek kromozom yapısı (bkz. Şekil 3.1), 3.1.2.2 alt bölümündeki uygunluk fonksiyonu, 3.1.2.3 alt bölümündeki genetik operatörler burada da geçerlidir. Farklılık yerel aramada olup, Şekil 3.22'de gösterildiği



gibi, GALA'dan GAspLA'ya geçerken, bölünmeli durumda her iş makine kombinasyonu için birden fazla gen olması nedeni ile, rassal sayı bölme numarası takibinde farklılık oluşmuştur. Ayrıca iş değişimi sonrasında rassal sayı kalibrasyonun da yeni bir yöntem geliştirilmek durumunda kalınmıştır. Bu adaptasyonlar yapılarak kod yeniden düzenlenmiştir.



Şekil 3.22. GAsp ve GALA birleşimi ile oluşan GAspLA

Yerel aramada amaç, her iş için daha iyi hazırlık ve işleme zamanları bulabilmek için kromozomdaki tüm alternatifleri taramaktır. GAspLA'ya adapte edilen yerel aramanın notasyonu GALA için geliştirilen ve 3.2.2 alt bölümünde detaylandırılan yerel arama notasyonu ile aynıdır.

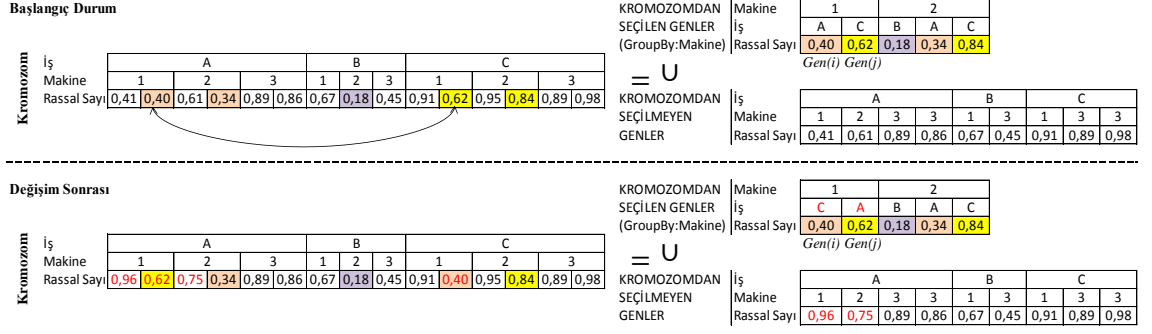
Yerel arama içindeki tüm durumlar dikkate alındığında elde edilen kod taslağı EK 1'deki gibidir. Makine içi ve makineler arası iş değişimleri GALA'daki yöntem ile aynıdır. Rassal sayıların kalibrasyonu aşamasında ise, her iş-makine kombinasyonunda birden fazla gen ortaya çıktığından, yeni zorluklar oluşmuştur. Geliştirilen yöntem, "B" alt başlığında açıklanmıştır.

- A. Makine içi ve makineler arası iş değişimi: Bu aşama, 3.2.2 alt bölümünde detaylandırılan "A" alt başlığı ile aynıdır. Tek farklılık, işleme zamanları hesaplanırken bölünme sayılarının dikkate alınmasıdır.
- B. Değişim Sonrası Kromozomda Entegrasyon: Entegrasyonda, GALA'dan farklı olarak, rassal anahtar sayıların değişimlerinde, rassal anahtar sayıların hangi bölmede olduğu da dikkate alınır. Gerçekleştirilen iş değişiminin kromozom tarafından tanınmasının sağlanması için aşağıdaki yapılar kod ile bütünleştirilmiştir. Açıklamaların yapılacağı problemde A işi 2'ye bölünür, B işi bölünmez, C işi 2'ye

bölünür ve tüm işler tüm makinelerde üretilebilir. Bölünme sayıları rassal olarak belirlenmektedir. Kromozomda, bölünme sayılarının yer aldığı kısım gösterilmemiştir.

i. Aynı makine içinde iş değişimi durumu: Aynı makine içindeki iş değişimi ile ilgili olarak başlangıç durum ve değişim sonrası durum Şekil 3.23'deki gibi gösterilmiştir. Kromozom, kromozomdan seçilen genler ve kromozomdan seçilmeyen genler 'den oluşmaktadır. Gerçekleştirilen değişimler Şekil 3.23 değişim sonrası kısmında kırmızı yazı ile gösterilmiştir. Şekil 3.23'deki örnek için  $Gen(i)_{I_S}$  ve  $Gen(j)_{I_S}$  değişiminin adımları aşağıdaki gibidir.

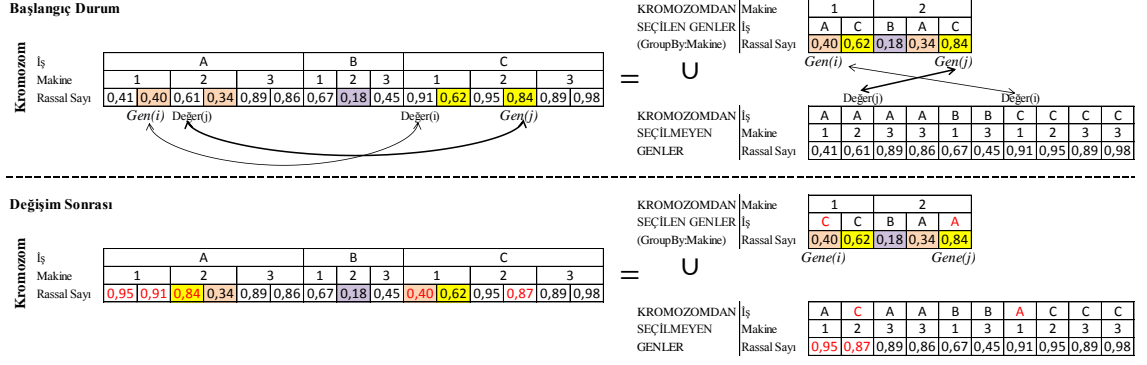
- I. İşlere ait rassal sayılar yer değiştirir. ( $Gen(i)_{I_S} \rightarrow \dot{I}_{S_A}$  için 0,40 ve  $Gen(j)_{I_S} \rightarrow \dot{I}_{S_C}$  için 0,62 yer değiştirecek ve  $Gen(i)_{I_S} \rightarrow \dot{I}_{S_C}$  için 0,40,  $Gen(j)_{I_S} \rightarrow \dot{I}_{S_A}$  için 0,62 durumuna dönüşecektir.)
- II. 0,40 sayısı 0,62 sayısından küçüktür. Bundan dolayı değişim sonrasında  $\dot{I}_{S_C}$  için diğer rassal sayıların değişmesine gerek yoktur. Çünkü mevcut durumda  $\dot{I}_{S_C}$  Makine<sub>1</sub> seçimini sağlamaktadır
- III. 0,62 sayısı 0,40 sayısından büyüktür. Bundan dolayı değişim sonrasında  $\dot{I}_{S_A}$  için “kromozomdan seçilmeyen genler” arasından 0,62'den daha küçük olan diğer rassal sayıların değiştirilmesi gerekir. Örneğin 0,41 sayısı 0,62'den küçüktür. 0,62'den daha büyük bir rassal sayı türetilir (0,96) ve bu sayı 0,41 ile değiştirir. Ayrıca,  $\dot{I}_{S_A}$  için “kromozomdan seçilmeyen genler” arasındaki 0,62'den küçük diğer rassal sayı 0,61 dir. 0,62'den büyük başka bir rassal sayı türetilir (0,75) ve bu sayı 0,61 ile değiştirilir. Böylece  $\dot{I}_{S_A}$ 'nın Makine<sub>1</sub>'i seçmesi sağlanmış olur.



Şekil 3.23. Bölünmeli yerel aramalı durum için makine içinde iş değişiminde kromozomdaki düzeltmelere örnek

ii. Farklı makineler arasında iş değişimi durumu: Farklı makineler arasındaki iş değişimi ile ilgili olarak başlangıç durum ve değişim sonrası durum Şekil 3.24'deki gibi gösterilmiştir. Gerçekleştirilen değişimler Şekil 3.24 değişim sonrası kısmında kırmızı yazı ile gösterilmiştir. Şekil 3.24'deki örnek için  $Gen(i)_{İş}$  ve  $Gen(j)_{İş}$  değişiminin adımları aşağıdaki gibidir. Şekildeki  $Değer(i)$ ,  $Gen(j)_{İş}$ 'in  $Gen(i)_{Makine}$ 'deki en yüksek rassal sayısının değerini göstermektedir.  $Değer(j)$ ,  $Gen(i)_{İş}$ 'inin  $Gen(j)_{Makine}$ 'deki en yüksek rassal sayısının değerini göstermektedir.

- I.  $Gen(i)_{İş}$  ve  $Değer(i)$ 'ye ait rassal sayılar aralarında;  $Gen(j)_{İş}$  ve  $Değer(j)$ 'ye ait rassal sayılar aralarında yer değiştirir.
- II. Değişim sonrasında  $İş_A$  için "kromozomdan seçilmeyen genler" arasında  $Gen(j)$ 'ye ait rassal sayı olan 0,84'den daha küçük sayı olup olmadığı kontrol edilir. 0,41 rassal sayısı 0,84'den küçük olduğu için 0,41 yerine 0,41'den daha büyük bir rassal sayı türetilir (0,95) ve bu sayı 0,41 ile değiştirilir
- III. Değişim sonrasında  $İş_C$  için "kromozomdan seçilmeyen genler" arasında  $Gen(i)$ 'ye ait rassal sayı olan 0,40 ya da  $İş_C$  için diğer seçilen değer olan 0,62'den daha küçük sayı olup olmadığı kontrol edilir. 0,61, 0,62'den küçük olduğu için 0,61'den büyük bir rassal sayı yaratılır (0,87) ve 0,61 ile değiştirilir.



Şekil 3.24. Bölünmeli yerel aramalı durum için makineler arası iş değişiminde kromozomdaki düzeltmelere örnek

### 3.3.2.2. Melez çözüm: GAspLAMIP

Bu bölümde, önerilen GAspLA tabanlı MIP model uygulaması irdelenecektir. Bu uygulama, 3.3.1.3 alt bölümünde önerilen MIP3 modelinin çalışma süresini düşürmeyi hedeflemektedir. Bununla birlikte uygulama, önerilen GAspLA algoritmasının çalışılan veri kümeleri için en uygun sonuçlar verdiğini göstermektedir. Sonuçlar, sonraki bölümde tartışılacaktır.

GAspLA kullanarak sonuç çizelgesine nasıl ulaşıldığına önceki alt bölümde değinilmişti. Sonrasında elde edilen sonuç çizelgedeki alt işlerin makinelerdeki sıra bilgisi MIP3 modeline, ikili değişkenler kümesi başlangıç değerleri olarak verilecektir. Çizelge 3.14, 4 makine ve 6 iş olduğu bir problem için başlangıç değerleri göstermektedir. Her makinenin ilk işinin sanal iş ( $j: 0, r: 1$ ) olması bilgisine dayanarak, Çizelge 3.14'ün ilk satırı alt iş<sub>31</sub>'in Makine<sub>1</sub> tarafından ilk iş olarak işleneceğini göstermektedir. İkinci ve üçüncü satırlarda ise Makine<sub>2</sub>'nin iş sırasının alt iş<sub>11</sub> ve alt iş<sub>41</sub> şeklinde olacağı açıktır. Diğer makinelerdeki iş sıraları da benzer şekilde değerlendirilebilir.

Çizelge 3.14. İkili değişkenler kümesi için başlangıç değerleri

Makine Numarası	Alt İş Sırası				İkili değişken sırası
	i	j	r	k	s
1	0	1	3	1	1
2	0	1	1	1	1
2	1	1	4	1	1
3	0	1	6	1	1
3	6	1	5	1	1
4	0	1	2	1	1
4	2	1	6	2	1

MIP3'ün arama uzayını küçültebilmek için, başlangıç çözüm olarak GAspLA'nın sonuç çizelgesi kullanılmaktadır. Bu nedenle sonuca yaklaşım hızı artmaktadır. Önerilen GAspLAMIP uygulamasının adımları aşağıdaki gibidir.

- GAspLA algoritması çalıştırılır.
- GAspLA ile elde edilen sonuç çizelge bilgisine uygun olarak, MIP3 tarafından kullanılacak ikili değişkenler belirlenir.
- Belirlenen değişkenleri başlangıç çözüm olarak kullanabilmesi için elde edilen ikili değişkenler kümesi, MIP3 modeline gönderilir.
- Verilen başlangıç çözüm ile MIP3 çalıştırılır ve en uygun sonuçlar elde edilir.

Uygulama ile elde edilen sonuçlar, sonraki bölümde tartışılacaktır.

### 3.3.3. Elde edilen sonuçlar

Elde edilen sonuçlar iki alt başlık altında değerlendirilmiştir.

İlk alt bölümde;

- İşlerin bölünmediği durum için ( $R_m/S_{ijk}/C_{max}$ )
  - Rabadi ve ark. (2006) tarafından önerilen ve MPL'de kodladığımız MIP0 ile elde edilen sonuçlar,
  - 3.2 bölümünde detaylandırılan GALA algoritması sonuçları,
- İşlerin bölündüğü durum için (işlerin bölünebildiği  $R_m/S_{ijk}/C_{max}$ )
  - 3.3.1.3 alt bölümünde detaylandırılan MIP3,

- 3.3.2.1 alt bölümünde detaylandırılan GAspLA algoritması
- 3.3.2.2 alt bölümünde detaylandırılan GAspLA ile elde edilen sonuçların MIP'e başlangıç çözüm olarak verilmesi ile oluşturulan melez yapı, GAspLAMIP sonuçları incelenmiştir.

İkinci alt bölümde ise, önerilen GAspLA yönteminin literatürdeki problem kümelerine uygulanması ile elde edilen sonuçlar detaylandırılmıştır.

Parametre yapılanmasından kaynaklanacak farklılıkları ortadan kaldırabilmek için GALA, GAspLA ve GAspLAMIP algoritmaları için aynı parametreler kullanılmıştır. GAspLA ve GAspLAMIP'in temel yapısını oluşturan GALA için parametre konfigürasyonu 3.2.3.1 alt bölümünde detaylandırılmış olup aşağıdaki gibidir.

- Anakütle sayısı:100
- Nesil sayısı:500
- $P_c$ :1
- $P_m$ :0,2

### 3.3.3.1. MIP, GAspLA ve GAspLAMIP sonuçları

Literatürden (Scheduling Research 2005) alınan veri kümelerinde, her kombinasyon için 15 farklı problem örneği mevcuttur. Çizelge 3.15, her kombinasyonun ilk problem örneği üzerinde aşağıdaki durumları raporlamaktadır.

- İşlerin bölünmediği durum için;
  - Rabadı ve ark (2006) tarafından önerilen MIP modeli MPL'de kodlanmış ve CPLEX 11.0 çözücüsü kullanılarak elde edilen  $C_{max}$  değerleri ve hesaplama süreleri Çizelge 3.15 bölünmesiz durum MIP0 başlığında her kombinasyon için raporlanmıştır.
  - GALA ile elde edilen  $C_{max}$  değerleri ve hesaplama süreleri Çizelge 3.15 bölünmesiz durum GALA başlığında her kombinasyon için raporlanmıştır.
- İşlerin bölünebildiği durum için;
  - 3.3.1.3 alt bölümünde detaylandırılan MIP3 modeli MPL'de kodlanmış ve CPLEX 11.0 çözücüsü elde edilen  $C_{max}$  değerleri ve hesaplama süreleri

Çizelge 3.15 bölünmeli durum MIP3 başlığında her kombinasyon için raporlanmıştır.

- GAspLA ile elde edilen  $C_{max}$  değerleri ve hesaplama süreleri Çizelge 3.15 bölünmeli durum GAspLA başlığında her kombinasyon için raporlanmıştır.
- GAspLA sonuçları MIP3'e başlangıç çözümü olarak verilerek melez GAspLAMIP elde edilmiş ve elde edilen  $C_{max}$  değerleri ve hesaplama süreleri Çizelge 3.15 GAspLAMIP sütunundaki gibi her kombinasyon için raporlanmıştır.

MIP model içeren algoritmaların çalışma süresi 1 gün (86 400 sn.) ile sınırlandırılmış, 1 günün üzerindeki sürelerde elde edilen sonuçlar Çizelge 3.15'de gri yazılarla belirtilmiştir.

Çizelge 3.15'deki sonuçlar aşağıdaki gibi yorumlanabilir.

- İşlerin bölünmediği durumlara dair algoritmaların aynı Çizelgede gösterilmesinin nedeni, bölünmeli durumlar için geliştirilen algoritmalar ile elde edilen iyileştirmeleri gösterebilmektir.
  - MIP0 çözümü, 10 problem (6 iş 2 ve 4 makine, 7 iş 2 ve 4 makine, 8 iş 2 ve 4 makine, 9 iş 2 ve 4 makine, 10 iş 2 ve 4 makine) için en uygun çözümü elde edebilmiştir. Bu problemlerin her birinin MIP0 ile elde edilen sonuçları ve çözüm süreleri Çizelge 3.15'deki gibidir.
  - GALA ise tüm bu noktalarda en uygun sonuçları verebilmiştir. Algoritmanın diğer kombinasyonlardaki performansı, 3.2.3.2 bölümünde detaylı olarak anlatılmıştır.
- İşlerin bölünebildiği durumda ise;
  - MIP3 ile 5 durumda (6 iş 2 ve 4 makine, 7 iş 2 ve 4 makine, 8 iş 4 makine) kabul edilebilir süre içerisinde en uygun sonuçlar elde edilmiştir.
  - GAspLA algoritması ile elde edilen sonuçlardan, 8 adet kombinasyonun sonuçlarının, 86 400 sn. ile sınırlandırılmış MIP3 sonuçları ile aynı, 2 adet kombinasyonun sonuçlarının ise daha iyi olması ve çok daha kısa sürede bu sonuçları elde etmesi, GAspLA algoritma performansının iyi olduğu sonucuna ulaşılmasını sağlamıştır. GAspLA algoritmasının

literatürden alınan diğer kombinasyonlardaki performansı sonraki alt bölümde anlatılacaktır.

- GAspLAMIP ise;
  - MIP3 ile karşılaştırıldığında, 10 kombinasyondan 8 adet kombinasyonda, 86 400 sn. ile sınırlandırılmış MIP3 sonuçları ile aynı, 2 adet kombinasyonda ise daha iyi sonuçlar vermiştir. Ayrıca MIP3'e göre çok daha kısa sürede iyi sonuçlar elde edilebilmiştir.
  - GAspLA ile karşılaştırıldığında, 9 adet kombinasyonda GAspLAMIP ile aynı sonucun elde edilmesi, GAspLA'nın alt sınıra yakın çözümler sunduğunun bir işareti olarak yorumlanabilir.
- Çizelge 3.15'e göre, GAspLA, 5 kombinasyonda GALA ve MIP0'dan daha iyi sonuçlar elde edebilmiştir. Buna göre, eğer bir problemdeki işler alt işlere bölünebiliyorsa, işlerin bölünebildiği durumlar için geliştirilen algoritmaların kullanımı daha iyi sonuçlara ulaşılmasının sağlayacaktır.

Çizelge 3.15. MIP0, GALA, MIP3, GAspLA ve GAspLAMIP çözümlerin karşılaştırılması

İş Sayısı	Makine Sayısı	Bölünmesiz Durum				Bölünmeli Durum					
		MIP0		GALA		MIP3		GAspLA		GAspLAMIP	
		$C_{max}$	Süre(sn)	$C_{max}$	Süre(sn)	$C_{max}$	Süre(sn)	$C_{max}$	Süre(sn)	$C_{max}$	Süre(sn)
6	2	390,0	3	390,0	3	390,0	545	390,0	9	390,0	14
6	4	235,0	3	235,0	4	234,0	1 106	234,0	13	234,0	16
7	2	484,0	23	484,0	4	470,5	35 172	470,5	13	470,5	204
7	4	258,0	3	258,0	5	245,0	7 200	245,0	22	245,0	26
8	2	494,0	232	494,0	5	494,0	dur 86 400	494,0	16	494,0	245
8	4	264,0	6	264,0	7	264,0	80 096	264,0	27	264,0	29
9	2	627,0	2 120	627,0	6	627,0	dur 86 400	627,0	19	627,0	45 394
9	4	345,0	6 345	345,0	9	345,0	dur 86 400	331,0	30	331,0	38 376
10	2	647,0	28 144	647,0	7	647,0	dur 86 400	647,0	28	647,0	29 842
10	4	360,0	58 626	360,0	11	359,0	dur 86 400	352,5	40	345,0	dur 86 400



### 3.3.3.2. GAspLA yönteminin literatürdeki problem kümelerine uygulanması ile elde edilen sonuçlar

Geliştirilen GAspLA, işlerin bölünmediği durum karşılaştırmasında kullanılan veri kümeleriyle (Scheduling Research 2005) denenmiştir. Veri kümelerinin orijinalinde bölünme sayıları olmadığı için, işler için bölünme sayıları 1 ile 3 arasında rassal olarak belirlenmiştir. Performans kriteri olarak ise algoritmanın alt sınırdan sapma oranı kullanılmış ve aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\text{Alt Sınırdan Sapma Yüzdesi} = \frac{C_{maxAlgorithm} - LB}{LB} \cdot 100,$$

Formüldeki alt sınırların hesaplama yöntemi'ne Arnould ve Ark. (2010) çalışmasından ulaşılabilir. İlgili çalışmada da belirtildiği gibi alt sınır (lower bound (LB)) aşağıdaki üç eşitlik yardımı ile bulunur.

$$LB1 = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^N \min_{\substack{i=1..M \\ j=1..N}} [p_{ik} + S_{ijk}] \quad (28)$$

$$LB2 = \max_{k=1..N} \left\{ \min_{\substack{i=1..M \\ j=1..N}} [p_{ik} + S_{ijk}] \right\} \quad (29)$$

$$LB = \max(LB1, LB2) \quad (30)$$

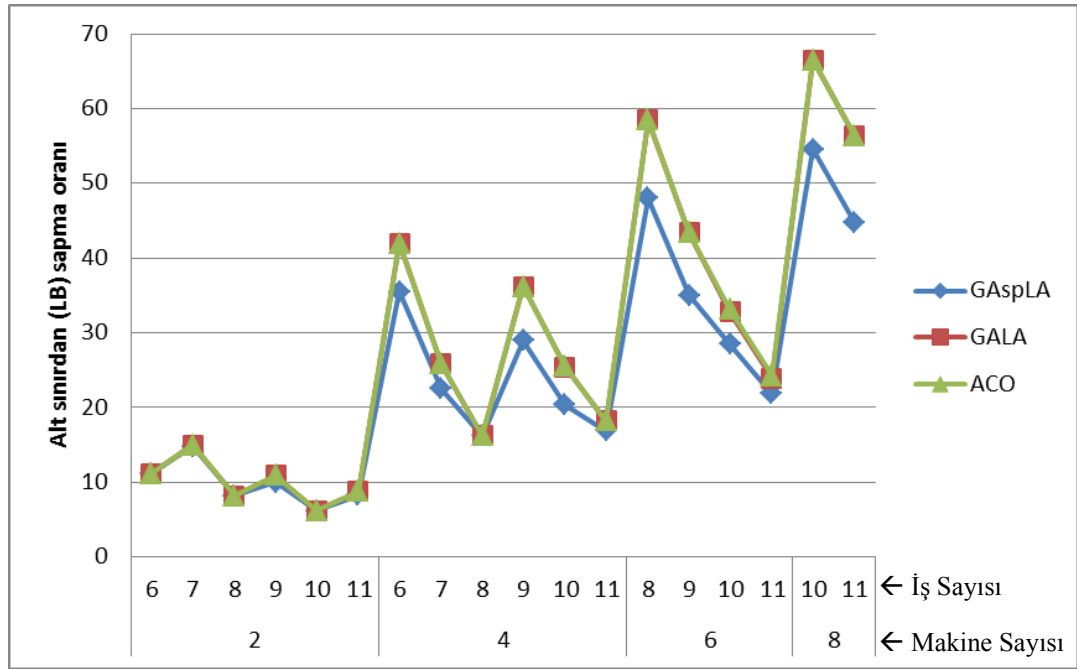
Karşılaştırılacak olan üç algoritma ise,

- işlerin bölünmediği durum için
  - Arnould ve ark. (2010) tarafından önerilen ACO,
  - tez çalışmamız kapsamında geliştirilen ve 3.2 bölümünde detaylandırılan GALA ve
- işlerin bölünebildiği durum için geliştirilen GAspLA algoritmasıdır.

Küçük problem kümelerinde kombinasyonlar 2 makine, 6, 7, 8, 9, 10, 11 iş, 4 makine 6, 7, 8, 9, 10, 11 iş, 6 makine 8, 9, 10, 11 iş, 8 makine 10,11 iş olarak belirlenmiştir. Küçük problemlere ait sonuçlara, EK 6'dan ulaşılabilir. EK 6'da her iş ve makine kombinasyonu ve her dosya (örnek) için Alt Sınır, ACO, GALA ve GAspLA 'ya ait

$C_{max}$  ve ACO, GALA ve GAspLA 'ya ait alt sınırdan sapma yüzde değerleri ve GAspLA için hesaplama süreleri yer almaktadır. EK 6'daki ortalama alt sınırdan sapma yüzdeleri ACO, GALA, GAspLA algoritmaları ve her kombinasyon (grup) için hesaplanmıştır.

Şekil 3.25, EK 6'da detayları ile yer alan ortalama alt sınırdan sapma oranlarının ACO, GALA ve GAspLA için grafiksel gösterimidir. Her bir kombinasyon için 15 örneğin ortalama değerleri Şekil 3.25'deki grafiğe yansıtılmıştır. Önerilen GAspLA algoritması ile, bölünebilir problemlerde ACO ve GALA algoritmalarından daha iyi sonuçlar elde edilebildiği gözlemlenebilir.

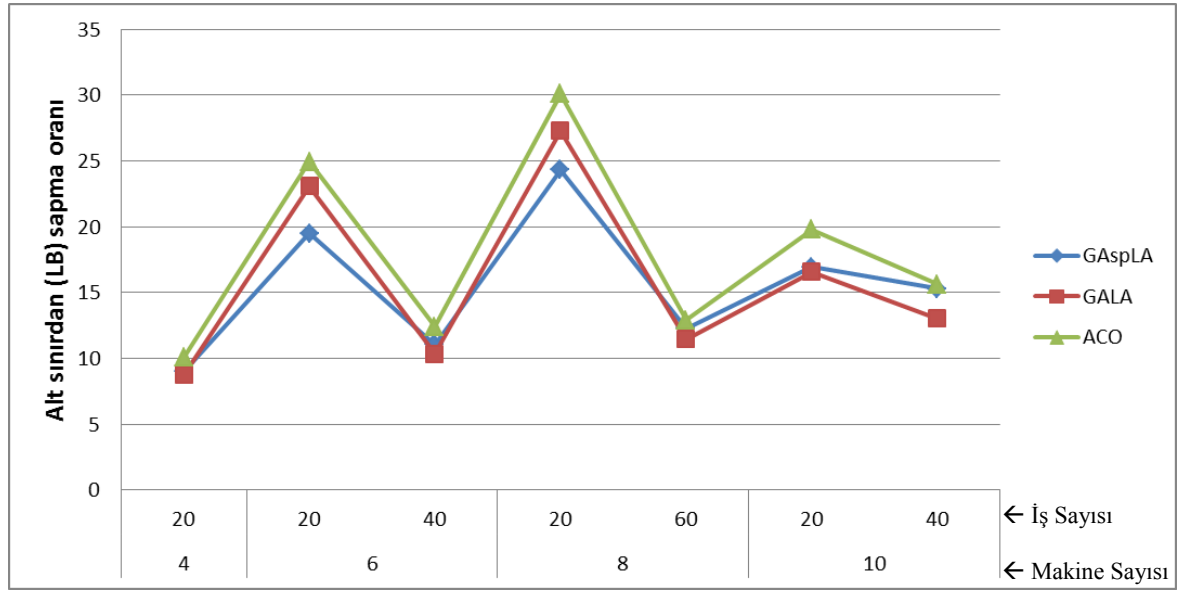


Şekil 3.25. Küçük problemler için her algoritmanın alt sınırdan sapma oranları

Büyük problem kümelerinde kombinasyonlar 4 makine, 20 iş, 6 makine 20, 40 iş, 8 makine 20, 60 iş, 10 makine 20, 40 iş olarak belirlenmiştir. Büyük problemler için elde edilen sonuçlara, EK 7'den ulaşılabilir. EK 7'de her iş ve makine kombinasyonu ve her dosya (örnek) için Alt Sınır, ACO, GALA ve GAspLA 'ya ait  $C_{max}$  ve ACO, GALA ve GAspLA 'ya ait alt sınırdan sapma yüzde değerleri ve GAspLA için hesaplama süreleri yer almaktadır. Ortalama alt sınırdan sapma yüzdeleri ACO, GALA, GAspLA algoritmaları ve her kombinasyon (grup) için, son 3 sütundaki gibi hesaplanmıştır.

Şekil 3.26'deki grafik, EK 7'da detaylandırılan, ACO, GALA ve GAspLA için ortalama alt sınırdan sapma oranlarını göstermektedir. Her kombinasyon için 15 örneğin ortalama değerleri hesaplanarak grafiğe yansıtılmıştır. Önerilen GAspLA algoritması ile bölünebilir problemlerde,

- Tüm noktalarda ACO algoritmasından daha iyi sonuçlar elde edilebildiği,
- 6 makine 20 iş ve 8 makine 20 iş kombinasyonlarında ise GALA algoritmasından da iyi sonuçlar elde edildiği gözlemlenebilir. Diğer kombinasyonlarda GALA algoritmasına yakın sonuçlar bulunmasının nedeni algoritmanın, 1-3 arasında seçilebilen bölünme sayısını 1 olarak seçebilme performansından kaynaklanmaktadır. Algoritma, daha iyi sonuçlar elde edemediğinde işi bölmeyi tercih etmektedir.



Şekil 3.26. Büyük problemler için her algoritmanın alt sınırdan sapma oranları

### 3.4. İşlerin Bölünebildiği Büyük Boyutlu $R_m / S_{jk}, M_j / C_{max}$ Problemi İçin Geliştirilen Melez Yerel Aramalı Genetik Algoritma (GAspLA\_LSP)

İşlerin bölünebildiği  $R_m / S_{ijk} / C_{max}$  problemi için geliştirilen GAsp yöntemi, Boyteks Tekstil Endüstri ve Ticaret A.Ş.'den alınan küçük örneklerle çalıştırıldığında mevcut sistemden daha iyi sonuçlar elde edildiğine 3.1 bölümünde değinilmişti.

3.2 bölümünde genetik algoritmaya eklenen yerel arama ile algoritma performansındaki iyileşme, literatürden alınan algoritmalarla karşılaştırılarak doğrulanmış,  $R_m/S_{ijk}/C_{max}$  problemi için özgün bir algoritma olan GALA geliştirilmiştir.

Tekrar işlerin bölünebildiği duruma geçildiğinde ise GALA'nın işlerin bölünebildiği duruma adaptasyonu olan GAspLA, melez çözüm (GAspLAMIP) ve karşılaştırmalar da 3.3 bölümünde detaylandırılmış, performans analizleri ile yöntemin daha karmaşık problem için de kaliteli çözüm önerisi sunabildiği doğrulanmıştır.

Bu bölümde ise, işlerin bölünebildiği, makine uygunluk kriteri içeren gerçek problemin çözümlenmesi için geliştirilen yöntem ve algoritmanın büyük ölçekli problemdeki başarısı irdelenecektir.

İşlerin bölünebilme özelliğinde olduğu büyük boyutlu durum için geliştirilen melez yerel aramalı genetik algoritma GAspLA\_LSP olarak anılacaktır.

Daha önce irdelenen yapıya, literatürde makine uygunluğu olarak anılan yapı ilave edilmiştir. Çünkü gerçek sistemde teknolojik kısıtlardan dolayı her iş her makine tarafından işlenememektedir. Literatürde bu konuda çok az çalışma bulunmaktadır. Konu ile ilgili çalışmalar, literatür taraması, 2.5 alt bölümünde özetlenmiştir. Problem, artık işlerin bölünebildiği  $R_m/S_{jk}$ ,  $M_j/C_{max}$  problemi olarak anılabilir. Bu gösterimde  $M_j$ : makine uygunluk kriterinin varlığına işaret etmektedir. Hazırlık süresinde,  $S_{ijk}$ 'dan  $S_{jk}$ 'ya dönüşün en önemli sebebi, işlerin makineye bağımlı kalmadan dizim tiplerine göre değişen hazırlık sürelerinin varlığıdır. Literatürde bölünme ve makine uygunluk koşullarının birlikte incelendiği aynı kapsamda bir çalışma bulunmadığından, konu ile ilgili hem literatüre hem de endüstriye önemli bir katkı söz konusu olacaktır.

#### **3.4.1. Kodlama şeması**

Yeni kromozom yapısında iş sayısı kadar bölme mevcuttur. Her bölme, işin işlenebileceği makine sayısı kadar alt bölmeye ayrılmıştır. Her alt bölmenin altında yer alan gen sayısı ise işin bölünme sayısı kadardır. Her işin bölünme sayısı önceden

belirlenmiştir. Şekil 3.27'deki kromozom yapısında 3 iş 3 makine mevcuttur. İşlerin makinedeki sırası yine genlerdeki 0-1 arasındaki rassal sayıların artan dizilimine göre oluşmaktadır. Şekil 3.27 örnek kromozom yapısını göstermektedir.  $\dot{I}_{SA}$ ,  $\dot{I}_{SB}$  ve  $\dot{I}_{SC}$  için alt iş sayıları sırasıyla 2, 2, 1 olarak belirlenmiştir. Şekil 3.27'dan de anlaşılacağı gibi  $\dot{I}_{SA}$ , Makine<sub>1</sub>, Makine<sub>2</sub>, Makine<sub>3</sub>'de üretilebilirken,  $\dot{I}_{SB}$  Makine<sub>2</sub> ve Makine<sub>3</sub>'de,  $\dot{I}_{SC}$  ise Makine<sub>1</sub> ve Makine<sub>2</sub>'de üretilebilmektedir.  $\dot{I}_{SA}$  için alt iş sayısı 2 olduğundan  $\dot{I}_{SA}$ 'ya ait rassal sayılar arasından en küçük iki adet sayı seçimi alt işlerin hangi makinelerde işleneceğini gösterecektir. Seçilen sayılar ( $\dot{I}_{SA}$  için 0,15 ve 0,20) Şekil 3.27'da koyu renkle belirtilmiştir.  $\dot{I}_{SA}$ 'nın her iki alt işinin de Makine<sub>1</sub>'de üretileceği açıktır. Benzer olarak  $\dot{I}_{SB}$  için alt iş sayısı 2'dir ve bu işler Makine<sub>2</sub> ve Makine<sub>3</sub>'de üretilecektir, Alt iş sayısı 1 olan  $\dot{I}_{SC}$  ise Makine<sub>2</sub>'de üretilecektir.

İşler	A						B			C		
	1		2		3		2		3	1	2	
Makineler												
Rassal Sayılar	<b>0,15</b>	<b>0,20</b>	0,99	0,54	0,80	0,44	<b>0,26</b>	0,85	0,46	<b>0,43</b>	0,92	<b>0,63</b>

Şekil 3.27. Büyük ölçekli problem için kullanılan kromozom yapısının gösterimi

### 3.4.2. Amaç fonksiyonu ( $C_{max}$ )

Tezin amacı olan, firmanın gerçek siparişlerinin çizelgelenmesi aşamasında karşılaşılan çizelgedeki 1 100 sipariş ise, firmanın makespan'ini 38 gün olan bir kesitteki gerçek siparişleridir ve 133 makinede üretilmesi beklenmektedir. Siparişler, alt işlere bölüldüğünden, 1 100 sipariş, toplamda 2 111 alt iş sayısına karşılık gelmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi makine bağımlı işleme süreleri ve sıra bağımlı hazırlık süreleri mevcuttur ve probleme özel bazı tanımlar aşağıdaki gibidir.

- $p_{ij}$ :  $\dot{I}_{S_j}$ 'nin,  $j \in N$ , Makine <sub>$i$</sub> 'de,  $i \in M$ , üretilme süresi.
- $p_{ijs}$ :  $\dot{I}_{S_j}$ 'nin  $s$ . alt işi olan  $\dot{I}_{S_{js}}$ 'nin, Makine <sub>$i$</sub> 'de,  $i \in M$ , üretilme süresi. Bu değer,  $p_{ij}$ 'nin  $\dot{I}_{S_j}$ 'nin alt iş sayısına bölünmesi ile elde edilir.
- $S_{tg}$ :  $\dot{I}_{S_j}$ 'ye,  $j \in N$ , ait dizim olan  $t$  ile  $\dot{I}_{S_k}$ 'ya,  $k \in N$ , ait dizim olan  $g$  arasındaki hazırlık süresi.

Gerçek durumu tam olarak temsil edebilmek amacıyla verilerin derlenmesinde aşağıdaki değişikliklere gidilmiştir.

Her iş için bir dizim tipi tanımlıdır. Çizelge 3.16, bir örnek olarak İş<sub>A</sub>, İş<sub>B</sub>, İş<sub>C</sub>'ye ait dizim tiplerini göstermektedir. Bu örnekte, her işin farklı dizim tipi vardır. Farklı işler aynı dizim tipinde olabilir. Dizim tipi sayısının iş sayısından az ve sınırlı sayıda olması nedeniyle hazırlık süreleri dizim tipleri üzerinden hesaplanacaktır. Uygulamanın yapıldığı firma da bu çalışma sayesinde dizim tipleri arasındaki hazırlık sürelerini bir defalığına çıkartmış ve gerçek hayatta çizelgeleme sürecinde uygulamaya başlamıştır.

Makinelerin teknolojik yapısından dolayı her iş her makinede işlenememektedir. Her makinenin çalışabildiği dizim tipleri mevcuttur. Çizelge 3.17, bir örnek olarak Makine<sub>1</sub>, Makine<sub>2</sub> ve Makine<sub>3</sub>'ün çalışabileceği dizim tiplerini göstermektedir. İşler, ancak kendisine ait olan dizimi işleyebilecek makinelerde çalışabilir. Makine<sub>1</sub>, Makine<sub>2</sub> ve Makine<sub>3</sub> için işleme süreleri Çizelge 3.18'deki gibidir. İşlerin makinelerdeki işleme süreleri birbirinden farklıdır. Dizim tipleri arasındaki geçiş için hazırlık süreleri mevcuttur. Çizelge 3.19, bir örnek olarak dizimler arası geçişlerdeki hazırlık sürelerini göstermektedir. Çizelge 3.19 kullanarak hazırlık süresi hesaplamak için “dizimden” kısmı çizelgenin en üst satırından, “dizime” kısmı çizelgenin en sol kolonundan seçilmelidir. Örneğin X-Y arası hazırlık süresi 480 iken Y-X arası hazırlık süresi 1 440 birimdir. İşlerin bölünme sayıları, firmanın belirlediği bölünme sayılarıyla sabit tutulmuştur.

Çizelge 3.16. İşler için dizim tipleri

İş No	Dizim
İş <sub>A</sub>	X
İş <sub>B</sub>	Y
İş <sub>C</sub>	Z

Çizelge 3.17. Makinelerin işleyebileceği dizim tipleri

Makine No	Dizim
Makine <sub>1</sub>	X, Z
Makine <sub>2</sub>	X, Y, Z
Makine <sub>3</sub>	X, Y

Çizelge 3.18. İşlerin makinelerde işleme süreleri (GAspLA\_LSP)

$p_{ij}$	Makine <sub>1</sub>	Makine <sub>2</sub>	Makine <sub>3</sub>
İŞ <sub>A</sub>	780	600	800
İŞ <sub>B</sub>	-	500	680
İŞ <sub>C</sub>	950	700	-

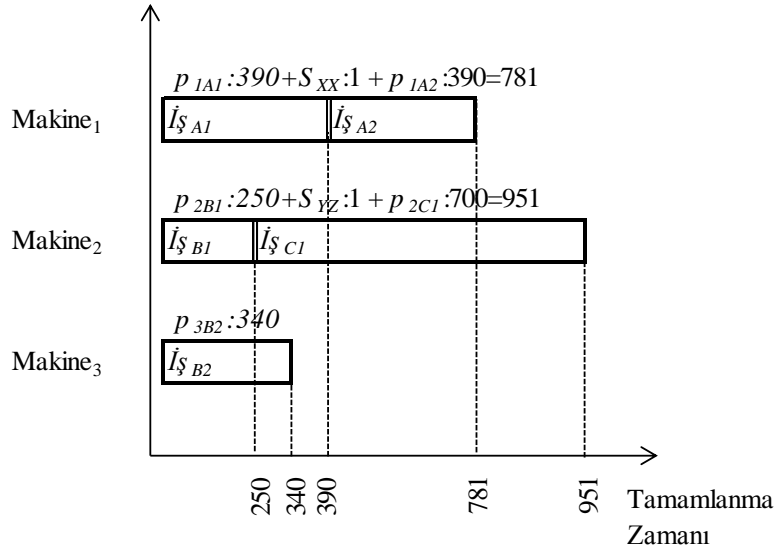
Çizelge 3.19. Dizimler arası geçiş hazırlık süreleri

$S_{rg}$	X	Y	Z
X	1	1 440	1 440
Y	480	1	240
Z	480	1	1

Şekil 3.27'deki kromozom yapısına göre Makine<sub>1</sub>, İŞ<sub>A</sub>'ya ait iki alt iş olan alt iş<sub>A1</sub>, alt iş<sub>A2</sub>'yi işleyecektir. Makine<sub>2</sub> ise İŞ<sub>B</sub>'ye ait olan alt iş<sub>B1</sub> ve İŞ<sub>C</sub> (alt iş<sub>C1</sub>)'i işleyecektir. Makine<sub>3</sub> İŞ<sub>B</sub>'ye ait diğer alt iş olan alt iş<sub>B2</sub>'yi işleyecektir. İşlerin makinelerde işlenme sırası rassal sayıların küçükten büyüğe dizilimi ile elde edilir. Örneğin Makine<sub>1</sub> için tüm kromozomda seçilen rassal sayılar 0,15 ve 0,20 olup bunların dizilimi, ait oldukları iş parçalarının o makinedeki sırasını verecektir. Dolayısıyla Makine<sub>1</sub>'de alt iş<sub>A1</sub> ve alt iş<sub>A2</sub> ardıl olarak işlenecektir. Eğer bir iş alt parçalara bölünüyorsa, alt işin işleme süresi tüm işin işleme süresinin o işe ait alt iş sayısına bölünmesi ile elde edilir. Makine<sub>1</sub> için tamamlanma 781, Makine<sub>2</sub> için 951 ve Makine<sub>3</sub> için 340'dir. Bu durumda makespan 951 olarak bulunacaktır. İlgili kromozoma ait çizelge ve makespan değeri Şekil 3.28'deki gibidir.

### 3.4.3. Yerel arama

Yeni yapıda, yerel arama ve değişim sonrası entegrasyon aşağıdaki gibi açıklanabilir. Yapı, GAspLA'ya da adapte edilen, 3.2.2 alt bölümünde detaylandırılan GALA için geliştirilen yerel aramalı genetik algoritmanın yerel aramasına benzemektedir. Farklı olarak, GAspLA'da olduğu gibi işler bölünebilmekte, GAspLA'dan farklı olarak da her iş her makinede işlenememekte, sadece işe ait dizimi işleyebilen makinelerde işlenebilmektedir.



Şekil 3.28. Şekil3.27’deki kromozomun çizelgesi ve  $C_{max}$  değeri

GAspLA yerel aramasından özellikle farklılaşan noktalar şöyledir:

- Dizim tipinin yapıya dahil olması nedeniyle hazırlık süreleri makine tipinden bağımsızlaşmıştır.  $ST_{İş(j,k)}$  :  $Gen(j)_{İş}$  ve  $Gen(k)_{İş}$ ’e ait dizim tipleri arasındaki hazırlık süresi olarak düzenlenecektir. Diğer notasyon önceki bölümde gösterildiği gibidir.
- Farklı makineler arası iş değişimlerinde makinelerin değişim yapılacak işi işleyip işleyemediği kontrolü yapılmıştır.

Yerel arama içindeki tüm durumlar dikkate alınarak kod taslağı EK 8’deki gibi oluşturulmuştur. Önerilen makine içi ve makineler arası iş değişimleri “A” alt başlığında açıklanmıştır. Rassal sayıların kalibrasyonu aşamasında ise, her iş-makine kombinasyonunda birden fazla genin ortaya çıkması –ki bu durum GAspLA’da da vardı- ve makine uygunluk kısıtının varlığı yeni zorlukların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Geliştirilen yöntem, “B” alt başlığında açıklanmıştır.

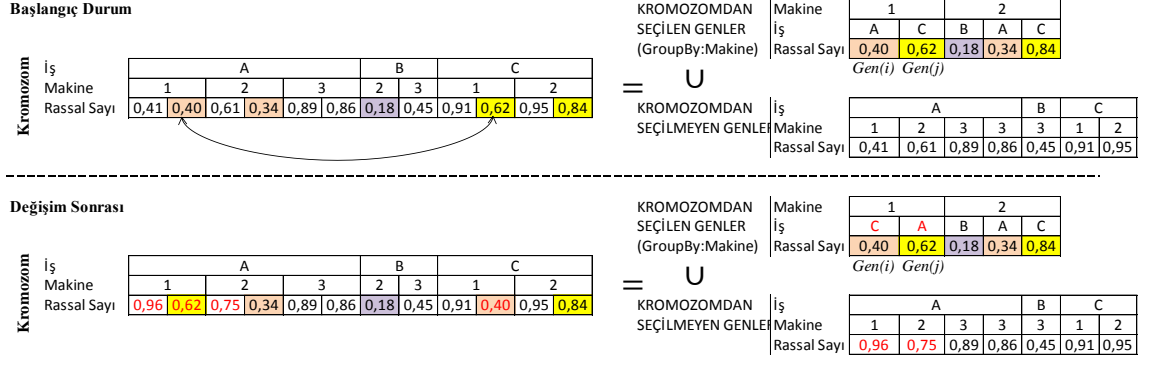
A. Makine içi ve makineler arası iş değişimi: Makine içi ve makineler arası iş değişimleri 3.2.2 alt bölümünde GALA yerel aramasında detaylandırılan “A” alt başlığı ile benzerdir. İlk farklılık, işlenme zamanları hesaplanırken bölünme sayılarının dikkate alınmasıdır. İkinci farklılık ise hazırlık sürelerinin makineden bağımsız hale gelerek  $ST_{İş(j,k)}$  olarak kullanılıyor olmasıdır.



B. Değişim Sonrası Kromozomda Entegrasyon: Her işin her makinede üretilmediği yeni durum için açıklamaların yapılacağı problemde A işi 2'ye bölünür ve 3 farklı makinede üretilbilir, B işi 1'e bölünür ve 2 farklı makinede üretilbilir, C işi 2'ye bölünür ve 2 farklı makinede üretilbilir. Kromozomda, bölünme sayılarının yer aldığı kısım gösterilmemiştir. Gerçekleştirilen iş değişiminin kromozom tarafından tanınmasının sağlanması için aşağıdaki yapılar kod ile bütünleştirilmiştir.

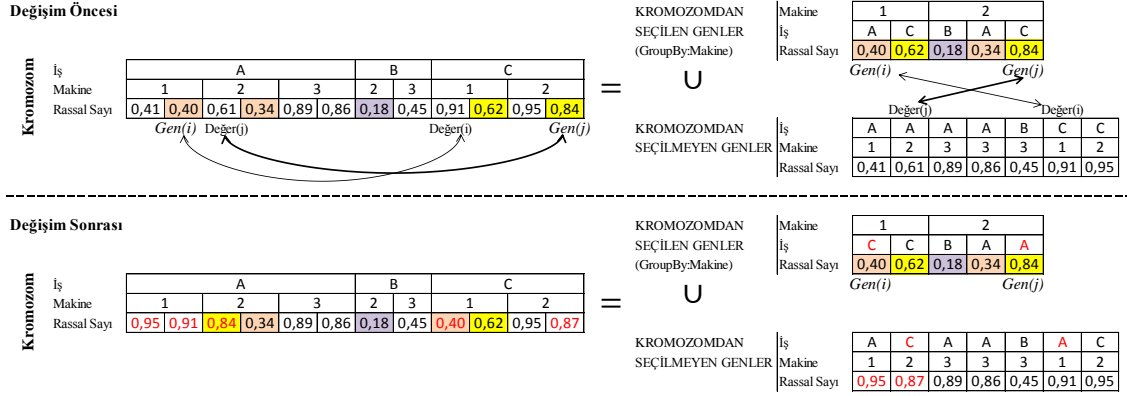
i. Aynı makine içinde iş değişimi durumu: Aynı makine içindeki iş değişimi ile ilgili olarak başlangıç durum ve değişim sonrası durum Şekil 3.29'deki gibi gösterilmiştir. Kromozom, kromozomdan seçilen genler ve kromozomdan seçilmeyen genlerden oluşmaktadır. Gerçekleştirilen değişimler Şekil 3.29 değişim sonrası kısmında kırmızı yazı ile gösterilmiştir. Şekil 3.29'deki örnek için  $Gen(i)_{I_S}$  ve  $Gen(j)_{I_S}$  değişiminin adımları aşağıdaki gibidir.

- I. İşlere ait rassal sayılar yer değiştirir. ( $Gen(i)_{I_S} \rightarrow \dot{I}_{S_A}$  için 0,40 ve  $Gen(j)_{I_S} \rightarrow \dot{I}_{S_C}$  için 0,62 yer değiştirecek ve  $Gen(i)_{I_S} \rightarrow \dot{I}_{S_C}$  için 0,40,  $Gen(j)_{I_S} \rightarrow \dot{I}_{S_A}$  için 0,62 durumuna dönüşecektir.)
- II. 0,40 sayısı 0,62 sayısından küçüktür. Bundan dolayı değişim sonrasında  $\dot{I}_{S_C}$  için diğer rassal sayıların değişmesine gerek yoktur.
- III. 0,62 sayısı 0,40 sayısından büyüktür. Bundan dolayı değişim sonrasında  $\dot{I}_{S_A}$  için 0,62'den daha küçük olan diğer rassal sayıların değiştirilmesi gerekir. Örneğin 0,41 sayısı 0,62'den küçüktür. 0,62'den daha büyük bir rassal sayı türetilir (0,96) ve bu sayı 0,41 ile değiştirir. Ayrıca,  $\dot{I}_{S_A}$  için 0,62'den küçük diğer rassal sayı 0,61 dir. 0,62'den büyük başka bir rassal sayı türetilir (0,75) ve bu sayı 0,61 ile değiştirilir. Böylece  $\dot{I}_{S_A}$ 'nın Makine<sub>1</sub>'i seçmesi sağlanmış olur.



Şekil 3.29. GAspLA\_LSP için aynı makine içinde iş değişiminde kromozomdaki düzeltmeler için örnek

- ii. Farklı makineler arasında iş değişimi durumu: Farklı makineler arasındaki iş değişimi ile ilgili olarak başlangıç durumu ve değişim sonrası durumu Şekil 3.30'daki gibi gösterilmiştir. Değişimin gerçekleşebilmesi için  $Gen(i)_{İş}$ 'in  $Gen(j)_{Makine}$ 'de;  $Gen(j)_{İş}$ 'in  $Gen(i)_{Makine}$ 'de üretilmesi gerekir. Bu maddesiyle, GAspLA'dan farklılık gösterir. Gerçekleştirilen değişimler Şekil 3.30 değişim sonrası kısmında kırmızı yazı ile gösterilmiştir. Şekil 3.30'daki örnek için  $Gen(i)_{İş}$  ve  $Gen(j)_{İş}$  değişiminin adımları aşağıdaki gibidir. Şekildeki  $Değer(i)$ ,  $Gen(j)_{İş}$ 'inin  $Gen(i)_{Makine}$ 'deki en yüksek rassal sayısının değerini göstermektedir.  $Değer(j)$ ,  $Gen(i)_{İş}$ 'inin  $Gen(j)_{Makine}$ 'deki en yüksek rassal sayısının değerini göstermektedir.
- I.  $Gen(i)_{İş}$  ve  $Değer(i)$ 'ye ait rassal sayılar aralarında;  $Gen(j)_{İş}$  ve  $Değer(j)$ 'ye ait rassal sayılar aralarında yer değiştirir.
  - II. Değişim sonrasında  $İş_A$  için "kromozomdan seçilmeyen genler" arasında  $Gen(j)$ 'ye ait rassal sayı olan 0,84'den daha küçük sayı olup olmadığı kontrol edilir. 0,41 rassal sayısı 0,84'den küçük olduğu için 0,41 yerine 0,84'den daha büyük bir rassal sayı türetilir (0,95) ve bu sayı 0,41 ile değiştirilir.
  - III. Değişim sonrasında  $İş_C$  için "kromozomdan seçilmeyen genler" arasında  $Gen(i)$ 'ye ait rassal sayı olan 0,40 ya da  $İş_C$  için diğer seçilen değer olan 0,62'den daha küçük sayı olup olmadığı kontrol edilir. 0,61, 0,62'den küçük olduğu için 0,62'den büyük bir rassal sayı türetilir (0,87) ve 0,61 ile değiştirilir.



Şekil 3.30. GAspLA\_LSP için farklı makineler arasında iş değişiminde kromozomdaki düzeltmeler için örnek

### 3.4.4. GAspLA\_LSP kullanarak gerçek problem için elde edilen sonuçlar

Algoritma, anakütle sayısı:100, nesil sayısı:300,  $P_c$ : 0,5,  $P_m$ :0,2 parametreleri ile çalıştırılmış, sadece ilk ve son 10 nesilde makine içi değişimler yapılmış, son kromozom elde edildikten sonra sadece 2 kez makineler arası değişimler yapılmıştır. Gerçek problemin çözümü için kullanılan 1 100 siparişe ait girdi verileri, 400'den daha fazla sayfa gerektirdiğinden bu veriler <https://mail.yandex.com.tr/neo2/#disk/disk/> alanına "Loom" klasörüne yüklenmiştir. Talep edilmesi durumunda ilgili girdi verilerinin mail ortamında da gönderilmesi mümkündür. Aşağıda da açıklanacak olan, gerçek durumu temsil etmesi amacıyla hazırlanan Çizelge 3.20, Çizelge 3.21, Çizelge 3.22, Çizelge 3.23'e sığdırılamayan tüm girdi verileri aynı zamanda Tez çalışmasının orijinal CD'si içinde, 10055685.rar dosyasındaki gibidir. Çizelge3.20, Çizelge3.21, Çizelge3.22, Çizelge 3.23 ve çizelgelere dair açıklamalar aşağıdaki gibidir.

Çizelge 3.20, problemin aşağıdaki iki konudaki detayını ortaya koyar. İlki, ilgilenilen sipariş numarasının en fazla kaç parçaya bölünebileceği bilgisi olup, çizelgenin değerler kısmında bulunmaktadır. İlgilenilen sipariş numarasının dizim tipi, çizelgenin değerler kısmındaki sayının bulunduğu hücreye karşılık gelen dizim tipidir. Çizelge 3.20'de Sipariş No:1 için Dizim Tipi A olup, siparişin en fazla 1'e bölünmesine (1'e bölünme işin bölünmemesidir) karar verilmiştir.

Çizelge 3.20. Siparişlerin dizim tipleri ve en fazla bölünme sayıları

En Fazla Bölünme Sayısı	Dizim Tipi																				
	Sipariş No	A	AR	B	BA	D	H	IK-A	L	L16	L2	LG	M	NB	R	TH	W	X	X1	X5	X7
0												1									
1	1																				
2												2									
3												1									
4																			1		
5																					
6																					
7																					
8																					
9																					
10																					
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
1 099								1													

Çizelge 3.21 ise, dizimler arası geçişlerdeki hazırlık sürelerini göstermektedir. “dizimden” kısmı çizelgenin en üst satırından, “dizime” kısmı çizelgenin en sol kolonundan seçilmelidir. Örneğin B dizimi aktif iken A dizimi ’ne geçilecek ise hazırlık süresi 1 440 dakika olacaktır. Hazırlık süresi ile seçilen iş, makinede işlenen ilk iş ise 1 dakika hazırlık süresinin de dâhil edilmesi gerekir.

Çizelge 3.21. Dizim tipleri arası geçişlerde oluşan hazırlık süresi

	Hazırlık Süresi (dak.)	Dizim Tipi																			
		A	AR	B	BA	D	H	IK-A	L	L16	M	R	X1	X16	.....	X7					
Dizim Tipi	A	1	180	1 440	1 440	1 440	1 440	360	1 440	1 440	1 440	1 440	1 440	1 440	1 440	1 440	1 440	.....	1 440		
	AR	180	1	1 440	1 440	1 440	1 440	360	1 440	1 440	1 440	1 440	1 440	1 440	1 440	1 440	1 440	.....	1 440		
	B	240	240	1	1	1 440	240	360	240	240	240	240	240	240	240	240	240	.....	1 440		
	BA	240	240	180	1	1 440	240	360	240	240	240	240	240	240	240	240	240	.....	1 440		
	D	240	240	180	240	1	240	360	240	240	240	240	240	240	240	240	240	.....	1 440		
	H	480	480	480	480	1 440	1	360	240	240	1	1	240	240	.....	1 440					
	IK-A	1 440	1 440	1 440	1 440	1 440	1 440	1	100 000	100 000	1 440	1 440	100 000	100 000	.....	1 440					
	L	480	480	480	480	1 440	480	100 000	1	240	480	480	1	240	.....	1 440					
	L16	480	480	480	480	1 440	480	100 000	240	1	480	480	240	1	.....	1 440					
	M	480	480	480	480	1 440	1	360	240	240	1	1	240	240	.....	1 440					
	R	480	480	480	480	1 440	1	360	240	240	1	1	240	240	.....	1 440					
	X1	480	480	480	480	1 440	480	100 000	1	1	480	480	1	240	.....	1 440					
	X16	480	480	480	480	1 440	480	100 000	1	1	480	480	240	1	.....	1 440					
	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	X7	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	.....	1					

Çizelge 3.22 değerler alanında, 1 rakamının olduğu hücreler, ilgili dizim tipinin, karşılık gelen makine tarafından işlenebileceğini ifade eder. Çizelge 3.22’ye göre, B dizim tipi 0 numaralı makinede işlenebilir.

Çizelge 3.22. Dizim tipini işleyebilen makine numaraları

Dizim Tipini İşleyebilen Makine	Dizim Tipi																							
	Makine No	A	AR	B	BA	D	H	IK-A	L	L16	L2	LG	M	NB	NC	R	TH	V	W	X	X1	X16	X5	X7
0			1	1	1	1		1	1			1				1					1	1		
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
105						1					1	1	1	1		1	1				1			1
106						1					1	1	1	1		1	1				1			1
107						1					1	1	1	1		1	1				1			1
108						1					1	1	1	1		1	1				1			1
109						1					1	1	1	1		1	1				1			1
110						1					1	1	1	1		1	1				1			1
111						1					1	1	1	1	1	1	1				1			1
112						1					1	1	1	1	1	1	1				1			1
113						1					1	1	1	1	1	1	1				1			1
114						1					1	1	1	1	1	1	1				1			1
115						1					1	1	1	1	1	1	1				1			1
....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
132						1					1	1	1	1		1	1				1			1

İlgilenilen sipariş numarasının üretilebileceği makinelere dair bilgi, Çizelge 3.23’de, içi rakam ile dolu olan hücrelere karşılık gelen makine numaralarıdır. İlgilenilen sipariş numarası ile siparişin üretileceği makine numarasının karşılaştırıldığında elde edilen hücredeki rakam, işlem süresini verecektir. Çizelge 3.23’e göre, örneğin 2 numaralı sipariş, 105 numaralı makinede 2 679 dakikada işlenebilmektedir.

Çizelge 3.23. Siparişlerin makinelerdeki işlem süreleri

İşlem Süreleri (dak.)	Makine No														
	Sipariş No	0	.....	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	.....
0		.....	191	191	191	215	215	215	215	191	191	215	215	.....	215
1		.....												.....	
2		.....	2 679	2 679	2 679	3 014	3 014	3 014	3 014	2 679	2 679	3 014	3 014	.....	3 014
3		.....	1 045	1 045	1 045	1 176	1 176	1 176	1 176	1 045	1 045	1 176	1 176	.....	1 176
4		.....	180	180	180	203	203	203	203	180	180	203	203	.....	203
5	1 224	.....	1 088	1 088	1 088	1 224	1 224	1 224	1 224	1 088	1 088	1 224	1 224	.....	1 224
6	2 418	.....	2 149	2 149	2 149	2 418	2 418	2 418	2 418	2 149	2 149	2 418	2 418	.....	2 418
7		.....	1 686	1 686	1 686	1 897	1 897	1 897	1 897	1 686	1 686	1 897	1 897	.....	1 897
8	1 340	.....	1 191	1 191	1 191	1 340	1 340	1 340	1 340	1 191	1 191	1 340	1 340	.....	1 340
9	1 326	.....	1 179	1 179	1 179	1 326	1 326	1 326	1 326	1 179	1 179	1 326	1 326	.....	1 326
10	488	.....	433	433	433	488	488	488	488	433	433	488	488	.....	488
....	....	.....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	.....	....
1099		.....												.....	

Geliştirilen algoritma, bahsi geçen girdi verileri kullanılarak çalıştırılmış ve gerçek problemde 38 gün olan makespan değeri, %14 iyileşerek 32,67 güne düşürülmüştür.

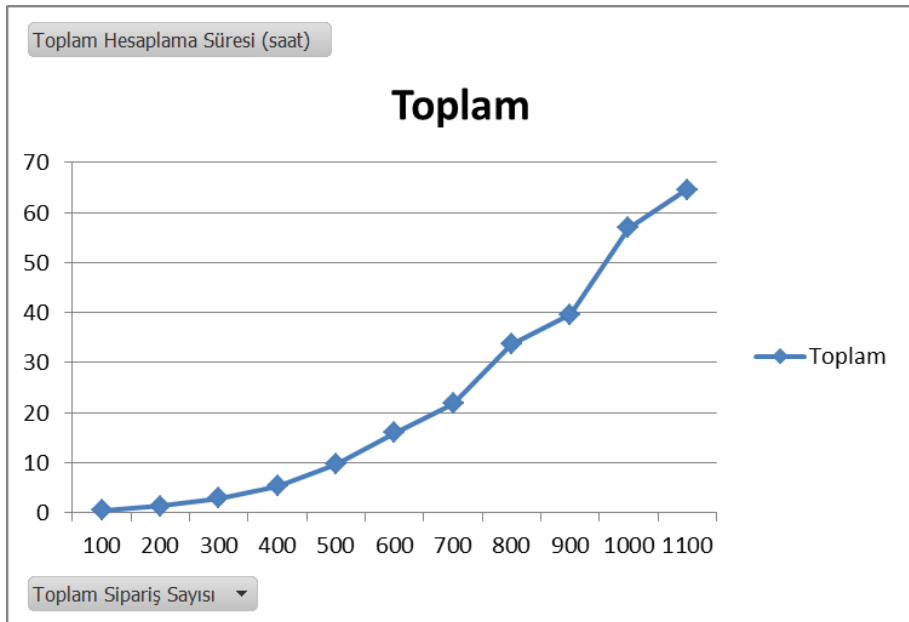
EK 9 Gerçek Örnek ve Elde Edilen Son Çizelge, siparişlerin kaçta bölündüğünü, hangi makinede ve hangi sırada işlendiğini, hazırlık sürelerinin de dâhil edildiği toplam işlem sürelerine dair bilgileri içermektedir. Çizelge detaylarının daha iyi analiz edilebilmesi için bu veriler, EK 10 Makine Bazında Tamamlanma Zamanları grafiğindeki gibi derlenmiştir. Ek 9 Gerçek Örnek ve Elde Edilen Son Çizelge ve EK 10 Makine Bazında Tamamlanma Zamanları grafiğinden de anlaşılacağı gibi algoritma, iş parçalarının ardıl ya da öncüllerindeki hazırlık sürelerini ve işlerin alternatif makinelerdeki işleme sürelerini çizelgelemede üst düzeyde dikkate almaktadır. EK 10 Makine Bazında Tamamlanma Zamanları grafiğinden, benzer özelliklerdeki makinelere eşit süreli iş dağılımı yapması algoritmanın iyi çalıştığının bir göstergesi olarak yorumlanabilir. Bu grafikteki 18., 24., 25., 26., 27., 28., 29. makinelerine az iş yüklenmesinin en önemli sebebi, teknolojik olarak bu makinelerin işleyebileceği sipariş tipi sayısının da düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Ek 11 Her Makineye Yüklenebilecek İş Adedi Analizi çizelgesi, her bir makinenin teknolojik olarak mevcut olan siparişlerin kaç adedini işleyebileceği bilgisini vermektedir. EK 12 Her Makineye Yüklenebilecek İş Adedi Grafiği ise EK 11'deki verilerin grafik gösterimidir. EK 11 Her Makineye Yüklenebilecek İş Adedi Analizi ve EK 12 Her Makineye Yüklenebilecek İş Adedi Grafiği 'ne göre, örneğin 1 100 sipariş, 2 111 alt iş içerisinde 1. makineye 440 sipariş tipi atanabiliyorsa, 18. Makineye 164 sipariş tipi atanabilir. Benzer olarak 24., 25., 26., 27., 28., 29. makinelere 135 sipariş tipi atanabilir. Bu durum, çizelge oluşurken ilgili makinelere sadece işleyebileceği siparişleri atamayı gerektirmiş, ilaveten ilgili bazı işlerin sipariş metrelerinin de düşük olması sonucu bu makinelerin tamamlanma zamanları düşük olarak oluşmuştur.

Tez çalışmasının asıl hedefi, algoritmanın, gerçek problemi mevcut olandan daha iyi sonuçlarla çözümlenebilmesiydi. Bu nedenle firmanın bir döneme ait tüm siparişleri dikkate alındı. Algoritma, 1 100 sipariş, -dolayısıyla 2 111 alt iş-, 133 makine içeren bir problemi 2,69 günde mevcut duruma göre %14 daha iyi makespan değeri ile çözümlendi. Algoritmanın küçük miktardaki siparişler için çizelgeleme yapması durumunda hesaplama süresi önemli oranda düşecektir. Farklı sipariş sayıları için hesaplama süreleri Çizelge 3.24'deki gibi olup, grafik gösterimi Şekil 3.31'deki gibidir. Çizelge 3.24 ve Şekil 3.31'de diğer parametreler ve makine sayısı sabit kalmıştır. Çizelge 3.24

ve Şekil 3.31'e göre çizelgelemenin haftalık olarak yapıldığı, ortalama olarak 200 adet siparişin -ki bu da 375 adet alt işe karşılık gelir- dikkate alındığı durumda hesaplama süresi 1,2 saattir. Sonuç olarak taslak çizelge planını saatler bazında almak firmanın planlama bölümüne çizelgelemede önemli ölçüde yardımcı olacaktır.

Çizelge 3.24. Farklı sipariş sayıları için hesaplama süreleri

Toplam Sipariş Sayısı	Hesaplama Süresi (saat)
100	0,5
200	1,2
300	2,9
400	5,3
500	9,7
600	16,0
700	21,8
800	33,7
900	39,6
1000	56,9
1100	64,6



Şekil 3.31. Farklı sipariş sayıları için değişen hesaplama süreleri grafiği

#### 4. SONUÇLAR

Modern tekstil endüstrisi çok sayıda rekabetçi zorluklarla karşı karşıyadır (Zeng 2008) ve her bir problem tekstil sektörünü üst düzeyde çevik hale gelmeye zorlamaktadır. Bununla birlikte, müşteri taleplerinin fazlasıyla değişken olması ve müşteri odaklı üretim, her aşamada hızlı karar almayı gerektirmektedir. İki durum arasında dengeyi bulma çabası ise sistem kurmayı zorlaştırmaktadır. Tekstil endüstrisinin, farklı sektörlerde değişken olan akışları, karmaşık süreçleri ve süreçler arası entegrasyonu literatürde de yeterince sorgulanamamıştır.

Dokuma aşaması, tekstilde darboğaz yaratan süreç olup, bu tez çalışmasının temel motivasyon kaynağını oluşturmuştur. Tek bir müşteriye ait siparişin dahi on binlerce metreyi bulması, işlerin bölünerek farklı makinelerde üretilmesini zorunlu hale getirmiştir. Tekstil makinelerindeki farklılık, üretim ortamında hazırlık sürelerinin ortaya çıkmasına neden olmuş ve problemi daha zor hale getirmiştir.

Tez çalışması dört aşamada yürütülmüştür. Her aşama ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi derlenmiştir.

##### 4.1. İşlerin Bölünebildiği $R_m/S_{ijk}/C_{max}$ İçin Geliştirilen GAsp ve Elde Edilen Sonuçlar

İlk aşamada, işlerin bölünebildiği  $R_m/S_{ijk}/C_{max}$  problemi için geliştirilen genetik algoritma olan GAsp tasarlanmıştır. Geliştirilen algoritma Boyteks Tekstil Endüstri ve Ticaret A.Ş.'nin dokuma tezgâhı çizelgelemesi gerçek probleminde denenmiştir. Uygulamanın aşamaları aşağıdaki gibi gerçekleştirilmiştir.

1. İşlerin en fazla kaç bölünebileceği ile ilgili firmanın dört yıllık verisi incelenmiş ve hangi aralıktaki siparişlerin en fazla kaç alt işe bölünebileceğine dair sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen değerler, geliştirilen genetik algoritmaya girdi verisi olarak kullanılmıştır ve sadece sipariş uzunluğu 10 000 metrenin altında olan siparişler dikkate alınmıştır. Çalışmada 111 iş 75 makine söz konusudur.



2. GAsp algoritmasının geliştirilmesi aşamasında genler rassal sayılara ifade edilmiş ve işlerin bölünme sayısının tespiti ve bu alt işlerin çizelgelenmesi eşzamanlı olarak tek kromozomda yapılabilmektedir.
3. Tekrar edilebilirliğinin sağlanabilmesi için, sipariş büyüklükleri, işlem süreleri, hazırlık süreleri dağılımları gerçek verileri temsil edebilecek şekilde hesaplanmıştır.
4. Geliştirilen GAsp'ın parametre değerleri deneysel tasarım yardımı ile elde edilmiştir. Buna göre, incelenen problem için, her parametre kombinasyonu 5'er kez denenmiş ve genetik algoritma parametrelerinden olan anakütle büyüklüğü, çaprazlama oranı, mutasyon oranı için probleme en iyi cevap veren değerler belirlenmiştir. Nesil sayısı değeri için de 1 000 nesle kadar her 100 nesilde bir makespan değerleri ve hesaplama süreleri kayıt altına alınmış ve 500 nesilden sonra cevaplarda önemli bir değişim gözlemlenemediği için nesil sayısı 500 ile sabitlenmiştir.
5. İncelenen problemin sistemdeki makespan değeri 19,74 gün iken, geliştirilen GAsp algoritması 13,52 gün ile kabul edilebilir CPU süresinde daha iyi sonuç verebilmiştir.

Her ne kadar mevcut sisteme göre daha iyi sonuç elde edilse de, algoritmanın literatürdeki yerinin belirlenebilmesi için doğrulanmasına ihtiyaç vardır. Bu nedenle, GALA algoritması geliştirilmiştir.

#### 4.2. $R_m/S_{ijk}/C_{max}$ İçin Geliştirilen GALA ve Elde Edilen Sonuçlar

İşlerin bölünebildiği  $R_m/S_{ijk}/C_{max}$  problemi için geliştirilen algoritmaların karşılaştırılabilmesi için literatürde kullanılan bir veri kümesi mevcut olmadığından problem, işlerin bölünme durumunun olmadığı  $R_m/S_{ijk}/C_{max}$  problemine indirgenmiştir. Literatürde bu problem tipi sıklıkla çalışılmış olup farklı veri kümeleri de bulunmaktadır. Bu bölümde yapılan çalışmalar aşağıdaki sıra ile yürütülmüştür.

1. Mevcut genetik algoritma yapısı, kromozomlardan bölünme ile ilgili kısımlar çıkartılarak tekrar düzenlenmiştir.

2. Yeni yapı  $R_m/S_{ijk}/C_{max}$  problemini çözmek için uygun hale gelmiştir fakat, literatürde önerilen algoritmalar ile karşılaştırılabilecek kadar iyi sonuçlar elde edilemediğinden yerel arama ile güçlendirilmesine karar verilmiştir. Bu nedenle, Chang ve Chen (2011) tarafından geliştirilen bütünleşik üstünlük özellikleri yönteminden ilham alınarak, önerilen genetik algoritma tekrar şekillendirilmiş ve GALA algoritması ortaya çıkmıştır.
3. Yerel arama aşaması, özellikle, kromozomun rassal sayılardan oluşması nedeni ile yenilikler taşımaktadır. Başlangıçta kromozom, rassal sayıları kullanarak çizelgeyi vermektedir. Sonrasındaki değişiklikler ise işlerin aynı makine içinde ya da farklı makineler arasında değişikliği şeklinde olmaktadır ve rassal sayıların değil iş ve makinelerin dikkate alındığı yapıyı kapsamaktadır. Bu değişikliğin tekrar kromozoma rassal sayılar olarak yansıtılmasının belli kuralları olmalıdır ve kromozomda en az sayıda rassal sayı bu değişiklikten etkilenmelidir. Kısacası, kromozom, en az sayıda rassal sayı değişimi ile yerel arama sonrası, makespan'ı iyileştirilmiş çizelgeyi sağlamalıdır. Tüm bu kurallar tez çalışması kapsamında oluşturulmuş ve detaylandırılmıştır.
4. Geliştirilen algoritmanın karşılaştırılabilmesi için, literatürde sıklıkla kullanılan problem kümesi (Scheduling Research 2005) dikkate alınmıştır. GALA'nın, Arnaout ve ark. (2010) tarafından önerilen ACO ve Chang ve Chen (2011) tarafından önerilen GADP2 ile karşılaştırılması sağlanmıştır.
5. Karşılaştırmanın doğru parametrelerle yapılabilmesi için deneysel tasarım yapılmış, Scheduling Research (2005) veri kümesinden 4 makine 20 iş problemi seçilmiş ve en iyi sonuçları veren parametreler elde edilmiştir ( $P_c$ : 1;  $P_m$ : 0,2,  $P_{size}$ : 100, Nesil Sayısı: 500). Hesaplama süreleri ve yakınsama ile ilgili analiz yapabilmek için ise, çaprazlama oranı ve nesil sayısını daha düşük seviyede ( $P_c$ : 0,5, Nesil sayısı: 300) bırakıp diğer parametreleri değiştirmeden bir durum daha incelenmiştir.
6. GALA ile ACO'nun karşılaştırılmasında küçük problem kümeleri ve büyük problem kümeleri dikkate alınmıştır ve karşılaştırmalar, bağıl iyileştirme oranı hesaplanarak yorumlanmıştır. Büyük problem kümelerinde ilave olarak, makespan'ın ortalama ve standart sapması (SS)'da dikkate alınmıştır.

7. Küçük problem kümeleri için yapılan karşılaştırma sonuçları,  $P_c$ : 0,5, Nesil Sayısı: 300 durumu için EK 2’de,  $P_c$ :1, Nesil Sayısı: 500 durumu için EK 3’de detayları ile bulunmaktadır. Dosyalarda, her kombinasyon için, ACO, En İyi, Alt Sınır, GALA’nın  $C_{max}$  değerleri, GALA’ya ait hesaplama süreleri ve bağlı iyileştirme oranları ( $\delta$ ) ile ilgili elde edilen değerler bulunmaktadır. Sonuç olarak GALA, küçük problemlerde tüm noktalarda ve her iki durumda da ACO ile aynı ya da daha iyi sonuç elde edebilmiştir.  $P_c$ : 1, Nesil Sayısı: 500 durumu ortalamada daha iyi sonuç elde etmiştir.
8. Büyük problem kümeleri için yapılan karşılaştırma sonuçları,  $P_c$ : 0,5, Nesil Sayısı: 300 durumu için EK 4’de,  $P_c$ : 1, Nesil Sayısı: 500 durumu için EK 5’de detayları ile bulunmaktadır. Dosyalarda, ACO, Alt Sınır, GALA’nın  $C_{max}$  değerleri, GALA’ya ait hesaplama süreleri ve bağlı iyileştirme oranları ( $\delta$ ) ile ilgili elde edilen değerler bulunmaktadır. EK 5’de ilave olarak,  $C_{max}$ ’in ortalama ve standart sapma değerleri ACO ve GALA için bulunmaktadır.
  - a. GALA,  $C_{max}$ ’in ortalama ve SS değerleri için tüm noktalarda, ACO’dan daha iyi sonuç vermektedir. Farkın anlamlı olup olmadığının analizi için ise ikili t testi uygulanmış, ele alınan 13 adet kombinasyonun 10 adedinde GALA’nın performansının ACO’dan belirgin şekilde daha iyi olduğu ortaya konulmuştur.
  - b. İlaveten, bağlı iyileştirme oranları ( $\delta$ )’na göre,  $P_c$ : 1, Nesil Sayısı: 500 durumu için tüm noktalarda ve ortalamada,  $P_c$ : 0,5, Nesil Sayısı: 300 durumu için ise ortalamada GALA, ACO’dan daha iyi performans göstermiştir.
9. Hesaplama süreleri ile ilgili yapılan analizlerde ise, sürenin kritik olduğu durumlarda  $P_c$ : 0,5, Nesil Sayısı: 300 durumunun kullanılmasının, süreyi  $P_c$ : 1, Nesil Sayısı: 500 durumuna göre 3,14 kat, büyük problemlerde ise 3,19 kat iyileştireceği açıktır. Sadece nesil sayısının 500’den 300’e düşmesi ise %39’luk kazanç sağlayacaktır.
10. Geliştirilen GALA’nın GADP2 algoritması ile karşılaştırılmasında ise, her iki algoritmanın ortak olarak kullandığı 5 kombinasyon dikkate alınmıştır ve

Min, Maks ve Ort makespan değerlerinde GALA GADP2'den daha iyi sonuçlar elde etmiştir.

Bu alt bölümde, geliştirilen algoritmanın performansı doğrulanmıştır. Sonraki adım ise performansı doğrulanan GALA'nın bölünmeli duruma adaptasyonudur. Geliştirilen yerel arama, bölünmeli durum için uygun hale getirilerek GAspLA algoritması elde edilecektir.

#### 4.3. İşlerin Bölünebildiği $R_m/S_{ijk}/C_{max}$ İçin Geliştirilen MIP Modelleri, GAspLA, GAspLAMIP ve Elde Edilen Sonuçlar

Belirtilen problem tipi için geliştirilen MIP modelleri, GAsp algoritması kromozom yapısı ile GALA algoritmasının yerel arama mantığını kullanan GAspLA algoritması ve GAspLA ile MIP'in birlikte kullanıldığı bir uygulama olan GAspLAMIP bu bölümde tasarlanmış olup, çalışmaların aşamaları aşağıdaki gibi gerçekleştirilmiştir. Bu bölümdeki tüm bu çalışmalar, geliştirilen GAspLA algoritmasının güvenilirliğini doğrulayabilmek için yapılmıştır.

1. Alt iş sayılarının rassal olarak belirlendiği ve bir siparişe ait alt iş miktarlarının eşit olmadığı durum için MIP1 geliştirilmiştir. Bu modelin GAspLA'dan ayrılan noktası, eşit olmayan alt iş miktarlarıdır. MPL'de kodlanarak CPLEX 11.0 ile çözümlenen model, 6 iş 4 makine probleminde dahi 1 günden daha fazla sürede çözüm bulabilmiştir. Bu nedenle yeni bir algoritmaya ihtiyaç duyulmuştur.
2. GAspLA ile karşılaştırmaların tam olarak yapılabilmesi için, MIP1'e alt iş miktarlarının eşit olmasını sağlayacak iki adet kısıt eklenmiş ve MIP2 oluşturulmuştur. MIP2 için de alt iş sayıları rassal olarak belirlenmektedir. Çözüm süresi performansının düşük olması ise yeni bir algoritma ihtiyacını ortaya çıkarmıştır.
3. Rassal olarak belirlenen bölünme sayılarının modele girdi olarak verilmesi ile GAspLA'ya yakınsayan MIP3 modelinin çalışma performansı iyi olduğu için, karşılaştırmalarda, geliştirilen MIP3'den yararlanılmıştır. Modelde, MIP2'deki gibi alt iş miktarları eşit olarak oluşmaktadır.

4. Sonraki aşamada, melez yerel aramalı genetik algoritma olan GAspLA geliştirilmiştir. Yeni algoritmanın kromozom yapısı her ne kadar GAsp'a benzese de yerel aramanın yapıya dahil edilmesi yeni zorluklar oluşturmuştur.
5. GAspLA yerel aramasında karşılaşılan en büyük zorluk, değişim sonrası kromozomda gerçekleştirilen entegrasyon aşamasında olmuştur. Geliştirilen yöntem, yerel arama sürecinde işlerin aynı makinede ya da makineler arasında değişiminin onaylanmasının ardından en az sayıda genin etkilenerek istenen çizelgeyi verecek olan kromozomu elde etme başarısına sahiptir.
6. GAspLAMIP ise, GAspLA tabanlı MIP model uygulaması olup, hem MIP3 için çalışma süresini düşürmek için hem de GAspLA ile elde edilen sonuçların etkinliğini gösterebilmek amacıyla geliştirilmiştir. Burada, MIP3'ün arama uzayını küçültebilmek için, GAspLA ile elde edilen sonuçlar MIP3'e başlangıç çözüm olarak verilmiş ve en uygun sonuçlar elde edilebilmiştir.
7. Literatürden alınan veri kümelerine (Scheduling Research 2005) ait ilk örnekler (her kombinasyon için dosya numarası 1'dir) 10 kombinasyon için irdelenmiş ve işlerin bölünmesiz olduğu ve işlerin bölünebildiği durumlar için karşılaştırmalar (bkz. Çizelge 3.15) oluşturulmuştur. İşlerin bölünmediği durumların çizelgeye dâhil edilmesindeki amaç, işlerin bölünmesi durumundaki esneklik ve iyileştirmeleri gösterebilmektir.
  - a. İşlerin bölünemediği durum için Rabadi ve ark (2006) tarafından önerilen MIP modeli (MIP0) MPL'de kodlanmış ve CPLEX 11.0 çözücüsü kullanılarak çözülen tüm problemlerde en uygun sonuçlar bulunabilmiştir. Önceki bölümde anlatılan GALA'nın tüm bu noktalarda en uygun sonuçları birkaç saniyede elde ettiği açıktır.
  - b. İşlerin bölünmesi durumunda ise, MIP3, 5 noktada kabul edilebilir süre içerisinde en uygun sonuç elde etmiştir. GAspLA ise 8 adet kombinasyonda, MIP3'ün 1 gün sonunda elde ettiği değerler ile aynı, 2 adet kombinasyonda ise daha iyi değer elde etmiştir. Bu sonuç, GAspLA'nın kısa sürede çözüme ulaşan ve etkin bir algoritma olduğunun göstergesidir. GAspLAMIP, MIP3 ile karşılaştırıldığında

ise 8 adet kombinasyonda, MIP3'ün 1 gün sonunda elde ettiği değerler ile aynı, 2 adet kombinasyonda ise daha iyi değerleri daha kısa zamanda elde ettiği gözlemlenmiştir. GAspLAMIP, GAspLA ile karşılaştırıldığında ise 9 adet kombinasyonda aynı sonuçları elde etmiştir. Bu durum, GAspLA'nın alt sınıra yakın çözümler sunduğunun bir göstergesidir.

- c. İşlerin bölünebildiği problemlerin çözümü için geliştirilen GAspLA, 5 kombinasyonda işlerin bölünemediği durum için geliştirilen GALA ve MIP0'dan daha iyi sonuç vermiştir. Buna göre, işlerin alt işlere bölünebilmesi mümkün ise, bölünmeli durumlar için geliştirilen algoritmaların kullanımı daha iyi sonuçlara ulaşılmasını sağlayacaktır.
8. GAspLA'nın diğer kombinasyonlardaki performansı ve alt sınıra olan uzaklığı da irdelenmiştir. Bunun için yine Scheduling Research (2005) veri kümeleri kullanılmış, küçük ve büyük veri kümeleri için çalışma yapılmıştır. Burada, işlerin bölünmediği durumlar için tez kapsamında geliştirilen GALA, Arnaout ve ark. (2010) tarafından önerilen ACO, işlerin bölünebildiği durumlar için önerilen GAspLA karşılaştırılmıştır.
9. Küçük problem kümeleri için yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar EK 6'daki gibi derlenmiştir. EK 6'da her kombinasyonun her örneği için, Alt Sınır, ACO, GALA ve GAspLA'ya ait  $C_{max}$  değerleri ve GAspLA hesaplama süreleri kayıt altına alınmıştır. ACO, GALA ve GAspLA için alt sınırdan sapma oranları her örnek için hesaplanmış, ve her bir kombinasyon için ortalama değerleri bulunmuştur. Sonuç olarak, küçük problemlerde, eğer işlerin bölünebilmesine izin veriliyorsa, işlerin bölünebildiği durum için önerilen GAspLA, 18 kombinasyonun 14 adedinde ortalama alt sınırdan sapma oranında ACO ve GALA'dan daha iyi sonuç vermiştir. Kalan 4 kombinasyonda ise ACO ve GALA ile aynı değer hesaplanmıştır.
10. Büyük problem kümelerinde incelenen kombinasyonlar için elde edilen sonuçlar EK 7'deki gibidir. EK 7'de de Alt Sınır, ACO, GALA ve GAspLA'ya ait  $C_{max}$  değerleri ve GAspLA hesaplama süreleri her örnek için kaydedilmiş, ACO, GALA ve GAspLA için alt sınırdan sapma oranları

hesaplanmış ve her bir kombinasyon için ortalama sapma oranları elde edilmiştir. Toplam 7 kombinasyonun 2 adedinde GALA'dan daha iyi sonuçlar verebilen GAspLA, işlerin bölünme sayısını 1 olarak seçebildiği için (bölünmesiz durum), 5 kombinasyonda GALA'ya yakın değerler elde etmiştir. Bununla birlikte GAspLA, tüm noktalarda ACO'dan daha iyi sonuç elde edebilmiştir. Sonuç olarak, işlerin bölünmesine izin verilebiliyorsa, büyük problemlerde de bu duruma uygun olarak geliştirilmiş algoritmaların kullanımı daha iyi sonuçlar alınmasını sağlamaktadır.

#### 4.4. İşlerin Bölünebildiği Büyük Boyutlu $R_m/S_{jk}, M_j/C_{max}$ Problemi İçin Geliştirilen GAspLA\_LSP ve Elde Edilen Sonuçlar

Tez çalışmasına başlandığında amacımız, firmanın gerçek çizelgeleme problemini çözebilmektir. Bu noktaya gelene kadar, algoritmanın oluşturulması, yerel arama ile güçlendirilmesi ve doğrulama aşamaları tamamlandı. Fakat yine de gerçek probleme adaptasyon için gerekli birkaç adımın tamamlanması gerekmektedir. İlki, algoritmaya makine uygunluk kriterini eklemek, ikincisi ise yapıyı büyük problemlerin çözümü için uygun hale getirmektir. Bu aşamada yapılan çalışmalar ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi derlenebilir.

1. Makine uygunluk kriteri ( $M_j$ ), her işin her makine tarafından işlenemediği duruma karşılık gelmektedir ve kromozom yapısı bu durum için uygun hale getirilmiştir.
2. Amaç fonksiyonu yine  $C_{max}$  olarak kalmıştır. Hazırlık sürelerinde ise, dizimler arası geçiş matrisi, talebimiz üzerine firma tarafından bir defalığına oluşturulmuştur. Her işin dizim tipi, makinelerin işleyebileceği dizim tipleri ve dizimler arası geçişlerdeki hazırlık süreleri netleştirilmiştir.
3. Yerel aramanın da dâhil edildiği GAspLA algoritmasında her iş her makinede işlenebilmekteydi. Gerçek problem için geliştirilen GAspLA\_LSP'ye ise makine uygunluk kısıtı eklenmiştir. Buna göre işler, ait oldukları dizimi işleyebilen makinelerde işlenebilmektedirler. Yeni yapı,

yerel aramada da farklılıklar oluşturmuştur. Yerel arama gerçek problemin ihtiyaçlarına cevap verecek şekilde tekrar düzenlenmiştir.

4. Siparişlerin dizim tipleri ve en fazla bölünme sayılarının, dizim tipleri arası geçişlerdeki hazırlık sürelerinin, dizim tiplerini işleyen makine numaralarının ve her siparişin her makinedeki işlem süresinin yer aldığı çizelgelerin oluşturulması sağlanmıştır. Gerçek problemin tekrar edilebilirliğinin sağlanması için tüm bu veriler, adresi verilen bir ortamda depolanmıştır.
5. Geliştirilen GAspLA\_LSP, bahsi geçen girdi verileri kullanılarak çalıştırılmış ve  $C_{max}$ 'da mevcut duruma göre %14'lük iyileşme gerçekleşmiştir.
6. Tüm makinelerdeki işler, işlerin bölünme sayıları ve işlem sürelerine dair bilgileri içeren çizelge, EK 9'daki gibi, makine bazında tamamlanma zamanları grafiği de EK 10'daki gibi derlenmiştir.
  - a. EK 10'daki grafiğe göre, benzer özelliklerdeki makinelerdeki iş yükü dağılımının birbirine yakın olması, algoritmanın iyi çalıştığının bir göstergesidir.
  - b. EK 10'daki grafikte, bazı makinelerdeki iş yükünün az olmasının nedeni de analiz edilmiştir. EK 11 ve 12 sırasıyla her makineye yüklenebilecek iş adedi analizi ve grafiğini vermektedir. Bu verilere göre, iş yükünün az olduğu makineler, aynı zamanda teknolojik olarak daha az tipte sipariş işleyebilen makineler olarak tespit edilmiştir.
7. Algoritmanın, çalışma süresi performansı da analiz edilmiş, sipariş sayısının 100 ile 1 100 adet iş arasında değiştiği problem yapıları için hesaplama süreleri kayıt altına alınmıştır. Buna göre, algoritmanın, haftalık olarak yapılan ve yaklaşık 200 adet siparişi içeren çizelgelemedeki çalışma performansı 1,2 saat olup, firmanın ön çizelgelemesi için anlamlı bir süre olarak değerlendirilebilir.



#### 4.5. Gelecekte Yapılabilecek Çalışmalar ve Öneriler

Benzer problemlerin, özellikle de büyük ölçekli gerçek problemlerin çözüm yöntemlerinin gelecekte de çalışılacağı göz önüne alındığında, aşağıda kısaca değinilen konular çalışmaya değer görünmektedir.

GALA için, literatürden, sadece işlem ve hazırlık sürelerinin 50 ile 100 arasında dağıldığı ve dengeli olduğu (balanced) veri kümesi dikkate alınarak işlem yapılmıştır. Bu analiz hazırlık süresinin baskın olduğu veri kümesi ve işlem süresinin baskın olduğu veri kümesi için de yapılabilir ve farklı üretim ortamlarında algoritmanın cevabı analiz edilebilir. Farklı meta sezgisellerin entegrasyonu ile geliştirilebilecek hiper (hyper) sezgiseller çalışmaya değer bir konu olabilir. Çok amaçlı uygunluk fonksiyonu kullanarak, işlerin öncelik kısıtlarını sisteme dâhil ederek, alt işleri fiziksel olarak birbirine yakın makinelere atayarak (bu durum, üretimdeki çalışanlar için kolaylık sağlamaktadır) gerçek sistemin beklentilerinin daha yüksek oranda karşılanması sağlanabilir. Birden çok aşamanın dikkate alınarak planlama yapılması (özellikle dokuma öncesindeki çözgü ve dokuma sonrası boya planlamanın sürece dâhil edilmesi) gerçek durum probleminin bütünsel olarak çözümlenmesi için atılabilecek önemli bir adım olacaktır.

## KAYNAKLAR

- Allahverdi, A., Ng, C.T., Cheng, T.C.E., Kovalyov, M.Y. 2008.** A survey of scheduling problems with setup times or costs. *European Journal of Operational Research*, 187: 985–1032.
- Arnaut, J.P., Rabadi, G., Musa, R. 2010.** A two-stage Ant Colony Optimization algorithm to minimize the makespan on unrelated parallel machines with sequence-dependent setup times. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 21: 693-701.
- Balin, S. 2011.** Non-identical parallel machine scheduling using genetic algorithm. *Expert Systems with Applications*, 38: 6814–6821.
- Behnamian, J., Zandieh, M., Fatemi Ghomi, S.M.T. 2009.** Parallel-machine scheduling problems with sequence-dependent setup times using an ACO, SA and VNS hybrid algorithm. *Expert Systems with Applications*, 36: 9637–9644.
- Centeno, G., Armacost, R.L. 2004.** Minimizing makespan on parallel machines with release time and machine eligibility restrictions. *International Journal of Production Research*, 42(6): 1243-1256.
- Chan, F.T.S., Wong, T.C., Chan, P.L.Y. 2004.** Equal Size Lot Streaming to Job-shop Scheduling Problem Using Genetic Algorithms. International Symposium on Intelligent Control, 2-4 Eylül 2004, Taipei, Taiwan.
- Chan, F.T.S., Wong, T.C., Chan, P.L.Y. 2007.** Lot splitting under different job shop conditions. IEEE Congress on Evolutionary Computation, 25-28 Eylül 2007, Hong Kong, Singapore.
- Chang, P.C., Chen, S.H., Fan, C.Y. 2009.** A hybrid electromagnetism-like algorithm for single machine scheduling problem. *Expert Systems with Applications*, 36: 1259–1267.
- Chang, P.C., Chen, S.H. 2011.** Integrating dominance properties with genetic algorithms for parallel machine scheduling problems with setup times. *Applied Soft Computing*, 11: 1263–1274.
- Eren, T., Güner, E. 2002.** Tek ve paralel makinalı problemlerde çok ölçütlü çözelgeleme problemleri için bir literatür taraması. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 17(4): 37-69.
- Goldberg, D.E. 1989.** Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Addison-Wesley, USA, 412 pp.
- Haupt, R.L., Haupt S.E. 2004.** Practical Genetic Algorithms (Second edition). John Wiley & Sons Inc, New Jersey, USA, 253 pp.

- Holland, J.A. 1975.** Adaptation in natural and artificial systems. University of Michigan Press, USA, 183 pp.
- Hop, N.V., Nagarur, N.N. 2004.** The scheduling problem of PCBs for multiple non-identical parallel machines. *European Journal of Operational Research*, 158: 577–594.
- Hsu, H.M., Hsiung, Y., Chen, Y.Z., Wu, M.C. 2009.** A GA methodology for the scheduling of yarn-dyed textile production. *Expert Systems with Applications*, 36 :12095–12103.
- Hu, X., Bao, J.S., Jin, Y. 2010.** Minimising makespan on parallel machines with precedence constraints and machine eligibility restrictions. *International Journal of Production Research*, 48 (6): 1639-1651.
- Jeong, H. 1997.** A Batch Splitting Heuristic for Dynamic Job Shop Scheduling Problem. *Computers ind. Engng*, 33: 781-784.
- Karacapilidis, N.I., Pappis, C.P. 2002.** Production planning and control in textile industry: A case study. *Computers in Industry*, 30(2).
- Kashan, A.H., Karimi, B., Jolai, F. 2010.** An effective hybrid multi-objective genetic algorithm for bi-criteria scheduling on a single batch processing machine with non-identical job sizes. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 23: 911–922.
- Keskinturk, T., Yildirim, M.B., Barut, M. 2010.** An ant colony optimization algorithm for load balancing in parallel machines with sequence-dependent setup times.
- Khilwani, N., Prakash, A., Shankar, R., Tiwari, M.K. 2008.** Fast clonal algorithm. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 21:106–128.
- Kim, D.W., Kim, K.H., Jang, W., Chen, F.F. 2002.** Unrelated parallel machine scheduling with setup times using simulated annealing. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 18: 223–231.
- Kim, Y.D., Shim, S.O., Kim, S.B., Choi Y.C., Yoon H.M. 2004.** Parallel machine scheduling considering a job-splitting property. *International Journal of Production Research*, 42: 4531–46.
- Koyuncu, G. 2009.** Parallel machine scheduling considering job splitting and Machine eligibility. *Yüksek Lisans Tezi*, Boğaziçi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Lee, Y. H., Bhaskaran, K., Pinedo, M. 1997.** A heuristic to minimize the total weighted tardiness with sequence-dependent setups. *IIE Transactions*, 29: 45-52.

**Li, K., Yang, S. 2009.** Non-identical parallel-machine scheduling research with minimizing total weighted completion times: Models, relaxations and algorithms. *Applied Mathematical Modelling*, 33: 2145–2158.

**Liao, L.W., Sheen, G.J. 2008.** Parallel machine scheduling with machine availability and eligibility constraints. *European Journal of Operational Research*, 184: 458-467.

**Lin, Y.K., Pfund, M.E., Fowler, J.W. 2011.** Heuristics for minimizing regular performance measures in unrelated parallel machine scheduling problems. *Computers & Operations Research*, 38: 901–916.

**Lin, Y., Li, W. 2004.** Parallel machine scheduling of machine-dependent jobs with unit-length. *European Journal of Operational Research*, 156: 261-266.

**Naderi, B., Tavakkoli-Moghaddam, R. Khalili, M. 2010.** Electromagnetism-like mechanism and simulated annealing algorithms for flowshop scheduling problems minimizing the total weighted tardiness and makespan. *Knowledge-Based Systems*, 23: 77–85.

**Özkan, S.E.2009.** Farklı kapasiteli paralel makinelerin dinamik çizelgelenmesi için sezgisel bir algoritma ve uygulaması. *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.

**Park, Y., Kim, S., Lee, Y.H. 2000.** Scheduling jobs on parallel machines applying neural network and heuristic rules. *Computers & Industrial Engineering*, 38: 189-202.

**Rabadi, G., Moraga, R., Al-Salem, A. 2006.** Heuristics for the Unrelated Parallel Machine Scheduling Problem with Setup Times. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 17: 85–97.

**Ruiz, R., Maroto, C. 2006.** A genetic algorithm for hybrid flowshops with sequence dependent setup times and machine eligibility. *European Journal of Operational Research*, 169: 781–800.

**Ruiz, R., Serifoglu, F.S., Urlings, T. 2008.** Modeling realistic hybrid flexible flowshop scheduling problems. *Computers & Operations Research*, 35: 1151-1175.

**Sarıççek, İ., Çelik, C. 2011.** Two meta-heuristics for parallel machine scheduling with job splitting to minimize total tardiness. *Applied Mathematical Modelling*, 35: 4117–4126.

**Scheduling Research. 2005.** <http://SchedulingResearch.com>-(Erişim tarihi: 07 Haziran 2012)

**Serafini, P. 1996.** Scheduling jobs on several machines with the job splitting property. *Operations Research*, 44: 617–628.

**Shim, S.O., Kim, Y.D. 2008.** A branch and bound algorithm for an identical parallel machine scheduling problem with a job splitting property. *Computers & Operations Research*, 35: 863 – 875.

**Silva, C., Magalhaes, J.M. 2006.** Heuristic lot size scheduling on unrelated parallel machines with applications in the textile industry. *Computers & Industrial Engineering*, 50: 76–89.

**Tahar, D.N., Yalaoui, F., Chu, C., Amodeo, L. 2006.** A linear programming approach for identical parallel machine scheduling with job splitting and sequence-dependent setup times. *International Journal of Production Economics*, 99: 63–73.

**Toni, A.D., Meneghetti, A. 2000.** The production planning process for a network of firms in the textile-apparel industry. *Int. J. Production Economics*, 65: 17-32.

**Vallada, E., Ruiz, R. 2011.** A genetic algorithm for the unrelated parallel machine scheduling problem with sequence dependent setup times. *European Journal of Operational Research*, 211: 612–622.

**Wang, H.M., Chou, F.D. 2010.** Solving the parallel batch-processing machines with different release times, job sizes, and capacity limits by metaheuristics. *Expert Systems with Applications*, 37: 1510–1521.

**Xing, W., Zhang, J. 2000.** Parallel machine scheduling with splitting jobs. *Discrete Applied Mathematics*, 103: 259-269.

**Yalaoui, F., Chu, C. 2003.** An efficient heuristic approach for parallel machine scheduling with job splitting and sequence-dependent setup times. *IIE Transactions*, 35(2): 183–190.

**Yang, T. 2009.** An evolutionary simulation–optimization approach in solving parallel-machine scheduling problems – A case study. *Computers & Industrial Engineering*, 56: 1126–1136.

**Zeng, X. 2008.** An overview on computational techniques in textile engineering. *Journal of Fiber Bioengineering and Informatics*, 1(3) doi:10.3003/jfbi12200802.

**Zhu, X., Wilhelm, W.E. 2006.** Scheduling and lot sizing with sequence-dependent setup: A literature review. *IIE Transactions*, 38: 987–1007.

## EKLER

### EK 1 GALA ve GAspLA Yerel Arama Taslak Kodu

Kolaylık sağlama amacıyla sadece anahtar adımlar detaylandırılmıştır ve C# notasyonu kullanılmıştır.

Tüm nesiller için  $G$

İncelen anakütle için  $P$

Tüm kromozomlar için  $C$

$i=0$ 'dan  $g$ 'ye kadar

$j=i+1$ 'den  $g$ 'ye kadar

Eğer  $Gen(i)_{Makine} == Gen(j)_{Makine} \rightarrow$  (Aynı makine içinde iş değişimi)

Eğer  $j=i+1 \rightarrow$  (Komşu işler)

$a=0; b=0; c=0;$

Eğer  $i > 0 \ \& \ Gen(i)_{Makine} == Gen(i-1)_{Makine}$

$$a = (ST_{Mak(i) İş(i-1,j)} - ST_{Mak(i) İş(i-1,i)}) + (ST_{Mak(i) İş(j,i)} - ST_{Mak(i) İş(i,j)})$$

Eğer  $i == 0 \ \parallel \ Gen(i)_{Makine} != Gen(i-1)_{Makine} \rightarrow$  ( $Gen(i)_{İş}$ ,  $Gen(i)_{Makine}$  üzerindeki ilk iş ise)

$$b = (ST_{Mak(i) İş(j,j)} - ST_{Mak(i) İş(i,i)}) + (ST_{Mak(i) İş(j,i)} - ST_{Mak(i) İş(i,j)})$$

Eğer  $j < g-1 \ \& \ Gen(j)_{Makine} == Gen(j+1)_{Makine}$

$$c = ST_{Mak(i) İş(i,j+1)} - ST_{Mak(i) İş(j,j+1)}$$

Eğer  $a+b+c < 0$

Çizelgede  $Gen(i)_{İş}$  ve  $Gen(j)_{İş}$ 'in yerlerini değiştir.

Rassal anahtar sayıları değiştirilir.

Eğer  $j > i+1 \rightarrow$  (Komşu olmayan işler)

$a=0; b=0; c=0;$

Eğer  $i > 0 \ \& \ Gen(i)_{Makine} == Gen(i-1)_{Makine}$

$$a = (ST_{Mak(i) İş(i-1,j)} - ST_{Mak(i) İş(i-1,i)}) + (ST_{Mak(i) İş(j,i+1)} - ST_{Mak(i) İş(i,i+1)})$$

$$+ (ST_{Mak(i) İş(j-1,i)} - ST_{Mak(i) İş(j-1,j)})$$

Eğer  $i == 0 \ \parallel \ Gen(i)_{Makine} != Gen(i-1)_{Makine} \rightarrow$  ( $Gen(i)_{İş}$ ,  $Gen(i)_{Makine}$  üzerindeki ilk iş ise)

$$b = (ST_{Mak(i) İş(j,j)} - ST_{Mak(i) İş(i,i)}) + (ST_{Mak(i) İş(j,i+1)} - ST_{Mak(i) İş(i,i+1)})$$

$$+ (ST_{Mak(i) İş(j-1,i)} - ST_{Mak(i) İş(j-1,j)})$$

Eğer  $j < g-1 \ \& \ Gen(j)_{Makine} == Gen(j+1)_{Makine}$

$$c=(ST_{Mak(i) Iş(i,j+1)}-ST_{Mak(i) Iş(j,j+1)})$$

Eğer  $a+b+c<0$

Çizelgede  $Gen(i)_{Iş}$  ve  $Gen(j)_{Iş}$ 'in yerlerini değiştir.

Rassal anahtar sayıları değiştirilir.

Eğer  $Gen(i)_{Makine} \neq Gen(j)_{Makine} \rightarrow$ (Makineler arası değişim)

$a=0; a_1=0; a_2=0; b=0; b_1=0; b_2=0; Makespan_{D1}=0; Makespan_{D2}=0;$

$$a=CT_{Gen(i)_{Makine}} + PT_{Mak(i)Iş(j)} - PT_{Mak(i)Iş(i)}$$

Eğer  $i > 0$  &  $Gen(i)_{Makine} == Gen(i-1)_{Makine}$

$$a_1 = (ST_{Mak(i)Iş(i-1,j)} - ST_{Mak(i)Iş(i-1,i)})$$

Eğer  $i == 0$  ||  $Gen(i)_{Makine} \neq Gen(i-1)_{Makine} \rightarrow$ (  $Gen(i)_{Iş}$ ,  $Gen(i)_{Makine}$  üzerindeki ilk iş ise)

$$a_1 = (ST_{Mak(i)Iş(j,j)} - ST_{Mak(i)Iş(i,i)})$$

Eğer  $Gen(i)_{Makine} == Gen(i+1)_{Makine}$

$$a_2 = ST_{Mak(i)Iş(j,i+1)} - ST_{Mak(i)Iş(i,i+1)}$$

$$b = CT_{Gen(j)_{Makine}} + PT_{Mak(j)Iş(i)} - PT_{Mak(j)Iş(j)}$$

Eğer  $Gen(j)_{Makine} == Gen(j-1)_{Makine}$

$$b_1 = (ST_{Mak(j)Iş(j-1,i)} - ST_{Mak(j)Iş(j-1,j)})$$

Eğer  $Gen(j)_{Makine} \neq Gen(j-1)_{Makine}$

$$b_1 = (ST_{Mak(j)Iş(i,i)} - ST_{Mak(j)Iş(j,j)}) \rightarrow$$
 (  $Gen(j)_{Iş}$ ,  $Gen(j)_{Makine}$  üzerindeki ilk iş ise)

Eğer  $j < g-1$  &  $Gen(j)_{Makine} == Gen(j+1)_{Makine}$

$$b_2 = (ST_{Mak(j)Iş(i,j+1)} - ST_{Mak(j)Iş(j,j+1)})$$

$$a = a + a_1 + a_2$$

$$b = b + b_1 + b_2$$

$$Makespan_{D1} = \text{En Büyük}(CT_{Gen(i)_{Makine}}; CT_{Gen(j)_{Makine}})$$

$$Makespan_{D2} = \text{En Büyük}(a; b)$$

Eğer  $Makespan_{D2} < Makespan_{D1}$

Çizelgede  $Gen(i)_{Iş}$  ve  $Gen(j)_{Iş}$ 'in yerlerini değiştir.

Rassal anahtar sayıları değiştirilir.

**EK 2 Küçük Problemler İçin Sonuçlar (GALA,  $P_c$ : 0,5, Nesil Sayısı: 300)**

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GALA Hesaplama Süresi (sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi (sn.)
			ACO	En İyi	Alt Sınır	GALA					
2	6	1	390,00	390,00	358,00	390,00	2,71	0,00	2 Makine 6 İş	0,00	2,73
2	6	2	410,00	410,00	390,00	410,00	2,71	0,00			
2	6	3	410,00	410,00	362,00	410,00	2,71	0,00			
2	6	4	380,00	380,00	356,50	380,00	2,71	0,00			
2	6	5	399,00	399,00	344,50	399,00	2,73	0,00			
2	6	6	397,00	397,00	369,00	397,00	2,71	0,00			
2	6	7	394,00	394,00	354,50	394,00	2,73	0,00			
2	6	8	379,00	379,00	358,50	379,00	2,68	0,00			
2	6	9	407,00	407,00	375,50	407,00	2,79	0,00			
2	6	10	394,00	394,00	364,50	394,00	2,70	0,00			
2	6	11	388,00	388,00	368,50	388,00	2,70	0,00			
2	6	12	396,00	396,00	365,00	396,00	2,71	0,00			
2	6	13	384,00	384,00	365,50	384,00	2,73	0,00			
2	6	14	369,00	369,00	247,50	369,00	2,76	0,00			
2	6	15	424,00	424,00	391,00	424,00	2,92	0,00			
2	7	1	484,00	484,00	422,50	484,00	3,54	0,00	2 Makine	0,00	3,56
2	7	2	527,00	527,00	447,00	527,00	3,56	0,00	7 İş		



Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GALA Hesaplama Süresi (sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi (sn.)
			ACO	En İyi	Alt Sınır	GALA					
2	7	3	498,00	498,00	421,00	498,00	3,65	0,00			
2	7	4	467,00	467,00	411,50	467,00	3,59	0,00			
2	7	5	495,00	495,00	422,00	495,00	3,51	0,00			
2	7	6	493,00	493,00	412,00	493,00	3,54	0,00			
2	7	7	470,00	470,00	407,50	470,00	3,56	0,00			
2	7	8	516,00	516,00	447,50	516,00	3,53	0,00			
2	7	9	496,00	496,00	439,50	496,00	3,57	0,00			
2	7	10	490,00	490,00	423,50	490,00	3,68	0,00			
2	7	11	489,00	489,00	429,00	489,00	3,54	0,00			
2	7	12	483,00	483,00	417,00	483,00	3,56	0,00			
2	7	13	493,00	493,00	438,00	493,00	3,53	0,00			
2	7	14	488,00	488,00	437,50	488,00	3,51	0,00			
2	7	15	476,00	476,00	431,50	476,00	3,59	0,00			
2	8	1	494,00	494,00	462,50	494,00	4,70	0,00	2 Makine	0,00	4,60
2	8	2	523,00	523,00	498,50	523,00	4,71	0,00	8 İş		
2	8	3	508,00	508,00	447,50	508,00	4,49	0,00			
2	8	4	539,00	539,00	510,00	539,00	4,60	0,00			
2	8	5	509,00	509,00	473,00	509,00	4,52	0,00			
2	8	6	502,00	502,00	460,00	502,00	4,51	0,00			
2	8	7	522,00	522,00	473,50	522,00	4,82	0,00			

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GALA Hesaplama Süresi (sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi (sn.)
			ACO	En İyi	Alt Sınır	GALA					
2	8	8	534,00	534,00	498,50	534,00	4,54	0,00			
2	8	9	518,00	518,00	482,00	518,00	4,52	0,00			
2	8	10	517,00	517,00	475,50	517,00	4,51	0,00			
2	8	11	511,00	511,00	467,50	511,00	4,71	0,00			
2	8	12	509,00	509,00	479,50	509,00	4,63	0,00			
2	8	13	505,00	505,00	465,00	505,00	4,62	0,00			
2	8	14	563,00	563,00	495,00	563,00	4,54	0,00			
2	8	15	507,00	507,00	491,50	507,00	4,56	0,00			
2	9	1	627,00	627,00	571,50	627,00	5,77	0,00	2 Makine 9 İş	0,00	5,73
2	9	2	603,00	603,00	532,50	603,00	5,73	0,00			
2	9	3	558,00	558,00	527,50	558,00	5,71	0,00			
2	9	4	618,00	618,00	559,50	618,00	5,74	0,00			
2	9	5	571,00	571,00	512,00	571,00	5,74	0,00			
2	9	6	589,00	589,00	526,00	589,00	5,76	0,00			
2	9	7	611,00	611,00	549,50	611,00	5,74	0,00			
2	9	8	624,00	624,00	574,00	624,00	5,69	0,00			
2	9	9	594,00	594,00	532,50	594,00	5,71	0,00			
2	9	10	612,00	612,00	544,50	612,00	5,80	0,00			
2	9	11	579,00	579,00	516,00	579,00	5,79	0,00			
2	9	12	588,00	588,00	549,50	588,00	5,73	0,00			

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GALA Hesaplama Süresi (sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi (sn.)
			ACO	En İyi	Alt Sınır	GALA					
2	9	13	599,00	599,00	521,50	599,00	5,73	0,00			
2	9	14	610,00	610,00	555,00	610,00	5,66	0,00			
2	9	15	594,00	594,00	525,50	594,00	5,69	0,00			
2	10	1	647,00		605,50	647,00	7,10	0,00	2 Makine 10 İş	0,00	7,10
2	10	2	607,00		563,50	607,00	7,02	0,00			
2	10	3	646,00		624,50	646,00	7,04	0,00			
2	10	4	654,00		598,50	654,00	6,96	0,00			
2	10	5	611,00		586,00	611,00	6,96	0,00			
2	10	6	628,00		581,50	628,00	6,97	0,00			
2	10	7	639,00		611,00	639,00	7,04	0,00			
2	10	8	655,00		624,50	655,00	7,27	0,00			
2	10	9	625,00		597,00	625,00	7,13	0,00			
2	10	10	636,00		583,50	636,00	7,10	0,00			
2	10	11	610,00		590,00	610,00	6,96	0,00			
2	10	12	648,00		619,00	648,00	6,94	0,00			
2	10	13	677,00		630,00	677,00	7,10	0,00			
2	10	14	631,00		582,50	631,00	7,19	0,00			
2	10	15	670,00		633,50	670,00	7,69	0,00			
2	11	1	706,00		661,50	706,00	8,50	0,00			
2	11	2	698,00		654,50	698,00	8,58	0,00			

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GALA Hesaplama Süresi (sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi (sn.)
			ACO	En İyi	Alt Sınır	GALA					
2	11	3	742,00		683,50	737,00	8,70	0,67			
2	11	4	693,00		625,50	693,00	8,72	0,00			
2	11	5	699,00		650,50	699,00	9,03	0,00			
2	11	6	736,00		661,50	736,00	8,74	0,00			
2	11	7	707,00		680,50	707,00	9,05	0,00			
2	11	8	686,00		633,50	686,00	8,63	0,00			
2	11	9	731,00		674,50	731,00	8,61	0,00			
2	11	10	684,00		619,00	684,00	8,50	0,00			
2	11	11	691,00		664,00	691,00	8,53	0,00			
2	11	12	715,00		629,00	715,00	8,50	0,00			
2	11	13	725,00		660,00	725,00	8,60	0,00			
2	11	14	703,00		635,00	703,00	8,58	0,00			
2	11	15	745,00		672,00	745,00	8,56	0,00			
4	6	1	235,00	235,00	164,25	235,00	3,93	0,00	4 Makine	0,00	3,99
4	6	2	250,00	250,00	176,00	250,00	3,92	0,00	6 İş		
4	6	3	243,00	243,00	169,00	243,00	3,93	0,00			
4	6	4	244,00	244,00	171,25	244,00	3,92	0,00			
4	6	5	238,00	238,00	170,50	238,00	3,90	0,00			
4	6	6	253,00	253,00	173,75	253,00	3,96	0,00			
4	6	7	258,00	258,00	183,25	258,00	4,10	0,00			

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GALA Hesaplama Süresi (sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi (sn.)
			ACO	En İyi	Alt Sınır	GALA					
4	6	8	249,00	249,00	173,25	249,00	3,95	0,00			
4	6	9	243,00	243,00	177,75	243,00	4,27	0,00			
4	6	10	249,00	249,00	167,25	249,00	4,07	0,00			
4	6	11	244,00	244,00	168,75	244,00	3,93	0,00			
4	6	12	232,00	232,00	171,00	232,00	3,93	0,00			
4	6	13	247,00	247,00	175,00	247,00	4,01	0,00			
4	6	14	242,00	242,00	177,25	242,00	3,99	0,00			
4	6	15	248,00	248,00	171,25	248,00	4,07	0,00			
4	7	1	258,00	258,00	202,75	258,00	5,19	0,00	4 Makine	0,00	5,27
4	7	2	263,00	263,00	210,00	263,00	5,26	0,00	7 İş		
4	7	3	241,00	241,00	193,00	241,00	5,16	0,00			
4	7	4	248,00	248,00	198,50	248,00	5,24	0,00			
4	7	5	257,00	257,00	202,75	257,00	5,69	0,00			
4	7	6	260,00	260,00	209,50	260,00	5,18	0,00			
4	7	7	243,00	243,00	194,25	243,00	5,24	0,00			
4	7	8	245,00	245,00	197,50	245,00	5,21	0,00			
4	7	9	249,00	249,00	197,00	249,00	5,41	0,00			
4	7	10	251,00	251,00	202,00	251,00	5,34	0,00			
4	7	11	249,00	249,00	196,25	249,00	5,23	0,00			
4	7	12	258,00	258,00	202,50	258,00	5,19	0,00			

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GALA Hesaplama Süresi (sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi (sn.)
			ACO	En İyi	Alt Sınır	GALA					
4	7	13	262,00	262,00	201,00	262,00	5,27	0,00			
4	7	14	268,00	268,00	210,25	268,00	5,18	0,00			
4	7	15	232,00	232,00	189,75	232,00	5,23	0,00			
4	8	1	264,00	264,00	230,25	264,00	6,80	0,00	4 Makine 8 İş	0,00	6,88
4	8	2	274,00	274,00	222,50	274,00	6,72	0,00			
4	8	3	259,00	259,00	221,25	259,00	6,74	0,00			
4	8	4	255,00	255,00	215,00	255,00	6,71	0,00			
4	8	5	268,00	268,00	232,00	268,00	6,72	0,00			
4	8	6	260,00	260,00	236,75	260,00	7,06	0,00			
4	8	7	269,00	269,00	232,75	269,00	6,96	0,00			
4	8	8	256,00	256,00	226,00	256,00	6,94	0,00			
4	8	9	269,00	269,00	231,25	269,00	7,72	0,00			
4	8	10	273,00	273,00	232,00	273,00	6,74	0,00			
4	8	11	273,00	273,00	229,25	273,00	6,80	0,00			
4	8	12	252,00	252,00	221,25	252,00	6,74	0,00			
4	8	13	270,00	270,00	233,50	270,00	6,80	0,00			
4	8	14	269,00	269,00	230,00	269,00	6,99	0,00			
4	8	15	260,00	260,00	225,25	260,00	6,71	0,00			
4	9	1	345,00		265,25	345,00	8,95	0,00	4 Makine	0,00	8,64
4	9	2	334,00		248,75	334,00	8,72	0,00	9 İş		

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GALA Hesaplama Süresi (sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi (sn.)
			ACO	En İyi	Alt Sınır	GALA					
4	9	3	361,00		261,25	361,00	8,60	0,00			
4	9	4	361,00		258,00	361,00	8,50	0,00			
4	9	5	348,00		257,00	348,00	8,50	0,00			
4	9	6	346,00		252,50	346,00	8,53	0,00			
4	9	7	337,00		248,00	337,00	8,61	0,00			
4	9	8	328,00		244,75	328,00	8,75	0,00			
4	9	9	348,00		252,25	348,00	8,52	0,00			
4	9	10	352,00		251,75	352,00	8,53	0,00			
4	9	11	355,00		259,75	355,00	8,61	0,00			
4	9	12	343,00		251,00	343,00	8,61	0,00			
4	9	13	343,00		261,50	343,00	8,72	0,00			
4	9	14	338,00		244,25	338,00	8,56	0,00			
4	9	15	352,00		257,25	352,00	8,94	0,00			
4	10	1	360,00		283,50	360,00	10,86	0,00	4 Makine	0,02	10,94
4	10	2	341,00		281,25	341,00	10,62	0,00	10 İş		
4	10	3	354,00		275,00	354,00	11,29	0,00			
4	10	4	365,00		289,00	364,00	10,97	0,27			
4	10	5	374,00		293,50	374,00	11,47	0,00			
4	10	6	352,00		286,50	352,00	10,62	0,00			
4	10	7	349,00		280,50	349,00	10,64	0,00			

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GALA Hesaplama Süresi (sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi (sn.)
			ACO	En İyi	Alt Sınır	GALA					
4	10	8	358,00		286,00	358,00	10,65	0,00			
4	10	9	366,00		288,50	366,00	11,17	0,00			
4	10	10	354,00		288,00	354,00	10,72	0,00			
4	10	11	357,00		279,50	357,00	10,86	0,00			
4	10	12	368,00		291,25	368,00	12,04	0,00			
4	10	13	381,00		297,75	381,00	10,58	0,00			
4	10	14	350,00		281,00	350,00	10,72	0,00			
4	10	15	364,00		297,25	364,00	10,83	0,00			
4	11	1	351,00		303,25	351,00	13,12	0,00	4 Makine	0,04	13,28
4	11	2	371,00		315,75	371,00	12,99	0,00	11 İş		
4	11	3	380,00		314,50	380,00	13,77	0,00			
4	11	4	374,00		311,50	374,00	13,04	0,00			
4	11	5	366,00		313,75	366,00	13,32	0,00			
4	11	6	364,00		305,75	364,00	13,24	0,00			
4	11	7	358,00		304,75	358,00	13,45	0,00			
4	11	8	371,00		309,25	371,00	13,29	0,00			
4	11	9	365,00		306,50	365,00	13,74	0,00			
4	11	10	366,00		307,00	366,00	13,28	0,00			
4	11	11	374,00		315,00	372,00	13,21	0,53			
4	11	12	358,00		312,25	358,00	13,26	0,00			



Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GALA Hesaplama Süresi (sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi (sn.)
			ACO	En İyi	Alt Sınır	GALA					
4	11	13	360,00		301,25	360,00	13,09	0,00			
4	11	14	367,00		315,25	367,00	13,34	0,00			
4	11	15	372,00		313,50	372,00	13,10	0,00			
6	8	1	237,00	237,00	149,17	237,00	8,63	0,00	6 Makine	0,00	8,44
6	8	2	227,00		145,50	227,00	8,17	0,00	8 İş		
6	8	3	241,00		148,33	241,00	8,25	0,00			
6	8	4	233,00		148,83	233,00	8,31	0,00			
6	8	5	235,00		151,50	235,00	9,31	0,00			
6	8	6	231,00		143,17	231,00	8,36	0,00			
6	8	7	234,00		147,17	234,00	8,53	0,00			
6	8	8	238,00		145,00	238,00	8,38	0,00			
6	8	9	232,00		147,50	232,00	8,80	0,00			
6	8	10	233,00		148,83	233,00	8,39	0,00			
6	8	11	231,00		147,83	231,00	8,28	0,00			
6	8	12	243,00		153,00	243,00	8,28	0,00			
6	8	13	235,00		146,67	235,00	8,28	0,00			
6	8	14	246,00		152,67	246,00	8,27	0,00			
6	8	15	221,00		144,67	221,00	8,31	0,00			
6	9	1	247,00		171,67	247,00	10,90	0,00	6 Makine	0,00	10,62
6	9	2	233,00		162,83	233,00	10,84	0,00	9 İş		

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GALA Hesaplama Süresi (sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi (sn.)
			ACO	En İyi	Alt Sınır	GALA					
6	9	3	225,00		164,50	225,00	10,70	0,00			
6	9	4	239,00		167,00	239,00	10,61	0,00			
6	9	5	246,00		163,33	246,00	10,67	0,00			
6	9	6	226,00		162,33	226,00	10,64	0,00			
6	9	7	238,00		164,83	238,00	10,65	0,00			
6	9	8	234,00		164,83	234,00	10,65	0,00			
6	9	9	238,00		168,83	238,00	10,61	0,00			
6	9	10	255,00		173,33	255,00	10,50	0,00			
6	9	11	243,00		165,67	243,00	10,48	0,00			
6	9	12	230,00		160,67	230,00	10,64	0,00			
6	9	13	241,00		170,67	241,00	10,42	0,00			
6	9	14	239,00		168,33	239,00	10,50	0,00			
6	9	15	244,00		167,00	244,00	10,51	0,00			
6	10	1	244,00		183,00	244,00	13,74	0,00	6 Makine	0,21	13,34
6	10	2	248,00		184,33	248,00	13,15	0,00	10 İş		
6	10	3	247,00		184,00	247,00	13,31	0,00			
6	10	4	245,00		184,83	245,00	13,24	0,00			
6	10	5	239,00		183,17	239,00	13,15	0,00			
6	10	6	243,00		187,17	243,00	13,38	0,00			
6	10	7	248,00		186,17	248,00	13,31	0,00			

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GALA Hesaplama Süresi (sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi (sn.)
			ACO	En İyi	Alt Sınır	GALA					
6	10	8	242,00		186,67	242,00	13,24	0,00			
6	10	9	242,00		182,00	241,00	13,23	0,41			
6	10	10	252,00		182,00	246,00	13,12	2,38			
6	10	11	259,00		189,67	258,00	13,21	0,39			
6	10	12	245,00		186,33	245,00	13,07	0,00			
6	10	13	247,00		186,67	247,00	13,51	0,00			
6	10	14	237,00		185,17	237,00	13,90	0,00			
6	10	15	259,00		186,83	259,00	13,46	0,00			
6	11	1	260,00		202,00	256,00	16,30	1,54	6 Makine	0,16	16,57
6	11	2	254,00		203,00	254,00	16,11	0,00	11 İş		
6	11	3	256,00		204,83	256,00	16,08	0,00			
6	11	4	254,00		201,67	254,00	16,32	0,00			
6	11	5	244,00		205,83	244,00	18,43	0,00			
6	11	6	257,00		204,33	257,00	16,78	0,00			
6	11	7	255,00		197,00	254,00	16,28	0,39			
6	11	8	247,00		202,83	247,00	16,18	0,00			
6	11	9	255,00		207,00	255,00	16,24	0,00			
6	11	10	252,00		201,33	251,00	16,68	0,40			
6	11	11	244,00		196,50	244,00	16,11	0,00			
6	11	12	258,00		210,33	258,00	16,89	0,00			

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GALA Hesaplama Süresi (sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi (sn.)
			ACO	En İyi	Alt Sınır	GALA					
6	11	13	248,00		199,33	248,00	17,55	0,00			
6	11	14	246,00		203,00	246,00	16,08	0,00			
6	11	15	244,00		199,83	244,00	16,47	0,00			
8	10	1	227,00		137,50	227,00	15,66	0,00	8 Makine	0,00	15,36
8	10	2	236,00		138,50	236,00	15,07	0,00	10 İş		
8	10	3	224,00		138,50	224,00	15,38	0,00			
8	10	4	225,00		133,00	225,00	15,30	0,00			
8	10	5	220,00		134,50	220,00	16,32	0,00			
8	10	6	216,00		135,63	216,00	15,13	0,00			
8	10	7	229,00		134,25	229,00	14,99	0,00			
8	10	8	223,00		135,63	223,00	15,01	0,00			
8	10	9	232,00		132,38	232,00	15,19	0,00			
8	10	10	230,00		137,38	230,00	15,26	0,00			
8	10	11	225,00		134,25	225,00	15,30	0,00			
8	10	12	234,00		140,00	234,00	15,69	0,00			
8	10	13	219,00		135,25	219,00	15,24	0,00			
8	10	14	228,00		136,25	228,00	15,23	0,00			
8	10	15	224,00		134,00	224,00	15,63	0,00			
8	11	1	235,00		148,75	235,00	19,17	0,00	8 Makine	0,00	18,61
8	11	2	234,00		144,00	234,00	18,66	0,00	11 İş		

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GALA Hesaplama Süresi (sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi (sn.)
			ACO	En İyi	Alt Sınır	GALA					
8	11	3	233,00		150,00	233,00	18,66	0,00			
8	11	4	227,00		151,38	227,00	18,58	0,00			
8	11	5	233,00		149,38	233,00	18,42	0,00			
8	11	6	232,00		148,75	232,00	18,38	0,00			
8	11	7	230,00		152,63	230,00	18,47	0,00			
8	11	8	240,00		147,88	240,00	18,56	0,00			
8	11	9	232,00		149,13	232,00	18,49	0,00			
8	11	10	228,00		144,63	228,00	18,69	0,00			
8	11	11	237,00		151,50	237,00	19,62	0,00			
8	11	12	231,00		149,88	231,00	18,35	0,00			
8	11	13	232,00		150,38	232,00	18,35	0,00			
8	11	14	238,00		146,38	238,00	18,42	0,00			
8	11	15	225,00		147,25	225,00	18,27	0,00			

**EK 3 Küçük Problemler İçin Sonuçlar (GALA,  $P_c$ : 1, Nesil Sayısı: 500)**

Makin e Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GALA Hesaplama Süresi (sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi (sn.)
			ACO	En İyi	Alt Sınır	GALA					
2	6	1	390,00	390,00	358,00	390,00	8,28	0,00	2 Makine 6 İş	0,00	8,55
2	6	2	410,00	410,00	390,00	410,00	8,56	0,00			
2	6	3	410,00	410,00	362,00	410,00	8,63	0,00			
2	6	4	380,00	380,00	356,50	380,00	8,50	0,00			
2	6	5	399,00	399,00	344,50	399,00	8,55	0,00			
2	6	6	397,00	397,00	369,00	397,00	8,44	0,00			
2	6	7	394,00	394,00	354,50	394,00	8,70	0,00			
2	6	8	379,00	379,00	358,50	379,00	8,86	0,00			
2	6	9	407,00	407,00	375,50	407,00	8,74	0,00			
2	6	10	394,00	394,00	364,50	394,00	8,49	0,00			
2	6	11	388,00	388,00	368,50	388,00	8,47	0,00			
2	6	12	396,00	396,00	365,00	396,00	8,61	0,00			
2	6	13	384,00	384,00	365,50	384,00	8,52	0,00			
2	6	14	369,00	369,00	247,50	369,00	8,56	0,00			
2	6	15	424,00	424,00	391,00	424,00	8,36	0,00			
2	7	1	484,00	484,00	422,50	484,00	11,36	0,00	2 Makine 7 İş	0,00	11,28
2	7	2	527,00	527,00	447,00	527,00	11,47	0,00			
2	7	3	498,00	498,00	421,00	498,00	11,20	0,00			
2	7	4	467,00	467,00	411,50	467,00	11,67	0,00			

Makin e Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GALA Hesaplama Süresi (sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi (sn.)
			ACO	En İyi	Alt Sınır	GALA					
2	7	5	495,00	495,00	422,00	495,00	11,23	0,00			
2	7	6	493,00	493,00	412,00	493,00	11,15	0,00			
2	7	7	470,00	470,00	407,50	470,00	10,98	0,00			
2	7	8	516,00	516,00	447,50	516,00	10,98	0,00			
2	7	9	496,00	496,00	439,50	496,00	11,51	0,00			
2	7	10	490,00	490,00	423,50	490,00	10,97	0,00			
2	7	11	489,00	489,00	429,00	489,00	11,04	0,00			
2	7	12	483,00	483,00	417,00	483,00	11,36	0,00			
2	7	13	493,00	493,00	438,00	493,00	12,07	0,00			
2	7	14	488,00	488,00	437,50	488,00	11,28	0,00			
2	7	15	476,00	476,00	431,50	476,00	10,95	0,00			
2	8	1	494,00	494,00	462,50	494,00	14,24	0,00			
2	8	2	523,00	523,00	498,50	523,00	14,38	0,00			
2	8	3	508,00	508,00	447,50	508,00	14,09	0,00			
2	8	4	539,00	539,00	510,00	539,00	14,02	0,00			
2	8	5	509,00	509,00	473,00	509,00	14,34	0,00			
2	8	6	502,00	502,00	460,00	502,00	14,34	0,00			
2	8	7	522,00	522,00	473,50	522,00	15,13	0,00			
2	8	8	534,00	534,00	498,50	534,00	14,24	0,00			
2	8	9	518,00	518,00	482,00	518,00	13,84	0,00			
									2 Makine 8 İş	0,00	14,44

Makin e Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GALA Hesaplama Süresi (sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi (sn.)
			ACO	En İyi	Alt Sınır	GALA					
2	8	10	517,00	517,00	475,50	517,00	14,21	0,00			
2	8	11	511,00	511,00	467,50	511,00	14,82	0,00			
2	8	12	509,00	509,00	479,50	509,00	15,10	0,00			
2	8	13	505,00	505,00	465,00	505,00	14,93	0,00			
2	8	14	563,00	563,00	495,00	563,00	14,60	0,00			
2	8	15	507,00	507,00	491,50	507,00	14,31	0,00			
2	9	1	627,00	627,00	571,50	627,00	18,21	0,00	2 Makine 9 İş	0,00	18,02
2	9	2	603,00	603,00	532,50	603,00	18,02	0,00			
2	9	3	558,00	558,00	527,50	558,00	17,58	0,00			
2	9	4	618,00	618,00	559,50	618,00	17,75	0,00			
2	9	5	571,00	571,00	512,00	571,00	18,02	0,00			
2	9	6	589,00	589,00	526,00	589,00	17,64	0,00			
2	9	7	611,00	611,00	549,50	611,00	18,05	0,00			
2	9	8	624,00	624,00	574,00	624,00	18,21	0,00			
2	9	9	594,00	594,00	532,50	594,00	18,99	0,00			
2	9	10	612,00	612,00	544,50	612,00	17,88	0,00			
2	9	11	579,00	579,00	516,00	579,00	17,86	0,00			
2	9	12	588,00	588,00	549,50	588,00	18,14	0,00			
2	9	13	599,00	599,00	521,50	599,00	17,80	0,00			
2	9	14	610,00	610,00	555,00	610,00	18,36	0,00			



Makin e Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GALA Hesaplama Süresi (sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi (sn.)
			ACO	En İyi	Alt Sınır	GALA					
2	9	15	594,00	594,00	525,50	594,00	17,85	0,00			
2	10	1	647,00		605,50	647,00	22,14	0,00	2 Makine 10 İş	0,00	23,45
2	10	2	607,00		563,50	607,00	23,32	0,00			
2	10	3	646,00		624,50	646,00	25,33	0,00			
2	10	4	654,00		598,50	654,00	24,43	0,00			
2	10	5	611,00		586,00	611,00	22,03	0,00			
2	10	6	628,00		581,50	628,00	22,29	0,00			
2	10	7	639,00		611,00	639,00	23,38	0,00			
2	10	8	655,00		624,50	655,00	23,91	0,00			
2	10	9	625,00		597,00	625,00	23,12	0,00			
2	10	10	636,00		583,50	636,00	23,52	0,00			
2	10	11	610,00		590,00	610,00	23,51	0,00			
2	10	12	648,00		619,00	648,00	22,23	0,00			
2	10	13	677,00		630,00	677,00	22,50	0,00			
2	10	14	631,00		582,50	631,00	23,52	0,00			
2	10	15	670,00		633,50	670,00	26,47	0,00			
2	11	1	706,00		661,50	706,00	25,96	0,00	2 Makine 11 İş	0,04	26,30
2	11	2	698,00		654,50	698,00	25,96	0,00			
2	11	3	742,00		683,50	737,00	26,16	0,67			
2	11	4	693,00		625,50	693,00	26,24	0,00			

Makin e Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GALA Hesaplama Süresi (sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi (sn.)
			ACO	En İyi	Alt Sınır	GALA					
2	11	5	699,00		650,50	699,00	25,96	0,00			
2	11	6	736,00		661,50	736,00	26,69	0,00			
2	11	7	707,00		680,50	707,00	26,40	0,00			
2	11	8	686,00		633,50	686,00	26,57	0,00			
2	11	9	731,00		674,50	731,00	26,13	0,00			
2	11	10	684,00		619,00	684,00	27,96	0,00			
2	11	11	691,00		664,00	691,00	26,38	0,00			
2	11	12	715,00		629,00	715,00	25,83	0,00			
2	11	13	725,00		660,00	725,00	26,10	0,00			
2	11	14	703,00		635,00	703,00	25,99	0,00			
2	11	15	745,00		672,00	745,00	26,22	0,00			
4	6	1	235,00	235,00	164,25	235,00	12,48	0,00	4 Makine	0,00	12,43
4	6	2	250,00	250,00	176,00	250,00	12,95	0,00	6 İş		
4	6	3	243,00	243,00	169,00	243,00	12,29	0,00			
4	6	4	244,00	244,00	171,25	244,00	12,21	0,00			
4	6	5	238,00	238,00	170,50	238,00	12,26	0,00			
4	6	6	253,00	253,00	173,75	253,00	12,25	0,00			
4	6	7	258,00	258,00	183,25	258,00	12,20	0,00			
4	6	8	249,00	249,00	173,25	249,00	12,23	0,00			
4	6	9	243,00	243,00	177,75	243,00	12,67	0,00			

Makin e Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GALA Hesaplama Süresi (sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi (sn.)
			ACO	En İyi	Alt Sınır	GALA					
4	6	10	249,00	249,00	167,25	249,00	12,25	0,00			
4	6	11	244,00	244,00	168,75	244,00	12,89	0,00			
4	6	12	232,00	232,00	171,00	232,00	12,42	0,00			
4	6	13	247,00	247,00	175,00	247,00	12,26	0,00			
4	6	14	242,00	242,00	177,25	242,00	12,50	0,00			
4	6	15	248,00	248,00	171,25	248,00	12,65	0,00			
4	7	1	258,00	258,00	202,75	258,00	16,22	0,00	4 Makine	0,00	16,54
4	7	2	263,00	263,00	210,00	263,00	16,54	0,00	7 İş		
4	7	3	241,00	241,00	193,00	241,00	16,94	0,00			
4	7	4	248,00	248,00	198,50	248,00	16,46	0,00			
4	7	5	257,00	257,00	202,75	257,00	16,16	0,00			
4	7	6	260,00	260,00	209,50	260,00	16,13	0,00			
4	7	7	243,00	243,00	194,25	243,00	17,16	0,00			
4	7	8	245,00	245,00	197,50	245,00	16,69	0,00			
4	7	9	249,00	249,00	197,00	249,00	17,46	0,00			
4	7	10	251,00	251,00	202,00	251,00	16,43	0,00			
4	7	11	249,00	249,00	196,25	249,00	16,02	0,00			
4	7	12	258,00	258,00	202,50	258,00	16,55	0,00			
4	7	13	262,00	262,00	201,00	262,00	16,50	0,00			
4	7	14	268,00	268,00	210,25	268,00	16,60	0,00			

Makin e Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GALA Hesaplama Süresi (sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi (sn.)
			ACO	En İyi	Alt Sınır	GALA					
4	7	15	232,00	232,00	189,75	232,00	16,22	0,00			
4	8	1	264,00	264,00	230,25	264,00	22,28	0,00	4 Makine 8 İş	0,00	21,57
4	8	2	274,00	274,00	222,50	274,00	20,92	0,00			
4	8	3	259,00	259,00	221,25	259,00	21,20	0,00			
4	8	4	255,00	255,00	215,00	255,00	21,59	0,00			
4	8	5	268,00	268,00	232,00	268,00	20,90	0,00			
4	8	6	260,00	260,00	236,75	260,00	21,61	0,00			
4	8	7	269,00	269,00	232,75	269,00	20,98	0,00			
4	8	8	256,00	256,00	226,00	256,00	21,47	0,00			
4	8	9	269,00	269,00	231,25	269,00	22,07	0,00			
4	8	10	273,00	273,00	232,00	273,00	21,11	0,00			
4	8	11	273,00	273,00	229,25	273,00	22,50	0,00			
4	8	12	252,00	252,00	221,25	252,00	21,78	0,00			
4	8	13	270,00	270,00	233,50	270,00	21,96	0,00			
4	8	14	269,00	269,00	230,00	269,00	21,14	0,00			
4	8	15	260,00	260,00	225,25	260,00	21,98	0,00			
4	9	1	345,00		265,25	345,00	26,75	0,00	4 Makine 9 İş	0,00	26,73
4	9	2	334,00		248,75	334,00	26,57	0,00			
4	9	3	361,00		261,25	361,00	27,18	0,00			
4	9	4	361,00		258,00	361,00	26,83	0,00			

Makin e Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GALA Hesaplama Süresi (sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi (sn.)
			ACO	En İyi	Alt Sınır	GALA					
4	9	5	348,00		257,00	348,00	26,46	0,00			
4	9	6	346,00		252,50	346,00	26,41	0,00			
4	9	7	337,00		248,00	337,00	26,69	0,00			
4	9	8	328,00		244,75	328,00	26,74	0,00			
4	9	9	348,00		252,25	348,00	26,89	0,00			
4	9	10	352,00		251,75	352,00	26,75	0,00			
4	9	11	355,00		259,75	355,00	26,50	0,00			
4	9	12	343,00		251,00	343,00	26,80	0,00			
4	9	13	343,00		261,50	343,00	26,71	0,00			
4	9	14	338,00		244,25	338,00	26,63	0,00			
4	9	15	352,00		257,25	352,00	27,08	0,00			
4	10	1	360,00		283,50	360,00	36,35	0,00	4 Makine	0,02	35,47
4	10	2	341,00		281,25	341,00	35,26	0,00	10 İş		
4	10	3	354,00		275,00	354,00	35,66	0,00			
4	10	4	365,00		289,00	364,00	37,30	0,27			
4	10	5	374,00		293,50	374,00	37,46	0,00			
4	10	6	352,00		286,50	352,00	36,16	0,00			
4	10	7	349,00		280,50	349,00	34,69	0,00			
4	10	8	358,00		286,00	358,00	36,30	0,00			
4	10	9	366,00		288,50	366,00	37,45	0,00			

Makin e Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GALA Hesaplama Süresi (sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi (sn.)
			ACO	En İyi	Alt Sınır	GALA					
4	10	10	354,00		288,00	354,00	34,27	0,00			
4	10	11	357,00		279,50	357,00	34,59	0,00			
4	10	12	368,00		291,25	368,00	33,87	0,00			
4	10	13	381,00		297,75	381,00	33,71	0,00			
4	10	14	350,00		281,00	350,00	34,91	0,00			
4	10	15	364,00		297,25	364,00	34,05	0,00			
4	11	1	351,00		303,25	351,00	42,09	0,00	4 Makine	0,04	41,91
4	11	2	371,00		315,75	371,00	42,20	0,00	11 İş		
4	11	3	380,00		314,50	380,00	42,90	0,00			
4	11	4	374,00		311,50	374,00	41,34	0,00			
4	11	5	366,00		313,75	366,00	42,10	0,00			
4	11	6	364,00		305,75	364,00	41,71	0,00			
4	11	7	358,00		304,75	358,00	42,14	0,00			
4	11	8	371,00		309,25	371,00	41,89	0,00			
4	11	9	365,00		306,50	365,00	40,79	0,00			
4	11	10	366,00		307,00	366,00	39,89	0,00			
4	11	11	374,00		315,00	372,00	40,06	0,53			
4	11	12	358,00		312,25	358,00	44,85	0,00			
4	11	13	360,00		301,25	360,00	41,20	0,00			
4	11	14	367,00		315,25	367,00	41,04	0,00			

Makin e Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GALA Hesaplama Süresi (sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi (sn.)
			ACO	En İyi	Alt Sınır	GALA					
4	11	15	372,00		313,50	372,00	44,51	0,00			
6	8	1	237,00	237,00	149,17	237,00	25,76	0,00	6 Makine	0,00	26,09
6	8	2	227,00		145,50	227,00	26,52	0,00	8 İş		
6	8	3	241,00		148,33	241,00	25,80	0,00			
6	8	4	233,00		148,83	233,00	26,57	0,00			
6	8	5	235,00		151,50	235,00	26,46	0,00			
6	8	6	231,00		143,17	231,00	25,57	0,00			
6	8	7	234,00		147,17	234,00	26,11	0,00			
6	8	8	238,00		145,00	238,00	26,38	0,00			
6	8	9	232,00		147,50	232,00	26,41	0,00			
6	8	10	233,00		148,83	233,00	25,74	0,00			
6	8	11	231,00		147,83	231,00	25,88	0,00			
6	8	12	243,00		153,00	243,00	25,86	0,00			
6	8	13	235,00		146,67	235,00	26,18	0,00			
6	8	14	246,00		152,67	246,00	26,05	0,00			
6	8	15	221,00		144,67	221,00	26,10	0,00			
6	9	1	247,00		171,67	247,00	32,70	0,00	6 Makine	0,00	33,03
6	9	2	233,00		162,83	233,00	33,07	0,00	9 İş		
6	9	3	225,00		164,50	225,00	32,88	0,00			
6	9	4	239,00		167,00	239,00	32,96	0,00			

Makin e Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GALA Hesaplama Süresi (sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi (sn.)
			ACO	En İyi	Alt Sınır	GALA					
6	9	5	246,00		163,33	246,00	32,70	0,00			
6	9	6	226,00		162,33	226,00	33,85	0,00			
6	9	7	238,00		164,83	238,00	32,51	0,00			
6	9	8	234,00		164,83	234,00	33,13	0,00			
6	9	9	238,00		168,83	238,00	32,62	0,00			
6	9	10	255,00		173,33	255,00	33,35	0,00			
6	9	11	243,00		165,67	243,00	33,29	0,00			
6	9	12	230,00		160,67	230,00	32,96	0,00			
6	9	13	241,00		170,67	241,00	32,49	0,00			
6	9	14	239,00		168,33	239,00	32,79	0,00			
6	9	15	244,00		167,00	244,00	34,05	0,00			
6	10	1	244,00		183,00	244,00	41,07	0,00	6 Makine	0,21	42,20
6	10	2	248,00		184,33	248,00	41,70	0,00	10 İş		
6	10	3	247,00		184,00	247,00	41,64	0,00			
6	10	4	245,00		184,83	245,00	41,25	0,00			
6	10	5	239,00		183,17	239,00	41,71	0,00			
6	10	6	243,00		187,17	243,00	42,56	0,00			
6	10	7	248,00		186,17	248,00	42,43	0,00			
6	10	8	242,00		186,67	242,00	41,85	0,00			
6	10	9	242,00		182,00	241,00	41,06	0,41			



Makin e Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GALA Hesaplama Süresi (sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi (sn.)
			ACO	En İyi	Alt Sınır	GALA					
6	10	10	252,00		182,00	246,00	44,19	2,38			
6	10	11	259,00		189,67	258,00	43,76	0,39			
6	10	12	245,00		186,33	245,00	41,87	0,00			
6	10	13	247,00		186,67	247,00	45,27	0,00			
6	10	14	237,00		185,17	237,00	41,79	0,00			
6	10	15	259,00		186,83	259,00	40,78	0,00			
6	11	1	260,00		202,00	256,00	51,53	1,54	6 Makine 11 İş	0,26	50,94
6	11	2	254,00		203,00	254,00	50,06	0,00			
6	11	3	256,00		204,83	252,00	50,79	1,56			
6	11	4	254,00		201,67	254,00	51,00	0,00			
6	11	5	244,00		205,83	244,00	49,83	0,00			
6	11	6	257,00		204,33	257,00	50,39	0,00			
6	11	7	255,00		197,00	254,00	49,67	0,39			
6	11	8	247,00		202,83	247,00	50,53	0,00			
6	11	9	255,00		207,00	255,00	50,31	0,00			
6	11	10	252,00		201,33	251,00	52,85	0,40			
6	11	11	244,00		196,50	244,00	50,42	0,00			
6	11	12	258,00		210,33	258,00	51,21	0,00			
6	11	13	248,00		199,33	248,00	52,92	0,00			
6	11	14	246,00		203,00	246,00	50,48	0,00			

Makin e Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GALA Hesaplama Süresi (sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi (sn.)
			ACO	En İyi	Alt Sınır	GALA					
6	11	15	244,00		199,83	244,00	52,18	0,00			
8	10	1	227,00		137,50	227,00	48,74	0,00	8 Makine	0,00	47,67
8	10	2	236,00		138,50	236,00	48,21	0,00	10 İş		
8	10	3	224,00		138,50	224,00	47,44	0,00			
8	10	4	225,00		133,00	225,00	46,69	0,00			
8	10	5	220,00		134,50	220,00	47,98	0,00			
8	10	6	216,00		135,63	216,00	47,25	0,00			
8	10	7	229,00		134,25	229,00	47,27	0,00			
8	10	8	223,00		135,63	223,00	46,82	0,00			
8	10	9	232,00		132,38	232,00	47,85	0,00			
8	10	10	230,00		137,38	230,00	49,20	0,00			
8	10	11	225,00		134,25	225,00	47,86	0,00			
8	10	12	234,00		140,00	234,00	47,64	0,00			
8	10	13	219,00		135,25	219,00	46,53	0,00			
8	10	14	228,00		136,25	228,00	46,82	0,00			
8	10	15	224,00		134,00	224,00	48,70	0,00			
8	11	1	235,00		148,75	235,00	58,50	0,00	8 Makine	0,00	58,73
8	11	2	234,00		144,00	234,00	58,92	0,00	11 İş		
8	11	3	233,00		150,00	233,00	59,84	0,00			
8	11	4	227,00		151,38	227,00	58,84	0,00			

Makin e Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GALA Hesaplama Süresi (sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi (sn.)
			ACO	En İyi	Alt Sınır	GALA					
8	11	5	233,00		149,38	233,00	58,25	0,00			
8	11	6	232,00		148,75	232,00	58,27	0,00			
8	11	7	230,00		152,63	230,00	59,73	0,00			
8	11	8	240,00		147,88	240,00	60,06	0,00			
8	11	9	232,00		149,13	232,00	59,26	0,00			
8	11	10	228,00		144,63	228,00	58,31	0,00			
8	11	11	237,00		151,50	237,00	57,78	0,00			
8	11	12	231,00		149,88	231,00	57,78	0,00			
8	11	13	232,00		150,38	232,00	58,30	0,00			
8	11	14	238,00		146,38	238,00	59,25	0,00			
8	11	15	225,00		147,25	225,00	57,86	0,00			

**EK 4 Büyük Problemler İçin Sonuçlar (GALA,  $P_c$ : 0,5, Nesil Sayısı: 300)**

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$			GALA Hesaplama Süresi(sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi
			ACO	Alt Sınır	GALA					
2	20	1	1 295,00	1 244,50	1 305,00	30,81	-0,77	2 Makine 20 İş	-0,15	31,01
2	20	2	1 217,00	1 173,50	1 217,00	30,87	0,00			
2	20	3	1 252,00	1 177,00	1 246,00	30,72	0,48			
2	20	4	1 244,00	1 198,00	1 244,00	30,86	0,00			
2	20	5	1 277,00	1 220,50	1 275,00	30,59	0,16			
2	20	6	1 254,00	1 212,00	1 256,00	30,79	-0,16			
2	20	7	1 205,00	1 171,50	1 208,00	31,26	-0,25			
2	20	8	1 243,00	1 191,50	1 243,00	31,71	0,00			
2	20	9	1 228,00	1 187,50	1 231,00	31,14	-0,24			
2	20	10	1 208,00	1 157,50	1 208,00	31,51	0,00			
2	20	11	1 223,00	1 169,00	1 235,00	30,86	-0,98			
2	20	12	1 196,00	1 153,50	1 196,00	30,97	0,00			
2	20	13	1 192,00	1 129,50	1 193,00	30,72	-0,08			
2	20	14	1 245,00	1 192,50	1 249,00	31,11	-0,32			
2	20	15	1 288,00	1 209,50	1 288,00	31,28	0,00			
4	20	1	619,00	547,50	605,00	49,03	2,26	4 Makine 20 İş	1,00	49,56
4	20	2	617,00	559,75	609,00	49,16	1,30			
4	20	3	610,00	548,50	608,00	48,98	0,33			

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$			GALA Hesaplama Süresi(sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi			
			ACO	Alt Sınır	GALA								
4	20	4	648,00	568,75	637,00	49,34	1,70						
4	20	5	609,00	558,00	609,00	49,30	0,00						
4	20	6	598,00	546,00	594,00	50,26	0,67						
4	20	7	611,00	563,00	610,00	49,36	0,16						
4	20	8	624,00	568,00	620,00	49,51	0,64						
4	20	9	621,00	575,75	613,00	49,98	1,29						
4	20	10	624,00	562,25	614,00	50,04	1,60						
4	20	11	623,00	573,50	617,00	49,47	0,96						
4	20	12	609,00	551,25	597,00	50,34	1,97						
4	20	13	621,00	563,00	618,00	49,23	0,48						
4	20	14	612,00	573,75	612,00	49,64	0,00						
4	20	15	611,00	553,50	601,00	49,69	1,64						
6	20	1	441,00	356,33	434,00	61,59	1,59				6 Makine 20 İş	1,49	61,67
6	20	2	454,00	364,33	443,00	61,60	2,42						
6	20	3	462,00	364,33	450,00	60,87	2,60						
6	20	4	452,00	359,83	449,00	61,73	0,66						
6	20	5	457,00	365,67	449,00	61,73	1,75						
6	20	6	441,00	360,83	441,00	61,79	0,00						
6	20	7	441,00	354,33	441,00	61,45	0,00						
6	20	8	461,00	367,83	451,00	62,10	2,17						

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$			GALA Hesaplama Süresi(sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi
			ACO	Alt Sınır	GALA					
6	20	9	455,00	375,50	449,00	61,51				
6	20	10	453,00	357,00	446,00	61,51				
6	20	11	452,00	356,33	445,00	61,70				
6	20	12	454,00	360,00	444,00	61,92				
6	20	13	458,00	368,00	452,00	61,95				
6	20	14	453,00	366,50	448,00	61,54				
6	20	15	457,00	359,17	447,00	62,07				
6	40	1	814,00	716,83	788,00	342,30	3,19	6 Makine 40 İş	1,51	338,38
6	40	2	793,00	715,00	789,00	338,86	0,50			
6	40	3	805,00	716,00	795,00	333,87	1,24			
6	40	4	795,00	711,50	786,00	331,16	1,13			
6	40	5	809,00	711,50	794,00	336,23	1,85			
6	40	6	812,00	723,67	799,00	340,67	1,60			
6	40	7	807,00	716,67	797,00	336,38	1,24			
6	40	8	787,00	711,33	779,00	342,98	1,02			
6	40	9	806,00	711,17	798,00	337,72	0,99			
6	40	10	822,00	723,67	798,00	344,88	2,92			
6	40	11	805,00	724,00	801,00	337,01	0,50			
6	40	12	794,00	716,50	783,00	337,72	1,39			
6	40	13	823,00	733,50	809,00	340,63	1,70			

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$			GALA Hesaplama Süresi(sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi
			ACO	Alt Sınır	GALA					
6	40	14	799,00	709,00	798,00	340,25	0,13			
6	40	15	810,00	708,00	784,00	335,06	3,21			
6	60	1	1 139,00	1 062,50	1 162,00	921,98	-2,02	6 Makine 60 İş	-0,57	921,70
6	60	2	1 151,00	1 069,67	1 156,00	919,79	-0,43			
6	60	3	1 188,00	1 070,50	1 173,00	925,30	1,26			
6	60	4	1 161,00	1 068,33	1 168,00	922,71	-0,60			
6	60	5	1 143,00	1 072,00	1 166,00	921,36	-2,01			
6	60	6	1 170,00	1 065,33	1 169,00	920,88	0,09			
6	60	7	1 173,00	1 083,67	1 177,00	920,70	-0,34			
6	60	8	1 158,00	1 074,67	1 164,00	920,79	-0,52			
6	60	9	1 150,00	1 061,83	1 163,00	921,99	-1,13			
6	60	10	1 161,00	1 079,17	1 183,00	920,42	-1,89			
6	60	11	1 158,00	1 067,50	1 175,00	926,84	-1,47			
6	60	12	1 192,00	1 083,00	1 176,00	922,69	1,34			
6	60	13	1 186,00	1 067,67	1 175,00	920,13	0,93			
6	60	14	1 157,00	1 073,50	1 169,00	919,73	-1,04			
6	60	15	1 165,00	1 072,83	1 173,00	920,13	-0,69			
6	80	1	1 554,00	1 430,00	1 549,00	1 898,46	0,32	6 Makine 80 İş	-0,34	1 905,52
6	80	2	1 544,00	1 429,00	1 554,00	1 902,98	-0,65			
6	80	3	1 549,00	1 424,33	1 550,00	1 902,44	-0,06			

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$			GALA Hesaplama Süresi(sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi			
			ACO	Alt Sınır	GALA								
6	80	4	1 523,00	1 426,33	1 540,00	1 908,21	-1,12						
6	80	5	1 552,00	1 427,83	1 552,00	1 899,57	0,00						
6	80	6	1 560,00	1 425,83	1 554,00	1 907,58	0,38						
6	80	7	1 529,00	1 421,00	1 535,00	1 901,13	-0,39						
6	80	8	1 539,00	1 424,00	1 546,00	1 915,01	-0,45						
6	80	9	1 541,00	1 435,33	1 564,00	1 912,26	-1,49						
6	80	10	1 557,00	1 443,50	1 566,00	1 910,84	-0,58						
6	80	11	1 555,00	1 448,67	1 573,00	1 907,12	-1,16						
6	80	12	1 529,00	1 418,83	1 539,00	1 901,56	-0,65						
6	80	13	1 558,00	1 425,00	1 548,00	1 906,63	0,64						
6	80	14	1 548,00	1 434,17	1 545,00	1 908,41	0,19						
6	80	15	1 542,00	1 423,00	1 543,00	1 900,55	-0,06						
8	20	1	343,00	263,50	340,00	71,17	0,87				8 Makine 20 İş	1,99	72,96
8	20	2	346,00	273,38	341,00	73,77	1,45						
8	20	3	344,00	266,00	341,00	74,19	0,87						
8	20	4	344,00	264,75	340,00	74,44	1,16						
8	20	5	341,00	261,75	331,00	72,26	2,93						
8	20	6	350,00	266,25	336,00	73,18	4,00						
8	20	7	362,00	268,88	345,00	72,95	4,70						
8	20	8	339,00	263,75	334,00	72,99	1,47						



Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$			GALA Hesaplama Süresi(sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi
			ACO	Alt Sınır	GALA					
8	20	9	352,00	265,00	347,00	73,69	1,42			
8	20	10	341,00	268,13	338,00	72,46	0,88			
8	20	11	360,00	272,88	343,00	72,65	4,72			
8	20	12	342,00	267,25	339,00	73,66	0,88			
8	20	13	365,00	275,00	354,00	73,23	3,01			
8	20	14	343,00	268,25	342,00	72,09	0,29			
8	20	15	342,00	263,63	338,00	71,73	1,17			
8	40	1	599,00	532,13	591,00	402,47	1,34	8 Makine 40 İş	0,73	402,04
8	40	2	621,00	528,88	593,00	401,19	4,51			
8	40	3	604,00	531,00	598,00	404,51	0,99			
8	40	4	597,00	531,25	596,00	401,98	0,17			
8	40	5	609,00	539,00	609,00	404,27	0,00			
8	40	6	593,00	529,25	589,00	402,36	0,67			
8	40	7	611,00	534,88	593,00	418,40	2,95			
8	40	8	593,00	521,63	599,00	391,89	-1,01			
8	40	9	587,00	523,13	592,00	390,08	-0,85			
8	40	10	591,00	525,25	588,00	403,35	0,51			
8	40	11	589,00	530,38	592,00	405,58	-0,51			
8	40	12	600,00	529,38	592,00	403,95	1,33			
8	40	13	592,00	528,38	587,00	401,62	0,84			

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$			GALA Hesaplama Süresi(sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi
			ACO	Alt Sınır	GALA					
8	40	14	599,00	528,38	601,00	395,91	-0,33			
8	40	15	604,00	533,50	602,00	403,06	0,33			
8	60	1	905,00	793,88	890,00	1 084,54	1,66	8 Makine 60 İş	0,79	1 092,21
8	60	2	900,00	794,50	898,00	1 079,64	0,22			
8	60	3	888,00	789,50	884,00	1 081,92	0,45			
8	60	4	896,00	797,38	891,00	1 080,74	0,56			
8	60	5	889,00	794,13	891,00	1 092,51	-0,22			
8	60	6	915,00	794,50	893,00	1 126,93	2,40			
8	60	7	896,00	789,63	878,00	1 118,98	2,01			
8	60	8	878,00	790,50	879,00	1 126,87	-0,11			
8	60	9	878,00	791,00	883,00	1 110,25	-0,57			
8	60	10	896,00	791,25	887,00	1 081,00	1,00			
8	60	11	881,00	791,25	886,00	1 077,48	-0,57			
8	60	12	900,00	790,25	889,00	1 083,31	1,22			
8	60	13	894,00	784,13	873,00	1 077,54	2,35			
8	60	14	901,00	795,25	889,00	1 081,86	1,33			
8	60	15	890,00	789,00	889,00	1 079,61	0,11			
8	100	1	1 426,00	1 308,38	1 431,00	3 970,53	-0,35			
8	100	2	1 437,00	1 312,62	1 437,00	3 946,99	0,00			
8	100	3	1 445,00	1 322,62	1 444,00	3 946,75	0,07			

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$			GALA Hesaplama Süresi(sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi			
			ACO	Alt Sınır	GALA								
8	100	4	1 416,00	1 306,50	1 428,00	3 938,84	-0,85						
8	100	5	1 452,00	1 324,75	1 440,00	3 944,04	0,83						
8	100	6	1 418,00	1 310,38	1 418,00	3 946,89	0,00						
8	100	7	1 450,00	1 317,62	1 430,00	3 946,92	1,38						
8	100	8	1 452,00	1 314,50	1 434,00	3 938,10	1,24						
8	100	9	1 439,00	1 315,00	1 444,00	3 950,33	-0,35						
8	100	10	1 454,00	1 324,25	1 440,00	3 943,46	0,96						
8	100	11	1 445,00	1 318,75	1 446,00	3 940,65	-0,07						
8	100	12	1 431,00	1 312,12	1 431,00	3 948,84	0,00						
8	100	13	1 440,00	1 308,50	1 434,00	3 938,41	0,42						
8	100	14	1 427,00	1 315,12	1 439,00	3 940,65	-0,84						
8	100	15	1 454,00	1 319,62	1 444,00	3 933,42	0,69						
10	20	1	257,00	210,40	248,00	80,78	3,50				10 Makine 20 İş	1,95	80,95
10	20	2	252,00	209,50	242,00	81,00	3,97						
10	20	3	254,00	210,10	253,00	81,68	0,39						
10	20	4	257,00	210,30	249,00	81,90	3,11						
10	20	5	247,00	211,90	243,00	80,48	1,62						
10	20	6	248,00	209,70	246,00	81,68	0,81						
10	20	7	250,00	211,50	242,00	81,82	3,20						
10	20	8	264,00	209,90	254,00	80,31	3,79						

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$			GALA Hesaplama Süresi(sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi
			ACO	Alt Sınır	GALA					
10	20	9	242,00	210,20	242,00	80,14	0,00			
10	20	10	253,00	209,50	249,00	80,12	1,58			
10	20	11	248,00	212,60	249,00	80,34	-0,40			
10	20	12	249,00	210,80	250,00	80,37	-0,40			
10	20	13	265,00	208,60	251,00	81,06	5,28			
10	20	14	252,00	215,30	248,00	80,23	1,59			
10	20	15	250,00	212,50	247,00	82,27	1,20			
10	40	1	484,00	422,00	482,00	446,07	0,41	10 Makine 40 İş	0,62	451,70
10	40	2	497,00	422,50	486,00	451,73	2,21			
10	40	3	487,00	418,80	474,00	451,95	2,67			
10	40	4	474,00	417,10	479,00	457,91	-1,05			
10	40	5	494,00	417,60	491,00	455,27	0,61			
10	40	6	481,00	422,90	478,00	456,11	0,62			
10	40	7	480,00	418,00	484,00	449,17	-0,83			
10	40	8	485,00	418,10	482,00	457,08	0,62			
10	40	9	503,00	421,50	490,00	455,80	2,58			
10	40	10	492,00	420,00	480,00	442,02	2,44			
10	40	11	476,00	421,30	485,00	448,56	-1,89			
10	40	12	471,00	417,70	469,00	451,49	0,42			
10	40	13	492,00	419,90	485,00	444,01	1,42			

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$			GALA Hesaplama Süresi(sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi
			ACO	Alt Sınır	GALA					
10	40	14	479,00	420,00	493,00	449,12	-2,92	10 Makine 60 İş	-2,07	1 199,50
10	40	15	488,00	420,90	478,00	459,26	2,05			
10	60	1	724,00	627,20	738,00	1 203,56	-1,93			
10	60	2	714,00	625,30	732,00	1 199,44	-2,52			
10	60	3	703,00	626,10	733,00	1 206,88	-4,27			
10	60	4	712,00	623,40	708,00	1 201,79	0,56			
10	60	5	704,00	622,20	734,00	1 196,66	-4,26			
10	60	6	710,00	626,40	709,00	1 200,48	0,14			
10	60	7	702,00	629,60	723,00	1 196,04	-2,99			
10	60	8	703,00	628,90	721,00	1 198,72	-2,56			
10	60	9	720,00	627,10	749,00	1 201,48	-4,03			
10	60	10	700,00	621,60	710,00	1 195,32	-1,43			
10	60	11	709,00	628,70	726,00	1 196,72	-2,40			
10	60	12	707,00	625,00	711,00	1 199,91	-0,57			
10	60	13	690,00	624,60	709,00	1 199,61	-2,75			
10	60	14	713,00	623,60	711,00	1 197,41	0,28			
10	60	15	713,00	623,70	730,00	1 198,44	-2,38			

**EK 5 Büyük Problemler İçin Sonuçlar (GALA,  $P_c$ : 1, Nesil Sayısı: 500)**

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$			GALA Hesapl. Süresi (sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi (sn.)	GALA Ortalama $C_{max}$	GALA Standart Sapma $C_{max}$	ACO Ortalama $C_{max}$	ACO Standart Sapma $C_{max}$
			ACO	Alt Sınır	GALA									
2	20	1	1 295,00	1 244,50	1 297,00	106,00	-0,15	2 Makine 20 İş	0,13	107,94	1 236,20	31,39	1 237,80	32,15
2	20	2	1 217,00	1 173,50	1 218,00	110,50	-0,08							
2	20	3	1 252,00	1 177,00	1 240,00	109,94	0,96							
2	20	4	1 244,00	1 198,00	1 244,00	110,17	0,00							
2	20	5	1 277,00	1 220,50	1 272,00	105,33	0,39							
2	20	6	1 254,00	1 212,00	1 254,00	106,53	0,00							
2	20	7	1 205,00	1 171,50	1 205,00	104,95	0,00							
2	20	8	1 243,00	1 191,50	1 243,00	105,77	0,00							
2	20	9	1 228,00	1 187,50	1 227,00	107,58	0,08							
2	20	10	1 208,00	1 157,50	1 200,00	106,50	0,66							
2	20	11	1 223,00	1 169,00	1 223,00	105,84	0,00							
2	20	12	1 196,00	1 153,50	1 196,00	109,50	0,00							
2	20	13	1 192,00	1 129,50	1 196,00	109,88	-0,34							
2	20	14	1 245,00	1 192,50	1 245,00	110,42	0,00							
2	20	15	1 288,00	1 209,50	1 283,00	110,19	0,39							
4	20	1	619,00	547,50	604,00	169,61	2,42	4 Makine 20 İş	1,19	169,94	609,73	10,50	617,13	11,23
4	20	2	617,00	559,75	609,00	170,45	1,30							
4	20	3	610,00	548,50	602,00	169,33	1,31							

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$			GALA Hesapl. Süresi (sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi (sn.)	GALA Ortalama $C_{max}$	GALA Standart Sapma $C_{max}$	ACO Ortalama $C_{max}$	ACO Standart Sapma $C_{max}$
			ACO	Alt Sınır	GALA									
4	20	4	648,00	568,75	637,00	169,86	1,70	6 Makine 20 İş	1,49	213,03	445,93	4,76	452,73	6,77
4	20	5	609,00	558,00	609,00	170,22	0,00							
4	20	6	598,00	546,00	592,00	170,63	1,00							
4	20	7	611,00	563,00	611,00	170,31	0,00							
4	20	8	624,00	568,00	618,00	169,84	0,96							
4	20	9	621,00	575,75	613,00	170,45	1,29							
4	20	10	624,00	562,25	610,00	168,94	2,24							
4	20	11	623,00	573,50	616,00	170,27	1,12							
4	20	12	609,00	551,25	597,00	168,80	1,97							
4	20	13	621,00	563,00	615,00	171,00	0,97							
4	20	14	612,00	573,75	612,00	169,80	0,00							
4	20	15	611,00	553,50	601,00	169,55	1,64							
6	20	1	441,00	356,33	434,00	212,08	1,59							
6	20	2	454,00	364,33	443,00	213,58	2,42							
6	20	3	462,00	364,33	450,00	212,58	2,60							
6	20	4	452,00	359,83	449,00	212,52	0,66							
6	20	5	457,00	365,67	449,00	213,56	1,75							
6	20	6	441,00	360,83	441,00	212,27	0,00							
6	20	7	441,00	354,33	441,00	212,23	0,00							
6	20	8	461,00	367,83	451,00	211,88	2,17							

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$			GALA Hesapl. Süresi (sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi (sn.)	GALA Ortalama $C_{max}$	GALA Standart Sapma $C_{max}$	ACO Ortalama $C_{max}$	ACO Standart Sapma $C_{max}$
			ACO	Alt Sınır	GALA									
6	20	9	455,00	375,50	449,00	214,98	1,32							
6	20	10	453,00	357,00	446,00	214,13	1,55							
6	20	11	452,00	356,33	445,00	212,88	1,55							
6	20	12	454,00	360,00	444,00	212,20	2,20							
6	20	13	458,00	368,00	452,00	213,27	1,31							
6	20	14	453,00	366,50	448,00	213,59	1,10							
6	20	15	457,00	359,17	447,00	213,66	2,19							
6	40	1	814,00	716,83	790,00	1 093,14	2,95	6 Makine	1,80	1 096,83	790,87	8,42	805,40	10,39
6	40	2	793,00	715,00	789,00	1 095,09	0,50	40 İş						
6	40	3	805,00	716,00	784,00	1 096,86	2,61							
6	40	4	795,00	711,50	778,00	1 095,88	2,14							
6	40	5	809,00	711,50	788,00	1 091,88	2,60							
6	40	6	812,00	723,67	800,00	1 098,31	1,48							
6	40	7	807,00	716,67	785,00	1 093,59	2,73							
6	40	8	787,00	711,33	778,00	1 096,56	1,14							
6	40	9	806,00	711,17	798,00	1 095,00	0,99							
6	40	10	822,00	723,67	803,00	1 102,44	2,31							
6	40	11	805,00	724,00	799,00	1 117,11	0,75							
6	40	12	794,00	716,50	790,00	1 093,91	0,50							
6	40	13	823,00	733,50	805,00	1 096,47	2,19							



Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$			GALA Hesapl. Süresi (sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi (sn.)	GALA Ortalama $C_{max}$	GALA Standart Sapma $C_{max}$	ACO Ortalama $C_{max}$	ACO Standart Sapma $C_{max}$
			ACO	Alt Sınır	GALA									
6	40	14	799,00	709,00	789,00	1 093,06	1,25							
6	40	15	810,00	708,00	787,00	1 093,19	2,84							
6	60	1	1 139,00	1 062,50	1 147,00	3 010,27	-0,70	6 Makine 60 İş	0,08	3 012,35	1 162,40	8,62	1 163,47	15,87
6	60	2	1 151,00	1 069,67	1 154,00	3 007,08	-0,26							
6	60	3	1 188,00	1 070,50	1 165,00	3 016,13	1,94							
6	60	4	1 161,00	1 068,33	1 157,00	3 008,30	0,34							
6	60	5	1 143,00	1 072,00	1 162,00	3 015,28	-1,66							
6	60	6	1 170,00	1 065,33	1 164,00	3 014,16	0,51							
6	60	7	1 173,00	1 083,67	1 175,00	3 016,28	-0,17							
6	60	8	1 158,00	1 074,67	1 152,00	3 012,17	0,52							
6	60	9	1 150,00	1 061,83	1 156,00	3 013,08	-0,52							
6	60	10	1 161,00	1 079,17	1 174,00	3 006,63	-1,12							
6	60	11	1 158,00	1 067,50	1 158,00	3 010,47	0,00							
6	60	12	1 192,00	1 083,00	1 176,00	3 012,16	1,34							
6	60	13	1 186,00	1 067,67	1 169,00	3 014,25	1,43							
6	60	14	1 157,00	1 073,50	1 164,00	3 010,95	-0,61							
6	60	15	1 165,00	1 072,83	1 163,00	3 018,13	0,17							
6	80	1	1 554,00	1 430,00	1 546,00	6 194,03	0,51	6 Makine 80 İş	0,09	6 201,28	1 543,93	10,00	1 545,33	11,49
6	80	2	1 544,00	1 429,00	1 551,00	6 185,70	-0,45							
6	80	3	1 549,00	1 424,33	1 544,00	6 196,16	0,32							

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$			GALA Hesapl. Süresi (sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi (sn.)	GALA Ortalama $C_{max}$	GALA Standart Sapma $C_{max}$	ACO Ortalama $C_{max}$	ACO Standart Sapma $C_{max}$							
			ACO	Alt Sınır	GALA																
6	80	4	1 523,00	1 426,33	1 537,00	6 198,13	-0,92														
6	80	5	1 552,00	1 427,83	1 543,00	6 196,50	0,58														
6	80	6	1 560,00	1 425,83	1 535,00	6 199,80	1,60														
6	80	7	1 529,00	1 421,00	1 526,00	6 190,86	0,20														
6	80	8	1 539,00	1 424,00	1 539,00	6 222,56	0,00														
6	80	9	1 541,00	1 435,33	1 551,00	6 202,28	-0,65														
6	80	10	1 557,00	1 443,50	1 555,00	6 199,66	0,13														
6	80	11	1 555,00	1 448,67	1 569,00	6 201,73	-0,90														
6	80	12	1 529,00	1 418,83	1 538,00	6 189,91	-0,59														
6	80	13	1 558,00	1 425,00	1 543,00	6 203,94	0,96														
6	80	14	1 548,00	1 434,17	1 544,00	6 193,30	0,26														
6	80	15	1 542,00	1 423,00	1 538,00	6 244,58	0,26														
8	20	1	343,00	263,50	340,00	237,80	0,87								8 Makine 20 İş	2,12	238,27	340,13	5,01	347,60	8,38
8	20	2	346,00	273,38	341,00	238,52	1,45														
8	20	3	344,00	266,00	341,00	237,39	0,87														
8	20	4	344,00	264,75	340,00	238,31	1,16														
8	20	5	341,00	261,75	331,00	237,66	2,93														
8	20	6	350,00	266,25	336,00	237,44	4,00														
8	20	7	362,00	268,88	345,00	236,64	4,70														
8	20	8	339,00	263,75	334,00	239,38	1,47														

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$			GALA Hesapl. Süresi (sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi (sn.)	GALA Ortalama $C_{max}$	GALA Standart Sapma $C_{max}$	ACO Ortalama $C_{max}$	ACO Standart Sapma $C_{max}$
			ACO	Alt Sınır	GALA									
8	20	9	352,00	265,00	341,00	238,23	3,13	8 Makine 40 İş	1,65	1 239,80	589,27	4,35	599,27	9,30
8	20	10	341,00	268,13	338,00	236,86	0,88							
8	20	11	360,00	272,88	343,00	239,70	4,72							
8	20	12	342,00	267,25	339,00	239,50	0,88							
8	20	13	365,00	275,00	353,00	239,08	3,29							
8	20	14	343,00	268,25	342,00	238,34	0,29							
8	20	15	342,00	263,63	338,00	239,25	1,17							
8	40	1	599,00	532,13	586,00	1 237,94	2,17							
8	40	2	621,00	528,88	586,00	1 240,56	5,64							
8	40	3	604,00	531,00	585,00	1 239,77	3,15							
8	40	4	597,00	531,25	591,00	1 240,81	1,01							
8	40	5	609,00	539,00	597,00	1 237,02	1,97							
8	40	6	593,00	529,25	587,00	1 241,77	1,01							
8	40	7	611,00	534,88	588,00	1 241,45	3,76							
8	40	8	593,00	521,63	588,00	1 240,03	0,84							
8	40	9	587,00	523,13	585,00	1 238,22	0,34							
8	40	10	591,00	525,25	586,00	1 236,58	0,85							
8	40	11	589,00	530,38	587,00	1 237,77	0,34							
8	40	12	600,00	529,38	590,00	1 240,69	1,67							
8	40	13	592,00	528,38	589,00	1 241,58	0,51							

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$			GALA Hesapl. Süresi (sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi (sn.)	GALA Ortalama $C_{max}$	GALA Standart Sapma $C_{max}$	ACO Ortalama $C_{max}$	ACO Standart Sapma $C_{max}$
			ACO	Alt Sınır	GALA									
8	40	14	599,00	528,38	597,00	1 238,25	0,33							
8	40	15	604,00	533,50	597,00	1 244,58	1,16							
8	60	1	905,00	793,88	888,00	3 311,42	1,88	8 Makine 60 İş	1,24	3 313,30	882,67	6,09	893,80	10,19
8	60	2	900,00	794,50	887,00	3 304,80	1,44							
8	60	3	888,00	789,50	878,00	3 310,75	1,13							
8	60	4	896,00	797,38	893,00	3 312,88	0,33							
8	60	5	889,00	794,13	890,00	3 312,00	-0,11							
8	60	6	915,00	794,50	890,00	3 315,66	2,73							
8	60	7	896,00	789,63	877,00	3 312,22	2,12							
8	60	8	878,00	790,50	880,00	3 313,20	-0,23							
8	60	9	878,00	791,00	883,00	3 309,42	-0,57							
8	60	10	896,00	791,25	878,00	3 318,16	2,01							
8	60	11	881,00	791,25	877,00	3 306,64	0,45							
8	60	12	900,00	790,25	878,00	3 321,58	2,44							
8	60	13	894,00	784,13	872,00	3 316,69	2,46							
8	60	14	901,00	795,25	885,00	3 317,39	1,78							
8	60	15	890,00	789,00	884,00	3 316,67	0,67							
8	100	1	1 426,00	1 308,38	1 423,00	12 770,45	0,21	8 Makine 100 İş	0,56	12 736,27	1 430,87	5,08	1 439,07	12,91
8	100	2	1 437,00	1 312,62	1 433,00	12 780,16	0,28							
8	100	3	1 445,00	1 322,62	1 439,00	12 776,95	0,42							

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$			GALA Hesapl. Süresi (sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi (sn.)	GALA Ortalama $C_{max}$	GALA Standart Sapma $C_{max}$	ACO Ortalama $C_{max}$	ACO Standart Sapma $C_{max}$
			ACO	Alt Sınır	GALA									
8	100	4	1 416,00	1 306,50	1 427,00	12 777,16	-0,78	10 Makine 20 İş	2,66	267,34	245,73	4,18	252,53	6,20
8	100	5	1 452,00	1 324,75	1 429,00	12 673,44	1,58							
8	100	6	1 418,00	1 310,38	1 421,00	12 618,41	-0,21							
8	100	7	1 450,00	1 317,62	1 432,00	12 607,86	1,24							
8	100	8	1 452,00	1 314,50	1 426,00	12 614,45	1,79							
8	100	9	1 439,00	1 315,00	1 430,00	12 631,08	0,63							
8	100	10	1 454,00	1 324,25	1 436,00	12 827,19	1,24							
8	100	11	1 445,00	1 318,75	1 436,00	12 817,30	0,62							
8	100	12	1 431,00	1 312,12	1 433,00	12 762,64	-0,14							
8	100	13	1 440,00	1 308,50	1 429,00	12 796,64	0,76							
8	100	14	1 427,00	1 315,12	1 435,00	12 813,83	-0,56							
8	100	15	1 454,00	1 319,62	1 434,00	12 776,55	1,38							
10	20	1	257,00	210,40	248,00	266,89	3,50							
10	20	2	252,00	209,50	250,00	268,30	0,79							
10	20	3	254,00	210,10	250,00	267,05	1,57							
10	20	4	257,00	210,30	249,00	267,83	3,11							
10	20	5	247,00	211,90	239,00	267,86	3,24							
10	20	6	248,00	209,70	243,00	267,25	2,02							
10	20	7	250,00	211,50	242,00	265,17	3,20							
10	20	8	264,00	209,90	251,00	266,80	4,92							

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$			GALA Hesapl. Süresi (sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi (sn.)	GALA Ortalama $C_{max}$	GALA Standart Sapma $C_{max}$	ACO Ortalama $C_{max}$	ACO Standart Sapma $C_{max}$
			ACO	Alt Sınır	GALA									
10	20	9	242,00	210,20	243,00	266,33	-0,41							
10	20	10	253,00	209,50	249,00	269,45	1,58							
10	20	11	248,00	212,60	241,00	269,66	2,82							
10	20	12	249,00	210,80	251,00	264,88	-0,80							
10	20	13	265,00	208,60	243,00	269,13	8,30							
10	20	14	252,00	215,30	246,00	265,61	2,38							
10	20	15	250,00	212,50	241,00	267,98	3,60							
10	40	1	484,00	422,00	469,00	1 396,83	3,10	10 Makine	2,24	1 396,59	474,53	3,48	485,53	8,99
10	40	2	497,00	422,50	473,00	1 400,17	4,83	40 İş						
10	40	3	487,00	418,80	470,00	1 398,44	3,49							
10	40	4	474,00	417,10	473,00	1 394,09	0,21							
10	40	5	494,00	417,60	476,00	1 397,13	3,64							
10	40	6	481,00	422,90	473,00	1 396,08	1,66							
10	40	7	480,00	418,00	479,00	1 394,63	0,21							
10	40	8	485,00	418,10	477,00	1 398,72	1,65							
10	40	9	503,00	421,50	475,00	1 396,95	5,57							
10	40	10	492,00	420,00	477,00	1 392,70	3,05							
10	40	11	476,00	421,30	472,00	1 398,33	0,84							
10	40	12	471,00	417,70	470,00	1 394,20	0,21							
10	40	13	492,00	419,90	476,00	1 400,48	3,25							

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$			GALA Hesapl. Süresi (sn.)	$\delta$	Grup	Ortalama $\delta$	GALA Ortalama Hesaplama Süresi (sn.)	GALA Ortalama $C_{max}$	GALA Standart Sapma $C_{max}$	ACO Ortalama $C_{max}$	ACO Standart Sapma $C_{max}$
			ACO	Alt Sınır	GALA									
10	40	14	479,00	420,00	481,00	1 391,30	-0,42							
10	40	15	488,00	420,90	477,00	1 398,88	2,25							
10	60	1	724,00	627,20	694,00	3 720,84	4,14	10 Makine	1,23	3 715,72	699,47	5,73	708,27	8,44
10	60	2	714,00	625,30	711,00	3 726,88	0,42	60 İş						
10	60	3	703,00	626,10	701,00	3 718,30	0,28							
10	60	4	712,00	623,40	708,00	3 719,09	0,56							
10	60	5	704,00	622,20	698,00	3 708,69	0,85							
10	60	6	710,00	626,40	697,00	3 711,06	1,83							
10	60	7	702,00	629,60	696,00	3 717,83	0,85							
10	60	8	703,00	628,90	702,00	3 716,78	0,14							
10	60	9	720,00	627,10	697,00	3 710,75	3,19							
10	60	10	700,00	621,60	692,00	3 711,67	1,14							
10	60	11	709,00	628,70	703,00	3 719,88	0,85							
10	60	12	707,00	625,00	702,00	3 714,70	0,71							
10	60	13	690,00	624,60	689,00	3 707,27	0,14							
10	60	14	713,00	623,60	701,00	3 715,00	1,68							
10	60	15	713,00	623,70	701,00	3 717,09	1,68							

**EK 6 Küçük Problemler İçin Sonuçlar (GALA ve GAspLA,  $P_c:1$ , Nesil Sayısı: 500)**

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GAspLA Hesaplama Süresi (sn.)	Alt Sınırdan Sapma Yüzdesi			Grup	Ortalama Alt Sınırdan Sapma Yüzdesi		
			Alt Sınır	ACO	GALA	GAspLA		ACO	GALA	GAspLA		ACO	GALA	GAspLA
2	6	1	358,00	390,00	390,00	390,00	9,51	8,94	8,94	8,94	2 Makine 6 İş	11,14	11,14	11,14
2	6	2	390,00	410,00	410,00	410,00	9,60	5,13	5,13	5,13				
2	6	3	362,00	410,00	410,00	410,00	11,89	13,26	13,26	13,26				
2	6	4	356,50	380,00	380,00	380,00	9,91	6,59	6,59	6,59				
2	6	5	344,50	399,00	399,00	399,00	10,77	15,82	15,82	15,82				
2	6	6	369,00	397,00	397,00	397,00	8,35	7,59	7,59	7,59				
2	6	7	354,50	394,00	394,00	394,00	8,92	11,14	11,14	11,14				
2	6	8	358,50	379,00	379,00	379,00	8,95	5,72	5,72	5,72				
2	6	9	375,50	407,00	407,00	407,00	9,60	8,39	8,39	8,39				
2	6	10	364,50	394,00	394,00	394,00	10,32	8,09	8,09	8,09				
2	6	11	368,50	388,00	388,00	388,00	9,15	5,29	5,29	5,29				
2	6	12	365,00	396,00	396,00	396,00	10,17	8,49	8,49	8,49				
2	6	13	365,50	384,00	384,00	384,00	9,53	5,06	5,06	5,06				
2	6	14	247,50	369,00	369,00	369,00	11,77	49,09	49,09	49,09				
2	6	15	391,00	424,00	424,00	424,00	10,28	8,44	8,44	8,44				
2	7	1	422,50	484,00	484,00	470,50	13,13	14,56	14,56	11,36	2 Makine 7 İş	14,97	14,97	14,77
2	7	2	447,00	527,00	527,00	599,50	13,14	17,90	17,90	34,12				
2	7	3	421,00	498,00	498,00	491,00	14,04	18,29	18,29	16,63				
2	7	4	411,50	467,00	467,00	467,00	12,72	13,49	13,49	13,49				



Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GAspLA Hesaplama Süresi (sn.)	Alt Sınırdan Sapma Yüzdesi			Grup	Ortalama Alt Sınırdan Sapma Yüzdesi		
			Alt Sınır	ACO	GALA	GAspLA		ACO	GALA	GAspLA		ACO	GALA	GAspLA
2	7	5	422,00	495,00	495,00	494,50	13,78	17,30	17,30	17,18				
2	7	6	412,00	493,00	493,00	472,50	12,16	19,66	19,66	14,68				
2	7	7	407,50	470,00	470,00	461,50	13,94	15,34	15,34	13,25				
2	7	8	447,50	516,00	516,00	498,50	13,11	15,31	15,31	11,40				
2	7	9	439,50	496,00	496,00	496,00	13,62	12,86	12,86	12,86				
2	7	10	423,50	490,00	490,00	490,00	12,84	15,70	15,70	15,70				
2	7	11	429,00	489,00	489,00	487,50	12,11	13,99	13,99	13,64				
2	7	12	417,00	483,00	483,00	483,00	10,71	15,83	15,83	15,83				
2	7	13	438,00	493,00	493,00	480,50	13,85	12,56	12,56	9,70				
2	7	14	437,50	488,00	488,00	487,50	12,05	11,54	11,54	11,43				
2	7	15	431,50	476,00	476,00	476,00	13,67	10,31	10,31	10,31				
2	8	1	462,50	494,00	494,00	494,00	16,71	6,81	6,81	6,81	2 Makine	8,15	8,15	8,15
2	8	2	498,50	523,00	523,00	523,00	16,87	4,91	4,91	4,91	8 İş			
2	8	3	447,50	508,00	508,00	508,00	18,99	13,52	13,52	13,52				
2	8	4	510,00	539,00	539,00	539,00	16,05	5,69	5,69	5,69				
2	8	5	473,00	509,00	509,00	509,00	15,00	7,61	7,61	7,61				
2	8	6	460,00	502,00	502,00	502,00	17,75	9,13	9,13	9,13				
2	8	7	473,50	522,00	522,00	522,00	15,43	10,24	10,24	10,24				
2	8	8	498,50	534,00	534,00	534,00	15,98	7,12	7,12	7,12				
2	8	9	482,00	518,00	518,00	518,00	14,97	7,47	7,47	7,47				
2	8	10	475,50	517,00	517,00	517,00	15,95	8,73	8,73	8,73				

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GAspLA Hesaplama Süresi (sn.)	Alt Sınırdan Sapma Yüzdesi			Grup	Ortalama Alt Sınırdan Sapma Yüzdesi		
			Alt Sınır	ACO	GALA	GAspLA		ACO	GALA	GAspLA		ACO	GALA	GAspLA
2	8	11	467,50	511,00	511,00	511,00	15,92	9,30	9,30	9,30				
2	8	12	479,50	509,00	509,00	509,00	15,88	6,15	6,15	6,15				
2	8	13	465,00	505,00	505,00	505,00	13,45	8,60	8,60	8,60				
2	8	14	495,00	563,00	563,00	563,00	16,08	13,74	13,74	13,74				
2	8	15	491,50	507,00	507,00	507,00	14,03	3,15	3,15	3,15				
2	9	1	571,50	627,00	627,00	627,00	19,07	9,71	9,71	9,71	2 Makine	10,90	10,90	10,02
2	9	2	532,50	603,00	603,00	582,50	19,78	13,24	13,24	9,39	9 İş			
2	9	3	527,50	558,00	558,00	558,00	21,35	5,78	5,78	5,78				
2	9	4	559,50	618,00	618,00	618,00	22,79	10,46	10,46	10,46				
2	9	5	512,00	571,00	571,00	571,00	20,51	11,52	11,52	11,52				
2	9	6	526,00	589,00	589,00	589,00	18,37	11,98	11,98	11,98				
2	9	7	549,50	611,00	611,00	607,00	24,96	11,19	11,19	10,46				
2	9	8	574,00	624,00	624,00	624,00	17,55	8,71	8,71	8,71				
2	9	9	532,50	594,00	594,00	591,50	21,57	11,55	11,55	11,08				
2	9	10	544,50	612,00	612,00	604,50	20,10	12,40	12,40	11,02				
2	9	11	516,00	579,00	579,00	579,00	17,44	12,21	12,21	12,21				
2	9	12	549,50	588,00	588,00	588,00	22,38	7,01	7,01	7,01				
2	9	13	521,50	599,00	599,00	578,50	22,99	14,86	14,86	10,93				
2	9	14	555,00	610,00	610,00	610,00	17,44	9,91	9,91	9,91				
2	9	15	525,50	594,00	594,00	579,00	23,06	13,04	13,04	10,18				
2	10	1	605,50	647,00	647,00	647,00	28,37	6,85	6,85	6,85	2 Makine	6,16	6,16	6,16

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GAspLA Hesaplama Süresi (sn.)	Alt Sınırdan Sapma Yüzdesi			Grup	Ortalama Alt Sınırdan Sapma Yüzdesi		
			Alt Sınır	ACO	GALA	GAspLA		ACO	GALA	GAspLA		ACO	GALA	GAspLA
2	10	2	563,50	607,00	607,00	607,00	26,60	7,72	7,72	7,72	10 İş			
2	10	3	624,50	646,00	646,00	646,00	28,96	3,44	3,44	3,44				
2	10	4	598,50	654,00	654,00	654,00	27,42	9,27	9,27	9,27				
2	10	5	586,00	611,00	611,00	611,00	22,55	4,27	4,27	4,27				
2	10	6	581,50	628,00	628,00	628,00	24,62	8,00	8,00	8,00				
2	10	7	611,00	639,00	639,00	639,00	29,00	4,58	4,58	4,58				
2	10	8	624,50	655,00	655,00	655,00	26,20	4,88	4,88	4,88				
2	10	9	597,00	625,00	625,00	625,00	23,86	4,69	4,69	4,69				
2	10	10	583,50	636,00	636,00	636,00	21,99	9,00	9,00	9,00				
2	10	11	590,00	610,00	610,00	610,00	27,28	3,39	3,39	3,39				
2	10	12	619,00	648,00	648,00	648,00	27,93	4,68	4,68	4,68				
2	10	13	630,00	677,00	677,00	677,00	25,70	7,46	7,46	7,46				
2	10	14	582,50	631,00	631,00	631,00	26,67	8,33	8,33	8,33				
2	10	15	633,50	670,00	670,00	670,00	26,04	5,76	5,76	5,76				
2	11	1	661,50	706,00	706,00	706,00	31,51	6,73	6,73	6,73		2 Makine	8,78	8,73
2	11	2	654,50	698,00	698,00	698,00	30,06	6,65	6,65	6,65	11 İş			
2	11	3	683,50	742,00	737,00	734,00	27,94	8,56	7,83	7,39				
2	11	4	625,50	693,00	693,00	686,00	33,01	10,79	10,79	9,67				
2	11	5	650,50	699,00	699,00	699,00	25,25	7,46	7,46	7,46				
2	11	6	661,50	736,00	736,00	736,00	26,59	11,26	11,26	11,26				
2	11	7	680,50	707,00	707,00	707,00	27,51	3,89	3,89	3,89				

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GAspLA Hesaplama Süresi (sn.)	Alt Sınırdan Sapma Yüzdesi			Grup	Ortalama Alt Sınırdan Sapma Yüzdesi		
			Alt Sınır	ACO	GALA	GAspLA		ACO	GALA	GAspLA		ACO	GALA	GAspLA
2	11	8	633,50	686,00	686,00	686,00	30,16	8,29	8,29	8,29				
2	11	9	674,50	731,00	731,00	731,00	31,42	8,38	8,38	8,38				
2	11	10	619,00	684,00	684,00	680,00	31,19	10,50	10,50	9,85				
2	11	11	664,00	691,00	691,00	691,00	31,27	4,07	4,07	4,07				
2	11	12	629,00	715,00	715,00	691,00	31,73	13,67	13,67	9,86				
2	11	13	660,00	725,00	725,00	725,00	32,79	9,85	9,85	9,85				
2	11	14	635,00	703,00	703,00	693,50	33,05	10,71	10,71	9,21				
2	11	15	672,00	745,00	745,00	745,00	27,64	10,86	10,86	10,86				
4	6	1	164,25	235,00	235,00	234,00	13,69	43,07	43,07	42,47	4 Makine 6 İş	41,96	41,96	35,52
4	6	2	176,00	250,00	250,00	237,00	16,29	42,05	42,05	34,66				
4	6	3	169,00	243,00	243,00	243,00	11,42	43,79	43,79	43,79				
4	6	4	171,25	244,00	244,00	218,50	14,50	42,48	42,48	27,59				
4	6	5	170,50	238,00	238,00	235,50	15,28	39,59	39,59	38,12				
4	6	6	173,75	253,00	253,00	218,00	19,53	45,61	45,61	25,47				
4	6	7	183,25	258,00	258,00	237,50	16,46	40,79	40,79	29,60				
4	6	8	173,25	249,00	249,00	232,50	15,24	43,72	43,72	34,20				
4	6	9	177,75	243,00	243,00	224,00	18,23	36,71	36,71	26,02				
4	6	10	167,25	249,00	249,00	237,00	13,02	48,88	48,88	41,70				
4	6	11	168,75	244,00	244,00	237,00	18,60	44,59	44,59	40,44				
4	6	12	171,00	232,00	232,00	232,00	13,69	35,67	35,67	35,67				
4	6	13	175,00	247,00	247,00	230,50	16,37	41,14	41,14	31,71				

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GAspLA Hesaplama Süresi (sn.)	Alt Sınırdan Sapma Yüzdesi			Grup	Ortalama Alt Sınırdan Sapma Yüzdesi		
			Alt Sınır	ACO	GALA	GAspLA		ACO	GALA	GAspLA		ACO	GALA	GAspLA
4	6	14	177,25	242,00	242,00	242,00	11,01	36,53	36,53	36,53				
4	6	15	171,25	248,00	248,00	248,00	12,60	44,82	44,82	44,82				
4	7	1	202,75	258,00	258,00	245,00	22,11	27,25	27,25	20,84	4 Makine	25,82	25,82	22,48
4	7	2	210,00	263,00	263,00	247,00	22,25	25,24	25,24	17,62	7 İş			
4	7	3	193,00	241,00	241,00	240,00	21,95	24,87	24,87	24,35				
4	7	4	198,50	248,00	248,00	241,00	22,12	24,94	24,94	21,41				
4	7	5	202,75	257,00	257,00	257,00	17,44	26,76	26,76	26,76				
4	7	6	209,50	260,00	260,00	259,00	22,67	24,11	24,11	23,63				
4	7	7	194,25	243,00	243,00	243,00	18,98	25,10	25,10	25,10				
4	7	8	197,50	245,00	245,00	241,00	19,07	24,05	24,05	22,03				
4	7	9	197,00	249,00	249,00	227,00	19,35	26,40	26,40	15,23				
4	7	10	202,00	251,00	251,00	251,00	16,12	24,26	24,26	24,26				
4	7	11	196,25	249,00	249,00	247,00	19,23	26,88	26,88	25,86				
4	7	12	202,50	258,00	258,00	246,00	21,99	27,41	27,41	21,48				
4	7	13	201,00	262,00	262,00	249,00	23,44	30,35	30,35	23,88				
4	7	14	210,25	268,00	268,00	257,50	17,93	27,47	27,47	22,47				
4	7	15	189,75	232,00	232,00	232,00	16,45	22,27	22,27	22,27				
4	8	1	230,25	264,00	264,00	264,00	27,31	14,66	14,66	14,66	4 Makine	16,18	16,18	16,18
4	8	2	222,50	274,00	274,00	274,00	22,61	23,15	23,15	23,15	8 İş			
4	8	3	221,25	259,00	259,00	259,00	23,93	17,06	17,06	17,06				
4	8	4	215,00	255,00	255,00	255,00	25,39	18,60	18,60	18,60				

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GAspLA Hesaplama Süresi (sn.)	Alt Sınırdan Sapma Yüzdesi			Grup	Ortalama Alt Sınırdan Sapma Yüzdesi						
			Alt Sınır	ACO	GALA	GAspLA		ACO	GALA	GAspLA		ACO	GALA	GAspLA				
4	8	5	232,00	268,00	268,00	268,00	24,15	15,52	15,52	15,52								
4	8	6	236,75	260,00	260,00	260,00	22,53	9,82	9,82	9,82								
4	8	7	232,75	269,00	269,00	269,00	19,23	15,57	15,57	15,57								
4	8	8	226,00	256,00	256,00	256,00	24,41	13,27	13,27	13,27								
4	8	9	231,25	269,00	269,00	269,00	25,47	16,32	16,32	16,32								
4	8	10	232,00	273,00	273,00	273,00	29,25	17,67	17,67	17,67								
4	8	11	229,25	273,00	273,00	273,00	20,78	19,08	19,08	19,08								
4	8	12	221,25	252,00	252,00	252,00	23,58	13,90	13,90	13,90								
4	8	13	233,50	270,00	270,00	270,00	24,28	15,63	15,63	15,63								
4	8	14	230,00	269,00	269,00	269,00	23,77	16,96	16,96	16,96								
4	8	15	225,25	260,00	260,00	260,00	19,08	15,43	15,43	15,43								
4	9	1	265,25	345,00	345,00	331,00	30,09	30,07	30,07	24,79					4 Makine 9 İş	36,15	36,15	28,93
4	9	2	248,75	334,00	334,00	314,00	35,26	34,27	34,27	26,23								
4	9	3	261,25	361,00	361,00	335,00	37,31	38,18	38,18	28,23								
4	9	4	258,00	361,00	361,00	355,00	26,17	39,92	39,92	37,60								
4	9	5	257,00	348,00	348,00	345,50	31,76	35,41	35,41	34,44								
4	9	6	252,50	346,00	346,00	322,50	32,23	37,03	37,03	27,72								
4	9	7	248,00	337,00	337,00	312,50	28,43	35,89	35,89	26,01								
4	9	8	244,75	328,00	328,00	312,00	34,79	34,01	34,01	27,48								
4	9	9	252,25	348,00	348,00	322,00	33,10	37,96	37,96	27,65								
4	9	10	251,75	352,00	352,00	326,00	38,10	39,82	39,82	29,49								

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GAspLA Hesaplama Süresi (sn.)	Alt Sınırdan Sapma Yüzdesi			Grup	Ortalama Alt Sınırdan Sapma Yüzdesi		
			Alt Sınır	ACO	GALA	GAspLA		ACO	GALA	GAspLA		ACO	GALA	GAspLA
4	9	11	259,75	355,00	355,00	331,00	36,46	36,67	36,67	27,43				
4	9	12	251,00	343,00	343,00	334,00	33,29	36,65	36,65	33,07				
4	9	13	261,50	343,00	343,00	322,50	37,47	31,17	31,17	23,33				
4	9	14	244,25	338,00	338,00	314,50	38,12	38,38	38,38	28,76				
4	9	15	257,25	352,00	352,00	339,00	34,10	36,83	36,83	31,78				
4	10	1	283,50	360,00	360,00	352,50	40,08	26,98	26,98	24,34	4 Makine	25,46	25,44	20,35
4	10	2	281,25	341,00	341,00	335,50	37,93	21,24	21,24	19,29	10 İş			
4	10	3	275,00	354,00	354,00	331,50	40,72	28,73	28,73	20,55				
4	10	4	289,00	365,00	364,00	336,50	38,34	26,30	25,95	16,44				
4	10	5	293,50	374,00	374,00	351,50	43,70	27,43	27,43	19,76				
4	10	6	286,50	352,00	352,00	347,00	44,00	22,86	22,86	21,12				
4	10	7	280,50	349,00	349,00	327,00	40,22	24,42	24,42	16,58				
4	10	8	286,00	358,00	358,00	340,00	44,20	25,17	25,17	18,88				
4	10	9	288,50	366,00	366,00	347,00	40,10	26,86	26,86	20,28				
4	10	10	288,00	354,00	354,00	348,00	39,94	22,92	22,92	20,83				
4	10	11	279,50	357,00	357,00	357,00	37,37	27,73	27,73	27,73				
4	10	12	291,25	368,00	368,00	346,00	37,89	26,35	26,35	18,80				
4	10	13	297,75	381,00	381,00	360,50	47,21	27,96	27,96	21,07				
4	10	14	281,00	350,00	350,00	335,00	42,31	24,56	24,56	19,22				
4	10	15	297,25	364,00	364,00	358,00	36,17	22,46	22,46	20,44				
4	11	1	303,25	351,00	351,00	349,50	51,52	15,75	15,75	15,25	4 Makine	18,24	18,19	16,90

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GAspLA Hesaplama Süresi (sn.)	Alt Sınırdan Sapma Yüzdesi			Grup	Ortalama Alt Sınırdan Sapma Yüzdesi		
			Alt Sınır	ACO	GALA	GAspLA		ACO	GALA	GAspLA		ACO	GALA	GAspLA
4	11	2	315,75	371,00	371,00	371,00	50,24	17,50	17,50	17,50	11 İş			
4	11	3	314,50	380,00	380,00	374,00	49,56	20,83	20,83	18,92				
4	11	4	311,50	374,00	374,00	366,50	53,66	20,06	20,06	17,66				
4	11	5	313,75	366,00	366,00	363,00	48,43	16,65	16,65	15,70				
4	11	6	305,75	364,00	364,00	364,00	38,27	19,05	19,05	19,05				
4	11	7	304,75	358,00	358,00	354,00	41,72	17,47	17,47	16,16				
4	11	8	309,25	371,00	371,00	366,00	53,80	19,97	19,97	18,35				
4	11	9	306,50	365,00	365,00	353,00	46,99	19,09	19,09	15,17				
4	11	10	307,00	366,00	366,00	363,50	47,02	19,22	19,22	18,40				
4	11	11	315,00	374,00	372,00	372,00	44,77	18,73	18,10	18,10				
4	11	12	312,25	358,00	358,00	358,00	45,22	14,65	14,65	14,65				
4	11	13	301,25	360,00	360,00	353,00	55,65	19,50	19,50	17,18				
4	11	14	315,25	367,00	367,00	367,00	46,52	16,42	16,42	16,42				
4	11	15	313,50	372,00	372,00	360,50	49,80	18,66	18,66	14,99				
6	8	1	149,17	237,00	237,00	211,50	31,44	58,88	58,88	41,79				
6	8	2	145,50	227,00	227,00	213,00	36,64	56,01	56,01	46,39				
6	8	3	148,33	241,00	241,00	215,00	39,41	62,47	62,47	44,94				
6	8	4	148,83	233,00	233,00	216,00	33,80	56,55	56,55	45,13				
6	8	5	151,50	235,00	235,00	210,50	37,72	55,12	55,12	38,94				
6	8	6	143,17	231,00	231,00	216,50	33,83	61,35	61,35	51,22				
6	8	7	147,17	234,00	234,00	224,50	31,22	59,00	59,00	52,55				



Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GAspLA Hesaplama Süresi (sn.)	Alt Sınırdan Sapma Yüzdesi			Grup	Ortalama Alt Sınırdan Sapma Yüzdesi		
			Alt Sınır	ACO	GALA	GAspLA		ACO	GALA	GAspLA		ACO	GALA	GAspLA
6	8	8	145,00	238,00	238,00	210,00	36,17	64,14	64,14	44,83	6 Makine 9 İş	43,35	43,35	35,02
6	8	9	147,50	232,00	232,00	208,00	33,92	57,29	57,29	41,02				
6	8	10	148,83	233,00	233,00	221,00	29,10	56,55	56,55	48,49				
6	8	11	147,83	231,00	231,00	268,00	38,12	56,26	56,26	81,29				
6	8	12	153,00	243,00	243,00	228,00	29,10	58,82	58,82	49,02				
6	8	13	146,67	235,00	235,00	213,50	33,71	60,23	60,23	45,57				
6	8	14	152,67	246,00	246,00	225,50	31,34	61,14	61,14	47,71				
6	8	15	144,67	221,00	221,00	204,00	33,42	52,76	52,76	41,01				
6	9	1	171,67	247,00	247,00	227,50	44,64	43,88	43,88	32,52				
6	9	2	162,83	233,00	233,00	220,00	40,22	43,09	43,09	35,11				
6	9	3	164,50	225,00	225,00	223,00	37,62	36,78	36,78	35,56				
6	9	4	167,00	239,00	239,00	221,00	38,37	43,11	43,11	32,34				
6	9	5	163,33	246,00	246,00	227,00	48,56	50,61	50,61	38,98				
6	9	6	162,33	226,00	226,00	224,00	33,16	39,22	39,22	37,99				
6	9	7	164,83	238,00	238,00	229,00	45,20	44,39	44,39	38,93				
6	9	8	164,83	234,00	234,00	225,00	41,09	41,96	41,96	36,50				
6	9	9	168,83	238,00	238,00	224,00	47,93	40,97	40,97	32,68				
6	9	10	173,33	255,00	255,00	232,00	46,15	47,12	47,12	33,85				
6	9	11	165,67	243,00	243,00	227,00	36,76	46,68	46,68	37,02				
6	9	12	160,67	230,00	230,00	210,00	44,54	43,15	43,15	30,71				
6	9	13	170,67	241,00	241,00	227,00	42,66	41,21	41,21	33,01				

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GAspLA Hesaplama Süresi (sn.)	Alt Sınırdan Sapma Yüzdesi			Grup	Ortalama Alt Sınırdan Sapma Yüzdesi		
			Alt Sınır	ACO	GALA	GAspLA		ACO	GALA	GAspLA		ACO	GALA	GAspLA
6	9	14	168,33	239,00	239,00	234,00	42,87	41,98	41,98	39,01				
6	9	15	167,00	244,00	244,00	219,00	40,78	46,11	46,11	31,14				
6	10	1	183,00	244,00	244,00	236,00	49,92	33,33	33,33	28,96	6 Makine 10 İş	33,08	32,79	28,47
6	10	2	184,33	248,00	248,00	236,00	49,11	34,54	34,54	28,03				
6	10	3	184,00	247,00	247,00	241,00	48,80	34,24	34,24	30,98				
6	10	4	184,83	245,00	245,00	237,00	44,10	32,55	32,55	28,22				
6	10	5	183,17	239,00	239,00	235,00	46,70	30,48	30,48	28,30				
6	10	6	187,17	243,00	243,00	240,00	54,33	29,83	29,83	28,23				
6	10	7	186,17	248,00	248,00	234,00	52,89	33,21	33,21	25,69				
6	10	8	186,67	242,00	242,00	237,00	49,16	29,64	29,64	26,96				
6	10	9	182,00	242,00	241,00	235,50	54,00	32,97	32,42	29,40				
6	10	10	182,00	252,00	246,00	237,00	58,95	38,46	35,16	30,22				
6	10	11	189,67	259,00	258,00	250,00	47,24	36,56	36,03	31,81				
6	10	12	186,33	245,00	245,00	237,50	54,92	31,49	31,49	27,46				
6	10	13	186,67	247,00	247,00	245,00	41,39	32,32	32,32	31,25				
6	10	14	185,17	237,00	237,00	230,00	43,53	27,99	27,99	24,21				
6	10	15	186,83	259,00	259,00	238,00	46,28	38,63	38,63	27,39				
6	11	1	202,00	260,00	256,00	255,00	61,16	28,71	26,73	26,24	6 Makine 11 İş	24,21	23,88	21,81
6	11	2	203,00	254,00	254,00	245,00	59,98	25,12	25,12	20,69				
6	11	3	204,83	256,00	252,00	245,00	64,05	24,98	23,03	19,61				
6	11	4	201,67	254,00	254,00	247,00	66,20	25,95	25,95	22,48				

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GAspLA Hesaplama Süresi (sn.)	Alt Sınırdan Sapma Yüzdesi			Grup	Ortalama Alt Sınırdan Sapma Yüzdesi		
			Alt Sınır	ACO	GALA	GAspLA		ACO	GALA	GAspLA		ACO	GALA	GAspLA
6	11	5	205,83	244,00	244,00	244,00	48,82	18,54	18,54	18,54				
6	11	6	204,33	257,00	257,00	248,50	57,46	25,78	25,78	21,62				
6	11	7	197,00	255,00	254,00	249,00	69,67	29,44	28,93	26,40				
6	11	8	202,83	247,00	247,00	243,00	57,04	21,78	21,78	19,80				
6	11	9	207,00	255,00	255,00	248,00	60,88	23,19	23,19	19,81				
6	11	10	201,33	252,00	251,00	249,00	59,03	25,17	24,67	23,68				
6	11	11	196,50	244,00	244,00	238,00	54,61	24,17	24,17	21,12				
6	11	12	210,33	258,00	258,00	256,00	60,10	22,66	22,66	21,71				
6	11	13	199,33	248,00	248,00	245,00	60,53	24,41	24,41	22,91				
6	11	14	203,00	246,00	246,00	245,00	62,26	21,18	21,18	20,69				
6	11	15	199,83	244,00	244,00	243,50	65,30	22,10	22,10	21,85				
8	10	1	137,50	227,00	227,00	208,00	62,37	65,09	65,09	51,27	8 Makine	66,54	66,54	54,58
8	10	2	138,50	236,00	236,00	214,00	65,96	70,40	70,40	54,51	10 İş			
8	10	3	138,50	224,00	224,00	212,00	49,06	61,73	61,73	53,07				
8	10	4	133,00	225,00	225,00	206,00	62,06	69,17	69,17	54,89				
8	10	5	134,50	220,00	220,00	210,00	55,86	63,57	63,57	56,13				
8	10	6	135,63	216,00	216,00	207,50	62,05	59,26	59,26	53,00				
8	10	7	134,25	229,00	229,00	211,50	59,34	70,58	70,58	57,54				
8	10	8	135,63	223,00	223,00	198,00	56,59	64,42	64,42	45,99				
8	10	9	132,38	232,00	232,00	224,50	44,28	75,26	75,26	69,59				
8	10	10	137,38	230,00	230,00	217,00	54,52	67,42	67,42	57,96				

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GAspLA Hesaplama Süresi (sn.)	Alt Sınırdan Sapma Yüzdesi			Grup	Ortalama Alt Sınırdan Sapma Yüzdesi		
			Alt Sınır	ACO	GALA	GAspLA		ACO	GALA	GAspLA		ACO	GALA	GAspLA
8	10	11	134,25	225,00	225,00	203,50	73,98	67,60	67,60	51,58				
8	10	12	140,00	234,00	234,00	214,00	63,43	67,14	67,14	52,86				
8	10	13	135,25	219,00	219,00	201,00	51,14	61,92	61,92	48,61				
8	10	14	136,25	228,00	228,00	201,50	70,10	67,34	67,34	47,89				
8	10	15	134,00	224,00	224,00	219,50	43,77	67,16	67,16	63,81				
8	11	1	148,75	235,00	235,00	211,50	77,72	57,98	57,98	42,18	8 Makine 11 İş	56,28	56,28	44,73
8	11	2	144,00	234,00	234,00	224,00	73,75	62,50	62,50	55,56				
8	11	3	150,00	233,00	233,00	212,50	81,35	55,33	55,33	41,67				
8	11	4	151,38	227,00	227,00	219,50	64,98	49,96	49,96	45,00				
8	11	5	149,38	233,00	233,00	216,00	70,15	55,98	55,98	44,60				
8	11	6	148,75	232,00	232,00	222,00	63,02	55,97	55,97	49,24				
8	11	7	152,63	230,00	230,00	223,00	77,34	50,70	50,70	46,11				
8	11	8	147,88	240,00	240,00	215,50	74,46	62,30	62,30	45,73				
8	11	9	149,13	232,00	232,00	212,00	69,16	55,57	55,57	42,16				
8	11	10	144,63	228,00	228,00	204,50	99,03	57,65	57,65	41,40				
8	11	11	151,50	237,00	237,00	212,00	68,58	56,44	56,44	39,93				
8	11	12	149,88	231,00	231,00	222,00	63,40	54,13	54,13	48,12				
8	11	13	150,38	232,00	232,00	209,50	80,58	54,28	54,28	39,32				
8	11	14	146,38	238,00	238,00	217,00	75,32	62,60	62,60	48,25				
8	11	15	147,25	225,00	225,00	208,50	66,44	52,80	52,80	41,60				

**EK 7 Büyük Problemler İçin Sonuçlar (GALA ve GAspLA,  $P_c:1$ , Nesil Sayısı: 500)**

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GAspLA Hesaplama Süresi (sn.)	Alt Sınırdan Sapma Yüzdesi			Grup	Ortalama Alt Sınırdan Sapma Yüzdesi		
			Alt Sınır	ACO	GALA	GAspLA		ACO	GALA	GAspLA		ACO	GALA	GAspLA
4	20	1	547,50	619,00	604,00	604,00	129,50	13,06	10,32	10,32	4 Makine 20 İş	10,05	8,73	8,99
4	20	2	559,75	617,00	609,00	609,00	122,80	10,23	8,80	8,80				
4	20	3	548,50	610,00	602,00	606,00	125,77	11,21	9,75	10,48				
4	20	4	568,75	648,00	637,00	637,00	138,25	13,93	12,00	12,00				
4	20	5	558,00	609,00	609,00	609,00	164,61	9,14	9,14	9,14				
4	20	6	546,00	598,00	592,00	592,00	142,94	9,52	8,42	8,42				
4	20	7	563,00	611,00	611,00	611,00	170,69	8,53	8,53	8,53				
4	20	8	568,00	624,00	618,00	618,00	156,62	9,86	8,80	8,80				
4	20	9	575,75	621,00	613,00	613,00	171,16	7,86	6,47	6,47				
4	20	10	562,25	624,00	610,00	614,00	124,83	10,98	8,49	9,20				
4	20	11	573,50	623,00	616,00	628,00	123,24	8,63	7,41	9,50				
4	20	12	551,25	609,00	597,00	597,00	144,57	10,48	8,30	8,30				
4	20	13	563,00	621,00	615,00	617,00	137,67	10,30	9,24	9,59				
4	20	14	573,75	612,00	612,00	612,00	134,75	6,67	6,67	6,67				
4	20	15	553,50	611,00	601,00	601,00	149,32	10,39	8,58	8,58				
6	20	1	356,33	441,00	434,00	422,00	246,77	23,76	21,80	18,43	6 Makine 20 İş	24,94	23,07	19,51
6	20	2	364,33	454,00	443,00	429,50	196,57	24,61	21,59	17,89				
6	20	3	364,33	462,00	450,00	428,00	207,53	26,81	23,51	17,47				
6	20	4	359,83	452,00	449,00	425,50	199,18	25,61	24,78	18,25				

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GAspLA Hesaplama Süresi (sn.)	Alt Sınırdan Sapma Yüzdesi			Grup	Ortalama Alt Sınırdan Sapma Yüzdesi		
			Alt Sınır	ACO	GALA	GAspLA		ACO	GALA	GAspLA		ACO	GALA	GAspLA
6	20	5	365,67	457,00	449,00	439,00	228,05	24,98	22,79	20,05	6 Makine 40 İş	12,40	10,37	11,04
6	20	6	360,83	441,00	441,00	424,50	224,99	22,22	22,22	17,64				
6	20	7	354,33	441,00	441,00	430,50	204,73	24,46	24,46	21,50				
6	20	8	367,83	461,00	451,00	437,00	212,03	25,33	22,61	18,80				
6	20	9	375,50	455,00	449,00	437,00	195,85	21,17	19,57	16,38				
6	20	10	357,00	453,00	446,00	430,00	224,67	26,89	24,93	20,45				
6	20	11	356,33	452,00	445,00	434,00	220,97	26,85	24,88	21,80				
6	20	12	360,00	454,00	444,00	439,00	240,80	26,11	23,33	21,94				
6	20	13	368,00	458,00	452,00	440,00	225,01	24,46	22,83	19,57				
6	20	14	366,50	453,00	448,00	444,00	213,40	23,60	22,24	21,15				
6	20	15	359,17	457,00	447,00	436,00	213,60	27,24	24,45	21,39				
6	40	1	716,83	814,00	790,00	812,00	1 090,71	13,56	10,21	13,28				
6	40	2	715,00	793,00	789,00	789,00	1 216,98	10,91	10,35	10,35				
6	40	3	716,00	805,00	784,00	787,00	1 064,25	12,43	9,50	9,92				
6	40	4	711,50	795,00	778,00	786,00	1 105,63	11,74	9,35	10,47				
6	40	5	711,50	809,00	788,00	786,00	1 141,28	13,70	10,75	10,47				
6	40	6	723,67	812,00	800,00	800,00	1 137,61	12,21	10,55	10,55				
6	40	7	716,67	807,00	785,00	793,00	1 101,28	12,60	9,53	10,65				
6	40	8	711,33	787,00	778,00	784,00	1 021,26	10,64	9,37	10,22				
6	40	9	711,17	806,00	798,00	795,00	1 097,48	13,33	12,21	11,79				

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GAspLA Hesaplama Süresi (sn.)	Alt Sınırdan Sapma Yüzdesi			Grup	Ortalama Alt Sınırdan Sapma Yüzdesi		
			Alt Sınır	ACO	GALA	GAspLA		ACO	GALA	GAspLA		ACO	GALA	GAspLA
6	40	10	723,67	822,00	803,00	801,00	1 041,49	13,59	10,96	10,69				
6	40	11	724,00	805,00	799,00	799,00	1 003,04	11,19	10,36	10,36				
6	40	12	716,50	794,00	790,00	791,00	1 036,64	10,82	10,26	10,40				
6	40	13	733,50	823,00	805,00	808,00	1 023,69	12,20	9,75	10,16				
6	40	14	709,00	799,00	789,00	798,00	989,42	12,69	11,28	12,55				
6	40	15	708,00	810,00	787,00	805,00	1 014,39	14,41	11,16	13,70				
8	20	1	263,50	343,00	340,00	333,00	265,86	30,17	29,03	26,38	8 Makine 20 İş	30,07	27,29	24,33
8	20	2	273,38	346,00	341,00	338,00	232,50	26,57	24,74	23,64				
8	20	3	266,00	344,00	341,00	330,50	233,98	29,32	28,20	24,25				
8	20	4	264,75	344,00	340,00	330,50	287,62	29,93	28,42	24,83				
8	20	5	261,75	341,00	331,00	323,00	242,02	30,28	26,46	23,40				
8	20	6	266,25	350,00	336,00	331,00	274,44	31,46	26,20	24,32				
8	20	7	268,88	362,00	345,00	341,00	221,09	34,64	28,31	26,82				
8	20	8	263,75	339,00	334,00	330,00	249,57	28,53	26,64	25,12				
8	20	9	265,00	352,00	341,00	329,00	272,88	32,83	28,68	24,15				
8	20	10	268,13	341,00	338,00	325,00	264,34	27,18	26,06	21,21				
8	20	11	272,88	360,00	343,00	336,00	293,04	31,93	25,70	23,13				
8	20	12	267,25	342,00	339,00	327,00	289,52	27,97	26,85	22,36				
8	20	13	275,00	365,00	353,00	340,00	240,01	32,73	28,36	23,64				
8	20	14	268,25	343,00	342,00	337,50	265,86	27,87	27,49	25,82				

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GAspLA Hesaplama Süresi (sn.)	Alt Sınırdan Sapma Yüzdesi			Grup	Ortalama Alt Sınırdan Sapma Yüzdesi		
			Alt Sınır	ACO	GALA	GAspLA		ACO	GALA	GAspLA		ACO	GALA	GAspLA
8	20	15	263,63	342,00	338,00	332,00	253,87	29,73	28,21	25,94				
8	60	1	793,88	905,00	888,00	898,00	3 053,46	14,00	11,86	13,12	8 Makine 60 İş	12,89	11,48	12,28
8	60	2	794,50	900,00	887,00	892,00	3 199,83	13,28	11,64	12,27				
8	60	3	789,50	888,00	878,00	881,50	2 831,53	12,48	11,21	11,65				
8	60	4	797,38	896,00	893,00	901,00	2 646,93	12,37	11,99	13,00				
8	60	5	794,13	889,00	890,00	887,00	2 820,92	11,95	12,07	11,70				
8	60	6	794,50	915,00	890,00	899,00	2 916,19	15,17	12,02	13,15				
8	60	7	789,63	896,00	877,00	894,00	3 016,48	13,47	11,07	13,22				
8	60	8	790,50	878,00	880,00	881,00	3 044,11	11,07	11,32	11,45				
8	60	9	791,00	878,00	883,00	884,00	2 726,04	11,00	11,63	11,76				
8	60	10	791,25	896,00	878,00	881,00	2 885,13	13,24	10,96	11,34				
8	60	11	791,25	881,00	877,00	881,00	2 521,37	11,34	10,84	11,34				
8	60	12	790,25	900,00	878,00	892,50	2 871,70	13,89	11,10	12,94				
8	60	13	784,13	894,00	872,00	880,00	2 817,18	14,01	11,21	12,23				
8	60	14	795,25	901,00	885,00	894,00	2 897,78	13,30	11,29	12,42				
8	60	15	789,00	890,00	884,00	889,00	2 995,97	12,80	12,04	12,67				
10	20	1	210,40	257,00	248,00	252,00	225,12	22,15	17,87	19,77	10 Makine 20 İş	19,78	16,55	16,94
10	20	2	209,50	252,00	250,00	249,00	242,95	20,29	19,33	18,85				
10	20	3	210,10	254,00	250,00	246,00	243,78	20,89	18,99	17,09				
10	20	4	210,30	257,00	249,00	246,00	217,37	22,21	18,40	16,98				



Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GAspLA Hesaplama Süresi (sn.)	Alt Sınırdan Sapma Yüzdesi			Grup	Ortalama Alt Sınırdan Sapma Yüzdesi		
			Alt Sınır	ACO	GALA	GAspLA		ACO	GALA	GAspLA		ACO	GALA	GAspLA
10	20	5	211,90	247,00	239,00	239,00	216,78	16,56	12,79	12,79	10 Makine 40 İş	15,63	13,02	15,29
10	20	6	209,70	248,00	243,00	246,00	222,96	18,26	15,88	17,31				
10	20	7	211,50	250,00	242,00	246,00	260,66	18,20	14,42	16,31				
10	20	8	209,90	264,00	251,00	255,00	215,09	25,77	19,58	21,49				
10	20	9	210,20	242,00	243,00	243,00	195,34	15,13	15,60	15,60				
10	20	10	209,50	253,00	249,00	249,00	258,20	20,76	18,85	18,85				
10	20	11	212,60	248,00	241,00	243,00	220,18	16,65	13,36	14,30				
10	20	12	210,80	249,00	251,00	249,00	221,02	18,12	19,07	18,12				
10	20	13	208,60	265,00	243,00	248,00	223,03	27,04	16,49	18,89				
10	20	14	215,30	252,00	246,00	245,00	216,42	17,05	14,26	13,79				
10	20	15	212,50	250,00	241,00	242,00	200,66	17,65	13,41	13,88				
10	40	1	422,00	484,00	469,00	472,00	1 384,88	14,69	11,14	11,85				
10	40	2	422,50	497,00	473,00	486,00	1 561,50	17,63	11,95	15,03				
10	40	3	418,80	487,00	470,00	484,00	1 758,20	16,28	12,23	15,57				
10	40	4	417,10	474,00	473,00	475,00	1 352,88	13,64	13,40	13,88				
10	40	5	417,60	494,00	476,00	502,00	1 495,95	18,30	13,98	20,21				
10	40	6	422,90	481,00	473,00	494,00	1 428,62	13,74	11,85	16,81				
10	40	7	418,00	480,00	479,00	487,00	1 660,45	14,83	14,59	16,51				
10	40	8	418,10	485,00	477,00	488,00	1 748,35	16,00	14,09	16,72				
10	40	9	421,50	503,00	475,00	479,00	1 456,72	19,34	12,69	13,64				

Makine Sayısı	İş Sayısı	Dosya	$C_{max}$				GAspLA Hesaplama Süresi (sn.)	Alt Sınırdan Sapma Yüzdesi			Grup	Ortalama Alt Sınırdan Sapma Yüzdesi		
			Alt Sınır	ACO	GALA	GAspLA		ACO	GALA	GAspLA		ACO	GALA	GAspLA
10	40	10	420,00	492,00	477,00	509,00	1 437,43	17,14	13,57	21,19				
10	40	11	421,30	476,00	472,00	480,00	1 383,54	12,98	12,03	13,93				
10	40	12	417,70	471,00	470,00	478,00	1 532,13	12,76	12,52	14,44				
10	40	13	419,90	492,00	476,00	473,00	1 479,23	17,17	13,36	12,65				
10	40	14	420,00	479,00	481,00	479,00	1 359,50	14,05	14,52	14,05				
10	40	15	420,90	488,00	477,00	475,00	1 443,95	15,94	13,33	12,85				

## EK 8 GAspLA\_LSP Yerel Arama Taslak Kodu

Kolaylık sağlanması amacıyla sadece anahtar adımlar detaylandırılmıştır ve C# notasyonu kullanılmıştır.

Tüm nesiller için  $G$

İncelen anakütle için  $P$

Tüm kromozomlar için  $C$

$i=0$ 'dan  $g$ 'ye kadar

$j=i+1$ 'den  $g$ 'ye kadar

Eğer  $Gen(i)_{Makine} == Gen(j)_{Makine} \& Gen(i)_{Iş} != Gen(j)_{Iş} \rightarrow$ (Aynı makine içinde iş değişimi)

Eğer  $j=i+1 \rightarrow$ (Komşu işler)

$a=0; b=0; c=0;$

Eğer  $i > 0 \& Gen(i)_{Makine} == Gen(i-1)_{Makine}$

$$a=(ST_{Iş(i-1,j)} - ST_{Iş(i-1,i)})+(ST_{Iş(j,i)}-ST_{Iş(i,j)})$$

Eğer  $i==0 \parallel Gen(i)_{Makine} != Gen(i-1)_{Makine} \rightarrow$ ( $Gen(i)_{Iş}, Gen(i)_{Makine}$  üzerindeki ilk iş ise)

$$b=(ST_{Iş(j,j)}-ST_{Iş(i,i)})+(ST_{Iş(j,i)}-ST_{Iş(i,j)})$$

Eğer  $j < g-1 \& Gen(j)_{Makine} == Gen(j+1)_{Makine}$

$$c=ST_{Iş(i,j+1)}-ST_{Iş(j,j+1)}$$

Eğer  $a+b+c < 0$

Çizelgede  $Gen(i)_{Iş}$  ve  $Gen(j)_{Iş}$ 'in yerlerini değiştir.

Rassal anahtar sayıları değiştirilir.

Eğer  $j > i+1 \rightarrow$ (Komşu olmayan işler)

$a=0; b=0; c=0;$

Eğer  $i > 0 \& Gen(i)_{Makine} == Gen(i-1)_{Makine}$

$$a=(ST_{Iş(i-1,j)} - ST_{Iş(i-1,i)})+(ST_{Iş(j,i+1)}-ST_{Iş(i,i+1)})$$

$$+(ST_{Iş(j-1,i)}-ST_{Iş(j-1,j)})$$

Eğer  $i==0 \parallel Gen(i)_{Makine} != Gen(i-1)_{Makine} \rightarrow$ ( $Gen(i)_{Iş}, Gen(i)_{Makine}$  üzerindeki ilk iş ise)

$$b=(ST_{Iş(j,j)}-ST_{Iş(i,i)})+(ST_{Iş(j,i+1)}-ST_{Iş(i,i+1)})$$

$$+(ST_{Iş(j-1,i)}-ST_{Iş(j-1,j)})$$

Eğer  $j < g-1$  &  $Gen(j)_{Makine} == Gen(j+1)_{Makine}$

$$c = (ST_{İş(i,j+1)} - ST_{İş(j,j+1)})$$

Eğer  $a+b+c < 0$

Çizelgede  $Gen(i)_{İş}$  ve  $Gen(j)_{İş}$ 'in yerlerini değiştir.

Rassal anahtar sayıları değiştirilir.

Eğer  $Gen(i)_{Makine} != Gen(j)_{Makine}$  &  $Gen(i)_{İş} != Gen(j)_{İş}$  &  $Gen(i)_{Makine}, Gen(j)_{İş}$ 'i işleyebiliyorsa &  $Gen(j)_{Makine}, Gen(i)_{İş}$ 'i işleyebiliyorsa  $\rightarrow$ (Makineler arası değişim)

$$a=0; a_1=0; a_2=0; b=0; b_1=0; b_2=0; Makespan_{D1}=0; Makespan_{D2}=0;$$

$$a = CT\_Gen(i)_{Makine} + PT_{Mak(i)İş(j)} - PT_{Mak(i)İş(i)}$$

Eğer  $i > 0$  &  $Gen(i)_{Makine} == Gen(i-1)_{Makine}$

$$a_1 = (ST_{İş(i-1,j)} - ST_{İş(i-1,i)})$$

Eğer  $i == 0$  ||  $Gen(i)_{Makine} != Gen(i-1)_{Makine} \rightarrow (Gen(i)_{İş}, Gen(i)_{Makine}$  üzerindeki ilk iş ise)

$$a_1 = (ST_{İş(j,j)} - ST_{İş(i,i)})$$

Eğer  $Gen(i)_{Makine} == Gen(i+1)_{Makine}$

$$a_2 = ST_{İş(j,i+1)} - ST_{İş(i,i+1)}$$

$$b = CT\_Gen(j)_{Makine} + PT_{Mak(j)İş(i)} - PT_{Mak(j)İş(j)}$$

Eğer  $Gen(j)_{Makine} == Gen(j-1)_{Makine}$

$$b_1 = (ST_{İş(j-1,i)} - ST_{İş(j-1,j)})$$

Eğer  $Gen(j)_{Makine} != Gen(j-1)_{Makine}$

$$b_1 = (ST_{İş(i,i)} - ST_{İş(j,j)}) \rightarrow (Gen(j)_{İş}, Gen(j)_{Makine} \text{ üzerindeki ilk iş ise})$$

Eğer  $j < g-1$  &  $Gen(j)_{Makine} == Gen(j+1)_{Makine}$

$$b_2 = (ST_{İş(i,j+1)} - ST_{İş(j,j+1)})$$

$$a = a + a_1 + a_2$$

$$b = b + b_1 + b_2$$

$$Makespan_{D1} = \text{En Büyük}(CT\_Gen(i)_{Makine}, CT\_Gen(j)_{Makine})$$

$$Makespan_{D2} = \text{En Büyük}(a, b)$$

Eğer  $Makespan_{D2} < Makespan_{D1}$

Çizelgede  $Gen(i)_{İş}$  ve  $Gen(j)_{İş}$ 'in yerlerini değiştir.

Rassal anahtar sayıları değiştirilir.

**EK 9 Gerçek Örnek ve Elde Edilen Son Çizelge**

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
0	849	2	138,50
0	849	2	137,50
0	1080	1	151,00
0	1079	1	169,00
0	25	1	483,00
0	445	1	407,00
0	820	3	600,00
0	820	3	120,00
0	820	3	120,00
0	824	2	181,00
0	175	1	497,00
0	845	1	266,00
0	843	1	281,00
0	188	4	2 142,50
0	272	14	4 651,57
0	188	4	1 902,50
0	536	2	979,50
0	48	1	404,00
0	273	12	5 567,75
0	818	1	361,00
0	272	14	4 412,57
0	277	4	5 990,00
0	817	1	361,00
0	277	4	5 990,00
0	273	12	5 088,75
0	275	11	5 652,00
1	67	2	611,00
1	933	4	611,00
1	188	4	2 142,50
1	935	1	763,00
1	330	1	523,00
1	67	2	611,00
1	933	4	611,00
1	66	2	617,50

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
1	184	2	620,00
1	109	2	622,00
1	109	2	621,00
1	188	4	2 142,50
1	827	1	368,00
1	277	4	5 990,00
1	276	8	5 969,13
1	274	11	5 956,27
1	819	2	181,00
1	275	11	5 652,00
1	275	11	5 651,00
1	275	11	5 651,00
2	399	2	271,00
2	1034	1	455,00
2	282	1	344,00
2	348	1	344,00
2	173	1	278,00
2	1041	2	86,50
2	158	1	344,00
2	346	1	338,00
2	828	1	1 800,00
2	278	1	6 362,00
2	274	11	5 956,27
2	274	11	5 955,27
2	274	11	5 955,27
2	147	1	886,00
2	184	2	620,00
2	8	2	671,00
2	409	1	711,00
2	276	8	7 408,13
2	274	11	5 956,27
2	752	1	725,00
2	854	1	271,00
3	853	1	291,00

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
3	29	1	708,00
3	26	2	516,50
3	26	2	515,50
3	8	2	1 150,00
3	10	1	489,00
3	844	1	281,00
3	1026	1	528,00
3	841	2	276,00
3	840	1	840,00
3	399	2	510,00
3	398	1	530,00
3	277	4	6 469,00
3	274	11	5 956,27
3	831	1	361,00
3	823	1	361,00
3	822	1	361,00
3	274	11	5 956,27
3	274	11	5 955,27
3	274	11	5 955,27
3	837	1	361,00
3	830	1	361,00
3	825	1	361,00
3	839	1	348,00
3	271	8	5 841,75
4	66	2	617,50
4	355	2	491,00
4	224	1	723,00
4	536	2	740,50
4	537	2	743,50
4	933	4	611,00
4	200	4	610,00
4	751	1	504,00
4	200	4	610,00
4	632	1	495,00
4	200	4	610,00
4	200	4	609,00
4	933	4	611,00

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
4	272	14	4 891,57
4	271	8	5 841,75
4	829	1	368,00
4	355	2	730,00
4	1074	1	449,00
4	274	11	6 435,27
4	276	8	5 969,13
4	276	8	5 968,13
4	276	8	5 968,13
4	836	1	361,00
5	181	1	366,00
5	848	1	276,00
5	852	1	276,00
5	846	2	276,00
5	846	2	275,00
5	114	1	309,00
5	609	1	492,00
5	850	1	276,00
5	644	1	540,00
5	221	1	283,00
5	783	1	188,00
5	738	1	226,00
5	784	1	247,00
5	273	12	6 527,75
5	826	1	361,00
5	273	12	5 088,75
5	816	1	355,00
5	273	12	5 088,75
5	271	8	5 841,75
5	271	8	5 840,75
5	271	8	5 840,75
5	274	11	5 956,27
5	824	2	181,00
6	347	1	360,00
6	706	2	274,50
6	706	2	273,50
6	642	1	261,00

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
6	708	1	271,00
6	1035	1	276,00
6	304	1	276,00
6	1029	1	276,00
6	177	1	276,00
6	276	8	7 408,13
6	833	1	361,00
6	275	11	5 652,00
6	271	8	5 841,75
6	275	11	5 652,00
6	276	8	5 969,13
6	835	1	361,00
6	272	14	4 412,57
6	276	8	5 969,13
6	217	1	547,00
6	834	1	361,00
7	275	11	5 652,00
7	1032	1	530,00
7	77	1	303,00
7	1030	1	281,00
7	643	1	278,00
7	306	1	278,00
7	1037	1	188,00
7	387	1	185,00
7	963	1	276,00
7	958	1	276,00
7	965	1	276,00
7	1031	1	276,00
7	587	1	276,00
7	705	1	278,00
7	709	1	276,00
7	42	1	278,00
7	964	1	278,00
7	272	14	5 851,57
7	272	14	4 411,57
7	272	14	4 411,57
7	272	14	4 411,57

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
7	272	14	4 411,57
7	272	14	4 411,57
7	275	11	5 652,00
7	847	1	540,00
7	1069	1	342,00
7	88	1	411,00
8	273	12	5 088,75
8	275	11	5 652,00
8	272	14	4 412,57
8	1041	2	325,50
8	1094	1	121,00
8	1050	1	166,00
8	785	1	169,00
8	1061	1	172,00
8	781	1	172,00
8	1049	1	172,00
8	780	1	172,00
8	275	11	7 091,00
8	273	12	5 088,75
8	273	12	5 087,75
8	273	12	5 087,75
8	275	11	5 652,00
8	1042	1	411,00
8	1043	2	176,00
9	273	12	5 088,75
9	1043	2	415,00
9	782	1	176,00
9	1048	1	182,00
9	1053	1	176,00
9	819	2	1 620,00
9	272	14	4 412,57
9	273	12	5 088,75
9	38	1	258,00
9	272	14	4 412,57
9	832	1	361,00
9	272	14	4 412,57
9	271	8	5 841,75

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
9	821	1	361,00
9	838	1	361,00
9	273	12	5 088,75
9	271	8	5 841,75
9	841	2	515,00
9	851	1	276,00
9	842	1	271,00
10	993	1	326,00
10	379	1	445,00
10	806	1	86,00
10	435	2	867,00
10	447	37	5 759,24
10	764	1	445,00
10	801	1	88,00
10	982	28	5 313,21
10	983	12	4 229,33
10	378	1	450,00
10	966	1	113,00
10	1054	1	136,00
10	1059	1	136,00
10	1060	1	138,00
10	429	2	204,50
10	81	1	231,00
10	582	1	372,00
10	33	1	663,00
10	446	57	5 255,65
10	446	57	3 815,65
10	446	57	3 815,65
10	446	57	3 815,65
10	446	57	3 815,65
11	579	1	376,00
11	563	1	382,00
11	122	3	3 820,33
11	264	14	4 461,00
11	996	1	743,00
11	27	1	1 280,00
11	485	3	2 662,67
11	485	3	1 222,67

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
11	1039	1	599,00
11	446	57	5 255,65
11	446	57	3 815,65
11	142	5	3 324,20
11	446	57	3 816,65
11	792	1	445,00
11	1058	1	147,00
11	456	3	201,33
11	765	1	86,00
11	769	2	86,00
11	218	3	1 288,00
11	132	4	1 934,50
11	280	1	1 716,00
12	637	3	573,67
12	136	6	1 895,17
12	414	1	2 333,00
12	366	1	241,00
12	349	1	274,00
12	71	3	389,33
12	446	57	5 255,65
12	446	57	3 815,65
12	983	12	4 229,33
12	358	1	800,00
12	361	1	449,00
12	90	1	72,00
12	798	1	85,00
12	754	1	85,00
12	753	1	85,00
12	802	1	85,00
12	757	1	86,00
12	446	57	5 255,65
12	732	10	4 029,30
12	264	14	4 461,00
12	896	26	3 937,62
13	141	7	1 731,43
13	264	14	4 461,00
13	264	14	4 460,00



Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
13	264	14	4 460,00
13	264	14	4 460,00
13	983	12	4 229,33
13	447	37	4 320,24
13	732	10	4 029,30
13	264	14	4 461,00
13	456	3	560,33
13	60	1	216,00
13	456	3	201,33
13	763	1	86,00
13	578	1	263,00
13	876	1	303,00
13	794	1	86,00
13	427	3	203,33
14	228	1	1 294,00
14	264	14	4 461,00
14	982	28	3 874,21
14	447	37	4 320,24
14	982	28	3 874,21
14	446	57	3 816,65
14	756	1	445,00
14	668	1	339,00
14	761	1	86,00
14	130	1	342,00
14	1057	1	138,00
14	515	2	347,50
14	434	2	1 226,00
14	121	2	2 883,50
14	489	1	2 943,00
14	131	3	2 791,67
14	133	3	2 747,67
14	866	1	1 911,00
15	737	2	1 030,00
15	860	1	394,00
15	1056	1	151,00
15	797	1	86,00
15	769	2	86,00

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
15	795	1	86,00
15	1055	1	148,00
15	1012	1	303,00
15	427	3	203,33
15	362	1	232,00
15	370	1	289,00
15	672	1	303,00
15	982	28	5 313,21
15	446	57	3 816,65
15	446	57	3 815,65
15	446	57	3 815,65
15	446	57	3 815,65
15	446	57	3 815,65
15	446	57	3 815,65
15	446	57	3 815,65
15	446	57	3 815,65
15	426	2	675,00
15	959	1	590,00
15	219	2	1 356,00
16	264	14	4 461,00
16	447	37	4 320,24
16	422	1	813,00
16	426	2	316,00
16	93	1	456,00
16	1096	1	319,00
16	748	1	443,00
16	696	1	345,00
16	567	1	396,00
16	71	3	389,33
16	293	2	421,00
16	284	1	476,00
16	345	1	605,00
16	626	1	1 648,00
16	264	14	5 900,00
16	263	15	4 344,20
16	984	3	4 384,33
16	263	15	4 344,20
16	951	1	875,00

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
16	133	3	2 986,67
17	89	1	379,00
17	939	1	351,00
17	359	1	370,00
17	320	1	376,00
17	645	1	2 440,00
17	627	1	1 373,00
17	962	6	1 484,67
17	219	2	1 356,00
17	625	1	876,00
17	223	5	2 336,40
17	128	6	2 096,33
17	137	5	1 227,40
17	263	15	5 783,20
17	263	15	4 343,20
17	896	26	3 937,62
17	896	26	3 936,62
17	575	3	880,67
17	555	1	241,00
17	779	1	2 698,00
17	135	7	1 666,43
18	119	1	7 463,00
18	862	1	4 372,00
19	575	3	521,67
19	1097	1	394,00
19	575	3	521,67
19	652	1	475,00
19	328	1	477,00
19	169	1	706,00
19	223	5	2 336,40
19	981	3	1 833,33
19	896	26	5 376,62
19	263	15	4 344,20
19	982	28	3 874,21
19	896	26	3 937,62
19	982	28	3 874,21
19	982	28	3 873,21

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
19	447	37	4 320,24
19	1002	1	826,00
19	367	1	525,00
20	905	1	624,00
20	640	1	521,00
20	37	1	469,00
20	906	1	451,00
20	529	1	447,00
20	324	3	525,00
20	861	1	394,00
20	265	1	535,00
20	270	1	2 658,00
20	447	37	4 320,24
20	982	28	3 874,21
20	447	37	4 320,24
20	982	28	3 874,21
20	896	26	3 937,62
20	141	7	1 731,43
20	896	26	3 937,62
20	290	2	892,00
20	75	2	731,00
20	76	1	558,00
20	656	1	586,00
20	482	1	647,00
20	153	1	526,00
20	325	1	543,00
20	333	3	585,33
20	365	1	601,00
21	264	14	4 461,00
21	447	37	4 320,24
21	1088	1	1 013,00
21	864	1	563,00
21	364	1	601,00
21	335	1	604,00
21	1001	1	1 961,00
21	1033	3	1 782,67
21	583	3	1 402,67

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
21	962	6	1 484,67
21	301	2	1 036,00
21	447	37	5 759,24
21	264	14	4 461,00
21	447	37	4 320,24
21	264	14	4 461,00
22	896	26	3 937,62
22	896	26	3 936,62
22	896	26	3 936,62
22	982	28	3 874,21
22	896	26	3 937,62
22	896	26	3 936,62
22	122	3	2 381,33
22	982	28	3 874,21
22	446	57	3 816,65
22	245	1	1 391,00
22	326	3	1 588,33
22	326	3	1 587,33
23	233	1	3 922,00
23	447	37	4 320,24
23	446	57	3 816,65
23	446	57	3 815,65
23	263	15	4 344,20
23	446	57	3 816,65
23	446	57	3 815,65
23	333	3	944,33
23	333	3	584,33
23	388	1	666,00
23	877	2	671,00
23	481	1	625,00
23	674	1	688,00
23	573	3	687,67
23	455	1	694,00
23	299	2	1 270,00
23	687	3	1 164,33
23	978	1	1 103,00
23	137	5	1 227,40

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
24	222	7	2 734,14
24	572	1	2 493,00
24	222	7	2 734,14
24	222	7	2 733,14
25	574	1	2 346,00
25	222	7	2 734,14
25	222	7	2 733,14
25	617	1	2 732,00
25	178	1	2 718,00
26	980	3	2 844,33
26	980	3	2 843,33
26	220	1	2 821,00
27	629	1	2 751,00
27	222	7	2 734,14
27	628	1	2 748,00
27	222	7	2 734,14
28	980	3	2 844,33
28	1036	1	2 888,00
29	747	1	3 441,00
30	870	1	826,00
30	314	1	541,00
30	908	1	1 036,00
30	1019	1	951,00
30	913	5	953,80
30	404	1	1 083,00
30	669	2	1 132,00
30	142	5	4 763,20
30	447	37	4 320,24
30	611	1	1 035,00
30	967	1	503,00
30	673	1	688,00
30	573	3	687,67
30	659	1	688,00
30	580	1	688,00
30	653	1	707,00
30	681	1	722,00
30	1091	1	1 327,00

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
30	687	3	1 164,33
30	446	57	5 255,65
30	446	57	3 815,65
30	982	28	3 874,21
30	566	1	745,00
30	483	3	730,00
31	263	15	4 344,20
31	551	1	1 050,00
31	283	1	682,00
31	1090	1	1 158,00
31	961	5	1 100,00
31	961	5	1 099,00
31	634	1	963,00
31	244	2	876,00
31	704	1	1 955,00
31	667	1	715,00
31	1086	1	722,00
31	502	1	722,00
31	483	3	730,00
31	483	3	729,00
31	695	1	730,00
31	1016	1	1 122,00
31	446	57	5 255,65
31	122	3	2 381,33
31	732	10	4 029,30
31	446	57	3 816,65
31	75	2	1 090,00
31	1087	1	654,00
31	285	1	791,00
31	339	5	758,60
31	744	2	755,50
32	787	1	946,00
32	137	5	1 227,40
32	302	1	1 126,00
32	170	1	2 119,00
32	744	2	755,50
32	577	1	757,00

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
32	129	12	1 947,50
32	811	1	744,00
32	137	5	1 227,40
32	303	1	1 058,00
32	129	12	1 708,50
32	810	1	754,00
32	74	1	741,00
32	135	7	1 487,43
32	380	2	702,50
32	375	1	1 973,00
32	339	5	758,60
32	339	5	757,60
32	339	5	757,60
32	447	37	5 759,24
32	447	37	4 319,24
32	896	26	3 937,62
32	289	2	1 119,00
32	421	1	760,00
32	494	1	774,00
33	261	1	876,00
33	982	28	3 874,21
33	263	15	4 344,20
33	141	7	1 731,43
33	447	37	4 320,24
33	983	12	4 229,33
33	983	12	4 228,33
33	447	37	4 320,24
33	447	37	4 319,24
33	447	37	4 319,24
33	369	1	893,00
33	126	2	767,50
34	447	37	4 320,24
34	447	37	4 319,24
34	447	37	4 319,24
34	427	3	562,33
34	921	1	826,00
34	877	2	671,00

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
34	446	57	5 255,65
34	447	37	4 320,24
34	447	37	4 319,24
34	126	2	1 126,50
34	920	2	822,00
34	1006	1	803,00
34	353	1	837,00
34	434	2	1 226,00
34	135	7	1 726,43
34	493	2	643,00
34	135	7	1 487,43
34	460	1	594,00
35	896	26	3 937,62
35	519	1	1 185,00
35	1014	1	818,00
35	393	2	820,00
35	264	14	5 900,00
35	129	12	2 067,50
35	410	1	1 719,00
35	129	12	1 708,50
35	263	15	5 783,20
35	263	15	4 343,20
35	699	2	1 180,00
35	699	2	820,00
35	728	1	822,00
35	920	2	822,00
35	393	2	820,00
35	407	1	1 105,00
35	776	1	949,00
35	129	12	1 708,50
35	129	12	1 707,50
36	262	2	3 429,50
36	732	10	4 029,30
36	983	12	4 229,33
36	263	15	4 344,20
36	315	1	1 136,00
36	1004	1	774,00

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
36	374	1	525,00
36	698	1	807,00
36	229	1	771,00
36	987	1	771,00
36	447	37	5 759,24
36	263	15	4 344,20
36	263	15	4 343,20
36	260	1	860,00
36	435	2	1 226,00
36	73	1	443,00
36	36	1	438,00
37	141	7	1 731,43
37	290	2	892,00
37	1095	1	263,00
37	397	2	865,00
37	585	1	1 615,00
37	639	1	654,00
37	707	1	551,00
37	961	5	1 100,00
37	371	1	1 723,00
37	956	1	1 032,00
37	291	1	826,00
37	952	1	861,00
37	875	2	380,50
37	961	5	1 339,00
37	979	1	551,00
37	142	5	4 763,20
37	446	57	3 816,65
37	447	37	4 320,24
37	447	37	4 319,24
37	447	37	4 319,24
37	637	3	932,67
37	812	1	666,00
37	157	1	663,00
38	1085	1	934,00
38	1020	1	907,00
38	417	1	902,00

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
38	872	1	894,00
38	160	1	902,00
38	624	1	909,00
38	172	1	911,00
38	319	1	764,00
38	171	1	911,00
38	666	1	863,00
38	983	12	5 668,33
38	447	37	4 320,24
38	447	37	4 319,24
38	446	57	3 816,65
38	983	12	4 229,33
38	447	37	4 320,24
38	583	3	1 761,67
39	588	1	426,00
39	994	1	473,00
39	1040	1	369,00
39	655	1	1 528,00
39	82	1	2 372,00
39	684	1	632,00
39	581	1	486,00
39	729	2	619,50
39	237	1	1 036,00
39	982	28	5 313,21
39	983	12	4 229,33
39	447	37	4 320,24
39	447	37	4 319,24
39	982	28	3 874,21
39	447	37	4 320,24
39	159	1	1 201,00
39	156	1	986,00
39	127	2	942,50
39	339	5	758,60
40	595	1	1 598,00
40	859	1	1 568,00
40	377	1	1 581,00
40	56	6	1 613,17

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
40	318	1	1 559,00
40	576	2	1 915,00
40	1047	1	228,00
40	760	1	86,00
40	1045	1	228,00
40	796	1	86,00
40	805	1	86,00
40	447	37	5 759,24
40	447	37	4 319,24
40	144	1	978,00
40	729	2	619,50
40	564	1	970,00
40	401	2	1 099,50
40	542	1	995,00
40	127	2	942,50
40	150	1	928,00
40	893	1	915,00
40	561	1	953,00
40	573	3	687,67
40	807	2	56,00
40	447	37	5 759,24
40	128	6	2 455,33
41	892	1	951,00
41	913	5	953,80
41	56	6	2 092,17
41	65	3	1 625,00
41	606	1	1 621,00
41	46	1	1 621,00
41	199	6	1 619,83
41	167	1	1 631,00
41	913	5	953,80
41	199	6	2 098,83
41	199	6	1 618,83
41	199	6	1 618,83
41	199	6	1 618,83
41	242	1	1 615,00
41	56	6	1 613,17

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
41	759	1	1 525,00
41	1011	1	784,00
41	1015	1	954,00
41	815	1	1 032,00
41	266	1	1 003,00
41	506	1	985,00
41	142	5	4 763,20
41	446	57	3 816,65
42	397	2	865,00
42	641	1	207,00
42	808	1	86,00
42	253	1	217,00
42	717	2	567,00
42	879	1	826,00
42	65	3	2 104,00
42	65	3	1 624,00
42	727	1	1 604,00
42	56	6	1 613,17
42	1073	1	1 553,00
42	16	1	1 549,00
42	19	8	1 520,75
42	526	1	2 402,00
42	874	1	956,00
42	770	1	86,00
42	286	1	1 001,00
42	745	2	857,50
42	262	2	4 868,50
42	982	28	3 874,21
42	446	57	3 816,65
42	540	1	1 850,00
42	589	1	1 486,00
42	750	3	1 287,00
42	750	3	1 286,00
43	446	57	3 816,65
43	203	1	1 598,00
43	954	2	1 234,50
43	376	1	1 587,00

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
43	446	57	5 255,65
43	1052	1	449,00
43	515	2	347,50
43	511	1	734,00
43	913	5	953,80
43	289	2	760,00
43	552	1	433,00
43	766	1	86,00
43	324	3	525,00
43	633	1	1 277,00
43	1023	1	966,00
43	616	1	1 641,00
43	615	1	1 688,00
43	129	12	1 708,50
43	129	12	1 707,50
43	174	1	2 396,00
43	9	1	1 327,00
43	193	1	1 287,00
43	972	1	957,00
43	539	1	1 480,00
43	775	1	1 270,00
43	648	4	1 224,50
43	201	1	1 301,00
44	1051	1	86,00
44	68	1	1 700,00
44	1071	1	1 225,00
44	954	2	1 234,50
44	210	1	1 221,00
44	648	4	1 224,50
44	418	1	2 249,00
44	807	2	56,00
44	755	1	86,00
44	218	3	1 288,00
44	98	1	1 497,00
44	113	1	1 142,00
44	246	1	1 589,00
44	106	1	1 239,00

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
44	943	2	1 223,50
44	924	1	1 158,00
44	105	1	1 576,00
44	47	1	1 225,00
44	51	1	1 234,00
44	602	1	1 270,00
44	112	1	1 154,00
44	651	1	1 239,00
44	214	1	1 243,00
44	35	1	1 271,00
44	30	1	1 032,00
44	402	2	861,50
44	326	3	1 767,33
44	962	6	1 484,67
44	786	1	963,00
44	493	2	643,00
44	301	2	1 036,00
44	1038	1	366,00
44	583	3	1 402,67
45	984	3	4 384,33
45	732	10	4 029,30
45	142	5	3 324,20
45	71	3	748,33
45	293	2	421,00
45	868	1	886,00
45	913	5	953,80
45	988	1	1 010,00
45	1027	1	1 036,00
45	415	1	1 090,00
45	773	1	1 036,00
45	401	2	1 099,50
45	896	26	5 376,62
45	124	3	1 508,67
45	725	2	1 125,00
45	99	1	1 081,00
45	463	2	1 116,50
45	463	2	1 115,50

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
45	603	1	1 722,00
45	649	3	1 628,00
45	145	1	1 106,00
45	402	2	1 100,50
45	31	1	1 032,00
46	360	1	441,00
46	1046	1	224,00
46	1008	1	1 108,00
46	857	1	1 539,00
46	986	1	1 055,00
46	631	1	1 188,00
46	998	2	2 500,00
46	737	2	1 030,00
46	658	1	1 097,00
46	1	1	1 169,00
46	384	1	1 126,00
46	669	2	1 132,00
46	1081	1	1 133,00
46	736	2	1 133,50
46	736	2	1 132,50
46	527	1	1 135,00
46	664	1	1 151,00
46	429	2	204,50
46	718	1	1 154,00
46	1017	1	1 175,00
46	41	2	1 156,50
46	62	1	2 077,00
46	56	6	1 613,17
46	1024	1	1 046,00
46	132	4	2 173,50
46	218	3	1 049,00
46	56	6	2 092,17
46	146	1	1 175,00
46	87	1	976,00
46	380	2	941,50
46	711	1	1 776,00
47	896	26	3 937,62



Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
47	446	57	3 816,65
47	446	57	3 815,65
47	446	57	3 815,65
47	446	57	3 815,65
47	446	57	3 815,65
47	323	1	1 416,00
47	1018	1	1 051,00
47	719	2	1 164,50
47	719	2	1 163,50
47	215	3	1 165,33
47	57	1	1 415,00
47	107	1	1 203,00
47	50	1	1 208,00
47	44	2	1 216,50
47	85	1	1 221,00
47	183	1	1 221,00
47	185	1	1 381,00
48	1044	1	224,00
48	767	1	86,00
48	799	1	86,00
48	121	2	2 883,50
48	612	1	1 558,00
48	955	1	1 221,00
48	356	1	972,00
48	198	1	1 216,00
48	1025	1	860,00
48	78	1	850,00
48	238	1	1 216,00
48	985	2	787,00
48	299	2	1 270,00
48	1000	1	922,00
48	135	7	1 487,43
48	135	7	1 486,43
48	446	57	5 255,65
48	446	57	3 815,65
48	235	1	876,00
48	446	57	3 816,65

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
48	257	1	860,00
48	697	1	1 042,00
48	804	1	86,00
48	363	1	601,00
48	292	1	988,00
48	734	1	1 263,00
48	44	2	1 216,50
48	654	1	966,00
49	446	57	3 816,65
49	446	57	3 815,65
49	446	57	3 815,65
49	446	57	3 815,65
49	791	1	445,00
49	897	1	448,00
49	762	1	86,00
49	446	57	5 255,65
49	446	57	3 815,65
49	446	57	3 815,65
49	329	2	1 143,50
49	207	1	1 239,00
49	21	1	1 247,00
49	750	3	1 287,00
50	134	1	2 711,00
50	133	3	2 747,67
50	131	3	2 791,67
50	28	1	1 219,00
50	926	1	1 762,00
50	199	6	1 619,83
50	83	1	1 261,00
50	63	1	1 553,00
50	981	3	2 072,33
50	446	57	5 255,65
50	141	7	1 731,43
50	982	28	3 874,21
50	982	28	3 873,21
50	809	1	2 050,00

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
50	136	6	1 895,17
50	962	6	1 484,67
51	584	1	1 376,00
51	896	26	5 376,62
51	255	1	860,00
51	446	57	3 816,65
51	982	28	3 874,21
51	982	28	3 873,21
51	982	28	3 873,21
51	446	57	3 816,65
51	896	26	3 937,62
51	1092	2	1 010,00
51	1099	1	1 811,00
51	517	1	1 390,00
51	758	1	86,00
51	423	1	894,00
51	372	1	305,00
51	125	1	221,00
51	368	1	525,00
51	334	1	866,00
52	565	1	344,00
52	215	3	1 165,33
52	215	3	1 164,33
52	803	1	86,00
52	800	1	86,00
52	694	1	320,00
52	670	1	1 186,00
52	340	12	1 179,17
52	340	12	1 178,17
52	457	1	2 750,00
52	129	12	1 947,50
52	129	12	1 707,50
52	129	12	1 707,50
52	982	28	5 313,21
52	446	57	3 816,65
52	1092	2	1 010,00
52	943	2	1 582,50

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
52	648	4	1 224,50
52	648	4	1 223,50
52	5	1	1 225,00
52	1075	1	1 225,00
52	985	2	787,00
52	1078	1	782,00
52	137	5	1 466,40
52	635	1	1 719,00
52	129	12	1 708,50
53	896	26	3 937,62
53	896	26	3 936,62
53	732	10	4 029,30
53	258	1	938,00
53	1076	1	1 582,00
53	1065	1	1 010,00
53	294	1	1 135,00
53	352	1	1 175,00
53	340	12	1 179,17
53	340	12	1 178,17
53	340	12	1 178,17
53	136	6	2 134,17
53	406	2	860,00
53	983	12	5 668,33
53	732	10	4 029,30
53	896	26	3 937,62
54	176	1	760,00
54	537	2	743,50
54	136	6	2 134,17
54	981	3	1 833,33
54	896	26	5 376,62
54	446	57	3 816,65
54	412	1	1 552,00
54	562	1	1 138,00
54	340	12	1 179,17
54	216	1	1 063,00
54	558	1	1 036,00
54	467	1	321,00

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
54	340	12	1 179,17
54	340	12	1 178,17
54	504	1	971,00
54	793	1	86,00
54	329	2	1 263,50
54	733	2	775,00
54	733	2	774,00
54	557	1	1 225,00
54	15	3	1 515,67
54	538	1	1 491,00
54	458	1	3 920,00
54	96	2	1 373,50
54	1003	1	1 204,00
55	141	7	1 731,43
55	732	10	4 029,30
55	447	37	4 320,24
55	732	10	4 029,30
55	982	28	3 874,21
55	618	1	2 163,00
55	962	6	1 484,67
55	256	1	2 299,00
55	1093	1	626,00
55	982	28	3 874,21
55	982	28	3 873,21
55	141	7	1 731,43
55	982	28	3 874,21
56	446	57	3 816,65
56	41	2	1 515,50
56	340	12	1 179,17
56	720	1	1 210,00
56	514	1	331,00
56	115	1	1 094,00
56	495	1	1 215,00
56	745	2	857,50
56	15	3	1 994,67
56	947	1	1 547,00
56	945	1	1 460,00

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
56	15	3	1 515,67
56	867	1	2 654,00
56	768	1	86,00
56	907	1	2 026,00
56	19	8	1 520,75
56	623	2	1 547,50
56	19	8	1 520,75
56	918	1	1 536,00
56	647	1	1 542,00
56	646	1	1 547,00
56	70	1	1 547,00
56	11	1	1 547,00
56	192	1	1 547,00
56	623	2	1 547,50
57	1021	1	860,00
57	865	1	729,00
57	324	3	525,00
57	357	1	449,00
57	576	2	476,00
57	814	1	561,00
57	507	1	1 215,00
57	485	3	1 223,67
57	446	57	5 255,65
57	983	12	4 229,33
57	45	1	1 566,00
57	373	1	572,00
57	717	2	567,00
57	671	1	817,00
57	227	1	2 544,00
57	983	12	4 229,33
57	263	15	4 344,20
57	982	28	3 874,21
57	982	28	3 873,21
58	103	1	1 559,00
58	305	1	1 491,00
58	19	8	1 520,75
58	12	1	816,00

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
58	135	7	1 726,43
58	637	3	573,67
58	223	5	2 336,40
58	586	1	1 026,00
58	406	2	860,00
58	813	1	1 035,00
58	636	1	1 085,00
58	408	1	876,00
58	263	15	5 783,20
58	896	26	3 937,62
58	19	8	1 879,75
58	19	8	1 519,75
58	213	1	1 322,00
58	19	8	1 520,75
58	19	8	1 519,75
58	541	1	1 431,00
58	665	1	2 665,00
58	901	1	923,00
58	321	1	482,00
59	336	1	604,00
59	32	1	1 271,00
59	279	1	722,00
59	34	1	530,00
59	223	5	2 515,40
59	961	5	1 100,00
59	687	3	1 164,33
59	962	6	1 484,67
59	960	1	571,00
59	244	2	876,00
59	234	1	2 315,00
59	732	10	4 029,30
59	259	1	876,00
59	984	3	4 384,33
59	254	1	876,00
59	896	26	3 937,62
59	896	26	3 936,62
59	896	26	3 936,62

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
59	340	12	1 538,17
59	288	1	858,00
59	875	2	380,50
60	746	1	2 878,00
60	131	3	2 791,67
60	688	3	2 466,33
60	1033	3	1 782,67
60	688	3	2 287,33
60	223	5	2 336,40
60	688	3	2 287,33
60	139	1	1 813,00
60	136	6	1 895,17
60	128	6	2 096,33
60	128	6	2 095,33
60	128	6	2 095,33
60	1033	3	1 782,67
60	136	6	1 895,17
60	128	6	2 096,33
60	132	4	3 373,50
60	132	4	1 933,50
61	524	7	2 294,50
61	338	3	1 806,33
61	403	4	3 704,75
61	450	5	3 625,80
61	790	8	2 757,00
61	546	2	2 498,50
61	464	4	2 551,63
61	900	1	2 432,50
61	886	1	2 066,50
62	524	7	2 294,50
62	503	2	1 700,00
62	475	3	1 984,17
62	522	12	1 507,50
62	525	2	2 235,50
62	316	1	1 916,00
62	554	1	2 025,50
62	488	1	1 884,50

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
62	120	21	2 410,31
62	749	6	4 213,00
62	116	2	1 614,75
63	310	1	9 046,50
63	661	3	1 943,00
63	682	6	2 843,42
63	915	2	3 256,75
63	547	3	5 106,67
63	890	1	1 528,50
64	916	1	10 277,50
64	522	12	1 507,50
64	120	21	2 410,31
64	749	6	4 213,00
64	486	2	2 518,50
64	790	8	2 757,00
65	891	4	1 493,75
65	443	4	3 509,13
65	439	4	1 572,50
65	120	21	2 410,31
65	492	4	2 909,88
65	898	1	2 382,50
65	120	21	2 410,31
65	999	1	1 937,50
65	790	8	2 757,00
65	533	12	2 284,38
66	884	13	1 628,35
66	902	2	2 160,00
66	533	12	2 284,38
66	739	2	3 136,00
66	682	6	2 843,42
66	899	1	2 396,00
66	120	21	2 410,31
66	120	21	2 409,31
66	520	4	2 041,63
66	120	21	2 410,31
67	620	5	6 223,40
67	888	1	3 024,00

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
67	165	1	3 019,00
67	914	5	2 495,80
67	739	2	3 136,00
67	405	1	2 916,00
67	657	1	2 847,50
68	878	1	1 614,50
68	971	1	1 485,00
68	295	15	1 423,57
68	295	15	1 422,57
68	295	15	1 422,57
68	513	1	1 439,00
68	1098	2	1 780,25
68	790	8	2 757,00
68	533	12	2 284,38
68	533	12	2 283,38
68	723	1	2 131,00
68	525	2	2 235,50
68	512	2	1 427,50
69	721	2	1 379,50
69	152	1	1 383,00
69	250	1	1 453,00
69	885	3	2 125,67
69	520	4	2 041,63
69	498	2	2 558,25
69	520	4	2 041,63
69	479	1	2 179,50
69	453	2	1 948,00
69	533	12	2 284,38
69	512	2	1 427,50
69	508	2	1 425,00
69	1005	2	1 452,00
70	492	4	2 909,88
70	480	4	4 024,50
70	915	2	3 256,75
70	498	2	2 558,25
70	790	8	2 757,00
70	790	8	2 756,00

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
70	638	1	2 747,00
70	433	1	2 692,50
71	120	21	2 566,90
71	464	4	2 717,25
71	914	5	2 658,00
71	721	2	1 469,00
71	533	12	2 432,75
71	295	15	1 516,00
71	523	6	1 752,33
71	524	7	2 443,57
71	469	3	1 933,33
71	533	12	2 432,75
71	281	1	1 759,00
72	472	4	1 914,75
72	533	12	2 432,75
72	24	2	1 891,50
72	1009	1	2 247,00
72	778	1	1 467,00
72	309	1	2 476,00
72	332	1	2 262,00
72	885	3	2 263,67
72	533	12	2 432,75
72	997	1	2 235,00
72	661	3	2 069,00
73	520	4	2 174,25
73	950	1	2 793,00
73	904	1	3 348,00
73	464	4	2 717,25
73	486	2	2 682,00
73	546	2	2 660,50
73	914	5	2 658,00
73	120	21	2 566,90
73	550	3	2 090,33
74	475	3	2 113,00
74	168	1	2 107,00
74	1098	2	1 896,00
74	919	1	2 076,00

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
74	453	2	2 074,50
74	911	1	2 071,00
74	236	2	1 549,50
74	550	3	2 090,33
74	472	4	1 914,75
74	610	1	2 071,00
74	570	1	1 801,00
74	350	2	1 927,50
75	296	6	1 794,50
75	550	3	2 090,33
75	338	3	1 923,67
75	571	1	2 104,00
75	716	2	1 887,00
75	553	1	2 063,00
75	714	1	1 921,00
75	338	3	1 923,67
75	350	2	1 927,50
75	469	3	1 933,33
75	469	3	1 932,33
75	442	1	2 197,00
76	390	2	10 956,00
76	917	1	9 020,00
76	522	12	1 605,42
76	475	3	2 113,00
77	472	4	1 914,75
77	341	1	1 891,00
77	885	3	2 263,67
77	902	2	2 300,00
77	724	1	2 434,00
77	24	2	1 891,50
77	716	2	1 887,00
77	1084	1	1 879,00
77	411	1	1 860,00
77	252	2	1 731,50
77	416	1	1 825,00
77	473	2	1 814,50
78	395	5	1 679,00

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
78	138	1	2 626,00
78	249	1	2 840,00
78	459	1	2 911,00
78	790	8	2 936,13
78	661	3	2 069,00
78	505	1	2 047,00
78	296	6	1 794,50
78	516	1	1 816,00
78	295	15	1 516,00
78	342	4	1 458,50
79	682	6	3 028,17
79	682	6	3 027,17
79	450	5	3 861,40
79	480	4	4 286,00
79	403	4	3 945,50
79	403	4	3 944,50
79	891	4	1 590,75
80	140	1	1 842,00
80	437	1	1 403,00
80	503	2	1 810,50
80	484	1	1 782,00
80	749	6	4 486,83
80	296	6	1 794,50
80	296	6	1 793,50
80	568	1	1 770,00
80	523	6	1 752,33
80	154	1	1 753,00
80	523	6	1 752,33
80	523	6	1 751,33
81	549	2	4 412,50
81	547	3	5 438,33
81	749	6	4 486,83
81	881	2	2 346,00
81	472	4	1 914,75
81	296	6	1 794,50
81	476	8	1 548,13
81	523	6	1 752,33

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
82	680	1	2 577,00
82	450	5	3 861,40
82	120	21	2 566,90
82	400	1	1 969,00
82	296	6	1 794,50
82	102	1	1 744,00
82	499	2	1 751,00
82	499	2	1 750,00
82	403	4	3 945,50
82	884	13	1 734,08
83	382	5	868,40
83	975	1	363,00
83	880	2	430,50
83	614	3	119,67
83	187	5	3 546,00
83	55	9	2 168,44
83	1028	4	3 117,25
83	55	9	2 168,44
83	55	9	2 167,44
83	995	1	496,00
83	269	1	249,00
83	108	1	3 068,00
83	597	4	2 370,50
83	934	1	2 477,00
83	556	26	2 048,50
83	882	1	850,00
83	430	2	430,50
83	430	2	429,50
83	534	31	1 835,23
83	441	13	1 869,62
83	161	1	125,00
84	391	10	5 032,00
84	649	3	1 628,00
84	55	9	2 168,44
84	6	1	2 419,00
84	936	1	919,00
84	151	2	410,50

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
84	0	1	216,00
84	929	6	3 707,50
84	18	6	2 284,00
84	18	6	2 283,00
84	556	26	2 048,50
84	944	1	2 397,00
84	597	4	2 370,50
84	735	1	2 091,00
84	4	1	443,00
84	532	6	784,33
85	620	5	6 223,40
85	909	4	4 560,75
85	682	6	2 843,42
85	465	2	3 106,50
85	149	1	3 877,50
85	465	2	3 106,50
86	390	2	10 287,25
86	620	5	6 223,40
86	620	5	6 222,40
87	777	1	1 292,00
87	267	2	1 226,00
87	322	1	1 223,50
87	466	2	1 227,25
87	385	1	1 249,50
87	977	2	1 317,50
87	977	2	1 316,50
87	500	5	1 359,70
87	500	5	1 358,70
87	496	3	1 468,33
87	569	1	1 557,00
87	439	4	1 572,50
87	439	4	1 571,50
87	439	4	1 571,50
87	23	2	1 385,50
87	662	1	1 559,50
87	891	4	1 493,75
88	620	5	6 223,40

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
88	863	2	2 958,50
88	869	4	1 824,25
88	252	2	1 626,00
88	884	13	1 628,35
88	884	13	1 627,35
88	884	13	1 627,35
88	884	13	1 627,35
88	909	4	4 560,75
89	547	3	5 106,67
89	909	4	4 560,75
89	120	21	2 410,31
89	487	1	3 148,00
89	521	2	3 390,00
89	521	2	3 389,00
89	679	1	1 685,50
90	120	21	2 410,31
90	120	21	2 409,31
90	308	3	2 641,83
90	492	4	2 909,88
90	910	1	4 527,50
90	790	8	2 757,00
90	120	21	2 410,31
90	501	1	1 992,00
90	884	13	1 628,35
91	869	4	1 824,25
91	749	6	4 213,00
91	549	2	4 143,25
91	120	21	2 410,31
91	120	21	2 409,31
91	120	21	2 409,31
91	524	7	2 294,50
91	678	1	1 705,00
91	533	12	2 284,38
92	120	21	2 410,31
92	869	4	1 824,25
92	912	1	4 064,50
92	120	21	2 410,31



Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
92	884	13	1 628,35
92	903	1	3 148,00
92	884	13	1 628,35
92	473	2	1 704,00
92	884	13	1 628,35
92	884	13	1 627,35
92	884	13	1 627,35
93	881	2	2 202,75
93	395	5	1 576,70
93	922	1	1 599,50
93	395	5	1 576,70
93	395	5	1 575,70
93	413	1	1 458,50
93	522	12	1 507,50
93	522	12	1 506,50
93	522	12	1 506,50
93	522	12	1 506,50
93	522	12	1 506,50
93	510	2	1 576,25
93	522	12	1 507,50
93	396	1	1 611,50
93	522	12	1 507,50
94	490	1	4 443,50
94	117	1	1 677,00
94	891	4	1 493,75
94	713	1	2 404,00
94	522	12	1 507,50
94	522	12	1 506,50
94	443	4	3 509,13
94	533	12	2 284,38
94	308	3	2 641,83
94	343	1	2 245,50
95	120	21	2 410,31
95	510	2	1 576,25
95	236	2	1 455,00
95	712	1	1 469,00
95	476	8	1 453,75

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
95	476	8	1 452,75
95	23	2	1 385,50
95	295	15	1 423,57
95	462	1	1 432,50
95	295	15	1 423,57
95	295	15	1 422,57
95	295	15	1 422,57
95	295	15	1 422,57
95	530	1	1 815,50
95	740	4	2 289,13
96	432	1	1 315,50
96	500	5	1 359,70
96	1010	1	1 418,50
96	871	1	1 421,00
96	443	4	3 509,13
96	420	1	1 421,00
96	1007	1	1 421,00
96	337	1	1 444,50
96	740	4	2 528,13
96	740	4	2 288,13
96	500	5	2 798,70
96	500	5	1 358,70
96	295	15	1 423,57
97	531	1	4 208,00
97	663	1	1 243,00
97	342	4	1 369,50
97	883	1	1 421,00
97	508	2	1 425,00
97	268	1	1 211,00
97	496	3	1 468,33
97	1005	2	1 452,00
97	497	1	1 453,00
97	476	8	1 453,75
97	476	8	1 452,75
97	476	8	1 452,75
97	344	2	1 203,25
97	476	8	1 453,75

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
97	476	8	1 452,75
98	443	4	3 509,13
98	619	1	1 614,50
98	342	4	1 369,50
98	496	3	1 468,33
98	419	1	1 423,50
98	295	15	1 423,57
98	295	15	1 422,57
98	295	15	1 422,57
98	342	4	1 369,50
98	164	1	1 842,00
98	528	1	1 536,50
98	295	15	1 423,57
98	116	2	1 614,75
98	774	1	2 286,00
99	22	3	1 183,33
99	715	3	1 168,17
99	715	3	1 167,17
99	468	4	1 166,88
99	715	3	1 168,17
99	22	3	1 183,33
99	873	3	1 160,50
99	873	3	1 159,50
99	873	3	1 159,50
99	22	3	1 183,33
99	468	4	1 166,88
99	676	1	1 162,50
99	344	2	1 203,25
99	660	1	1 161,50
99	239	1	1 155,50
99	468	4	1 166,88
99	953	1	732,50
99	1022	1	1 184,00
99	448	2	2 285,00
99	440	1	1 435,50
100	267	2	1 226,00
100	909	4	4 560,75

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
100	914	5	2 495,80
100	749	6	4 213,00
100	895	1	3 461,00
100	523	6	1 645,50
100	448	2	2 524,00
100	451	1	4 189,00
101	480	4	4 024,50
101	449	1	3 888,00
101	884	13	1 628,35
101	40	1	829,50
101	725	2	1 056,25
101	308	3	2 641,83
101	124	3	1 079,67
101	124	3	1 078,67
101	96	2	1 121,75
101	468	4	1 166,88
101	466	2	1 227,25
101	340	12	1 107,29
101	998	2	996,50
101	340	12	1 107,29
101	395	5	1 576,70
102	524	7	2 294,50
102	351	1	2 186,00
102	480	4	4 024,50
102	524	7	2 294,50
102	120	21	2 410,31
102	533	12	2 284,38
102	478	1	4 350,00
102	452	1	4 436,00
103	491	1	3 396,00
103	450	5	3 625,80
103	450	5	3 624,80
103	863	2	2 958,50
103	492	4	2 909,88
103	682	6	2 843,42
103	869	4	1 824,25
103	101	1	1 438,50

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
103	424	1	1 381,00
104	470	1	3 716,50
104	287	1	2 638,00
104	509	1	2 564,00
104	464	4	2 551,63
104	914	5	2 495,80
104	894	1	2 421,50
104	524	7	2 294,50
104	471	1	2 443,50
104	740	4	2 528,13
105	391	10	4 473,00
105	474	2	6 399,50
105	391	10	4 473,00
105	386	1	1 294,00
105	534	31	1 870,42
105	180	1	3 135,00
105	771	2	1 886,00
105	1082	1	2 335,00
105	197	1	2 367,00
105	1028	4	2 771,00
106	241	1	2 276,00
106	307	1	2 756,00
106	593	2	2 251,00
106	925	2	2 751,00
106	206	2	2 229,50
106	937	2	2 182,00
106	1066	1	2 746,00
106	932	1	2 182,00
106	54	2	2 180,00
106	1072	3	2 746,00
106	556	26	1 821,00
106	949	2	544,50
106	441	13	1 662,00
106	543	2	407,50
106	381	8	794,50
106	382	5	772,00
106	976	1	634,00

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
106	691	2	382,50
107	49	2	2 172,00
107	1072	3	2 746,00
107	194	2	2 166,50
107	938	2	2 172,00
107	556	26	1 821,00
107	194	2	2 166,50
107	556	26	1 821,00
107	94	5	2 289,40
107	298	10	1 644,00
107	251	1	2 331,00
107	532	6	936,33
107	230	1	914,00
107	969	2	1 391,00
107	968	1	228,00
107	2	2	1 340,50
107	72	1	188,00
107	1064	1	737,00
107	441	13	1 662,00
107	381	8	794,50
107	788	9	1 539,44
107	677	2	191,50
108	650	1	2 441,00
108	594	1	2 468,00
108	196	5	2 110,40
108	243	2	3 091,50
108	941	2	3 100,00
108	209	1	2 854,00
108	52	1	2 446,00
108	1068	2	2 996,00
108	941	2	3 100,00
108	143	9	1 384,44
108	226	2	616,50
108	441	13	1 869,62
108	788	9	1 731,78
108	461	2	885,00
108	61	1	143,00

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
109	474	2	7 199,00
109	556	26	2 048,50
109	677	2	454,50
109	232	2	588,50
109	232	2	348,50
109	600	5	3 407,40
109	206	2	2 508,00
109	248	11	1 840,09
109	1068	2	2 996,00
109	49	2	2 443,50
109	599	2	2 443,50
109	298	10	1 849,30
109	992	1	1 099,00
109	428	1	785,00
109	247	1	305,00
109	80	1	690,00
110	331	4	1 459,50
110	710	1	447,00
110	389	1	258,00
110	111	1	119,00
110	118	1	310,00
110	14	3	3 914,33
110	937	2	2 454,50
110	599	2	2 443,50
110	186	1	2 618,00
110	989	1	517,00
110	691	2	430,50
110	880	2	430,50
110	788	9	1 731,78
110	690	2	528,00
110	311	1	860,00
110	532	6	1 023,33
110	54	2	3 891,50
110	927	3	2 449,00
110	53	2	1 809,00
110	938	2	2 443,50
110	13	1	324,00

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
110	596	1	116,00
110	317	3	143,67
110	855	2	515,50
111	391	10	5 032,00
111	391	10	5 031,00
111	887	3	3 526,00
111	630	1	2 694,00
111	685	3	2 610,33
111	940	1	2 441,00
111	927	3	2 449,00
111	436	2	1 626,00
111	743	1	1 258,00
111	381	8	893,75
111	726	8	1 079,25
111	545	1	857,00
111	327	2	872,00
111	327	2	871,00
112	391	10	4 473,00
112	64	1	3 996,00
112	354	1	2 563,00
112	597	4	2 107,25
112	240	4	2 744,75
112	240	4	2 743,75
112	240	4	2 743,75
112	598	1	2 075,00
112	600	5	1 749,80
112	929	6	2 016,50
112	18	6	2 030,33
112	204	1	2 008,00
113	930	2	3 255,00
113	929	6	2 016,50
113	929	6	2 015,50
113	104	3	1 834,33
113	18	6	2 030,33
113	43	6	2 006,83
113	43	6	2 005,83
113	1077	1	2 636,00

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
113	925	2	2 751,00
113	591	1	2 123,00
113	43	6	2 006,83
113	788	9	1 778,44
113	788	9	1 538,44
113	534	31	1 631,42
113	534	31	1 630,42
114	391	10	5 032,00
114	597	4	2 370,50
114	887	3	3 526,00
114	1067	1	3 036,00
114	43	6	2 257,50
114	534	31	2 074,23
114	534	31	1 834,23
114	535	3	1 965,00
114	535	3	1 725,00
114	722	2	1 808,50
114	722	2	1 807,50
114	297	2	1 863,50
114	297	2	1 862,50
115	94	5	2 575,40
115	202	1	2 224,00
115	1089	1	2 155,00
115	55	9	2 168,44
115	196	5	2 110,40
115	685	3	2 610,33
115	212	1	2 648,00
115	741	1	1 352,00
115	534	31	1 835,23
115	143	9	1 145,44
115	211	3	1 306,00
115	990	1	1 142,00
115	1013	1	874,00
115	438	1	1 456,00
115	441	13	1 869,62
115	518	1	863,00
115	143	9	1 145,44

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
115	382	5	868,40
115	381	8	893,75
116	887	3	3 526,00
116	43	6	2 257,50
116	195	1	2 210,00
116	187	5	2 107,00
116	771	2	2 122,00
116	187	5	2 107,00
116	931	6	2 109,50
116	931	6	2 108,50
116	931	6	2 108,50
116	675	1	1 099,00
116	300	1	513,00
116	441	13	1 869,62
116	788	9	1 731,78
116	534	31	1 835,23
116	2	2	1 508,00
116	143	9	1 145,44
116	381	8	893,75
117	243	2	3 091,50
117	685	3	2 610,33
117	187	5	2 107,00
117	772	1	2 437,00
117	391	10	5 032,00
117	196	5	2 110,40
117	931	6	2 109,50
117	942	1	2 432,00
117	189	1	1 682,00
117	534	31	2 074,23
117	534	31	1 834,23
117	534	31	1 834,23
117	441	13	1 869,62
118	477	3	861,67
118	100	3	1 038,33
118	991	1	1 022,00
118	855	2	515,50
118	593	2	3 971,50

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
118	55	9	2 168,44
118	55	9	2 167,44
118	196	5	2 110,40
118	143	9	1 384,44
118	39	1	793,00
118	973	1	699,00
118	556	26	3 487,50
118	196	5	2 110,40
118	931	6	2 109,50
118	187	5	2 107,00
118	436	2	1 626,00
118	970	1	304,00
118	441	13	1 869,62
118	381	8	893,75
119	69	2	1 831,00
119	94	5	2 575,40
119	686	5	2 090,00
119	686	5	2 089,00
119	957	3	2 082,00
119	313	1	522,00
119	477	3	861,67
119	532	6	784,33
119	1072	3	4 528,00
119	590	3	2 061,33
119	590	3	2 060,33
119	590	3	2 060,33
119	548	4	1 525,50
119	383	2	1 600,00
119	441	13	1 869,62
119	534	31	1 835,23
119	312	1	858,00
120	441	13	1 869,62
120	441	13	1 868,62
120	534	31	1 835,23
120	534	31	1 834,23
120	534	31	1 834,23
120	534	31	1 834,23

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
120	79	2	2 040,00
120	79	2	1 800,00
120	929	6	3 707,50
120	556	26	2 048,50
120	858	3	1 741,00
120	560	1	283,00
120	163	1	2 452,00
120	534	31	1 835,23
120	162	1	121,00
120	143	9	1 145,44
120	143	9	1 144,44
120	534	31	1 835,23
121	534	31	1 835,23
121	692	1	626,00
121	211	3	1 306,00
121	690	2	528,00
121	166	1	818,00
121	86	1	444,00
121	700	1	516,00
121	383	2	1 600,00
121	534	31	1 835,23
121	534	31	1 834,23
121	686	5	3 529,00
121	556	26	2 048,50
121	556	26	2 047,50
121	556	26	2 047,50
121	556	26	2 047,50
121	600	5	1 968,40
121	600	5	1 967,40
121	532	6	1 023,33
121	477	3	861,67
121	461	2	646,00
121	532	6	784,33
121	317	3	382,67
121	58	1	518,00
122	556	26	2 048,50
122	205	1	2 539,00

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
122	104	3	2 063,33
122	94	5	2 575,40
122	240	4	3 087,50
122	208	1	2 525,00
122	43	6	2 257,50
122	556	26	2 048,50
122	18	6	2 284,00
122	930	2	3 661,50
122	556	26	2 048,50
122	1083	1	2 020,00
122	556	26	2 048,50
123	703	1	1 968,00
123	92	1	151,00
123	298	10	3 288,30
123	298	10	1 848,30
123	298	10	1 848,30
123	298	10	1 848,30
123	298	10	1 848,30
123	946	1	1 795,00
123	298	10	1 849,30
123	248	11	1 840,09
123	248	11	1 839,09
123	248	11	1 839,09
123	683	1	3 680,00
123	614	3	358,67
123	143	9	1 145,44
123	974	1	427,00
123	548	4	1 286,50
123	614	3	119,67
123	949	2	343,50
123	100	3	1 277,33
123	110	1	108,00
123	231	3	513,67
124	605	3	572,67
124	923	1	586,00
124	1062	1	1 086,00
124	856	7	3 136,43

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
124	248	11	1 840,09
124	17	6	2 113,83
124	1063	1	2 227,00
124	3	1	1 177,00
124	548	4	1 286,50
124	605	3	572,67
124	605	3	571,67
124	556	26	3 487,50
124	248	11	1 840,09
124	556	26	2 048,50
124	957	3	2 082,00
124	931	6	2 109,50
124	969	2	1 535,00
124	441	13	1 869,62
124	726	8	1 079,25
125	155	1	993,00
125	231	3	513,67
125	394	1	755,00
125	928	3	3 089,00
125	556	26	2 048,50
125	556	26	2 047,50
125	556	26	2 047,50
125	556	26	2 047,50
125	556	26	2 047,50
125	331	4	1 698,50
125	689	1	927,00
125	543	2	458,50
125	59	1	522,00
125	534	31	1 835,23
125	742	1	1 736,00
125	702	1	432,00
125	534	31	1 835,23
125	693	3	360,33
125	91	1	1 488,00
125	534	31	1 835,23
125	693	3	360,33
125	7	1	2 137,00

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
126	94	5	2 575,40
126	14	3	2 475,33
126	927	3	2 449,00
126	601	1	2 437,00
126	686	5	2 090,00
126	1070	1	2 410,00
126	298	10	1 849,30
126	1028	4	3 117,25
126	248	11	1 840,09
126	248	11	1 839,09
126	929	6	2 268,50
126	248	11	1 840,09
126	534	31	2 074,23
126	726	8	1 079,25
126	382	5	868,40
127	317	3	212,33
127	607	1	304,00
127	608	2	270,50
127	425	1	688,00
127	431	2	562,50
127	788	9	2 565,11
127	331	4	2 400,75
127	331	4	2 160,75
127	731	1	535,00
127	231	3	999,33
127	392	1	2 558,00
127	592	2	4 220,50
127	298	10	2 739,30
127	789	2	2 714,50
127	788	9	2 804,11
127	381	8	1 323,63
127	544	1	2 762,00
127	454	1	510,00
127	148	1	874,00
128	17	6	2 113,83
128	69	2	1 831,00
128	95	3	1 745,67

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
128	858	3	1 741,00
128	20	1	1 722,00
128	559	1	1 699,00
128	856	7	1 697,43
128	856	7	1 696,43
128	104	3	2 063,33
128	248	11	1 840,09
128	788	9	1 970,78
128	151	2	410,50
128	441	13	1 869,62
128	534	31	1 835,23
128	726	8	1 079,25
128	534	31	1 835,23
128	726	8	1 079,25
128	143	9	1 145,44
128	534	31	1 835,23
129	95	3	1 745,67
129	95	3	1 744,67
129	84	1	1 873,00
129	556	26	2 048,50
129	957	3	2 082,00
129	55	9	2 168,44
129	444	3	2 652,33
129	789	2	1 671,00
129	726	8	1 318,25
129	548	4	1 286,50
129	225	1	1 241,00
129	100	3	1 277,33
129	889	1	1 718,00
129	726	8	1 318,25
129	382	5	868,40
129	123	1	1 766,00
129	726	8	1 079,25
129	381	8	893,75
129	226	2	616,50
129	534	31	1 835,23
130	858	3	1 741,00

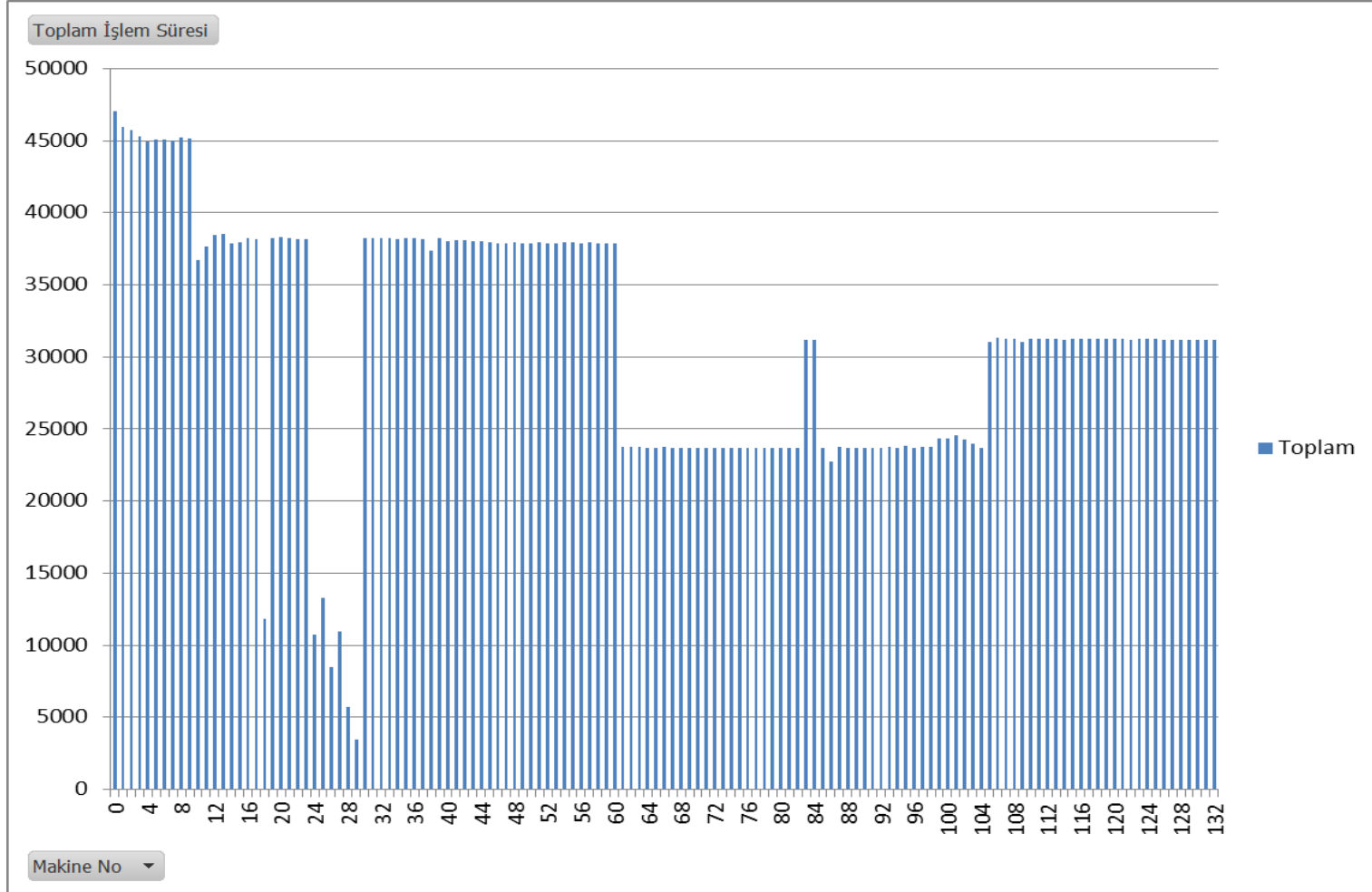


Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
130	856	7	1 697,43
130	856	7	1 696,43
130	53	2	1 809,00
130	17	6	2 113,83
130	17	6	2 112,83
130	17	6	2 112,83
130	211	3	1 545,00
130	693	3	360,33
130	701	1	429,00
130	534	31	1 835,23
130	534	31	1 834,23
130	948	1	330,00
130	248	11	3 279,09
130	556	26	2 048,50
130	686	5	2 090,00
130	856	7	1 697,43
130	556	26	2 048,50
130	608	2	422,00
131	391	10	5 032,00
131	191	1	3 106,00
131	391	10	5 032,00
131	592	2	1 878,00
131	856	7	1 697,43
131	600	5	1 968,40
131	928	3	1 650,00
131	190	1	1 666,00
131	928	3	1 650,00
131	179	1	4 681,00
131	97	1	887,00
131	535	3	1 965,00
132	55	9	2 168,44
132	18	6	2 284,00
132	622	1	1 682,00
132	621	1	1 857,00
132	444	3	2 652,33
132	444	3	2 412,33
132	14	3	3 914,33

Makine No	Sipariş No	Bölünme Sayısı	Toplam İşlem Süresi (dakika)
132	604	1	2 459,00
132	182	1	1 632,00
132	17	6	2 113,83
132	1028	4	3 117,25
132	730	1	2 459,00
132	649	3	1 628,00
132	431	2	457,50
132	613	1	361,00

### EK 10 Makine Bazında Tamamlanma Zamanları

1961



### EK 11 Her Makineye Yüklenebilecek İş Adedi Analizi

Makine No.	Yüklenebilecek İş Adedi
0	440
1	440
2	440
3	440
4	440
5	440
6	440
7	440
8	440
9	440
10	689
11	689
12	689
13	689
14	689
15	689
16	689
17	689
18	164
19	689
20	689
21	689
22	689
23	689
24	135
25	135
26	135
27	135
28	135
29	135
30	689
31	689
32	689
33	689
34	689
35	689

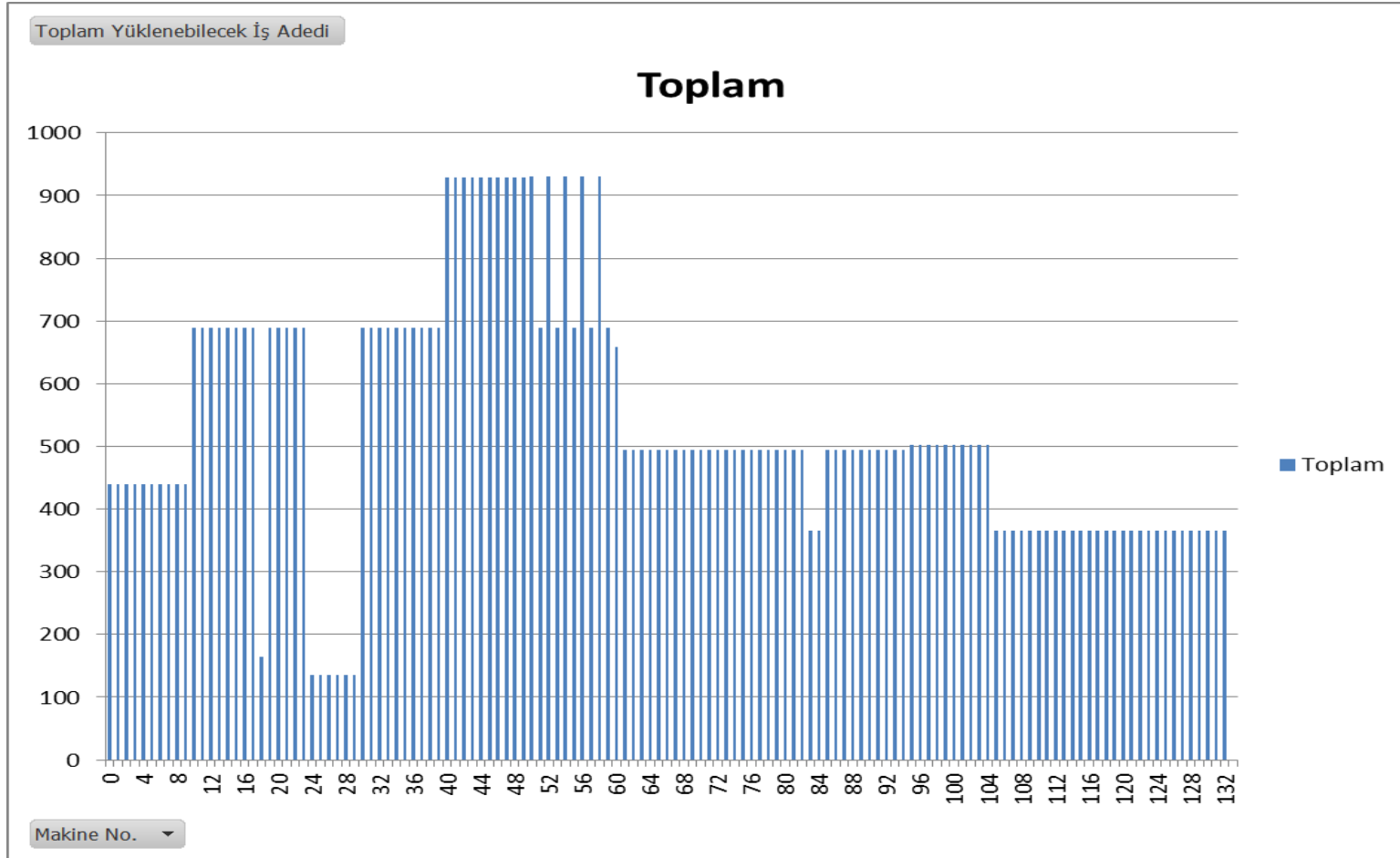
Makine No.	Yüklenebilecek İş Adedi
36	689
37	689
38	689
39	689
40	929
41	929
42	929
43	929
44	929
45	929
46	929
47	929
48	929
49	929
50	931
51	689
52	931
53	689
54	931
55	689
56	931
57	689
58	931
59	689
60	658
61	494
62	494
63	494
64	494
65	494
66	494
67	494
68	494
69	494
70	494
71	494

<b>Makine No.</b>	<b>Yüklenebilecek İş Adedi</b>
72	494
73	494
74	494
75	494
76	494
77	494
78	494
79	494
80	494
81	494
82	494
83	365
84	365
85	494
86	494
87	494
88	494
89	494
90	494
91	494
92	494
93	494
94	494
95	502
96	502
97	502
98	502
99	502
100	502
101	502
102	502
103	502
104	502
105	365
106	365
107	365
108	365
109	365
110	365

<b>Makine No.</b>	<b>Yüklenebilecek İş Adedi</b>
111	365
112	365
113	365
114	365
115	365
116	365
117	365
118	365
119	365
120	365
121	365
122	365
123	365
124	365
125	365
126	365
127	365
128	365
129	365
130	365
131	365
132	365

### EK 12 Her Makineye Yüklenebilecek İş Adedi Grafiği

201



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Duygu YILMAZ EROĞLU  
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa, 20/04/1979  
Yabancı Dili : İngilizce

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Bursa Cumhuriyet Lisesi, 1995  
Lisans : Uludağ Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği,  
1999  
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği,  
2003

### Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl: Uludağ Üniversitesi, (2009-...)

Tofaş A.Ş., (2005-2009)  
Farba A.Ş., (2003-2005)  
Gökçelik Ltd. Şti., (1999-2002)

İletişim (e-posta) : duygueroglu@uludag.edu.tr

Yayımları :

### 1. Uluslararası hakemli dergilerdeki makaleler (Science Citation Index Expanded)

- D.Y. Eroğlu, H.C. Özmutlu, S.A. Köksal, A genetic algorithm for the unrelated parallel machine scheduling problem with job splitting and sequence-dependent setup times – Loom scheduling. Tekstil ve Konfeksiyon (Kabul Tarihi: 30.12.2013)
- D.Y. Eroğlu, H.C. Özmutlu, MIP models and hybrid algorithms for simultaneous job splitting and scheduling on unrelated parallel machines. The Scientific World Journal (Kabul Tarihi: 29.12.2013)
- D.Y. Eroğlu, H.C. Özmutlu, S. Özmutlu, Genetic algorithm with local search for the unrelated parallel machine scheduling problem with sequence-dependent setup times. International Journal of Production Research (Kabul Tarihi: 18.04.2014)
- D.Y. Eroğlu, B.C. Gençosman, F. Çavdur, H.C. Özmutlu, Introducing the MCHF/OVRP/SDMP: Multi Capacitated Heterogeneous Fleet Open Vehicle

2. Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan bildiriler.

2.1. Sözlü sunulan ve bildiri kitabında basılan bildiriler

- D.Y. Eroğlu, K. Kılıç, H.C. Özmutlu, Simultaneous feature selection and weighting: A new approach based on genetic algorithm with local search. International IIE Conference, İstanbul (2013)
- D.Y. Eroğlu, H.C. Özmutlu, A MIP model for the unrelated parallel machine scheduling problem with job splitting and sequence dependent setup times. International IIE Conference, İstanbul (2013)
- D.Y. Eroğlu, H.C. Özmutlu, A Genetic Algorithm with Local Search Method for the unrelated parallel machine scheduling problem with job splitting and sequence dependent setup times. International IIE Conference, İstanbul (2013)
- D.Y. Eroğlu, H.C. Özmutlu, A Genetic Algorithm Method and MIP Model for the unrelated parallel machine scheduling problem with sequence-dependent setup times. International IIE Conference, İstanbul (2013)
- Ö. Akbıyık, C. Mammayew, S. Dönmez, H.C. Özmutlu, S. Özmutlu, D.Y. Eroğlu, Ş. Tektaş, Line optimization by using lean manufacturing techniques. International IIE Conference, İstanbul (2013)
- D.Y. Eroğlu, B.C. Gençosman, K. Kılıç, Improved Hybrid Genetic-Local Search Algorithm for Simultaneous Feature Selection and Weighting. Uluslararası Yazılım Kongresi, Bursa (2013)
- D.Y. Eroğlu, B.C. Gençosman, K. Kılıç, A Comparative Study on Feature Selection Methods: Techniques in Weka & Hybrid Genetic-Local Search Algorithm. Uluslararası Yazılım Kongresi, Bursa (2013)
- D.Y. Eroğlu, B.C. Gençosman, K. Kılıç, A Genetic Algorithm Based Model for Innovation Management. Uluslararası Yazılım Kongresi, Bursa (2013)
- B.C. Gençosman, D.Y. Eroğlu, H.C. Özmutlu, Performance comparison between Character N-gram and Levenshtein edit-distance for automatic topic identification in search engines. Uluslararası Yazılım Kongresi, Bursa (2013)
- B.C. Gençosman, D.Y. Eroğlu, H.C. Özmutlu, Estimation of topic changes in search engines: Improved character n-gram method by pre-processed spelling detection methods. Uluslararası Yazılım Kongresi, Bursa (2013)
- B.C. Gençosman, D.Y. Eroğlu, H.C. Özmutlu, Factor Analysis of the character n-gram method for topic identification in search engines. Uluslararası Yazılım Kongresi, Bursa (2013)
- D.Y. Eroğlu, B.C. Gençosman, H.C. Özmutlu, Improved Mixed Integer Programming models for the unrelated parallel machine scheduling problem with job splitting and sequence dependent setup times. International

Conference on Business, Management, Economics and Finance (ICBMEF), İzmir (2013)

- B.C. Gençosman, D.Y. Eroğlu, M. Beğen, Combined use of Constraint Programming and Mixed Integer Programming: A case study in Stamping Scheduling. International Conference on Business, Management, Economics and Finance (ICBMEF), İzmir (2013)

#### 2.2. Sözlü sunulan ve tam metni yayımlanan bildiri(ler)

- F. Çavdur, H.C. Özmütlu, S. Özmütlu, B.C. Gençosman, D.Y. Eroğlu, Automatic new topic identification using goal programming. International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM), İstanbul (2012)

#### 2.3. Poster olarak sunulan bildiri(ler)

- F. Çavdur, S. Özmütlu, H.C. Özmütlu, D.Y. Eroğlu, B.C. Gençosman, The Open Vehicle Routing Problem with Multiple Products and Vehicles. Workshop on Women in Industrial Engineering Academia (WIEA), İstanbul (2012)

### 3. Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında basılan bildiriler

#### 3.1. Sözlü sunulan ve bildiri kitabında basılan bildiri(ler)

- B.C. Gençosman, D.Y. Eroğlu, F. Çavdur, S. Özmütlu, H.C. Özmütlu, Açık Uçlu Araç Rotalama Probleminde Genetik Algoritma Yaklaşımı. YA/EM Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Ulusal Kongresi, İstanbul (2012)

#### 3.2. Poster olarak sunulan bildiriler

- D.Y. Eroğlu, K. Kılıç, H.C. Özmütlu, İnovasyon Yönetimi İçin Anahtar Girdilerin Belirlenmesi. Uludağ Üniversitesi Ar-Ge Günleri, Bursa (2013)  
D.Y. Eroğlu, B.C. Gençosman, F. Çavdur, S. Özmütlu, H.C. Özmütlu, Açık uçlu araç rotalama probleminde iyileştirilmiş genetik algoritma yaklaşımı. Uludağ Üniversitesi Ar-Ge Günleri, Bursa (2012)

### Faaliyetler

- H.C. Özmütlu, A. Uğuz, F. Çavdur, B.C. Gençosman, D.Y. Eroğlu, Düzenleme Kurulu. Uluslararası Yazılım Kongresi, Bursa (2013)

### Ödüller

- D.Y. Eroğlu, B.C. Gençosman, F. Çavdur, S. Özmütlu, H.C. Özmütlu, Açık uçlu araç rotalama probleminde iyileştirilmiş genetik algoritma yaklaşımı. En iyi poster birincilik ödülü (Müh. Mim. Fakültesi), Uludağ Üniversitesi Rektörlük (2012)