

Esnek Akış Atölyesi Ortamında Müşteri Sipariş Çizelgeleme Problemi

Alper Aladağ

DOKTORA TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Eylül 2019

Customer Order Scheduling Problem in Flexible Flow Shop Environment

Alper Aladag

DOCTORAL DISSERTATION

Department of Industrial Engineering

September 2019

Esnek Akış Atölyesi Ortamında Müşteri Sipariş Çizelgeleme Problemi

Alper Aladağ

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Yöneylem Araştırması Bilim Dalında
DOKTORA TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Aydın Sipahioğlu

Eylül 2019

ONAY

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora öğrencisi Alper Aladağ'ın DOKTORA tezi olarak hazırladığı "Esnek Akış Atölyesi Ortamında Müşteri Sipariş Çizelgeleme Problemi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Prof.Dr.Aydın SİPAHİOĞLU

İkinci Danışman : -

Doktora Tez Savunma Jürisi:

Üye: Prof. Dr. Aydın SİPAHİOĞLU

Üye: Prof. Dr. İnci SARIÇİÇEK

Üye: Prof. Dr. H. Cenk ÖZMUTLU

Üye: Prof. Dr. Şule İtır SATOĞLU

Üye: Doç. Dr. Haluk YAPICIOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. Aydın Sipahioğlu danışmanlığında hazırlamış olduğum “Esnek Akış Atölyesi Ortamında Müşteri Sipariş Çizelgeleme Problemi” başlıklı DOKTORA tezimin özgün bir çalışma olduğunu, tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik, ilke ve kurallara uygun davrandığımı, tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi, tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik, ilke ve kurallara uygun olarak sunduğumu

beyan ederim. 12 / 09 /2019

Alper Aladağ

İmza

ÖZET

Bir üretim sisteminde yer alan müşteri siparişlerinin, istenen teslim zamanında, istenen miktarda yerine getirilmesini çizelgeleme açısından ele alan problem, Müşteri Sipariş Çizelgeleme Problemi (MSÇP) olarak adlandırılmaktadır.

Bu tez kapsamında, Esnek Akış Atölyesi ortamında MSÇP incelenmiştir. Ele alınan problemin amaç fonksiyonu olarak, karmaşıklık hiyerarşisinin en üstünde bulunan, müşteri siparişlerinin ağırlıklı toplam gecikmesinin enküçükleme alınmıştır.

Bu çalışmada, ele alınan problem için Pozisyon Tabanlı, Sıralama Tabanlı ve Zaman İndeksi Tabanlı olmak üzere üç farklı Karma Tamsayılı Doğrusal Karar Modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modeller GAMS yazılım ortamında kodlanmıştır.

Problemin NP-Zor yapısından dolayı büyük boyutlu problemleri eniyiye yakın çözebilmek amacıyla çoğu akış tipi çizelgeleme probleminde iyi sonuçlar veren ve literatürde NEH adıyla bilinen algoritmanın, ele alınan probleme uyarlamasına dayanan yeni bir NEH tabanlı sezgisel ve literatürde Değişken Komşuluk Arama (DKA) olarak bilinen yaklaşıma dayanan bir de metasezgisel algoritma önerilmiştir. Önerilen bu algoritmalar C++ programlama dilinde kodlanmıştır.

Geliştirilen matematiksel modellerin, NEH tabanlı sezgisel algoritmanın ve DKA'ya dayanan yeni metasezgisel algoritmanın etkinlikleri test problemleri üzerinde gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Müşteri Sipariş Çizelgeleme Problemi, Esnek Akış Tipi Çizelgeleme, Pozisyon Tabanlı Model, Sıralama Tabanlı Model, Zaman İndeksli Model, NEH Algoritması, Değişken Komşuluk Arama, Karma Tamsayılı Doğrusal Karar Modeli.

SUMMARY

The Customer Order Scheduling Problem (COSP) deals with the fulfillment of the customer orders in a production system in the desired quantity at the requested delivery date in terms of scheduling.

In this thesis, COSP in flexible flow shop environment was studied. The objective function of the problem being addressed is the minimization of total weighted tardiness of customer orders.

In this study, three different MILP models (position-based, precedence-based and time index-based models) have been developed for the addressed problem. These mathematical models have been coded in GAMS Software environment.

Due to the NP-hard structure of the problem, a new heuristic based on the problem-adaptation of the algorithm known as NEH in the literature, which gives good results in most flow shop scheduling problems, and a new metaheuristic algorithm based on Variable Neighborhood Search (VNS) approach have been developed. The new heuristic and metaheuristic have been coded in C++ programming language.

The performance of these developed mathematical models, NEH-based heuristic algorithm and new VNS-based metaheuristic algorithm have been shown on test problems.

Keywords: Customer Order Scheduling Problem, Flexible Flow Shop Scheduling, Position Based Model, Precedence Based Model, Time Indexed Model, NEH Algorithm, Variable Neighborhood Search, Mixed Integer Linear Programming.

TEŞEKKÜR

Bu tezin ortaya çıkış sürecinde her daim bana inanan, sabırla beni destekleyen ve aydın kişiliği ile yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Aydın Sipahioğlu'na, TİK'te yer alarak, engin bilgileri, birikimleri ve yönlendirmeleri ile tezin nihai hale gelmesinde büyük rolleri olan Prof. Dr. Hüseyin Cenk Özmutlu'ya ve Prof. Dr. İnci Sarıçiçek'e teşekkür ediyorum.

Bu süreçte güçlü ve sakin duruşuyla her daim bana destek olan sevgili eşim Memnune ALADAĞ'a, zorlandığım zamanlarda gülüşleriyle bana güç veren sevgili oğullarım Fatih Burak ve Ali'ye, akabinde de dünyamızı aydınlatan gelişiyile bizi tatlı bir telaşa sevk eden ve işleri hızlandıran minik kızım Selin'e şükranlarımı sunuyorum.

Beni bin bir emek ve özveriyle yetiştirerek bugünlere gelmemi sağlayan annem Rukiye ALADAĞ'a ve babam Ali ALADAĞ'a teşekkür ediyorum.

İsmini sayamadığım ancak tezin ortaya çıkmasındaki bilgi birikimine maddi/manevi katkısı olan tüm hocalarıma, dostlarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. ÜRETİM SİSTEMLERİ VE ÇİZELGELEME	5
2.1. Üretim Sistemleri	5
2.1.1. Akış perspektifinden üretim sistemleri	7
2.1.2. Müşterinin konumuna göre üretim sistemleri	9
2.1.2.1. <u>Sipariş için tasarım (engineer to order)</u>	11
2.1.2.2. <u>Sipariş için üretim (make to order)</u>	11
2.1.2.3. <u>Sipariş için montaj (assemble to order)</u>	11
2.1.2.4. <u>Teslim çizelgesine göre üretim (make to delivery schedule)</u>	12
2.1.2.5. <u>Stok için üretim (make to stock)</u>	12
2.1.3. Üretim miktarına veya akışına göre üretim sistemleri	16
2.1.3.1. <u>Siparişe göre (job shop) üretim tipi</u>	16
2.1.3.2. <u>Sürekli üretim</u>	16
2.1.3.3. <u>Parti (batch) tipi üretim</u>	17
2.1.3.4. <u>Proje tipi üretim</u>	17
2.2. Çizelgeleme	18
2.2.1. Genel bakış	18
2.2.2. Çizelgeleme problemlerinin gösterimi	22
2.2.2.1. <u>α makine ortamı alanı</u>	22
2.2.2.2. <u>β işlere ait özellikler alanı</u>	23
2.2.2.3. <u>γ eniyilenecek performans kriteri alanı</u>	24

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.2.3. Çizelgeleme problemlerinin karmaşıklık hiyerarşisi	25
2.2.4. Tek makine çizelgeleme	27
2.2.4.1. <u>Genel bakış</u>	27
2.2.4.2. <u>Tek makine sıralama problemi için kullanılabilir tamsayılı doğrusal karar modelleri</u>	27
2.2.5. Akış tipi çizelgeleme	33
2.2.5.1. <u>Genel bakış</u>	33
2.2.5.2. <u>Akış tipi çizelgeleme problemi için kullanılan bazı sezgisel yöntemler</u>	34
2.2.6. Esnek akış tipi çizelgeleme	36
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	39
3.1. Müşteri Sipariş Çizelgeleme Problemi	39
3.2. Makine Ortamına Göre Sipariş Çizelgeleme Problem Tipleri	40
3.2.1. Tam tahsisli durum (fully dedicated case)	40
3.2.2. Tam esnek durum (fully flexible case)	41
3.2.3. Keyfi durum (arbitrary case)	41
3.2.4. Problemin matematiksel modeli	41
3.3. Sipariş Çizelgeleme Problemlerinin Gösterimi	43
3.3.1. α makine ortamı alanı	43
3.3.2. β işlere ait özellikler alanı	44
3.3.3. γ eniyilenecek performans kriteri alanı	44
3.4. Problemin Karmaşıklığı	44
3.5. Literatür Araştırması	46
3.5.1. Tek makine ortamında yapılan çalışmalar	48
3.5.2. Çok makine ortamında yapılan çalışmalar	49
3.5.2.1. <u>Paralel makine ortamı</u>	50
3.5.2.2. <u>Akış tipi atölye ortamı (flowshop)</u>	52
3.5.2.3. <u>Karmaşık atölye ortamı (job shop)</u>	53
4. DEĞİŞKEN KOMŞULUK ARAMA	56
4.1. Genel Bakış	56

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.2. Değişken Komşuluk Aramanın Türleri	59
4.2.1. Değişken komşuluk iniş algoritması (variable neighborhood descent)	59
4.2.2. Temel değişken komşuluk arama algoritması	61
4.2.2.1. <u>Karıştırma</u>	61
4.2.2.2. <u>Yerel Arama</u>	61
4.2.2.3. <u>Çeşitlendirme</u>	61
4.2.3. Genel değişken komşuluk arama algoritması	62
4.2.4. İndirgenmiş değişken komşuluk arama (Reduced variable neighborhood search)	64
4.2.5. Ayrışık değişken komşuluk arama (Variable neighborhood decomposition search) ...	64
4.2.6. Çarpık değişken komşuluk arama (Skewed variable neighborhood search)	64
5. ÖNERİLEN ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ	65
5.1. Problemin Tanımı	65
5.2. Problem İçin Geliştirilen Tamsayı Karar Modelleri	67
5.2.1. Pozisyonu tabanlı model	69
5.2.2. Sıralama tabanlı model:	71
5.2.3. Zaman indeksli model	72
5.2.4. Matematiksel modellerin boyut karşılaştırması	74
5.3. Problem İçin Geliştirilen Değişken Komşuluk Arama (DKA) Yöntemi	76
5.3.1. Çözüm gösterimi	76
5.3.2. Kullanılan komşuluk yapıları	78
5.3.2.1. <u>İkili yer değiştirme (aynı makine)</u>	78
5.3.2.2. <u>İkili yer değiştirme (farklı makine)</u>	79
5.3.2.3. <u>İkili ardışık yer değiştirme</u>	79
5.3.2.4. <u>Araya ekleme (aynı makine)</u>	80
5.3.2.5. <u>Araya ekleme (farklı makine)</u>	81
5.3.2.6. <u>Ters çevirme</u>	81
5.3.2.7. <u>Parça değişimi</u>	82
5.3.3. Çizelgedeki işlemlerin zamanlama hesaplamaları	83
5.3.4. Başlangıç çözümünün belirlenmesi	85
5.3.5. Algoritmanın genel işleyişi	85

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.4. Geliştirilen NEH Tabanlı Sezgisel	89
5.4.1. NEH algoritması	89
5.4.2. Önerilen NEH tabanlı algoritma ve farklı tipleri	89
5.4.3. Önerilen NEH tabanlı algoritmanın karmaşıklığı	91
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	94
6.1. Test Problemleri	94
6.1.1. Matematiksel modeller için üretilen test problemleri	95
6.1.2. Önerilen yeni algoritmalar için türetilen test problemleri	96
6.2. Test Sonuçları	100
6.2.1. Performans kriteri.....	100
6.2.2. Matematiksel modellerin çalıştırılması ile elde edilen sonuçlar	101
6.2.3. Önerilen NEH tabanlı algoritmalarla elde edilen sonuçlar	104
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	117
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	120
EK AÇIKLAMALAR.....	126
Ek Açıklama-A: Önerilen Matematiksel Modellere Ait GAMS Kodları.....	127
A.1. Pozisyon Tabanlı Modele Ait GAMS Kodları.....	127
A.2. Sıralama Tabanlı Modele Ait GAMS Kodları	132
A.3. Zaman İndeksli Modele Ait GAMS Kodları	136
Ek Açıklama-B: Küçük-Orta-Büyük Boyutlu Problemlerde Elde Edilen Sonuçlar	140
Ek Açıklama-C: Deneylerde Kullanılan Test Problemlerine Ait Bilgiler	178
ÖZGEÇMİŞ.....	183

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Bir üretim sisteminin temel elemanları (Kobu, 2014).....	5
2.2. Malzeme, bilgi ve para akış sistemi olarak bir üretim şirketi.....	8
2.3. Bir ürün ağacında MSAN ve MSN'nın konumu	10
2.4. Üretim sistemlerinde göre MSAN'nın ürün ağacındaki yeri	12
2.5. Üretim sistemlerindeki malzeme akışındaki stok noktaları	13
2.6. Farklı üretim sistemlerinde nihai ürün hakkındaki bilgi düzeyi.....	14
2.7. MSAN'a göre üretim tipleri ile sektör ve üretim hacmi ilişkisi	15
2.8. Üretim akışına göre üretim sistemlerinde müşteri entegrasyon derecesi ve üretim hacmi ilişkisi.	17
2.9. Üretim Planlamanın Hiyerarşik Yapısı.....	21
2.10. Çizelgeleme Problemlerinin Karmaşıklık Hiyerarşisi: a) Makine Ortamı b) İşlem Özellikleri c) Amaç Fonksiyonuna göre	26
2.11. Akış Atölyesinde İş Akışı.....	33
2.12. Esnek Akış Atölyesinin Genel Görünümü	37
3.1. Örnek İçin İki eşit Alt Parti İçin Parti Akışının Gösterimi	47
4.1. İki komşuluk yapısı kullanılarak yapılan bir DKA örneği	58
4.2. DKİ Algoritmasının (DKİA) İşleyişi.....	60
5.1. Tez çalışmasında ele alınan problemin sel gösterimi	66
5.2. Önerilen yöntemdeki çözüm gösterimi örneği.	77
5.3. Aynı Makinede İkili Yer Değiştirme	78
5.4. Farklı Makinelerde İkili Yer Değiştirme	79
5.5. İkili Ardışık Yer Değiştirme.....	80
5.6. Aynı Makinede Araya Ekleme	80

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.7. Farklı Makinede Araya Ekleme.....	81
5.8. Ters Çevirme	82
5.9. Parça Değişimi.....	82
6.1. Algoritmaların 10 kere koşturulması sonucunda ortalama işlemci süresinin, iş sayısına göre değişim grafiği.....	104
6.2. Önerilen algoritmaların koşullardaki ortalama işlemci sürelerinin iş sayısına göre değişim grafiği.....	105
6.3. Üretilen 160 adet test probleminde, geliştirilen algoritmaların enküçük amaç fonksiyonu elde ettiği problem sayısı grafiği.	107
6.4. Üretilen 160 adet test probleminde, geliştirilen algoritmaların ortalama amaç fonksiyonu değeri (Z_{ort}) eniyi olduğu problem sayısı grafiği.....	108
6.5. Algoritmaların test problemlerinde bulduğu eniyi çözümlerin GSD'lerinin ortalamasını gösteren grafik.....	109
6.6. 2 Aşama ve her aşamada 3 makine için GSD değerleri grafiği.....	110
6.7. 2 Aşama ve her aşamada 5 makine için GSD değerleri grafiği.....	111
6.8. 4 Aşama ve her aşamada 3 makine için GSD değerleri grafiği.....	111
6.9. 4 Aşama ve her aşamada 5 makine için GSD-iş sayısı değişim grafiği.	112
6.10. Çok büyük boyutlu problemlerde kullanılan DKA algoritmasının 1000 artırma için gereken işlem süresinin iş sayısına göre değişim grafiği.	113

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. MSAN'a göre üretim tiplerinin özellikleri	14
2.2. Tek makinede sıralama problemi için önerilen matematiksel modellerin farklı planlama ufku ve iş sayısı alternatiflerine göre özellikleri	32
3.1. Literatürde incelenen MSCP çalışmalarının sınıflandırması	54
5.1. Önerilen matematiksel modellerdeki kısıt ve değişken sayıları	75
5.2. Örnek problemde yer alan ürünlerin ait olduğu siparişler ve ürün tipleri	77
6.1. Test Problemleri İçin Kullanılan Sipariş Teslim Tarihleri ve Öncelik Katsayıları	95
6.2. Ürün Tipine Göre Makina İşlem Süreleri	95
6.3. Yapılan ilk çalışmada üretilen test problemi sınıflarının içerdiği en az (\bar{U}_{alt}), en fazla ($\bar{U}_{üst}$) ve ortalama ($\bar{U}_{ort.}$) iş sayıları	96
6.4. Yeni geliştirilen algoritmalar için üretilen test problemlerinde kullanılan parametrelere ilişkin alternatifler.	99
6.5. Test Problemlerinin İş Sayısına Göre Türleri	100
6.6. Matematiksel Modellerin ve Önerilen DKA Algoritmasının Sonuçları	102
6.7. Küçük/Orta/Büyük Boyutlu Problemler Üzerinde Elde Edilen Sonuçlara Ait Bilgiler	106
6.8. Çok Büyük Ölçekli Problemlerde Önerilen DKA Algoritmasıyla 100 ve 1000 ardışırma için elde edilen sonuçlar	115

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
B_h^{mf}	h aşamasındaki m makinesinin f . pozisyonundaki işlemin başlama zamanı
C_i	i siparişinin tamamlanma zamanı
C_{ijk}	i siparişindeki j tipindeki k işinin tamamlanma zamanı
d_i	i siparişinin teslim zamanı (termini)
F	Makinelerdeki işlere ait pozisyonlar kümesi $F = \{f: f = 1, \dots, f_m\}$
f_m	m makinesinde yapılan işlem sayısı
H	Akıştaki üretim aşamaları kümesi $H = \{h: h = 1, \dots, G\}$
I	Siparişler Kümesi $I = \{i: i = 1, \dots, N\}$
J	Ürün tipleri kümesi $J = \{j: j = 1, \dots, R\}$
K	İşlenecek işlerin kümesi $K = \{k: k = 1, \dots, Q\}$
L_h	h aşamasındaki makine sayısı
M	Makineler kümesi $M = \{m: m = 1, \dots, L_h\}, \quad \forall h$
O_{ijkh}	i siparişinin j tipindeki k işinin h aşamasındaki işlemi
p_{jh}^m	j tipindeki ürünün h aşamasındaki m makinesindeki işlem süresi
Q_{ij}	i siparişindeki j ürün tipindeki ürün sayısı
S_{ijkh}	i siparişinin j türündeki k işinin h aşamasındaki başlama zamanı
T_i	i siparişinin gecikmesi

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
U	Belirlenen planlama ufkundaki zaman adımları (aralıkları kümesi) $U = \{u: u = 1, \dots, T + 1\}$
$U(a, b)$	a ve b arasında dağılan düzgün dağılım
w_i	i siparişinin önem (öncelik) katsayısı
x_{ijkh}^{mf}	$= \begin{cases} 1, & \text{eğer } o_{ijk} \text{ işi } h \text{ aşamasında } m \text{ makinesinde } f \text{ pozisyonunda işleniyorsa} \\ 0, & d. d. \end{cases}$
$x_{ijk i' j' k' h}$	$= \begin{cases} 1, & \text{eğer } o_{ijkh} \text{ işlemi, } o_{i' j' k' h} \text{ işleminden önce ise} \\ 0, & d. d. \end{cases}$
x_{ijkh}^{mu}	$= \begin{cases} 1, & \text{eğer } o_{ijkh} \text{ işlemi } m \text{ makinesinde } u - 1. \text{ zamanda başlarsa} \\ 0, & d. d. \end{cases}$
y_{ijkh}^m	$= \begin{cases} 1, & \text{eğer } o_{ijk} \text{ işi } h \text{ aşamasında } m \text{ makinesinde işleniyorsa} \\ 0, & d. d. \end{cases}$
Z	Amaç Fonksiyonu Değeri
Z^*	Eniyi Amaç Fonksiyonu Değeri
Z_{enb}	Enbüyük Amaç Fonksiyonu Değeri
Z_{enk}	Enküçük Amaç Fonksiyonu Değeri
$ort. Z (Z_{ort.})$	Koşumlarda elde edilen Amaç Fonksiyonu Değerleri Ortalaması

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
ADKA	Ayrışık Değişken Komşuluk Arama
ATO	Assemble To Order
BOM	Bill Of Material
CDS	Campbell, Dudek ve Smith
COS	Customer Order Scheduling
ÇDKA	Çarpık Değişken Komşuluk Arama
DKA	Değişken Komşuluk Arama
DKİ	Değişken Komşuluk İniş
EATÇP	Esnek Akış Tipi Çizelgeleme Problemi
ERP	Enterprise Resource Planning
ETO	Engineer To Order
FFOS	Flexible Flowshop With Order Scheduling
GAMS	General Algebraic Modelling System
GDKA	Genel Değişken Komşuluk Arama
GSD	Göreceli Sapma Değeri
KTDKM	Karma Tamsayılı Doğrusal Karar Modeli
MSAN	Müşteri Sipariş Ayrışma Noktası
MSCP	Müşteri Sipariş Çizelgeleme Problemi
MSN	Müşteri Sipariş Noktası
MTDS	Make To Delivery Schedule
MTO	Make To Order
MTS	Make To Stock
NEH	Nawaz, Enscore, Ham
NEH/DKA	Başlangıç Çözümü NEH ile Üretilen DKA Algoritması
NP	Non Polinomial
SİM	Sipariş İçin Montaj

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
SİT	Sipariş İçin Tasarım
SİÜ	Sipariş İçin Üretim
SKÇ	Sipariş Kabulü ve Çizelgelemesi
STİÜ	Stok İçin Üretim
TÇGÜ	Teslim Çizelgesine Göre Üretim
TDKA	Temel Değişken Komşuluk Arama
ÜPK	Üretim Planlama ve Kontrol
İS	İş Sayısı
PTM	Pozisyon Tabanlı Model
STM	Sıralama Tabanlı Model
ZİM	Zaman İndeksli Model
KS	Kısıt Sayısı
DS	Değişken Sayısı
TDS	Tamsayı Değişken Sayısı

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Üretim sistemleri modern toplumun öne çıkan özelliklerinden biridir. Bu sistemler, bir ülkenin ekonomik gücünün, canlılığının inşası ve geliştirilmesi için bir ortam sunar. Üretim sistemlerinin geliştirilmesi ve çalıştırılması oldukça karmaşık bir iştir. Ürünlerde, süreçlerde, yönetim teknolojilerinde, konseptlerde ve kültürlerde yaşanan büyük çaplı değişiklikler karşılaşılan zorlukları oldukça artırmaktadır (Sipper ve Bulfin,1998).

Yaşanan birçok değişikliğin içinde müşteri talep çeşitliliğinin artması en önemli olanıdır. Müşteri daha fazlasını talep etmekte ve çok çeşitli ürünü en düşük maliyetle, en üst kalitede istemektedir. Pazarın ekonomik yapısı da artık ölçek ekonomisinden (kitlesel üretim), kapsam (çeşitlilik) ekonomisine dönüşmüştür. Bu ekonomik seçim kitlesel standardize ürünlerin çeşitliliğine de vurgu yapmaktadır. Güç, renk ve diğer özellikler bakımından kişisel zevklere uygun araba alabilme düşüncesi, "Siyah Ford Model T" sendromunu artık değiştirmiştir. Sanayi kitlesel üretimin etkinliğini sanayi devrim, öncesi zamanların çeşitliliği ve ustalığıyla aynı potada eritebilme gibi çok zor bir işle karşı karşıyadır. Artık müşteri piyasaya hangi ürünün sunulacağını dikte etmekte ve sanayi talepleri takip etmektedir. Kitlesel üretimin ürün odaklı sistemi yerini artık pazar (müşteri) odaklı sisteme bırakmaktadır (Sipper ve Bulfin,1998).

Üretim tesisleri karmaşık, dinamik ve stokastik sistemlerdir. Planlı bir üretim faaliyetinin başından itibaren, işçiler, yöneticiler, mühendisler ve üst yöneticiler, üretim faaliyetlerinin kontrol altında tutabilmek için birçok pratik ve akıllıca metot geliştirirler. Birçok imalat organizasyonu, kontrol edilebilen belirli aktivitelerin yerine getirilebilmesi için, üretim çizelgeleri hazırlarlar ve bunları sürekli güncellerler. Üretim çizelgeleri, faaliyetleri koordine ederken, üretkenliği artırır ve işletme maliyetlerini düşürür. Bir üretim çizelgesi kaynak çatışmalarını tanımlar, işlerin atölyeye gelişlerini kontrol eder, ihtiyaç duyulan hammaddenin zamanında sipariş edilmesini sağlar, sipariş teminatlarının karşılanıp karşılanamayacağına karar verir ve önleyici bakım için gerekli zaman periyotlarının belirlenmesini sağlar (Herrnan, 2007).

Herrmann (2007)'a göre çok karmaşık bir yapıya sahip olmasından dolayı çizelgeleme üç farklı açıdan ele alınabilir:

Problem çözümü perspektifinden bakıldığında, çizelgeleme bir eniyileme problemidir. Çizelgeleme, üretim planlama ve kontrol alanından izole edilerek, kombinatoriyel eniyileme problemi olarak modellenerek, çözülmeye çalışılır.

Karar verme perspektifinden bakıldığında çizelgeleme bir insanın alması gereken bir karardır. Çizelgeleme yapan kişi, bunu başarmak için resmi ve gayri resmi bilgileri kullanarak çok çeşitli faaliyetleri yerine getirir. Çizelgeleme yapan kişi belirsizlikleri vurgulamak, darboğazları yönetebilmek ve insanların neden olduğu problemleri önceden sezebilmek durumundadır.

Kurumsal perspektiften bakıldığında çizelgeleme, üretim planlama ve kontrol sistemindeki karmaşık bilgi akışı ve karar-verme akışının bir parçasıdır.

Birçok imalat ve montaj tesisinde, her iş belli bir işlem dizisinden geçmek zorundadır. Bu işlemler çoğu zaman her iş için aynı sırada yapılmakta yani aynı rotayı takip etmektedir. Bu durumda makinelerin seri olarak yerleştirildiği kabul edilmekte ve bu atölye ortamına da akış tipi atölye adı verilmektedir. Akış tipi makine ortamının en genel halinde, birbirine seri bağlı birçok üretim aşaması ve her aşamada birbirine paralel birçok makine vardır. Gelen işler her aşamada bu paralel makinelerden sadece birinde işlenir. Bu makine ortamına esnek akış atölyesi, bileşik akış atölyesi, çok işlemcili akış atölyesi veya hibrit (melez) akış tipi atölye ortamı gibi isimler verilmektedir.

Müşteri memnuniyeti dünyadaki tüm şirketler için büyük öneme sahiptir. Bu da anahtar bir performans göstergesi olarak geçmiş birkaç on yılda sipariş için üretim stratejisinin popülerliğinin artmasını sağlamıştır (Xu vd., 2013). Sipariş için üretim (make-to-order) üretimi müşteri siparişleri ile başlatılan, müşteri siparişlerine göre yönlendirilen üretim türü anlamına gelmektedir. Müşteri siparişleri doğal olarak her biri sipariş miktarına göre değişen çok farklı türde olabilmektedir. Bu müşteri siparişlerinin gerçekleştirilmesinden sorumlu imalat tesisleri, her ürün tipini işleyebilecek farklı makinelerle teçhiz edilmiştir.

ERP sistemlerinin kullanıldığı modern imalat ortamında, sipariş için üretim stratejisi sipariş takip modülü ile üretim planlama modülü arasında çok güçlü ve akılcı bir bağ olmasını gerektirmektedir. Bu da müşteri siparişlerinin planlanması kabiliyetinin geliştirilmesi için araç geliştirmeyi gerektirmektedir (Xu vd., 2013). Bu durumda da ortaya siparişlerin istenen teslim zamanında, istenen miktarda yerine getirilmesini çözelgeleme açısından ele alan Müşteri Sipariş Çözelgeleme Problemi (MSÇP) ortaya çıkmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında MSÇP esnek akış atölyesi ortamında ele alınmıştır. Bu kapsamda MSÇP için;

- Üç farklı Karma Tamsayı Doğrusal Karar Modeli (KTDKM),
- Beş Farklı Kurala Dayanan NEH Tabanlı Bir Sezgisel Yaklaşım,
- Değişken Komşuluk Arama (DKA) metasezgiseline dayanan yeni bir metasezgisel yaklaşım geliştirilmiştir.

Geliştirilen KTDKM'leri GAMS yazılımı ortamında, diğer yaklaşımlar ise C++ yazılım ortamında kodlanmış ve etkinlikleri üretilen test problemleri üzerine gösterilmiştir.

Yapılan tüm bu çalışmaların sonucunda Esnek Akış Atölyesi Ortamında Müşteri Sipariş Çözelgeleme Problemi için; 3 farklı KTDKM, yeni bir NEH tabanlı sezgisel ve DKA'ya dayanan yeni bir metasezgisel algoritma kazandırılmıştır.

Bu tez çalışmasının;

İkinci bölümünde, üretim sistemlerinin sınıflandırılması hakkında genel bir bilgi verilmiş, çözelgeleme problemi ve türleri geniş olarak ele alınmıştır.

Üçüncü bölümde, müşteri sipariş çözelgeleme problemi detaylı olarak açıklanmış ve konuyla ilgili literatür araştırmasına yer verilmiştir.

Dördüncü bölümde, Değişken Komşuluk Arama Metasezgisel Yaklaşımı açıklanmıştır.

Beşinci bölümde, ele alınan problemin özellikleri açıklanmış ve önerilen çözüm yaklaşımları açıklanmıştır.

Altıncı bölümde, geliştirilen algoritmaların etkinliğinin gösterilebilmesi için önerilen test problemlerinin üretimi ve algoritmaların test problemleri üzerinde koşturulması sonucunda elde edilen bulgular irdelenmiştir.

Yedinci bölümde ise sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

2. ÜRETİM SİSTEMLERİ VE ÇİZELGELEME

2.1. Üretim Sistemleri

Üretim ekonomistler açısından fayda yaratmak şeklinde tanımlanırken, mühendisler açısından üretim, bir hammaddeyi üzerinde değer artırıcı işlemler yapmak suretiyle kullanılabilir yeni bir mamule dönüştürme işlemi olarak tanımlanmaktadır (Kobu, 2014).

Üretim genel anlamda malzeme (hammadde), işgücü ve sermayenin bir araya getirilmesi suretiyle ürün ve hizmet meydana getirme süreci olarak tanımlanabilir. Bu tanım açısından bakıldığında otomobil üretimi, sütün taşınması, tıbbi muayene, bankacılık işlemleri vb. hepsi üretim olarak görülebilir. Üretim planlama ve kontrol kapsamı anlamında üretim için mal (ürün-mamul) üretimi anlamında üretim veya imalât terimi kullanılabilir. (Jonsson ve Mattsson, 2009).

Üretimin yapılabilmesi için birçok faktörün bir araya gelmesi gerekir. Ekonomistler üretim faktörlerini en basit anlamda, hammadde (toprak), emek (işçilik) ve sermaye olarak ifade eder. Bazı kaynaklar, daha önce bahsedilen üretim faktörlerinin istenen amaca uygun olarak bir araya getirilmesi için yapılan planlama, koordinasyon ve kontrol faaliyetlerini kapsayan yönetimi de ayrıca bir üretim faktörü olarak tanımlamaktadır (Kobu, 2014).



Şekil 2.1. Bir üretim sisteminin temel elemanları (Kobu, 2014)

Belirli bir amacı gerçekleştirmek üzere bir araya gelen ve aralarında ilişkiler bulunan elemanlardan oluşan bütüne sistem adı verilir. Ürün veya hizmet üretmek amacıyla bir araya gelen elemanlar topluluğuna da üretim sistemi denir. Üretim sistemi girdileri dönüşüm yoluyla katma değerli çıktılara dönüştürür. Üretim sisteminin temel elemanları, girdiler, üretim süreci, çıktılar, geri besleme ve çevre olarak beşe ayrılabilir. Bu elemanlar arasındaki ilişki Şekil 2.1.'de gösterilmiştir (Kobu, 2014).

Üretim sistemleri modern toplumun en öne çıkan özelliklerinden biridir. Bu sistemler bir ülkenin ekonomik gücünün ve canlılığının inşası ve geliştirilmesi için bir ortam sunar. Üretim sistemlerinin geliştirilmesi ve çalıştırılması oldukça karmaşık bir iştir. Ürünlerde, süreçlerde, yönetim teknolojilerinde, konseptlerde ve kültürlerde yaşanan büyük çaplı değişiklikler karşılaşılan zorlukları oldukça artırmaktadır (Sipper ve Bulfin, 1998).

Üretim yönetimi, bir üretim sisteminde belirli miktardaki ürünün istenen kalitede, istenen zamanda ve en düşük maliyetle üretimini sağlamak amacıyla işletmenin elinde bulunan malzeme, makine ve insan gücü kaynaklarının bir araya getirilmesidir (Kobu, 2014).

Üretim yönetim sistemleri 3 temel kategorideki sorunları çözmek üzere kullanılır (Shobrys ve White, 2000):

- Haftalar veya aylarla hatta yıllarla ölçülen uzun dönemli koordinasyonu sağlamak üzere kurulan planlama sistemleri,
- Günlük veya haftalık ölçekte yapılacak spesifik faaliyetleri düzenleyen çizelgeleme sistemleri,
- Dakika veya saniyeler mertebesinde gerçek zamanlı kontrolü sağlamak üzere kurulan süreç kontrol sistemleri.

Bu farklı sistemler önceleri birbirinden bağımsız gelişim hikâyeleri ile bağımsız nokta çözümleri olarak evrildiler. Farklı temel modellere, farklı çözüm algoritmalarına ve daha da önemlisi farklı kullanıcı gruplarına sahiptirler.

Bu sistemlerin birlikte çalışması zorunluluğu açıktır. Firmalar planlamadan süreç kontrolüne akışı sağlamak zorundadırlar ve tersi olarak da süreç kontrolünden çizelgeleme ve planlamaya da doğru bir akışının olması gerekir. İşte bu noktada bu sistemler arasındaki entegrasyonun sağlanması çok çalışılan alanlardan olmuştur (Shobrys ve White, 2000).

2.1.1. Akış perspektifinden üretim sistemleri

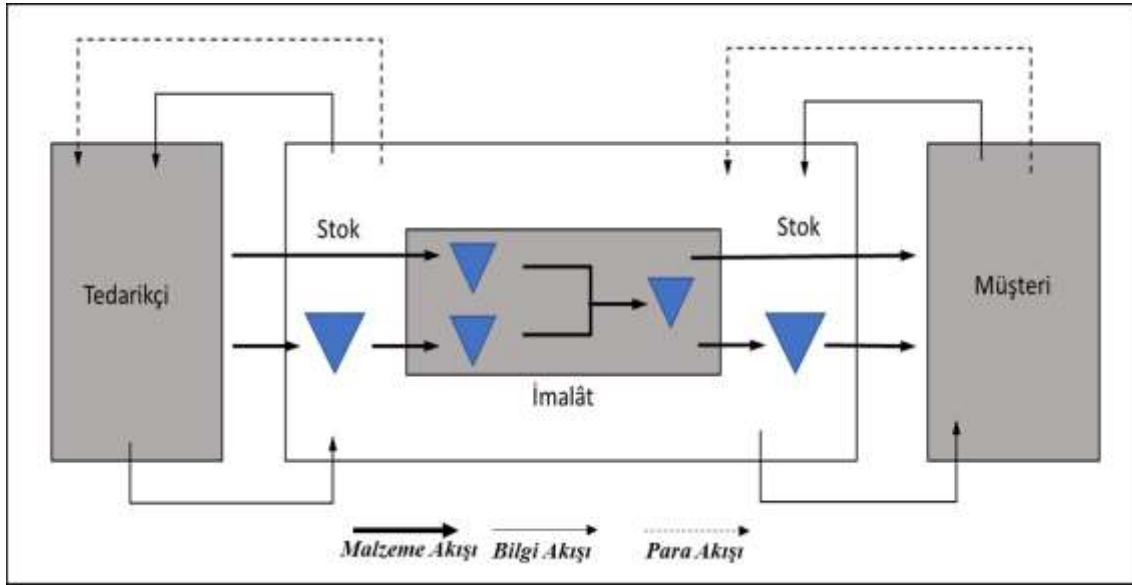
En tipik üretim sistemleri üretim şirketleridir. Bir üretim şirketinin çevresiyle olan ilişkileri malzeme, bilgi ve para akışı olarak gösterilebilir.

Jonsson ve Mattson (2009), akış perspektifinden bir üretim sistemi olarak firmada gerçekleşen malzeme, para ve bilgi akışını şu şekilde açıklar :

Bir firmanın ürününü üretebilmesi için hammadde, alt bileşenlere veya başka yarı mamullere ihtiyacı vardır. Bunlar genellikle dışarıda temin edilir. Dış kaynaktan temin edilen malzemeler ya daha sonra üretimde kullanılmak üzere stoka girer ya da direkt olarak üretimde kullanılır. Bilginin akışı malzemenin akışını da etkiler. Tedarik edilen malzemelerin işlenmesi üretim esnasında yapılır. Genel olarak değer artırıcı faaliyetler olarak adlandırılacak bu işlemler belli sayıda işlem adımlarından oluşurlar ve sonunda yeni ürün veya yarı ürünler elde edilir. Bu üretilen ürünler, nihai ürünün üretiminde kullanılmak üzere ya stoka gönderilir ya da direkt olarak kullanılır. Firmanın ürettiği nihai ürünler ya gelecek teslimatlar için stokta saklanır ya da doğrudan müşteri siparişi olarak gönderilir. Bu faaliyetler sistemdeki bilgi akışıyla da kontrol edilir.

Her tedarik zincirinde tedarikçiye başlayan ve müşterilerde sonlanan bir malzeme akışı söz konusudur. Müşteriler ürünler için ödeme yaptıkça, firma da tedarikçilerine hammadde ve yarı mamuller için ödeme yapar. Bu para akışı içindeki değer farklılıkları direkt üretim maliyetlerini, diğer katkı maliyetlerini ve karı içerir. Para akışı ayrıca bilgi akışı tarafından tetiklenir.

Tedarik zincirlerinde firma-tedarikçi ve firma-müşteri olmak üzere iki farklı bilgi akışı mevcuttur. Müşteri-firma-tedarikçi yönünde talebe ilişkin bilgi akışı söz konusuysen, tersi tedarikçi-firma-müşteri yönünde arza ilişkin bilgi akışı söz konusudur.



Şekil 2.2. Malzeme, bilgi ve para akış sistemi olarak bir üretim şirketi (Jonsson ve Mattson, 2009)

Şekil 2.2.'de akış perspektifinden bakıldığında, bir firmadaki malzeme, para ve bilgi akışı görülmektedir. Burada kalın siyah oklar malzeme akışını, ince siyah oklar bilgi akışını ve kesikli oklar da para akışını göstermektedir (Jonsson ve Mattson, 2009).

Sonuç olarak, üretim şirketlerinin ana karakteristiği katma değerli üretimdir. Bu katma değer çok farklı tiplerdeki üretim kaynaklarının üretim sistemi içindeki ve dışındaki akışı yardımıyla elde edilir. Bu nedenle bir üretim şirketi çok çeşitli malzeme, para, kaynak ve bilgi akışı olarak tanımlanabilir.

2.1.2. Müşterinin konumuna göre üretim sistemleri

Üretim yönetiminin en önemli konularından biri de ürünlerin sipariş için mi yoksa stok için mi üretileceğidir. Sipariş için üretim (make to order-MTO) yönetiminde, bir üretim siparişi ancak firma o siparişi kabul ettikten sonra gelir. Stok için üretim (make to stock-MTS) yönetiminde ürünler gelecekteki sipariş tahminlerine göre üretilir ve ürün envanterinde saklanır. Talepler doğrudan bu ürün stokundan karşılanır. Stok için üretim gelecek ani dış taleplere cevap verebilmek açısından avantajlıdır ancak bunun yanında stok tutma maliyetine katlanma dezavantajına sahiptir. Genel olarak, az çeşitli yüksek hacimli (standart ürünler) üretim için stok için üretim, düşük hacimli çok çeşitli üretim için ise sipariş için üretim kullanılmalıdır (Youssef vd., 2004).

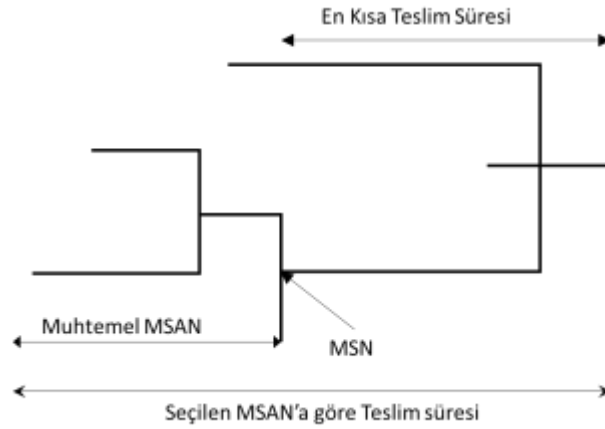
Firmalar müşterileri kendine çekebilmek için daha çok kişiselleştirilmiş ve özgün ürünleri piyasaya sunmaktadır. Sipariş için üretim yapan üreticiler düşük stok maliyetleri ve belirsizliklere karşı azalan riskin farkındadır. Öte yandan, üretim kapasitesinin kısıtlılığı firmaları müşteri siparişleri üzerinde seçici olmaya zorlamaktadır. Müşteriler siparişlerini belirli bir teslim tarihine göre verir ve geç kalan sipariş teslimleri için de üreticiyi cezalandırabilir. Bu yüzden üreticiler, gelirlerini enbüyüklemek açısından, müşterilerin teslim süresi gibi isteklerinin yanında mevcut kapasitesi ile kabul edeceği siparişlerin de dikkatli bir analizini yapmalıdır (Oğuz vd., 2010).

Üretim şirketleri ÜPK perspektifinden bakıldığında müşteri siparişlerinin durumuna göre sınıflandırılabilir. Bu aynı zamanda şirketin üretim fonksiyonları ile alınan müşteri siparişlerinin entegrasyon seviyesini de gösterir.

Sınıflandırmanın yapılabilmesi için öncelikle müşteri sipariş noktası (MSN), müşteri sipariş ayrışma noktası (MSAN) veya müşteri sipariş giriş noktası (MSGN) kavramlarının açıklanması gerekir.

MSN, ürün ağacının (bill of material-BOM) tam olarak müşterinin istediği görünüş ve özelliklere sahip olduğu noktayı (pozisyonu) belirtir. Malzeme tedariki ve katma değer üretimi tam bu noktaya göre belirlenir. Müşteriye teslim süresi ise en az bu noktadan, üretim işlemlerinin tamamlanmasına kadar geçen süredir (Jonsson ve Mattson, 2009).

MSAN, alınan siparişin gerçekleştirilmesi için malzeme tedarikini ve katma değerli üretim faaliyetlerini içine alan ürün ağacının olduğu noktadır. Bu yüzden müşteri sipariş ayrışma noktası, malzeme planlamasının bir tahminini değil ürün ağacının belirgin bir noktasını gösterir. MSAN'ın öncesinde, teslimat tarihleri ve sipariş miktarları tahminlere göre belirlenir (Jonsson ve Mattson, 2009).



Şekil 2.3. Bir ürün ağacında MSAN ve MSN'nin konumu (Jonsson ve Mattson, 2009).

MSN ile MSAN arasında yakın bir ilişki vardır. Çoğu kaynakta bu ikisi aynı nokta olarak görülür. Şekil 2.3.'de bu ilişki görülmektedir. MSAN, MSN'den önce olabilir ancak asla sonra olamaz. Eğer önceyse, malzeme temini ve değer üretimi müşteri yönlendirmelidir. MSAN'nın MSN'a dönüşmesine neden olan en önemli faktör sipariş verme maliyetlerinin yüksekliğidir. Eğer sipariş verme maliyetleri düşükse, direkt müşteri sipariş ihtiyacına göre malzeme tedarik ederek istenen miktarda üretim yapılabilir. MSAN, ayrıca nihai ürüne dönüşüm için kalan malzeme tedarik ve katma değer üretim süresinden birikimli sipariş verme süresine bağlıdır. Bu müşterinin istediği teslim süresinden daha kısadır (Jonsson ve Mattson, 2009).

Jonsson ve Mattson (2009), üretim sistemlerini MSAN'na göre en yüksek müşteri entegrasyon seviyesinden en düşük entegrasyon seviyesine kadar Sipariş için Tasarım (SİT), Sipariş İçin Üretim (SİÜ), Sipariş İçin Montaj (SİM), Teslim Çizelgesine Göre Üretim (TÇGÜ) ve Stok İçin Üretim (STİÜ) olmak üzere beş farklı sınıfa ayırmaktadır.

2.1.2.1. Sipariş için tasarım (engineer to order)

Üretilen ürünler büyük ölçüde müşterinin talep ettiği spesifikasyonlara göre tasarlanır. Mühendislik çalışması, süreç planlaması, üretim hazırlıkları, malzeme temini ve üretimin çok önemli bir kısmı alınan müşteri siparişlerinin zaman ve miktar anlamında niteliğine göre icra ve kontrol edilir. Burada MSAN, ürün ağacının çok düşük bir noktasındadır.

2.1.2.2. Sipariş için üretim (make to order)

Sipariş için üretim SİT'e benzer. Ancak ürünler genel olarak, müşteri siparişi alınmadan önce tasarlanmış ve üretime hazırdır. Malzeme tedarikinin, parça üretiminin, yarı mamullerin çoğunluğu müşteri siparişinden bağımsızdır. Kesin üretim ve tüm nihai üretim/montaj müşteri siparişine göre yapılır. Dış tedarikçilerden temin edilen malzemeler bir dereceye kadar müşteri siparişlerine göre temin edilebilir. Burada sipariş ile üretimin bütünleşiklik düzeyi SİT'e göre daha düşüktür. MSAN, ürün ağacının SİT'e göre daha yüksek bir yerindedir.

2.1.2.3. Sipariş için montaj (assemble to order)

Bu üretim tipinde, tüm hammadde ve dışarıdan satın alınan bileşenler, spesifik müşteri siparişlerinden bağımsız olarak temin edilir, üretilecek parçalar bağımsız olarak üretilir. Ürünlerin nihai halini alması veya nihai montajı müşteri siparişine göre yapılır. Ürünlerin çeşitlerinin son halinin belirlenmesi dışında, ürünler tamamen firma tarafından tasarlanmış standardize bileşenlerden oluşur. Sipariş ve üretim entegrasyonu çok düşük ve MSAN ürün ağacında nihai ürünün hemen altındadır.

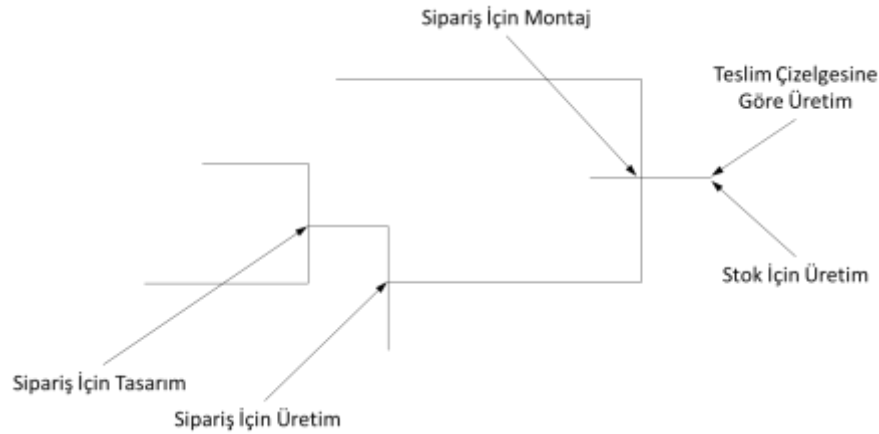
2.1.2.4. Teslim çizelgesine göre üretim (make to delivery schedule)

Sipariş-üretim entegrasyonunun en düşük derecesi TÇGÜ ve Stok için üretimdir. TÇGÜ’de siparişlerden bağımsız olarak standardize ürünler vardır ancak belirli müşterilere sevk edilmek üzere müşteriye özel ürünler söz konusu olabilir.

Bu durumla genelde otomobil endüstrisinin alt yüklenicilerinde ve diğer tekrarlı endüstrilerde söz konusudur. Üretim faaliyetlerini başlatan müşteri siparişlerinin yerine dağıtım çizelgeleri vardır.

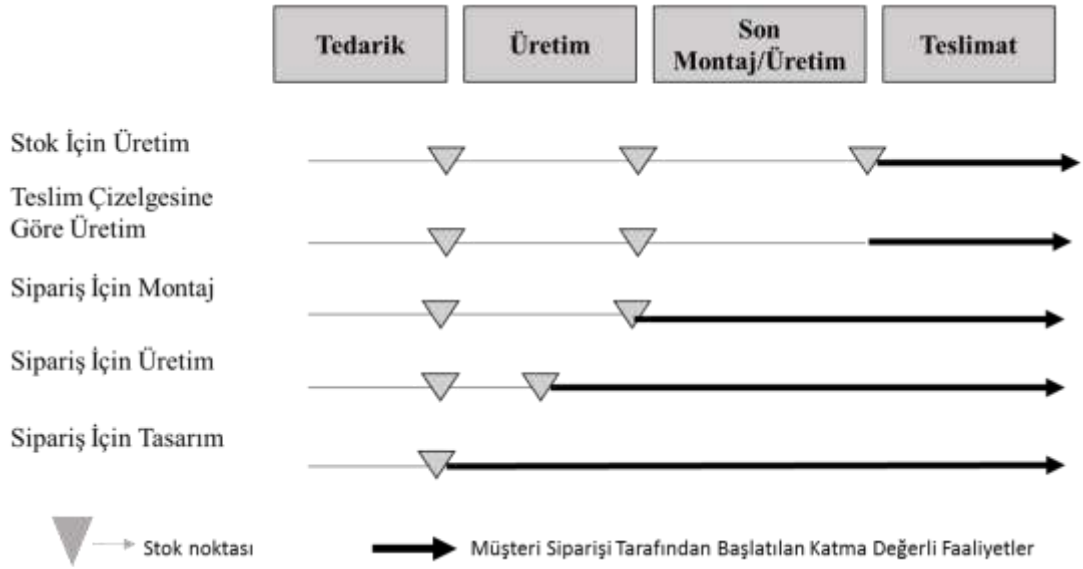
2.1.2.5. Stok için üretim (make to stock)

Stok için üretimde ürünler tamamen standardizedir ve müşteriye sevk edilmek üzere stokta saklanır. Üretim faaliyetlerinin başlatılması için MSN’nın yerine talep tahminleri ve stok seviyeleri vardır.



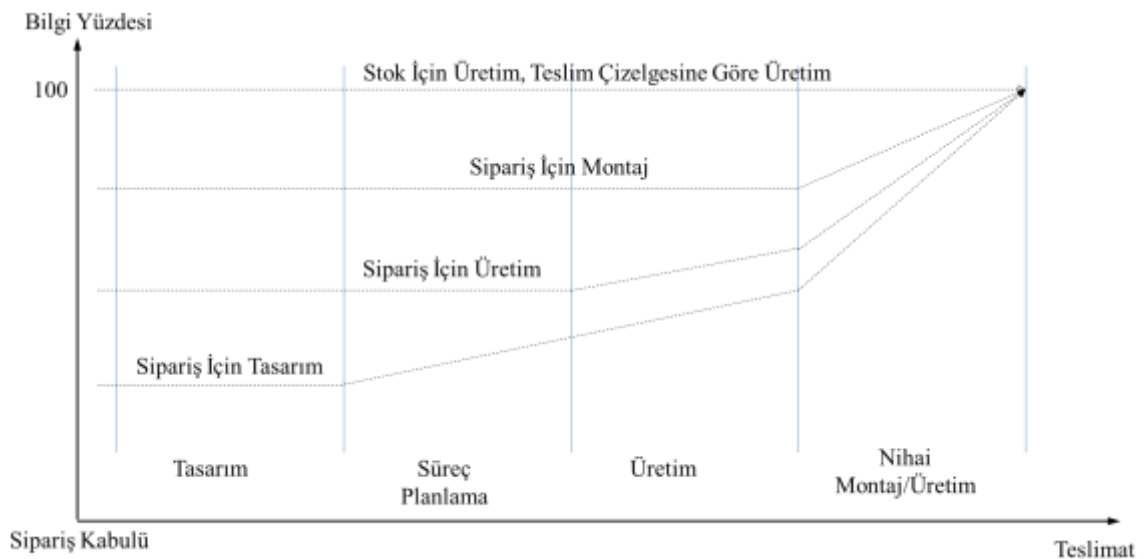
Şekil 2.4. Üretim sistemlerinde göre MSAN'nın ürün ağacındaki yeri (Jonsson ve Mattson, 2009).

Bu beş farklı üretim sistemindeki MSAN'ın ürün ağacındaki yeri Şekil 2.4.'de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi TÇGÜ ve STİÜ'de, MSAN ürün ağacında son seviyenin üstünde bir yerde iken diğer üretim tiplerinde ürün ağacının daha alt seviye bir noktasındadır.



Şekil 2.5. Üretim sistemlerindeki malzeme akışındaki stok noktaları (Jonsson ve Mattson, 2009).

Bu üretim tipleri malzeme akışı bakımından ele alındığında, Şekil 2.5.'de gösterilen, sistemdeki stok noktalarının yerlerine bakılabilir. SİT'de müşteri, üretim öncesi malzeme stoklarına kadar müdahil olabilirken, diğer uçta müşteriye direkt olarak stoktan son ürün teslimatı yapılmaktadır.



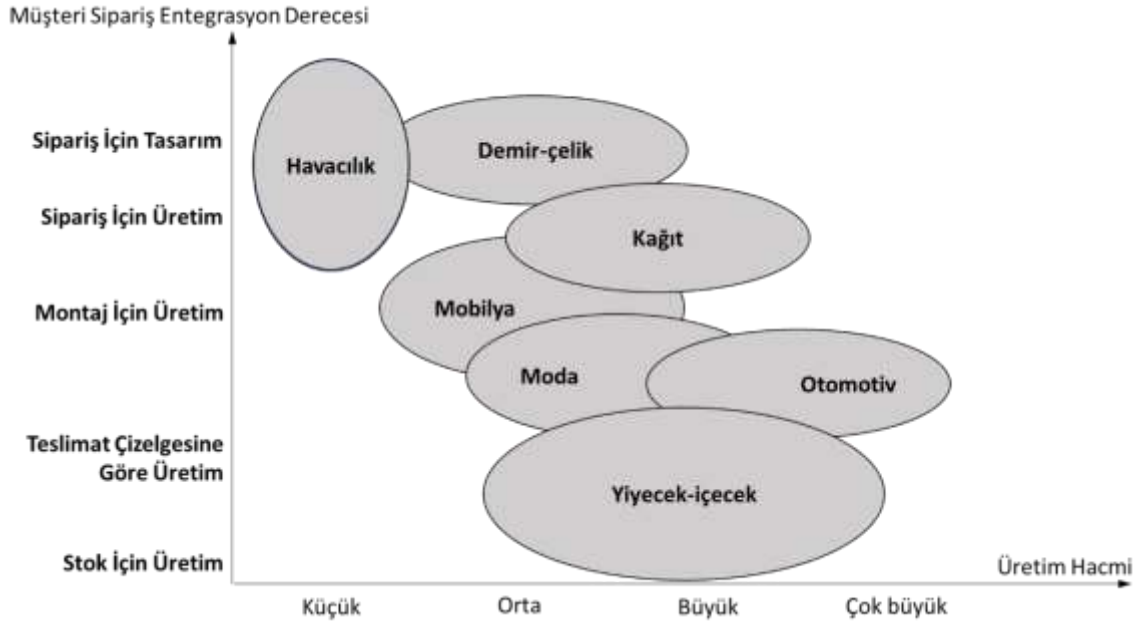
Şekil 2.6. Farklı üretim sistemlerinde nihai ürün hakkındaki bilgi düzeyi (Jonsson ve Mattson, 2009)

Bu beş üretim tipinde, müşteri siparişi alındığı anda sipariş formunda yer alan ürünle teslim edilen ürün arasındaki bilgi derecesi farklılıkları da göze çarpmaktadır (Şekil 2.6.). TÇGÜ ve STİÜ standart ürünlerin müşteriye stoktan veya bir plana göre teslimi demektir. Sipariş verme anında ürünler %100 tanımlı ve somuttur dolayısıyla sipariş formu ile teslim formunda yer alan ürünler arasında %100 bilgi uyumu vardır. SİT’de, sipariş anında ürün hakkındaki bilgi seviyesi çok düşüktür, bilinenler sadece ürüne dair bazı genel bilgilerdir. Mühendislik, tasarım ve süreç planlama çalışması ilerledikçe bilgi seviyesi oldukça artar, ürün tamamlandığında ve teslimata hazır hale geldiğinde bilgi seviyesi %100’e çıkar. SİÜ ve SİM tipi üretimlerde bilgi seviyesi bu iki ucun arasındadır. İki durumda da ürünler büyük ölçüde bilinir fakat müşteriye özel nihai ürün tam olarak bilinmez.

Çizelge 2.1. MSAN’a göre üretim tiplerinin özellikleri

ÖZELLİK	SİT	SİÜ	SİM	TÇGÜ	STİÜ
Teslim Süresi	uzun	orta	kısa	kısa	çok kısa
Üretim Hacmi	çok küçük	küçük	orta	çok büyük	büyük
Ürün Çeşitliliği	çok yüksek	yüksek	yüksek	düşük	düşük
Planlama Yönlendiricisi	müşteri siparişi	tahmin/müşteri siparişi	tahmin/müşteri siparişi	teslim planı	tahmin
Müşteri Entegrasyonu	yüksek	orta	düşük	hiç	hiç
Müşteri Sipariş Sayısı	çok az	az	orta	az	orta

Çizelge 2.1.’de beş farklı üretim tipinin teslim süresi, üretim hacmi, ürün çeşitliliği, planlamayı yönlendiren faktör, müşterinin üretime entegrasyon düzeyi ve alınan sipariş sayısı gibi özelliklere göre durumu gösterilmiştir.



Şekil 2.7. MSAN'a göre üretim tipleri ile sektör ve üretim hacmi ilişkisi (Jonsson ve Mattson, 2009)

Şekil 2.7.'de farklı sektörlerdeki üretim tiplerinin üretim hacmi ile ilişkisi görülmektedir. Görüldüğü gibi havacılık ve demir-çelik sektörlerinde daha fazla sipariş için tasarım ve üretim, mobilya, otomotiv, moda sektörlerinde montaj için üretim, yiyecek-içecek sektöründe ise stok için üretim daha baskın görülmektedir.

2.1.3. Üretim miktarına veya akışına göre üretim sistemleri

Kobu (2014)'e göre üretim sistemleri üretimin akışı veya miktarına göre şu sınıflarda ele alınmıştır:

2.1.3.1. Siparişe göre (job shop) üretim tipi

Zaman, miktar ve kalitenin müşteri tarafından özel olarak belirtildiği üretim tipidir (Kobu, 2014). Sipariş Tipi üretimde düşük hacimli, çok yüksek çeşitlilikte ürünler üretilir. Bu üretim tipinde, işçiler çok farklı ürün çeşitliliğini yakalayabilmek için çok nitelikli olmalıdır. Sipariş tipi üretimde her iş için ayrı bir rota vardır (Sipper ve Bulfin, 1998).

2.1.3.2. Sürekli üretim

Talep düzeyi ve üretim miktarları çok yüksek belli bir ürünü üretmek üzere yapılan üretimdir. Bu tip üretimde çok yüksek hacimli standardize ürünler üretilir. Otomobil endüstrisi buna iyi bir örnek olarak verilebilir. Bir montaj hattı malzeme akışını sağlarken bir modelden yüzbinlerce adet üretilebilir ve üretim birkaç yıl sürebilir. İşçiler özel nitelikli malzeme ve teçhizat kullanırken çok fazla yeteneğe ihtiyaç duymaz, sipariş tipi üretimde gerekenden çok daha az niteliğe ihtiyaç duyulur (Sipper ve Bulfin, 1998).

Sürekli üretimde her iş aynı rotayı izler. Ürün için gereken üretim sıralaması veya montaj işlemleri makine yerleşimini belirler. Sürekli atölye, ürün odaklı yerleşimi kullanır. Teçhizatlar, ürün hep aynı rotayı izlesin diye düzenlenir (Sipper ve Bulfin, 1998).

Kitlesel üretim ve süreç (akış) tipi üretim olmak üzere iki farklı alt sınıfa ayrılabilir. Kitlesel üretimde, bir üründen çok büyük miktarlarda ve uzun süre üretim yapılır fakat gerektiğinde makine, teçhizat sisteminin yerleşiminde değişikliğe giderek farklı bir ürünün üretimine geçilebilir. Süreç (akış) tipi üretimde ise makineler yalnız bir tip ürünün üretilmesi için tasarlanmış ve yerleştirilmiştir. Süreç tipi üretim, sürekli tip üretimin en uç noktasıdır. En belirgin örneği petrokimya endüstrisidir. Ayrık birimler halinde üretim yapılmaz fakat borular yardımıyla akan sıvılar kimyasal olarak nihai ürüne dönüştürülür. Başka bir ürünün üretimi imkânsızdır. Çimento, şeker, petrol rafinerisi vb. örnek olarak verilebilir (Kobu, 2014).

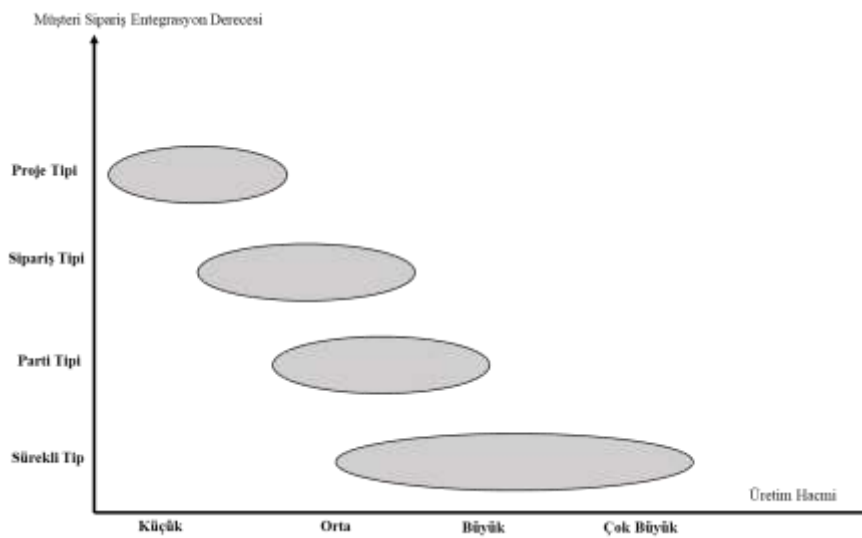
2.1.3.3. Parti (batch) tipi üretim

Özel bir siparişi veya sürekli bir talebi karşılamak üzere belirli miktarlarda ürün içeren partiler halinde yapılan üretimdir (Kobu, 2014). Sipariş tipi ve akış tipi üretimin arasında bu ikisinin melezi olan parti üretimi mevcuttur. Parti tipi atölyede, çok yüksek hacimli üretim yapılmaz, üretim belirli sayıda üründen oluşan partiler halinde yapılır. Ürün çeşitliliği bir dereceye kadar mümkündür fakat sipariş tipindeki kadar yüksek değildir (Sipper ve Bulfin, 1998).

Parti tipi üretimde, parti büyüklüğünün belirlenmesi ve kapasitenin etkin kullanılabilmesini sağlayan üretim programının yapılması gibi iki temel problem vardır (Kobu, 2014).

2.1.3.4. Proje tipi üretim

Bazen çok fazla özellik içeren tek bir ürün üretimi yapılması gerekebilir. Bu yerleşim sipariş tipi üretimin en uç örneğidir. Proje tipi üretimde sabit yerleşim söz konusudur. Ürün belirli bir yerde konumlanır, malzeme ve teçhizat ise ürünün yanına getirilir. Bina yapımı, uçak veya gemi yapımı örnek olarak verilebilir (Sipper ve Bulfin, 1998).



Şekil 2.8. Üretim akışına göre üretim sistemlerinde müşteri entegrasyon derecesi ve üretim hacmi ilişkisi (Jonsson ve Mattson, 2009).

Üretim sistemlerinde müşterinin sisteme dahil olma derecesi ve üretim hacmi ilişkisi Şekil 2.8.'de gösterilmiştir. Proje tipi üretimde müşteri üretime daha çok dahil olmakta, üretim hacmi ise düşük gerçekleşmektedir. Sürekli tip üretimde ise müşteri üretime çok fazla entegre değildir ve çok büyük hacimlerde üretim yapılır. Diğer üretim tipleri ise bu iki ucun arasındadır.

2.2. Çizelgeleme

2.2.1. Genel bakış

Çizelgeleme, işlerin etkili etkin ve organize bir şekilde kaynaklara tahsisi işlemidir (Pinedo, 2012).

Çizelgeleme hem üretim hem de hizmet endüstrilerinde operasyon kontrolünün önemli bir parçasıdır. Müşteri memnuniyetinin ve dolayısıyla pazara doğru zamanda doğru miktarda ürün sunabilmenin çok büyük önem kazandığı günümüzde etkili bir çizelgeleme sistemi işletmelerin önemle üzerinde durduğu bir konudur (Nahmias, 1997).

Genel olarak, işlerin ihtiyaç duyduğu çok farklı kaynaklar söz konusudur ve diğer yandan da kaynakların miktarı ve işler için gerekli zaman oldukça kısıtlıdır. Ayrıca işlerin belirli bir zaman periyodunda ve belirli bir sıraya göre bitirilmesine de ihtiyaç duyulabilir. Bu dinamikler işlerin ve bunun yanı sıra kaynakların çok farklı kısıtlara sahip olabileceği anlamına gelir ve bu yüzden çizelgeleme çok karmaşık bir süreçtir. Örnek olarak, bir okuldaki derslerin çizelgelenmesini ele alalım. Buradaki iş, öğrencilerin farklı derslere atanmasıdır. Burada bir sınıfta oturabilecek öğrenci sayısı, okuldaki sınıf sayısı, ders verebilecek öğretmen sayısı, okuldaki toplam çalışma saati, ders aralarındaki teneffüs için gereken süre vb. gibi birçok kısıt söz konusudur. Görüldüğü çok basit gibi görünen bir okuldaki öğrencilere göre ders çizelgesi hazırlanması işlemi bile, oldukça karmaşık yapıya sahip bir karar verme problemine dönüşebilmektedir. Ayrıca öğrenciler, öğretmenler, ders saatleri, derslik sayısı gibi birçok kaynak kısıtının göz önüne alınması gerekmektedir.

Çizelgeleme, kaynakların çakışmalarını önleyerek dengeli bir şekilde tahsisini sağlarken, okuldaki çalışma saatlerinin eniyi şekilde kullanımını sağlayacak, ayrıca öğrencilerin ve öğretmenlerin okulda geçirdiği gereksiz zamanları da enküçükleyecek şekilde, etkin bir yapıya sahip olmalıdır. Çizelgeleme, gerçek uygulama ortamlarında oldukça sık yapılmaktadır; bunun en çok görüldüğü alanlar ise bir üretim tesisindeki işlerin çizelgelenmesi, okullarda ders çizelgelerinin yapılması, havaalanlarında uçakların iniş, kalkışlarının ve uçuş mürettebatının çizelgelenmesi, örnek olarak gösterilebilir (Pinedo, 2012).

Bir işletmede karşılaşılabilecek farklı çizelgeleme problemlerinin bazıları şu şekilde listelenebilir (Nahmias, 1997):

- **Üretim Çizelgeleme:** Üretim çizelgeleme genel olarak atölye katı kontrolü olarak bilinir. Atölyede girdilerin çıktılara dönüşüm sürecinde yer alan faaliyetlerle ilgilenir.

- **Personel (İşgücü) Çizelgeleme:** Hem üretim hem de hizmet sektörü açısından çok önemli bir konudur. Atölye katında vardiyaların ayarlanması, hastanelerde hastalara hizmet verecek sağlık ekibinin çalışma zamanlarının planlanması örnek olarak verilebilir. Talebin zirve yaptığı dönemlerde fazla mesailerin, gece mesaisi veya dış kaynak kullanımı kararlarının verilmesi farklı personel çizelgeleme unsurlarıdır.

- **Tesis Çizelgeleme:** Kullanılacak tesislerin (imkânların) darboğaz oluşturduğu durumlarda ortaya çıkar. Örneğin, hastanelerde ameliyathanelerin kullanımı, üniversitelerde laboratuvarların, dersliklerin kullanımı, üretim tesislerinde kritik işlem ünitelerinin kullanımı vb.

- **Araç Çizelgeleme:** Literatürde araç rotalama olarak da adlandırılır. Ürünlerin ve hizmetlerin dağıtımda kullanılan araçların çizelgelemesiyle ilgilenir.

- **Tedarikçi Çizelgeleme:** Özellikle tam zamanında üretim sistemlerinde tedarikçilerden gelecek dağıtımların çizelgelenmesi çok önemli bir lojistik problemdir.

Tam zamanında üretim sisteminin etkin olabilmesi için satın alma siparişleri kurumun tüm dağıtım sistemi ile koordineli olarak çalışması gerekir.

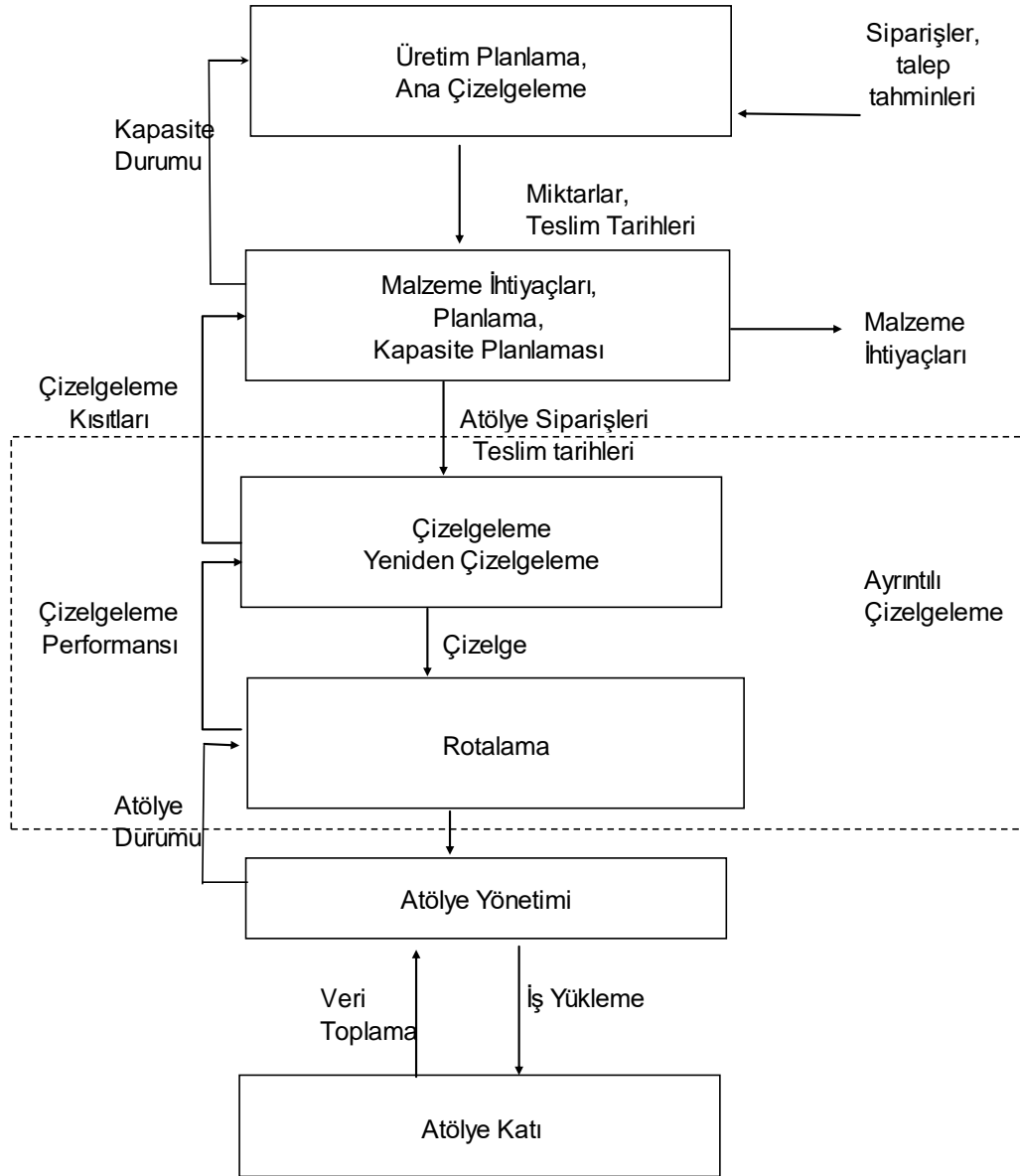
○ **Proje Çizelgeleme:** Bir proje birbirinden bağımsız binlerce faaliyetten oluşabilir. Tüm bu faaliyetlerin koordineli olarak yürütülmesi projenin istenen zaman ve bütçe kısıtları içinde bitirilmesi açısından çok önemlidir.

○ **Dinamik ve Statik Çizelgeleme:** Çizelgeleme teorisindeki çoğu problem statik olarak ele alınır. Yani işlerin işlenecekleri makine ortamına aynı zamanda geldiği ve hazır olduğu varsayılır. Fakat gerçek hayatta karşılaşılan problemlerde işler sisteme zamana bağlı olarak sürekli gelir. Örneğin havalimanlarında uçakların iniş ve kalkışları sürekli ve kontrolörler bunları dinamik olarak düzenlemek zorundadır.

Bir üretim tesisindeki çizelgeleme aktiviteleri, gelen işlerin, o işlerin yapılması için gerekli kaynaklara (makine, zaman, işgücü vb.) atanması süreci ile ilgilidir (Pinedo, 2012).

Üretim çizelgeleme problemleri atölyedeki makine ortamı, işlerin akışı ve amaç fonksiyonuna göre çok farklı sınıflara ayrılabilir. Kombinatoriyel eniyileme problemi olarak bu problemlere bakıldığında, bunların büyük çoğunluğunun NP-Zor yapıda olduğu ve bu nedenle de çözüm için çok fazla sayıda sezgisel ve metasezgisel yöntemler geliştirildiği görülmektedir.

Çizelgeleme problemlerinde temel olarak iki problem çözülür. Birincisi işlerin önceliklendirmesi yani sıralama problemi diğeri ise işlerin kaynaklara atanması yani rotalama veya atama problemidir. Bu iki problemin bir arada çözülebilmesi gerekliliği çizelgeleme problemlerini literatürdeki en zor problemlerden biri haline getirmektedir (Baker ve Triestch, 2009).



Şekil 2.9. Üretim Planlamanın Hiyerarşik Yapısı (Pinedo, 2012)

Üretim faaliyetlerinin kontrolü açısından çizgeleme çok önemli bir üretim yönetimi fonksiyonudur. Üretim yönetimi fonksiyonları talep tahmininden detaylı atölye katı çizgelemesine kadar hiyerarşik bir yapıdadır. Şekil 2.9.'da bu hiyerarşik yapı gösterilmiştir. En altta görülen atölye katı, iş merkezlerine gelen işlerin istenen teslim süresinde tamamlanabilmesi için personel ve teçhizatın düzenlenmesini sağlar.

2.2.2. Çizelgeleme problemlerinin gösterimi

Çizelgeleme problemleri Graham notasyonu olarak bilinen ve ilk defa Graham vd. (1979) tarafından kullanılan $\alpha / \beta / \gamma$ notasyonu ile gösterilmektedir. Burada α alanı makine ortamını, β alanı çizelgelenecek işlere dair özellikleri, γ alanı ise eniyilenecek amaç fonksiyonunu göstermektedir. Pinedo (2012)'ye göre bu alanlarda bulunabilecek durumlar şunlardır:

2.2.2.1. α makine ortamı alanı

○ **Tek makine (1):** Ortamda bir adet makine vardır. Diğer bütün karmaşık ve çoklu makine ortamlarının en basit halidir.

○ **Eşdeğer paralel makineler (P_m):** Ortamda birbirine eşdeğer m adet paralel makine vardır ve işler bu makinelerin herhangi birinde işlenebilir. Eğer j işinin bazı makinelerde işlenmesine izin verilmiyor sadece m 'nin M_j alt kümesine ait makinelerde işlenmesine izin veriliyor ise M_j de β alanında gösterilir.

○ **Farklı Hızdaki Paralel Makineler (Q_m):** Farklı hızda m adet paralel makine söz konusudur. i makinesinin hızı v_i ile gösterilir. p_{ij} zamanında j işi i makinesine gelir ve bu makinede p_j/v_i kadar kalır.

○ **Paralel Farklı Makineler (R_m):** Burada işlem hızları kendilerine gelen işe göre değişen m adet paralel makine vardır. i makinesi j işin v_{ij} hızında işleyebilir ve j işinin i makinesinde işlem süresi p_{ij}/v_{ij} kadar olur. Eğer makinenin hızı gelen işlerden bağımsız ise bir önceki farklı hızdaki paralel makine ortamı ile aynı duruma gelir.

○ **Akış Tipi (F_m):** Birbirine seri m adet makine vardır. Bütün işler bu makinelerin her birine uğramak zorunda ve aynı işlem rotasını takip etmek zorundadır.

○ **Esnek Akış Tipi (FF_c):** Akış tipi ve paralel makine ortamının birlikte olduğu durumdur. Birbirine paralel m adet makine yerine, birbirine seri c aşamada eşdeğer paralel makineler söz konusudur. Her iş aşama-1, aşama-2 ve diğer bütün aşamalardan geçmek zorundadır.

○ **Atölye Tipi (J_m):** Birbirine seri m adet makine vardır ve sistemdeki her işin kendine özel rotası vardır. Bütün işler bütün makinelere aynı sırada uğramak zorunda değildir. Eğer işlerin daha önce uğradıkları makineye tekrar uğramaları gerekiyorsa β alanında tekrar faktörü (recirculation-*recrc*) de gösterilmelidir.

○ **Esnek Atölye Tipi (FJ_c):** Atölye tipinin ve paralel makinelerin beraber olduğu durumun genel ifadesidir. M adet makineye karşılık, c adet iş merkezi vardır ve her iş merkezinde paralel makineler vardır. Eğer bir iş daha önce uğradığı iş merkezine daha sonra tekrar uğramak zorundaysa tekrar faktörü (*recrc*) β alanında gösterilmelidir.

○ **Açık atölye (O_m):** m adet makine vardır ve bütün işler her bir makineye uğramak zorundadır fakat işlerin makinelere uğramaları ile ilgili herhangi bir rotalama kısıtı yoktur. İşler herhangi bir sırada makinelere uğrayabilir.

2.2.2.2. β işlere ait özellikler alanı

○ **Salıverme (geliş) zamanları (r_j):** Bu sembol β alanında belirtilmişse, j işi kendi salıverme zamanından önce başlayamaz demektir. Eğer belirtilmemişse j işi herhangi bir zamanda başlayabilir.

○ **Sıra bağımlı hazırlık süreleri (S_{jk}):** Eğer bu sembol varsa, j işi ile k işi arasındaki geçişlerde sıra bağımlı hazırlık süresi var demektir. s_{0k} , k işi ilk iş ise onun hazırlık süresini, s_{j0} j işi son iş ise j işinden sonraki temizlik süresini belirtir. Eğer hazırlık süreleri makine türüne göre değişiyorsa bu alanda s_{ijk} sembolü görünür. Eğer herhangi bir s_{jk} sembolü bulunmuyorsa sıra bağımlı hazırlık süreleri 0 alınır.

○ **Kesinti (preemption (prmp)):** Eğer makineye bağlanan iş işlem süresi sona erene kadar makinede kalmak zorunda değilse, işleme sırasında durdurulup yerine başka bir iş bağlanabiliyorsa β alanında *prmp* sembolü gözükür.

○ **Öncelik Kısıtları (prec):** Eğer işler arasında, bir iş başka bir iş tamamlanmadan başlayamaz, şeklinde öncelik kısıtı varsa bu sembol belirtilir.

○ **Makine kesintileri (breakdowns (brkdwn)):** Makinelerin sürekli olarak çalışmadığını, kesintiye uğrayabildiğini belirtir.

○ **Permütasyon (prmu):** Akış tipi atölyede her makine önüne gelen işleri ilk giren ilk çıkar kuralına göre işliyorsa bu sembol belirtilir.

○ **Beklemesiz (nwt):** Açık atölyede işlerin ardışık iki makine arasında beklemesine izin verilmiyorsa bu sembol belirtilir.

○ **Bloklama (block):** Açık atölyede ardışık iki makine arasında yer alabilecek iş yığınının sınırlı ise ve iş yığınının kapasitesi dolmuşsa, önceki makinede tamamlanan işlerin sonraki makineye salıverilmesine izin verilmez, bu duruma bloklama denir.

○ **Tekrarlama (recirculation-recrc):** Atölye tipi veya esnek atölye tipi çizelgelemede bir iş daha önce uğradığı makineye tekrar uğruyorsa, bu sembol belirtilir.

○ **Sipariş (o):** Çizelgeleme ortamında farklı türde ürünlerden çeşitli miktarlarda müşteri siparişleri varsa bu alanda gösterilebilir.

2.2.2.3. γ yenilenecek performans kriteri alanı

○ **Son işin tamamlanma zamanı (C_{enb}):** C_j işlerin tamamlanma zamanlarını belirtir. Burada sistemi en son terk eden işin tamamlanma zamanı (C_{enb}) enküçüklenmeye çalışılır.

○ **Enbüyük geçlik (L_{enb}):** Bir işin teslim tarihine göre ne kadar geciktiği ile ilgili kriterdir.- Eğer iş teslim tarihinden sonra tamamlanmışsa pozitif, teslim tarihinden önce tamamlanmışsa negatif değer alır.

$$L_j = C_j - d_j$$

○ **Enbüyük gecikme (T_{enb}):** Eğer, erken bitirilen işin ne kadar erken bitirildiği önemli değilse bu değer **gecikme (tardiness)** olarak adlandırılır ve T_j ile gösterilir.

$$T_j = \text{enb} (C_j - d_j, 0) = \text{enb} (L_j, 0)$$

○ **Toplam ağırlıklı tamamlanma zamanı ($\sum w_j C_j$):** n tane işin ağırlıklı tamamlanma zamanları elde bulundurma maliyeti veya stok maliyeti göstergesi olarak enküçüklenmeye çalışılır. -İşlerin toplam tamamlanma zamanı literatürde akış süresi F_j olarak da belirtilir. -Toplam ağırlıklı tamamlanma zamanı ise toplam ağırlıklı akış süresi $\sum w_j F_j$ olarak geçebilmektedir.

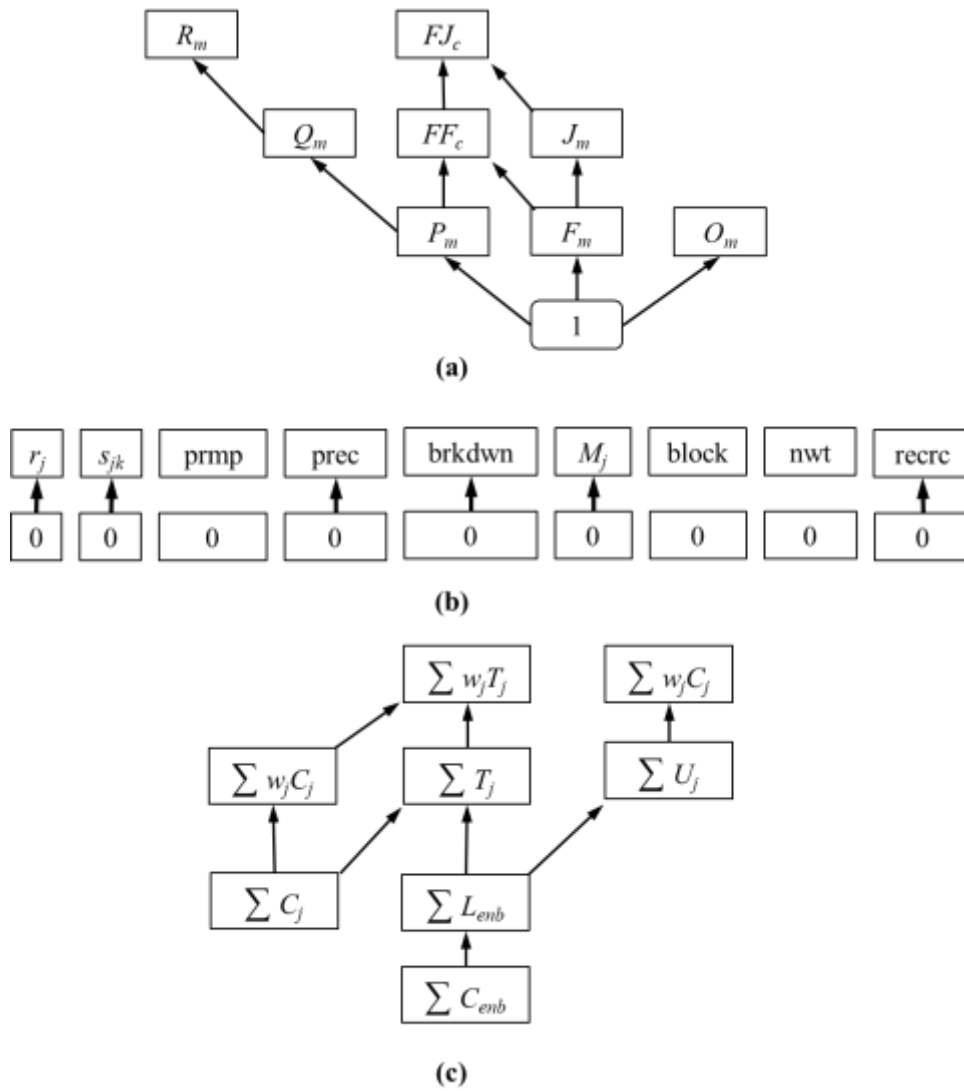
○ **Toplam ağırlıklı gecikme ($\sum w_j T_j$):** Toplam ağırlıklı tamamlanma zamanının daha genel maliyet fonksiyonudur.

○ **Toplam ağırlıklı geciken iş ($\sum w_j U_j$):** Burada U_j , j işinin gecikip gecikmediğini gösteren 0-1 değişkendir. Geciken işlerin genel maliyet fonksiyonudur.

γ alanında maliyet, gelir, stok vb. ile ilgili başka amaç fonksiyonları da yer alabilir.

2.2.3. Çizelgeleme problemlerinin karmaşıklık hiyerarşisi

Çizelgeleme problemlerinin karmaşıklığının belirlenmesi ve farklı problem yapılarının birbiri ile zorluk açısından karşılaştırılması çizelgelemedeki önemli çalışma konularında biri olmuştur.



Şekil 2.10. Çizelgeleme Problemlerinin Karmaşıklık Hiyerarşisi: a) Makine Ortamı b) İşlem Özellikleri c) Amaç Fonksiyonuna göre (Pinedo, 2012)

Pinedo (2012) makine ortamı, işlem kısıtları ve amaç fonksiyonları açısından farklı çizelgeleme problemlerini zorlukları açısından Şekil 2.10'daki gibi göstermiştir. Hiyerarşide yukarı çıktıkça karmaşıklık artar.

2.2.4. Tek makine çizelgeleme

2.2.4.1. Genel bakış

Saf sıralama problemi sadece işlerin sıralamasını yaparak çizelgenin belirlendiği özel bir çizelgeleme problemidir. Bu problemin en basit halinde sadece bir işleme kaynağı veya makinesi vardır. Tüm basitliğine rağmen, tek makine çizelgeleme oldukça önemlidir çünkü çok geniş bir alandaki karmaşık çizelgeleme problemlerinin ve bunlar için üretilen çözüm tekniklerinin kolayca anlaşılmasını sağlar. Bu nedenle çizelgelemeyi kavrayabilmek için öncelikle tek makine ortamının özelliklerini iyi kavramak gerekir. Genellikle tek makine ortamı çok büyük boyutlu çizelgeleme problemlerinin bir parçası olarak görülebilir (Baker ve Triestch, 2009). Örneğin çok fazla makinenin bulunduğu bir ortamda darboğazın yaşandığı makineye odaklanmak ve oradaki işlemlere çözüm getirmek, tek makine ortamını kavramış olmayı gerektirir. Darboğaz makine için iyi bir çizelge üretildiği takdirde, sistem için de iyi bir çizelge elde edilebilir. Bazı durumlarda da tüm tesis tek bir makine gibi düşünülür ve makro planda kaynakların kullanım durumuyla ilgili kararlar dikte edilebilir. Çünkü sistem tüm makinelerin toplamı bir makine gibi düşünülür (Sipper ve Bulfin 1997).

2.2.4.2. Tek makine sıralama problemi için kullanılacak tamsayılı doğrusal karar modelleri

Baker ve Triestch (2009), tek makine ortamında sıralama problemi için müteakip maddelerde bahsedilen üç farklı Tamsayılı Doğrusal Karar Modeli'nin kullanılabilirliğinden bahsetmektedir:

a) Pozisyon Tabanlı Karar Modeli:

Bu değişken ilk defa Wagner (1959) tarafından önerilmiştir.

Karar Değişkenleri:

$$x_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } i \text{ işi sıralamada } k. \text{ pozisyona atanmışsa,} \\ 0, & \text{d. d.} \end{cases}$$

t_k : k pozisyonundaki işin gecikmesi,

Parametreler:

d_i : i işinin teslim zamanı,

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Enk } \sum_{k=1}^n t_k \quad (2.0)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^n x_{ik} = 1, \quad \forall k \quad (2.1)$$

$$\sum_{k=1}^n x_{ik} = 1, \quad \forall i \quad (2.2)$$

$$\sum_{i=1}^n p_i \sum_{u=1}^k x_{iu} - \sum_{i=1}^n d_i x_{ik} \leq t_k, \quad \forall k \quad (2.3)$$

$$x_{ik} \in \{0,1\}, t_k \geq 0 \quad (2.4)$$

Burada (2.1.) kısıtı her sıralama pozisyonuna bir iş atanmasını, (2.2.) kısıtı her işin bir sıralama pozisyonuna atanmasını, (2.3.) kısıtı k pozisyonundaki işin gecikmesini tanımlamakta, son kısıt (2.4.) ise karar değişkenlerini tanımlamak için kullanılmaktadır.

b) Sıralama Tabanlı Karar Modeli

Bu modellerde, sıralamada işlerin birbirinden önce gelmesine göre bir 0-1 değişken kullanılmaktadır. İlk defa Manne (1960) tarafından önerilmiştir.

Karar Değişkenleri:

$$y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } i \text{ işi sıralamada } j \text{ işinden önce atanmışsa,} \\ 0, & \text{d. d.} \end{cases}$$

s_i : i işinin başlama zamanı

Parametreler:

d_j : j işinin teslim zamanı,

M : Çok büyük bir sayı

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Enk } \sum_{j=1}^n t_j \quad (2.5)$$

Kısıtlar:

$$s_i + p_i \leq s_j + M(1 - y_{ij}), \quad \forall i < j \quad (2.6)$$

$$s_j + p_j \leq s_i + My_{ij}, \quad \forall i < j \quad (2.7)$$

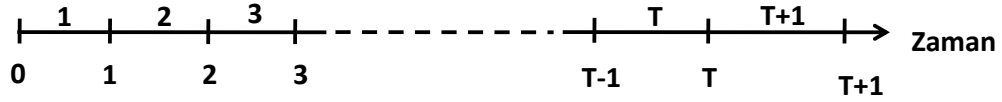
$$t_j \geq s_j + p_j - d_j, \quad \forall j \quad (2.8)$$

$$y_{ij} \in \{0,1\}, t_j, s_i, s_j \geq 0 \quad (2.9)$$

Burada (2.6) ve (2.7) ayırıcı kısıtlardır (disjunctive constraints). Eğer i işi j işinden önceki bir pozisyona atanmışsa, ardıl işin öncül işten önce başlamamasını garanti eder. (2.8) kısıtı işlerin gecikmesini tanımlamakta, (2.9) kısıtı ise karar değişkenlerinin alabileceği değerleri ifade etmektedir.

c) Zaman İndisli Karar Modeli

Bu yaklaşımda planlama ufkundaki süre ayırık eşit zaman aralıklarına bölünür. Her iş için bu zaman aralığında başlayıp başlamamasına göre bir değişken tanımlanır. İlk defa Bowman (1959) tarafından önerilmiştir.



Karar Değişkenleri:

$$x_{jt} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } j \text{ işi } t \text{ zaman periyodunda başlıyorsa} \\ 0, & \text{d. d.} \end{cases}$$

S_{jt} : s_j başlama zamanları kümesi (j işinin başlayabileceği)

c_{jt} : t zaman aralığında başlayan işin gecikmesi

Parametreler :

T : Tek makine için çizelgenin uzunluğu,

$$T = \sum_{j=1}^n p_j \quad (2.10)$$

Amaç Fonksiyonu:

$$Enk \sum_{j=1}^n \sum_{t=1}^{T-p_j+1} c_{jt} x_{jt} \quad (2.11)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{t=1}^{T-p_j+1} x_{jt} = 1, \quad \forall j \quad (2.12)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{s=t-p(j)+1}^t x_{js} \leq 1, \quad \forall t = 1, \dots, T \quad (2.13)$$

$$c_{jt} = (t+p_j-1-d_j)^+, \quad \forall t: t \leq T-p_j+1 \quad (2.14)$$

$$x_{jt} \in \{0,1\}, \quad c_{jt} \geq 0 \quad (2.15)$$

(2.12) kısıtı bir işin yalnız bir zaman aralığında başlayabilmesi kısıtı, (2.13) kısıtı bir zaman aralığında en fazla bir işin başlayabilmesini, (2.14) kısıtı gecikmeyi ve bir zaman aralığının alabileceği en yüksek değeri, (2.15) kısıtı ise değişkenlerin alabilecekleri değerleri ifade etmektedir. Diğer modellerin aksine, zaman indeksli modelde işlerin işlem zamanları toplamı çok önemlidir. İşlem zamanları toplamının çok büyük olduğu problemlerde, zaman indeksli model çok fazla sayıda değişken içerecektir.

Çizelge 2.2. Tek makinede sıralama problemi için önerilen matematiksel modellerin farklı planlama ufku ve iş sayısı alternatiflerine göre özellikleri (Baker ve Keller, 2010).

Planlama Ufku (Toplam İşlem Süresi)	500	1.000	1.500	2.000	2.500	3.000
İS	10	20	30	40	50	60
PTM						
KS	30	60	90	120	150	180
DS	110	420	930	1.640	2.550	3.660
TDS	100	400	900	1.600	2.500	3.600
STM						
KS	100	400	900	1.600	2.500	3.600
DS	65	230	495	860	1.325	1.890
TDS	45	190	435	780	1.225	1.770
ZİM						
KS	510	1.020	1.530	2.040	2.550	3.060
DS	5.000	20.000	45.000	80.000	125.000	180.000
TDS	5.000	20.000	45.000	80.000	125.000	180.000

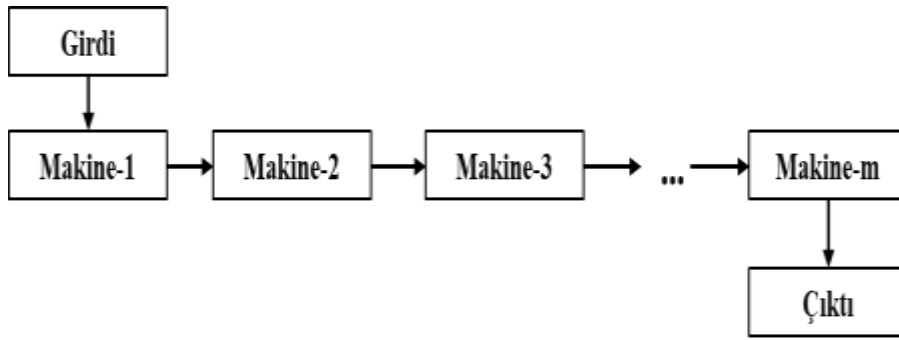
Bahsedilen 3 farklı matematiksel modelin özellikleri karşılaştırmalı olarak Çizelge 2.2.'de yer almaktadır. Baker ve Keller (2010) tarafından sağlanan bu tabloda, planlama ufku toplam işlem süresini, İS iş sayısını, PTM pozisyon tabanlı modeli, STM sıralama tabanlı modeli ve ZİM zaman indeksli modeli göstermektedir. KS kısıt sayısını, DS değişken sayısını, TDS ise tamsayı değişken sayısını ifade etmektedir.

Modellere bakıldığında en az kısıtın PTM'de yer aldığı, en_ az değişkenin ise STM'de yer aldığı görülmektedir. ZİM'de çok fazla sayıda değişken göze çarpmaktadır. STM ve ZİM'de kısıt sayısının oldukça fazla olduğu görülmektedir. Baker ve Keller (2010)'un çalışmasında bu modeller 60 adet test problemi için çalıştırılmıştır. Ortaya çıkan sonuçlara bakıldığında pozisyon tabanlı modelin diğer modellere göre bariz bir biçimde üstün olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte ZİM'in çok sıkı alt sınırlar tespit edebilme potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir.

2.2.5. Akış tipi çizelgeleme

2.2.5.1. Genel bakış

Birçok imalat ve montaj tesisinde, her iş belli bir işlem dizisinden geçmek zorundadır. Bu işlemler çoğu zaman Şekil 2.11.'deki gibi her iş için aynı sırada yapılmakta yani aynı rotayı takip etmektedir. Bu durumda makinelerin seri olarak yerleştirildiği kabul edilmekte ve bu atölye ortamına da akış tipi atölye adı verilmektedir (Pinedo, 2012).



Şekil 2.11. Akış Atölyesinde İş Akışı

Akış tipi ortamda ardışık makineler arasındaki ara stok kapasitesi bazen pratik açıdan sınırsız olduğu kabul edilmektedir. Entegre devre kartı, bütünleşik devre gibi küçük boyutlu ürünlerin üretildiği ortamda çok fazla miktarda ara stok yapabilme imkânı olduğu için anlamlıdır. Ürünün fiziksel olarak büyük olduğu (tv, fotokopi makinesi, otomobil vb.) ortamlarda iki ardışık makine arasındaki ara stok kapasitesi sınırlı olabilir ve bu nedenle de bloklama meydana gelebilir. Stok alanı dolduğunda, stok alanından önceki makine kendine gelen işleri, işleyip gönderemeyecektir. Bu gerçekleştiğinde stok alanı öncül makinesi işlem yapamadığı için kuyruktaki diğer işler de kilitlenecektir (Pinedo, 2012).

Akış tipi atölye problemleri incelendiğinde, çoğu çalışmanın makine kullanımını enbüyükleme anlamına da gelen enküçük yayılma zamanı (C_{enb}) amacına yönelik olarak yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmalardaki yayılma zamanı problemleri çok zor olmakla birlikte, toplam tamamlanma zamanı ve teslim tarihi ilişkili amaçların gerçekleştirilmesi çok daha zordur. (Pinedo, 2012).

2.2.5.2. Akış tipi çizelgeleme problemi için kullanılan bazı sezgisel yöntemler

Permütasyon akış tipi çizelgeleme problemlerini çözmek amacıyla en sık kullanılan bazı sezgisel yöntemler şunlardır:

a) Johnson Algoritması: 2 makine ve n adet iş için Johnson (1954) tarafından geliştirilmiş bir yöntemdir. $F_2 // C_{enb}$ problemi için eniyi çizelgeyi üretir. Akış tipi çizelgeleme alanında öncü sayılan bu çalışma kendinden sonra gelen birçok çizelgeleme probleminin çözümüne ışık tutmuştur (Dudek vd.,1992).

Sözde kodu şu şekildedir:

Adım-1: Çizelgenemeyen işlerden enküçük işlem süresi olanı seç.

Adım-2a: Eğer enküçük süreli işlem makine-1'e ait ise o işlemi ilk makinedeki ilk boş pozisyona ata.

Adım-2b: Eğer enküçük süreli işlem makine-2'ye ait ise o işlemi makinedeki en son pozisyona ata.

Adım-3: Atanan işi atanacak listesinden çıkar, sonraki işe geç ve tüm işler atanana kadar devam et.

b) Palmer Algoritması: Palmer (1965) tarafından önerilen algoritma, $F_m / pmu / C_{enb}$ problemi için önerilen ilk sezgisellerden biridir. Eğim sezgiseli (slope heuristic) olarak da bilinir. Burada her iş için bir eğim indisi A_j hesaplanır. Sözde kodu şu şekildedir (Baker ve Trietsch, 2009):

Adım-1: *n* adet işin ve *m* adet makinenin olduğu sistemde her iş için A_j eğitim değerini hesapla.

$$A_j = - \sum_{i=1}^m [m - (2i - 1)] p_{ij}$$

Adım-2: İşleri eğitim değerlerine göre azalan sırada sırala.

c) Campbell, Dudek ve Smith (CDS) Algoritması: Campbell vd. (1970) tarafından 2'den fazla makine içeren akış tipi problemler geliştirilmiştir. Bu algoritma temel olarak Johnson Kuralı'nı kullanır. Algoritma *m*-1 adet aşamadan oluşur, her aşamada birçok çizelge üretilir ve bunlardan eniyisi seçilir.

Hesaplama zorluğu açısından Palmer'in sezgiselinden daha karmaşıktır ancak ona göre daha iyi çizelgeler üretebilmektedir (Baker ve Trietsch, 2009).

d) Nawaz, Ensore ve Ham (NEH) Sezgiseli: Geliştiricileri Nawaz, Ensore ve Ham'in (1983) baş harfleriyle anılan NEH algoritması akış tipi çizelgeleme problemleri için önerilen en başarılı kurucu sezgisellerden biridir (Vallada vd., 2008). Algoritmanın ana felsefesi toplam işlem süresi büyük olan işlerin mümkün olduğunca erken çizelgelenmesidir. Algoritmanın adımları şu şekildedir.

Adım-0: Sistemdeki her iş için tüm makinelerdeki toplam işlem süresini hesapla.

Adım-1: Sistemdeki *n* adet işi toplam işlem sürelerine göre azalan sırada sırala.

Adım-2: Sıralamadaki ilk iki işi sistemde sadece iki iş varmış gibi, en iyi yayılım zamanını verecek şekilde ata ve $k=2$.

Adım-3: $k=k+1$;

Adım-4: Sıralamadaki *k*. işi, mümkün olan *k* adet pozisyona sırayla ekle ve kısmi yayılım zamanını en küçükleyen çizelgeyi seç.

Adım-5: $k=n$ olduysa dur yoksa Adım-3'e dön.

Algoritma ilk olarak yayılım zamanı (makespan) enküçüklemesi için geliştirilmiştir. Sonraki yıllarda, algoritmanın farklı amaç fonksiyonlarına ve atölye ortamlarına da başarılı olarak uyarlandığı görülmüştür (Vallada vd., 2008).

NEH algoritmasını karmaşıklığı $O(n^2)$ 'dir. Çünkü n adet iş sıralandıktan sonra işleri için yapılması gereken hareket sayısı şu şekildedir:

No	1	2	3	4	5	6	...	$n-1$	n
Hareket Sayısı	2	3	4	5	6	...	$n-1$	n	

Yapılması Gereken Toplam Ekleme Sayısı

$$= \sum_{n=2}^n 2 + 3 + \dots + (n-1) + n = \frac{n(n+1)}{2} - 1$$

$$= \frac{n^2+n-2}{2}$$

Dolayısıyla klasik NEH algoritmasının karmaşıklığı $O(n^2)$ 'dir.

2.2.6. Esnek akış tipi çizelgeleme

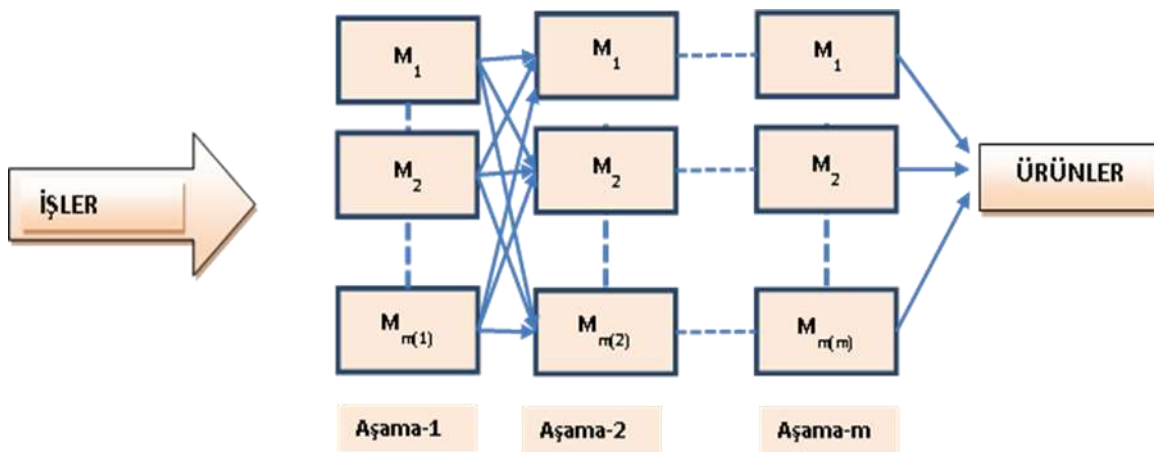
Akış tipi makine ortamının daha da genelleştirilmiş halinde, birbirine seri bağlı birçok üretim aşaması, her aşamada paralel birden fazla makine vardır ve gelen işler her aşamada bu paralel makinelerden sadece birinde işlenir. Bu makine ortamına esnek akış atölyesi, bileşik akış atölyesi, çok işlemcili akış atölyesi veya hibrit (melez) akış tipi atölye ortamı gibi isimler verilmektedir (Pinedo, 2012).

Esnek akış tipi çizelgelemenin (EATÇ) birçok farklı çeşidi olmasına en genel olarak ortak özellikler şunlardır (Ruiz vd., 2010):

- o N adet iş, birbirine seri m adet aşamada işlenmektedir.

- M aşama sayısı en az ikidir.
- Her aşamada birbirine paralel $M(k)$ adet makine bulunmaktadır ve $M(k) > 1$ 'dir.
- Tüm işler aynı akışı takip etmektedir: Aşama-1, Aşama-2,...,Aşama- m .
- Bazı problem çeşitlerinde bazı işler, bazı aşamaları atlayabilmektedir ancak akış yönü hiçbir şekilde değişmemektedir.

Esnek Akış Tipi Çizelgeleme Problemleri (EATÇP) NP-Zor'dur. Tek aşamalı paralel makine çizelgeleme problemi ve her aşamasında yalnızca bir makinenin bulunduğu akış tipi çizelgeleme problemlerinin bile NP-zor olduğu düşünüldüğünde, onlardan daha karmaşık yapıda olan EATÇP de doğal olarak NP-Zor yapıdadır (Sawik, 2000; Ruiz, vd., 2008; 2010).



Şekil 2.12. Esnek Akış Atölyesinin Genel Görünümü

Şekil 2.12.'de esnek akış atölyesinin genel görünümü sunulmuştur. Gelen işler her aşamadaki paralel makinelerde işlemden geçerek ürüne dönüşmektedir. İşlerin rotası değişmemektedir.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

3.1. Müşteri Sipariş Çizelgeleme Problemi

Müşteri Sipariş Çizelgeleme Problemleri (MSCP), şu şekilde tanımlanabilir. Sınırlı çeşitlilikte farklı ürün tiplerinin üretilebildiği birbirine paralel özdeş olmayan bir makine ortamı olsun. Herhangi bir makine farklı ürün tiplerinden belli bir alt kümeyi işleyebilmektedir. Eğer bu makine sadece bir ürün türünü işleyebiliyorsa tahsisli (dedicated) birden fazla ürün tipini işleyebiliyorsa esnek (flexible) makine adını alır. Esnek makinede bir ürün tipinden başka bir ürün tipine geçiş yapılırken hazırlık süreleri söz konusu olabilir. Her ürün tipinin çeşitli makinelerde spesifik olarak işleme ihtiyacı olabilir. Sistemde n adet müşteri vardır ve her biri ayrı sipariş göndermektedir. Bir sipariş isteği farklı birkaç çeşit üründen belli sayılarda içermekte, bir geliş zamanı (release date) ve teslim zamanına sahiptir. Bir siparişteki tüm ürün tiplerinin istenen sayıdaki işlemleri tamamlandıktan sonra sipariş müşteriye gönderilir (Leung vd., 2005b).

Sipariş çizelgeleme problemlerini daha somut olarak göstermek için Julien ve Magazine (1990) ve Leung (2005b) tarafından verilen bazı örnekler şunlardır:

a) Bilgisayar Üretimi: Bir bilgisayarın kasası, klavyesi, faresi, sabit diski vb. birçok alt parçası vardır. Yeni bilgisayar sistemi tedarik eden küçük firmalar tüm siparişlerin bir arada taşınmasını ve teslim edilmesini ister. Üretici açısından hazırlık (setup) süresin azaltmak için çevre birimlerinin üretimini büyük partiler halinde yapmak avantajdır.

b) İlaç Endüstrisi: Bu endüstride çok farklı türlerde ilaç üretilmektedir. Hap şeklinde satılan ilaçlar düşünüldüğünde, her tip hapın şişeleme ayrı ayrı yapılmaktadır. Herhangi bir tür hap için farklı boyutlarda hap gerekli olabilmektedir. Haplar ve şişeler talep tahminlerine göre üretilebilir. Ancak şişeleme ve paketlenme aşaması siparişe göre belirlenmektedir. Eczaneler veya hastaneler her ürün tipinden belli miktarlarda sipariş verirler. Burada bir hap tipinin, sayıca farklı miktarda hap içeren farklı boyuttaki her bir şişesi bir ürün tipini ifade eder. Şişeleme tesisinde ürün tip değişimleri arasında hazırlıklar söz konusudur.

c) Araç Tamir Merkezi: Julien ve Magazine (1990) tarafından verilen bu örnekte bir araç tamir merkezi düşünülmektedir. Her araçta tamir edilmesi gereken birkaç parça olsun. Her arızalı parça o parçaya özel bir makine kümesi tarafından tamir edilebilsin. Atölyedeki tamirciler aynı anda aynı arabanın farklı parçalarını tamir edebilmektedir. Onarımda olan arabanın tüm parçaları tamir edildikten sonra araba tamir merkezini terk etmektedir.

Sung ve Yoon (1998), sipariş çizelgeleme için iki aşamalı üretim sistemlerini örnek olarak göstermiştir. Bu üretim sistemlerinde önce farklı tiplerdeki alt montaj parçaları üretilir daha sonra ise bu parçalar montaj aşamasında bir araya getirilerek son ürün üretimi yapılır. Montaj öncesi aşamasında besleme makineleri adı verilen paralel makineler vardır ve bunların her biri ürünün bileşenlerinden kendine ait bir alt kümesini işlemektedir. Her montaj işleminin süreci bütün gerekli bileşenler gelinceye kadar başlayamaz.

İki aşamalı montaj sistemlerine örnek olarak paralel hesaplama verilebilir. Burada önce farklı görevler paralel işlemcilerde bağımsız olarak işlenir daha sonra son veri işleme aşamasında merkezi bir işlemcide toplanır. Merkezi işlemci kendini besleyen tüm programları sonuçlandıktan sonra işlemeye başlayabilir. Burada ilgilenilen modeller iki aşamalı sistemlerdeki montaj öncesi aşamasıdır.

3.2. Makine Ortamına Göre Sipariş Çizelgeleme Problem Tipleri

Leung vd. (2005b;2006), MSCP'ni üç farklı kategoriye ayırmıştır:

3.2.1. Tam tahsisli durum (fully dedicated case)

m makine, m ürün vardır ve her ürün farklı bir makine tarafından üretilebilmektedir. i ürün tipi yalnız i makinesinde üretilebildiği için i indisi hem makineyi hem de ürün tipini göstermektedir. Bu model Wagneur and Sriskandarajah (1993) tarafından çakışmalı açık atölye, Ng vd. (2003) tarafından Eş Zamanlı Açık Atölye (Concurrent Open Shop) olarak da isimlendirilmiştir. Bu durum diğer durumlardan çok daha kolaydır çünkü işlerin atanmasında serbestlik yoktur. Her makine $t=0$ anında işlere başlayabilir ve talep olduğu sürece işlemeye devam edebilir. Buradaki asıl konu son ürünlerin müşterilere atanmasıdır. Tahsisli makineler için hazırlık zamanları çizelgeleme açısından önemli değildir.

3.2.2. Tam esnek durum (fully flexible case)

Özdeş m adet makine vardır ve her makine k ürün tipinin hepsine de uygundur. İki problem kümesi söz konusudur.

(i) Hazırlık süresiz esnek durumlar,

(ii) Hazırlık süreli esnek durumlar.

Açıkça anlaşıldığı gibi tam esnek durum, tam tahsisli duruma göre çok daha zordur. Çünkü tam esnek durumda siparişlerin çizelgelenmesinin yanında ürün tiplerinin makinelere atanması da söz konusudur. Tam tahsisli durumda sadece sıralama problemi ile ilgilenilmektedir.

3.2.3. Keyfi durum (arbitrary case)

Tüm makineler ilişkisizdir (unrelated) ve her makine tüm ürünleri işleyebilmektedir. Bu durumda makinelere herhangi bir kısıt dayatılmamaktadır. İşleme kabiliyeti açısından 3 çeşit durumdan en genel hali yansıtmaktadır. İlişkisiz paralel makine ortamı (R_m) bu problemi oldukça zorlaştırmaktadır. Bu durum ilk defa Leung vd.(2005c) tarafından tanımlanmıştır. Yang (2005) keyfi durumun toplam tamamlanma zamanı amaç fonksiyonu altında iki makine için bile NP-Tam olduğunu göstermiştir.

3.2.4. Problemin matematiksel modeli

Xu vd. (2013) müşteri sipariş çizelgeleme problemlerinin İlişkisiz Paralel Makine ortamında, toplam tamamlanma zamanının enküçüklenmesi için bir model önermiştir. Burada MSC problemi tip bölünebilirlik özelliği altında $R_m / O, split / \Sigma_j$ problemi olarak ele alınmış ve matematiksel bir model önerilmiştir. Modelde kullanılan notasyon şu şekildedir:

J : Tüm siparişlerin kümesi, $J=\{1,2,\dots,n\}$;

M : Tüm makinelerin kümesi, $M=\{1,2,\dots,m\}$;

T : Tüm ürün tüplerinin kümesi, $T=\{1,2,\dots,t\}$;

P_{jt} : j siparişindeki t ürün tipinin işyükü;

I_{mt} : m makinesindeki t ürün tipinin işleme hızının tersi;

π : Herhangi bir çizelge;

$C_j(\pi)$: Π çizelgesindeki j . siparişin tamamlanma zamanı

$C_{m,j}(\pi)$: π çizelgesinde, m makinesindeki j . siparişin tamamlanma zamanı;

C_{max}^j : j . siparişin enküçük yayılım (makespan) zamanı;

$C_{max}^{[j]}$: $R_m / O,split / \Sigma C_j$ problemini her j siparişi için çöz, daha sonra C_{max}^j 'leri artan sırada sırala. $C_{max}^{[j]}$ sıralamadaki j . elemanı gösterir.

C_{max}^0 : $R_m / O,split / \Sigma C_j$ probleminin enküçük yayılma zamanını gösterir.

Karar Değişkenleri:

$x_{ij}=1$ i siparişi j siparişinden önceyse 1, d.d. 0.

s_{jm} : m makinesindeki j siparişinin başlama zamanı.

y_{mtj} : m makinesi tarafından işlenen j siparişindeki t ürünü oranı.

Amaç Fonksiyonu

$$Enk \sum_j C_j \quad (3.0)$$

Kısıtlar

$$x_{ij} + x_{ji} = 1, \quad \forall i \neq j; \quad (3.1)$$

$$\sum_m y_{mtj} = 1, \quad \forall t, j; \quad (3.2)$$

$$s_{jm} + M(1 - x_{ij}) \geq s_{im} + \sum_t y_{mti} P_{it} I_{mt}, \quad \forall m, i \neq j; \quad (3.3)$$

$$s_{im} + Mx_{ij} \geq s_{jm} + \sum_t y_{mtj} P_{jt} I_{mt}, \quad \forall m, i \neq j \quad (3.4)$$

$$C_j \geq s_{jm} + \sum_t y_{mtj} P_{jt} I_{mt}, \quad \forall m, j; \quad (3.5)$$

$$s_{jm} \geq 0, \quad \forall j, m; \quad (3.6)$$

$$y_{mtj}, \quad \forall m, t, j \quad (3.7)$$

Kısıt-3.1 bir siparişin başka bir siparişten önce gelmesi durumunu sağlar, kısıt-3.2 her siparişin işyükünün tamamlanmasını sağlar, kısıt-(3.3, 3.4) her siparişin başlama zamanını tanımlar, kısıt-3.5. siparişlerin tamamlanma zamanlarını belirler, kısıt-(3.6, 3.7) değişkenlerin negatif olmamasını sağlar.

3.3. Sipariş Çizelgeleme Problemlerinin Gösterimi

Lejung vd. (2005) sipariş çizelgeleme problemleri için de Graham notasyonuna benzer bir notasyon önermiştir. Bu notasyonda her zaman m adet paralel makine ve n adet farklı müşteriden n adet farklı sipariş gelmesi söz konusudur. Bu notasyona göre $\alpha / \beta / \gamma$ alanlarında şunlar yer alabilir:

3.3.1. α makine ortamı alanı

PD_m : Tam tahsisli m adet makine ortamı (m fully dedicated)

PF_m : Tam esnek m adet makine ortamı (m fully flexible)

PA_m : Keyfi m adet makine ortamı (Arbitrary)

3.3.2. β işlere ait özellikler alanı

π_k : k farklı ürün tipi

s : Özdeş Hazırlık Süreleri

s_l : Hazırlık süreleri ürün tipine göre farklı

s_{li} : Hazırlık süreleri hem ürün tipine hem de makineye bağlı.

Burada s alanı yoksa hazırlık süreleri ihmal edilir. Tam tahsisli makine ortamında hazırlık süreleri anlamsızdır.

3.3.3. γ eniyilenecek performans kriteri alanı

Burada klasik gösterimde olduğu gibi C_{enb} , L_{enb} vb. istenen performans kriteri ne göre amaç fonksiyonu yer almaktadır.

Örnek: $PF_6 / prmt$, s , π_3 / L_{max} : Tam esnek 6 paralel makine, 3 farklı ürün tipi, her ürün tipi için ayrı hazırlık zamanı, j siparişi için d_j teslim zamanı ve kesintilere izin verilmektedir. Amaç fonksiyonu ise enbüyük gecikmenin enküçüklenmesidir.

3.4. Problemin Karmaşıklığı

Literatürde genel MSCP'nin çeşitli özel durumları mevcuttur. Ancak bu özel durumların çoğu genel probleme göre çok daha az karmaşıktır. Önemli bir özel durum sadece bir ürün tipinin bulunduğu durumdur. Ek olarak makineler tam esnek, hiçbir ürün tipi hazırlık süresi gerektirmiyorsa problem hemen literatürde $P_m / \beta / \gamma$ olarak bilinen standart paralel makine ortamına indirgenmektedir. Eğer makineler tam esnek değilse ve hazırlık zamanları yoksa problem $R_m / \beta / \gamma$ olarak ilişkisiz (unrelated) paralel makine ortamına dönüşmektedir. Bu paralel makine çizelgeleme problemleri hakkında literatürde oldukça fazla çalışma mevcuttur (Leung vd., 2005b).

Tam tahsisli makine ortamında MSCP'ni, Wagneur and Sriskadarajah (1993), çakışmalı açık atölye çizelgeleme problemi olarak tanımlarken, Ng vd. (2002) problemi eş zamanlı açık atölye çizelgeleme problemi olarak adlandırmıştır. Tam tahsisli durum diğer durumlara göre oldukça kolaydır çünkü işlerin makinelere atanmasında bağımsızlık yoktur. Burada tüm makineler 0 anında işlemeye başlayabilir ve talep olduğu sürece işlemeye devam eder. Tahsisli makineler için hazırlık zamanları söz konusu değildir (Leung vd., 2005c).

$PD / \beta / \sum f_j(C_j)$ problemi güçlü NP-Zor bir problemdir. Bu nedenle baskınlık durumları veya eliminasyon kriterleri geliştirmek oldukça faydalı olabilir. Sung and Yoon (1998), $PD_2 // \sum w_j C_j$ probleminin güçlü NP-Zor olduğunu ispatlamıştır. Wagneur and Sriskadarajah (1993), $PD_2 // \sum C_j$ probleminin güçlü NP-Zor olduğunu ispatlamış ancak Leung vd. (2005a) yapılan bu ispatın yanlış olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte Leung vd. (2005c) $PD_m // \sum C_j$ probleminin $m \geq 3$ için güçlü NP-Zor olduğunu göstermiştir.

Du and Leung (1990), $PD_1 / \pi_1 / \sum T_j$ probleminin NP-Zor olduğunu göstermiştir.

Toplam geciken iş sayısı $1/w_j U_j$ amacı açısından bakıldığında, Wagneur and Sriskadarajah (1993), $PD_2 // \sum U_j$ probleminin zayıf NP-Zor olduğunu göstermiştir. Ng vd. (2003), $PD // \sum U_j$ probleminin güçlü NP-Zor olduğunu göstermiştir.

Tam esnek duruma hazırlık zamanları olmaksızın bakıldığında $PF_m / \pi_k, \beta / \gamma$ problemi ile $P_m / \beta / \gamma$ paralel makine ortamı arasında farklılıkların yanında benzerliklerin de olduğu görülmektedir. C_{max}, L_{max} ve $\sum w_j T_j$ amaçları açısından standart makine ortamına benzer şekilde $PF / prmt, \pi_k / C_{max}$ ve $PF / prmt, \pi_k / L_m$ polinom zamanlı olarak çözülebilirken, $PF_2 / \pi_1 / C_{max}, PF_2 / \pi_1 / L_{max}$ ve $PF_2 / \pi_1 / \sum T_j$ problemleri NP-Zordur (Leung vd., 2005b) Blocher and Chajed (1996), $PF_2 / \pi_k / \sum C_j$ probleminin NP-Zor olduğunu göstermiştir. Bu problemin $k=2$ için bile NP-Zor olarak kalmaktadır (Leung vd., 2005b).

Hazırlık zamanlarını içeren çizelgeleme problemleri tek makine için bile oldukça zordur. $PF_1 / s_1 / L_{max}$ ve $PF_1 / s_1 / \sum U_j$ problemleri zayıf NP-Zor'dur. Ayrıca 2'den fazla makine olduğunda polinomluluk özelliği kaybolduğundan $PF_2 / s_1 / C_{max}$ ve $PF_2 / prmt, s_1 / C_{max}$ problemleri de NP-Zordur (Leung vd., 2005b). Ng vd. (2003) $PF_1 / s, \pi_k, p_{ij} \in \{0,1\} / \sum C_j$ probleminin güçlü NP-Zor olduğunu göstermiştir.

Keyfi durumda (Arbitrary Case) daha önce bahsedildiği gibi makinelerde herhangi bir kısıtın olmadığı, işleme kabiliyeti anlamında en genel durumdur. İlişkisiz (unrelated) paralel makine ortamı (R_m) da bu duruma dâhildir. Bu nedenle problem oldukça zorlaşmaktadır. Yang (2005) keyfi durumun ΣC_j açısından NP-Tam olduğunu göstermiştir.

Erel and Ghosh (2007) MSÇP toplam sipariş verme zamanını da içerecek şekilde yeniden tanımlamış ve toplam sipariş verme zamanının enküçüklenmesini sağlayan MSÇP'nin güçlü NP-Zor olduğunu göstermiştir.

MSÇP tüm problem tipleri için, az sayıda makine içeren ortamlarda bile NP-Zor bir problemdir. Küçük boyutlu problemler için tam çözüm üretebilen, büyük boyutlu problemler için iyi alt ve üst sınırlar üreten algoritmaların ve modellerin geliştirilmesi önem arz etmektedir.

3.5. Literatür Araştırması

Müşteri Sipariş Çizelgeleme Problemleri ilk defa Julien and Magazine (1990) tarafından "Sipariş Çizelgeleme" olarak adlandırılmış ve literatüre tanıtılmıştır (Leung vd., 2005 ; Erel and Ghosh, 2007; Xu vd.,2013).

Müşteri Sipariş Çizelgeleme Problemine (MSÇP) bakıldığında literatürde çok çeşitli çalışmalara rastlanmaktadır.

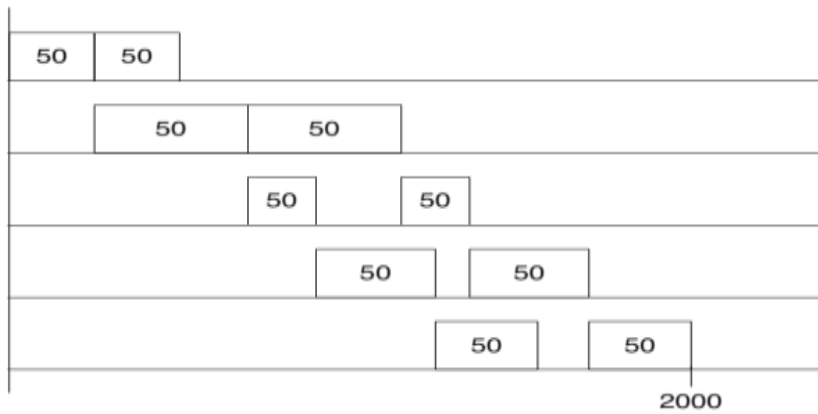
Makro seviyeden bakıldığında fabrika tek makine ortamı ve fabrikadan müşterilere siparişlerin teslimi problemi söz konusudur. Genel olarak "Sipariş Kabulü ve Çizelgelemesi (SKÇ)" problemi olarak adlandırılan bu problem tipinde amaç istenen amaç fonksiyonuna göre eniyi sipariş önceliğinin ve iş sıralamasının bulunmasıdır.

Leung, Li ve Pinedo'nun (2005b) yaptığı çalışmada MSÇP hakkında genel bir bilgilendirme yapılmıştır. Buna göre MSÇP paralel makine ortamında ortaya çıkan ve problemlerin sınıflandırması da paralel makinelerin esnek veya tahsisli olmasına göre değişen bir problem tipi olarak tanıtılmaktadır. Bununla birlikte literatürde paralel makine ortamı haricinde tanımlanmış (akış tipi, atölye tipi, tek makine) birçok MSÇP de yer almaktadır.

Tez çalışması kapsamında ortaya çıkan bir başka kavram da parti akışı (lot streaming)'dir. Parti akışı büyük hacimli bir işin, küçük hacimli ardışık alt işlere bölünmesi ve bu alt işlerin çizelgelenmesi anlamında kullanılmaktadır. Literatürde daha çok akış tipi atölye ortamında üzerinde durulan bir kavramdır. Kavramı daha iyi anlamak amacıyla Baker ve Trietch (2009) tarafından verilen örnek Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

Örnek: 5 makinenin bulunduğu ortamda, 100 birimden oluşan bir siparişin akış tipi atölyede işlendiğini ve birim işleme sürelerinin de sırasıyla 5,9,4,7 ve 6 birim olduğunu düşünelim.

Parti akışının olmadığı varsayıldığında, siparişin toplam işlem süresi seri akış olduğu için her makinede geçen sürenin toplamı yani 3100 birim olacaktır. Ancak parti akışı söz konusu olduğunda, sipariş 50 birimlik iki alt partiye bölünerek işlenirse bu süre 2000 birime düşecektir.



Şekil 3.1. Örnek İçin İki eşit Alt Parti İçin Parti Akışının Gösterimi (Baker ve Triestch, 2009)

Potts and Kovalyov (2000) partiler (batch) ile ilgili durumları da içeren çizelgeleme problemlerini inceleyen detaylı bir literatür çalışması yapmıştır.

Yapılan incelemede akış tipi ve atölye tipi makine ortamlarında da MSCP'nin incelendiği tespit edilmiştir. Ancak bu çalışmaların fazla olmadığı gözlenmiştir.

Bu bölümde literatürde MSCP hakkında yapılan çalışmalar makine ortamlarına göre incelenmiştir.

3.5.1. Tek makine ortamında yapılan çalışmalar

Tek makine ortamındaki MSCP, özellikle probleme makro seviyede bakan modeller olarak öne çıkmaktadır. Bu modellerde fabrikadan müşteriye sevkiyatların nasıl yapılacağı öne çıkmakta, fabrika tek bir makine ortamı gibi düşünülmekte ve siparişlerin sevkiyat sıralaması belirlenmeye çalışılmaktadır. Tek makine ortamında yapılan çalışmalardan bazıları şunlardır:

Bagchi vd. (1994), MSCP'ni her müşteri için toplam erkenlik ve geçlik cezalarını enküçükleyecek teslim tarihi belirlenmesi şeklinde ele almıştır.

Gupta vd. (1997), MSCP'ni yayılma süresi ve enküçük toplam taşıma maliyeti amaç fonksiyonu altında, sıraya bağlı hazırlık sürelerini de dikkate alarak incelemiştir. Problem için polinom zamanlı çözüm veren iki algoritma önermiştir.

Yang ve Liao (1998), tek makine ortamında, müşteri siparişlerinin alt işlerinin gruplanmasını (grup teknolojisi bağlamında) ve sıralamasını çalışmıştır. Çalışmada ortalama akış zamanını enküçüklemek için bir dal-sınır algoritması ve ayrıca bir de sezgisel önermiştir.

Sawik (2007), sipariş için üretim ortamında çok amaçlı müşteri sipariş ataması ve kaynak kullanımı problemini irdelemiştir. Çalışmada amaç fonksiyonlarını ağırlıklandırılarak tek bir amaç fonksiyonuna dönüştüren ağırlıklandırma yaklaşımı ile amaç fonksiyonlarını belli sırayla probleme dâhil ederek çözen Lexicographic yaklaşım arasındaki farkları ortaya koymuştur.

Erel ve Ghosh (2007), problemin toplam sipariş tamamlanma süresinin en küçülenmesi amaç fonksiyonu altında, aileler (family) arası geçişteki hazırlık sürelerini de dikkate alarak incelemiş, problemin NP-Zor olduğunu ispatlamıştır. Özel durumlar için bir de dinamik programlama algoritması geliştirmiştir.

Hazır vd. (2008), MSCP'ni tek makine ortamında ele almış, toplam sipariş akış süresini (customer flowtime) en küçükleyen tamsayı matematiksel bir model önermiştir. Problem NP-Zor olduğu için problem için geliştirilen Tavlama Benzetimi, Genetik Algoritma, Karınca Kolonisi ve Yasaklı Arama metasezgisellerinin performanslarını kıyaslamıştır. Genel

olarak Yasaklı Arama ve Karınca Kolonisi algoritmasının çok iyi sonuçlar verdiğini belirtmiştir.

Guo vd. (2008), müşteri memnuniyet seviyesini ve toplam çıktı süresini eniyileyen genetik bir algoritma ortaya koymuş etkinliğini de test problemleri üzerinde göstermiştir.

Oğuz vd. (2010), SKÇP için tamsayılı matematiksel bir model önermiştir. Modelde amaç fonksiyonu toplam gelirin enbüyüklenmesidir. Çalışmada katkı olarak bir sipariştan elde edilen gelirin, normal teslim tarihi ve en geç teslim tarihi belirlenerek, parçalı doğrusal bir fonksiyonla ifade etmiştir.

Slotnick (2011) SKÇP için detaylı bir literatür taraması yaparak, problem için bir sınıflandırma yapmış ve makaleleri buna göre sınıflandırmıştır.

Cesaret vd. (2012), SKÇP'ni, serbest kalma zamanları ve sıraya bağlı hazırlık süreleri ile birlikte ele almıştır. Çalışmada yeni bir Yasaklı Arama algoritması önermiş ve algoritmanın çok büyük sayıda müşteri siparişleri için bile etkin çalıştığını göstermiştir.

Wang vd. (2013) müşteri için montaj üretim ortamında, üretim planlama için müşteri siparişlerinin önceliklendirmesi ve montaj hattında üretim sıralamasının belirlenmesi için karma tamsayılı bir doğrusal programlama modeli önermiştir. Amaç fonksiyonu ise toplam gecikmenin en küçüklenmesidir.

Nafchi ve Moslehi (2015), toplam ağırlıklı gecikme ve ağırlıklı geciken iş sayılarını ajan olarak kullanan iki ajanlı, toplam kârı ve toplam geliri enbüyükleme SKÇP üzerinde çalışmıştır. Problem için matematiksel bir model önermiş ve problem çok zor olduğu için de bir genetik algoritma yaklaşımı geliştirmiştir.

3.5.2. Çok makine ortamında yapılan çalışmalar

Leung vd. (2005c), MSCP'ni paralel makine ortamında tanımlamış ve MSCP'lerini de makinelerin esnek veya tahsisli olmasına göre sınıflandırmış ve bundan yola çıkarak $\alpha/ \beta/ \gamma$ notasyonu ortaya koymuştur. Ancak literatürdeki çalışmalara bakıldığında MSCP sadece paralel makine ortamında değil, diğer makine ortamlarında da incelenmiştir.

3.5.2.1. Paralel makine ortamı

Paralel makine ortamındaki çalışmalar, makinelerin sadece bir ürün işleyebilmesi (dedicated), her ürünün her makinede işlenebilmesi (fully flexible) ve bu ikisinin karması (arbitrary) şeklinde özetlenebilir (Leung vd.,2005b).

Blocher ve Chajed (1996), MSCP'ni ortalama sipariş tamamlanma zamanını en küçükleme amacıyla incelemiş ve farklı sezgiseller önermiştir.

Leung vd. (2005a) $PD_m // \Sigma C_j$ probleminin $m \geq 3$ için NP-Zor olduğunu ispatlamıştır.

Yang (2005), paralel makine ortamında siparişlerin tamamlanma zamanları toplamı, en büyük gecikme ve en büyük tamamlanma zamanı amaçları açısından MSCP'nin NP-Zor olduğunu ispatlamıştır.

Leung vd. (2005c), paralel tahsisli makine ortamında MSCP çalışmalarını genel olarak ortaya koymuş ve farklı amaç fonksiyonları altında incelemiştir.

Lin ve Kononov (2007), tahsisli paralel makine ortamında geciken iş sayısını en küçükleme problemi üzerinde durmuştur. Çalışmada tek genel bir teslim tarihi ve iki makine için bile bir tam polinom zamanlı yaklaşım şeması olmadığını ortaya koymuş ayrıca bir de sezgisel yöntem önermiştir.

Li ve Ou (2007) ayrı yerlerde bulunan iki makine için MSCP incelemiştir. Tanımladığı problemde her iş iki işlem içermekte ve her işlem spesifik bir makine tarafından işlenmektedir. Biten işlemler partiler halinde bir dağıtım merkezine taşınmakta daha sonra bunlar paketlenerek müşterilere dağıtılmaktadır. Amaç fonksiyonu olarak dağıtım maliyetini ve müşteri bekleme maliyetinin enküçülenmesi alınmıştır. Bu model üretim ve dağıtım çizelgelerini merkezi olmayan makinelerde taşıma ve müşteri bekleme maliyetlerini dikkate alarak koordine etmeye çalışmaktadır. Bu problem için polinom zamanlı sezgiseller de geliştirmişler ve bunların en kötü durum performanslarını analiz etmiştir.

Jia ve Mason (2009), özdeş paralel makine ortamında yarı iletken üretimi için MSCP'ni incelemiştir. Çalışmada amaç fonksiyonu olarak toplam ağırlıklı sipariş tamamlanma süresinin enküçüklenmesi alınmış, çizelgeleme problemi için tamsayılı matematiksel bir model önermiştir. Ayrıca problem NP-Zor olduğu için polinom zamanlı bir de sezgisel yaklaşım geliştirmiştir.

Cheng vd. (2011), sipariş çizelgeleme probleminin NP-Zor yapısından dolayı araştırmacıların yaklaşım algoritmaları geliştirdiklerinden bahsetmiştir. Yaklaşık bir algoritmanın performans kalitesinin, en kötü durum oranı (wost case ratio) ya da yaklaşım oranı olarak adlandırılan ve ρ ile gösterilen oran ile belirlendiğini belirtmişlerdir. Herhangi bir yaklaşım oranına sahip bir H algoritmasında, herhangi bir girdi boyutu için her zaman eniyi değerin ρ ile çarpımından daha büyük olmayacak bir cevap verir. Eğer bir problem için ρ -yaklaşım algoritması varsa, problem yaklaşılabildir. Yaklaşım algoritmalarının bir ailesine polinom zamanlı yaklaşım şeması (Polynomial-time Approximation Scheme-PTAS) denir. Cheng vd. (2011) $PD_m // \sum w_j C_j$ problemi için bir PTAS önermiştir.

Su vd. (2013), MSCP'ni paralel makine ortamında en büyük gecikmeyi enküçükleme amaç fonksiyonu altında incelemiştir. Problem $P/batch/L_{max}$ olarak tanımlanmış, 3 farklı sezgisel önerilmiş ve bu sezgisellerin en kötü durum performansları ortaya koyulmuştur.

Lee (2013), tahsisli paralel makine ortamında MSCP'ni en küçük toplam gecikmeyi sağlamak amacıyla ele almıştır. Problem için bir dal-sınır ve 3 sezgisel yöntem önermiş ve bunların performanslarını test problemlerinde göstermiştir.

Ma and Jin (2013) eş zamanlı açık atölye çizelgeleme probleminin matematiksel modelini IBM ILOG CPLEX eniyileme yazılımında kodlamıştır. Kurulan modelin doğruluğunu ispatlamak için 5 ayrı sayısal örnek problem grubu tanımlamış ve çözmüştür. Bu suretle tam çözümün nasıl elde edilebileceğini göstermiştir.

Wang vd. (2013), siparişlerin toplam ağırlıklı tamamlanma zamanlarını, tahsisli paralel makine ortamında çözmek için yeni bir karesel programlama modeli ortaya koymuş ve karesel modelin nasıl doğrusal hale getirildiğini de göstermiştir. Modelin etkinliğini test problemlerinde göstermiştir.

Xu vd. (2013), ilişkisiz (unrelated- R_m) paralel makine ortamında, toplam tamamlanma zamanını enküçükleme problemini ele almıştır. Çalışmada işlerin alt partilere bölünebilirliğini de (splitting) dikkate alarak bir tamsayılı matematiksel model ve 3 farklı sezgisel yöntem önerilmiş, etkinlikleri de sayısal örek problemler üzerinde gösterilmiştir.

Xu vd. (2016), öğrenme etkisi nedeniyle makine işlem sürelerinde değişiklikler olabileceğini değerlendirmiştir. Bu durumda, MSÇP'ni enküçük toplam gecikme amaç fonksiyonu altında, paralel makine ortamında ele almıştır.

Shi vd. (2018), birbirinden farklı iş ailelerinden çeşitli miktarlarda işlerin yer aldığı siparişleri, partiler (iş grupları) halinde işleyebilen parti makineleri ortamını ele almıştır. Parti makineleri bir iş grubunu aynı anda işleyebilmektedir ancak bir parti işlemeye başladığında kesinti yapılamamaktadır. Elektrik seramikleri sektöründe sipariş için üretim ortamında, MSÇP tek parti makineli ve paralel parti makineli durumlarda, yayılım zamanı ve enküçük ağırlıklı sipariş tamamlanma zamanı amaç fonksiyonları açısından ele alınmıştır. Yayılım zamanı enküçüklemesi için polinom zamanlı tam çözüm verebilen bir algoritma önerilmiştir. NP-zor olan enküçük toplam ağırlıklı sipariş tamamlanma zamanı amaç fonksiyonu için de iki etkili sezgisel önerilmiştir.

3.5.2.2. Akış tipi atölye ortamı (flowshop)

Yang (2011) iki makineli akış tipi atölye ortamında, yayılma süresi (makespan) ve siparişlerin tamamlanma zamanları toplamını enküçükleme problemini ele almıştır. Yayılma süresi (makespan) amacı açısından eniyi çözüme ulaşabilen polinom zamanlı bir algoritma, diğer amaç fonksiyonu için de sezgisel çözüm yöntemi önermiş ve performansını uygulamada göstermiştir.

Lin ve Ying (2015), ağırlıklı gecikmenin (weighted tardiness) söz konusu olduğu ortamda, toplam net geliri enbüyükleyen SKÇP ele almıştır. Problem için bir tavlama benzetimi algoritması önermiş ve algoritma performansını da test problemlerin de göstermiştir.

Lei ve Guo (2015), yayılma süresini ve toplam net geliri aynı anda eniyileyen iki amaçlı SKÇP için paralel komşuluk arama algoritması geliştirmiştir. Algoritmanın performansını test problemlerinde göstermiştir.

3.5.2.3. Karmaşık atölye ortamı (job shop)

MSCP, karmaşık atölye ortamında çok fazla ele alınmamıştır. Konuyla ilgili yapılan bazı çalışmalar şunlardır:

Blocher vd. (1998) sipariş tabanlı öncelik kurallarının karmaşık atölye ortamında sipariş akış zamanı, sipariş gecikmesi ve geciken siparişlerin oranı amaç fonksiyonları altında incelemiştir.

Chan vd. (2008), atölye tipi ve montaj atölye tipi ortamda parti akışını dikkate alan bir genetik algoritma yaklaşımı geliştirmiştir.

Liu (2009; 2010), atölye tipi ortamda parti akışını MSCP açısından ele almıştır. Çalışmada yayılma zamanı, ortalama gecikme ve ortalama akış süresini aynı anda eniyilemeye çalışan çok amaçlı matematiksel bir model ortaya konulmuş, problem çok zor olduğu için ayrıca bir de genetik algoritma geliştirilmiştir.

Tekbaş (2011) doktora tezinde MSCP'ni esnek atölye ortamında ele almış, problem için karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirmiştir. Problem çok zor olduğu için bir de tavlama benzetimi algoritması geliştirmiş ve performansını test problemlerinde göstermiştir.

İncelenen makalelere ilişkin yapılan sınıflandırma Çizelge 3.1.'de gösterilmiştir. Çizelge 3.1.'de de görüldüğü gibi MSCP literatüründe yapılan çalışmalarda özellikle 2007 yılından sonra belirgin bir artış gözükmemektedir. Ancak yapılan çalışmaların daha çok tek makine ve paralel makine ortamında olduğu, akış tipi ve atölye tipi ortamlarda çok fazla çalışma olmadığı gözlenmiştir.

Çizelge 3.1. Literatürde incelenen MSCP çalışmalarının sınıflandırması.

S/N	Yıl	Çalışma		Ele Alınan Problem			Çözüm Yöntemi				
		Yazar	MO	AF	HS	PA	Eniyileme	DP	Sezgisel	Metasezgisel	
1.	1994	Bagchi vd.	1	$\Sigma w_j T_j$	-	-	+	-	+	-	
2.	1997	Gupta vd.	1	C_{enb} , Taşıma Maliyeti	+	-	+	-	+	-	
3.	1998	Yang ve Liao	1	$\Sigma F_j/N$	+	+	+	-	+	-	
4.	2005	Leung vd.	PD_m	$\Sigma w_j T_j, \Sigma w_j C_j, \Sigma C_j$	-	-	-	-	+	-	
5.	2005	Yang	P_m	ΣC_j	+	+	+	-	-	-	
6.	2007	Lin ve Kononov	PD_m	ΣU_j	-	-	-	-	+	-	
7.	2007	Erel ve Ghosh	1	ΣL_j	+	+	+	+	+	-	
8.	2008	Guo vd.	1	ΣC_j , Müşteri Memnuniyet Seviyesi	-	-	+	-	-	GA	
9.	2008	Hazır vd.	1	ΣF_j	+	-	+	-	-	TB, GA, TA, KKA	
10.	2009	Jia ve Mason	P_m	$\Sigma w_j C_j$	+	-	+	-	+	-	
11.	2009	Liu	J_m	$C_{enb}, \Sigma C_j, \Sigma F_j/N$	+	+	+	-	-	GA	
12.	2010	Liu	J_m	ΣF_j	-	+	-	-	-	-	

Çizelge 3.1. Literatürde incelenen MSCP çalışmalarının sınıflandırması (devam).

S/N	Çalışma		Ele Alınan Problem				Çözüm Yöntemi			
	Yıl	Yazar	MO	AF	HS	PA	Eniyileme	DP	Sezgisel	Metasezgisel
13.	2010	Oğuz vd.	1	Toplam Gelir	+	-	+	-	+	-
14.	2011	Yang	F_2	$C_{enb}, \Sigma C_j$	-	+	+	-	+	-
15.	2012	Oğuz vd.	1	Toplam Gelir	+	-	+	-	+	TA
16.	2013	Guan vd.	1	C_{enb}	-	-	+	-	-	-
17.	2013	Wang vd.	1	$\Sigma w_j C_j$	-	-	+	-	-	-
18.	2013	Germes ve Foreest	1	Toplam Gelir	+	+	-	+	+	-
19.	2015	Nafchi	1	$\Sigma w_j L_j, \Sigma U_j$	-	-	+	-	-	GA
20.	2015	Lei ve Guo	F_m	$C_{enb}, \text{Toplam Gelir}$	-	-	+	-	-	PKA
21.	2015	Lin ve Ying	F_m	$\Sigma w_j T_j$	-	-	+	-	-	TB
22.	2013	Su vd.	P_m	L_{enb}	-	+	-	-	+	-
23.	2013	Xu vd.	R_m	ΣC_j	-	+	+	-	+	-
24.	2015	Lee	P_m	ΣT_j	-	-	+	-	+	-
25.	2016	Xu vd.	P_m	$\Sigma w_j T_j$	-	-	+	-	-	KKA, TB
26.	2018	Shi vd.	P_m	$C_{enb}, \Sigma w_j C_j$	-	+	+	-	+	-

MO:Makine Ortamı, AF:Amaç Fonksiyonu, HS:Hazırlık Süresi, PA:Parti Akışı, GA:Genetik Algoritma, YA:Yasaklı Arama, TB:Tavlama Benzetimi, KKA:Karıncı Kolonisi Algoritması, PKA:Paralel Komşuluk Arama

4. DEĞİŞKEN KOMŞULUK ARAMA

4.1. Genel Bakış

NP-Zor sınıftaki problemlerin çözümünde, eniyi çözümü garanti eden tamsayılı programlama, matematiksel programlama veya dinamik programlama gibi yaklaşımlar ile eniyi çözüme makul bir sürede ulaşılamaz. Bu nedenle, makul bir sürede eniyiye yakın çözümler veren metasezgisel yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler genel olarak yerel arama algoritmalarına dayanmaktadır.

Metasezgiseller değerlendirildiğinde, farklı kriterler dikkate alınmalıdır. İyi bir metasezgisel de olması gereken özellikler şunlardır (Hansen vd., 2010):

1) Basitlik (Simplicity): Metasezgisel basit ve açık bir kurala dayanarak çok geniş bir alanda uygulanabilmelidir.

2) Kesinlik (Precision): Metasezgiselin uygulama adımları esinlendiği biyolojik veya fiziksel kaynaktan bağımsız olarak, kesin matematiksel terimlerle formüle edilebilmelidir.

3) Tutarlılık (Coherence): Metasezgisel bir probleme uygulanırken kullanılan adımlar, metasezgiselin temel kuralını izlemelidir.

4) Yeterlilik (Efficiency): Metasezgisel uygulandığı problemin gerçekçi örneklerinde eniyi veya eniyiye yakın çözümler üretmelidir.

5) Etkinlik (Effectiveness): Metasezgisel uygulandığı problem için eniyi veya eniyiye yakın çözümleri makul bir işlemci süresi içinde verebilmelidir.

6) Gürbüzlük (Robustness): Sezgiseller etkin ve tutarlı olmalıdır ayrıca uygulandığı her problemde sadece ince ayar yapılmış test problemleri için değil çok çeşitli problemlerde iyi çözümler üretebilmelidir.

7) Kullanım Kolaylığı (User-friendliness): Sezgiseller iyi tanımlanmış, anlaşılması kolay ve en önemlisi kullanılması kolay olmalıdır.

8) Yenilik (Innovation): Metasezgiselin temel kuralı veya o metasezgiselden türetilen diğer sezgiseller, yeni uygulamalara yol açmalıdır.

9) Kapsamlılık (Generality): Metasezgisel çok geniş bir problem sahasında çok iyi çözümler üretebilmelidir.

10) Etkileşim (Interactivity): Metasezgisel çözüm kalitesinin geliştirilebilmesi için kullanıcının kendi bilgisini kullanmasına olanak sağlamalıdır.

11) Çeşitlilik (Multiplicity): Metasezgisel, kullanıcının aralarından seçim yapabileceği çok farklı eniyeye yakın çözümler üretebilmelidir.

Kombinatoryel eniyileme problemleri için kullanılan yerel arama yöntemleri, bir başlangıç çözümünde bir seri yerel değişiklikler yapmak suretiyle yerel eniyi çözüme ulaşmaya çalışır. Her ardıştırmada mevcut çözümden bir başka komşu çözüme artık gelişme sağlanamayana kadar geçiş yapılır. Eldeki metasezgisellerin (tavlama benzetimi, yasaklı arama, genetik arama vb.) büyük kısmı yerel eniyi tuzağına yakalanmamak için çeşitli mekanizmalar içerir. Ancak bu mekanizmalar çoğu zaman çok karmaşık olabilmektedir. Bu nedenle, yerel eniyi tuzağından kurtulurken mevcut çözümün de iyi özellikleri korumak adına, komşuluk yapısının bir yerel arama algoritması içinde sistematik olarak değiştirilmesine dayanan basit ve etkin yeni bir metasezgisel olarak DKA ortaya konulmuştur (Mladanovich ve Hansen, 1997).

Değişken Komşuluk Arama (DKA) şu üç temel gerçeğe dayanmaktadır (Hansen vd., 2010):

- o Bir komşuluk yapısına göre yerel eniyi olan çözüm, başka bir komşuluk yapısına göre yerel eniyi olmayabilir.

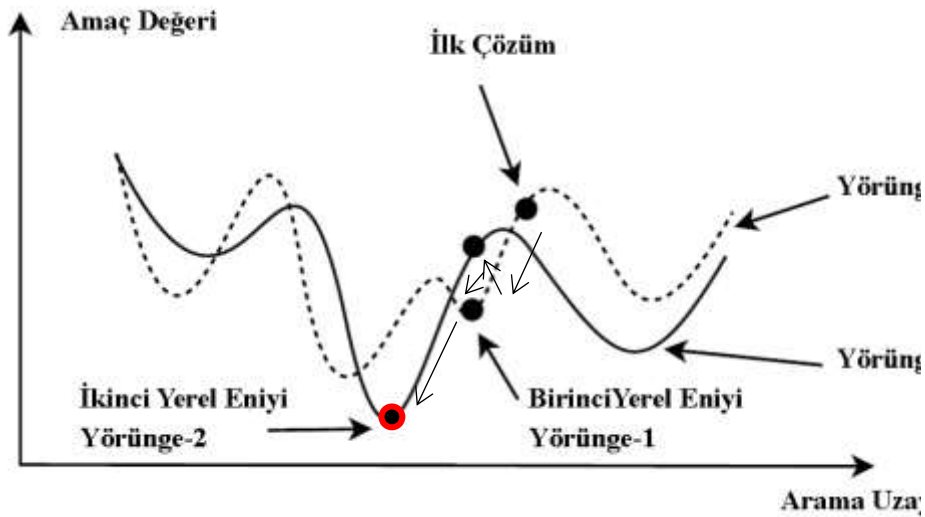
o Genel eniyi çözüm tüm muhtemel komşuluk yapılarının yerel eniyilerinden biridir.

o Farklı komşuluk yapılarının yerel eniyeleri birbirine yakındır.

İyi bir metasezgiselin tüm özelliklerini taşıyan DKA geliştirildiği tarihten bu yana, sürekli geliştirilmiş ve çok fazla alanda uygulama imkânı bulmuştur (Hansen vd., 2010).

DKA'nın temel fikri, daha iyi bir çözüm bulmak için önceden tanımlanmış komşulukların ardışık olarak araştırılmasıdır. Bu araştırma rassal da olabilir veya farklı yerel eniyeleri bulmak ve yerel eniyilerden kaçmak için sistematik olarak da uygulanabilir. DKA, farklı komşuluk yapılarının farklı yerel eniyeler üreteceği fikrine dayanır ve genel eniyi de verilen bir komşuluğun yerel eniyisidir. Bu farklı komşuluk yapıları farklı arama yörüngesi anlamına da gelmektedir (Hansen ve Mladanovich, 2001).

DKA'da, probleme uygun birden fazla komşuluk yapısı tanımlanır ve çözüm ilerletilirken bu yapılar sistematik olarak değiştirilir. Algoritma tek bir çözümden başlayarak ilerler. Aramada kullanılan komşuluk yapılarının sistematik biçimde değiştirilmesi esasına dayanan DKA, kombinatoryel ve bütünsel eniyileme problemlerini çözmeyi amaçlayan basit ve etkili bir sezgiseldir (Hansen ve Mladanovich, 2001).



Şekil 4.1. İki komşuluk yapısı kullanılarak yapılan bir DKA örneği (Talbi, 2009).

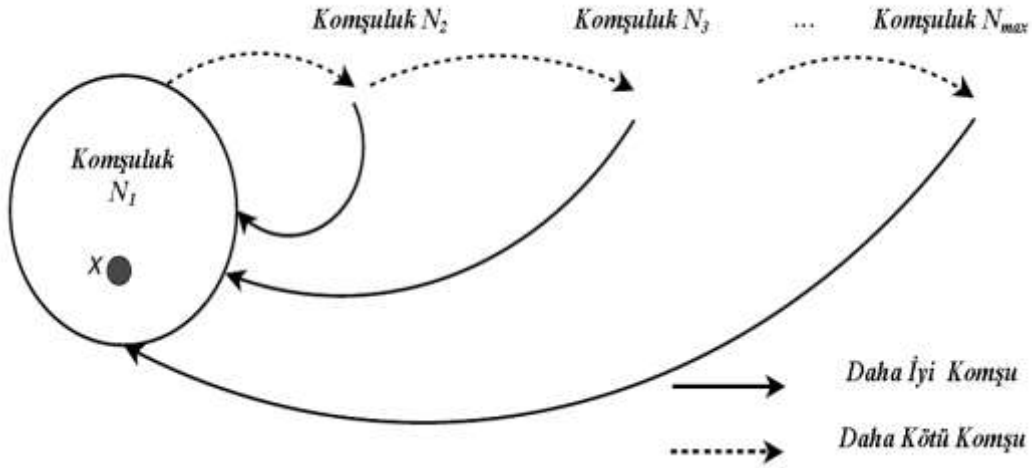
Şekil 4.1.'de gösterilen örnekte, ilk önce birinci komşuluk yapısından ilk yerel eniyi elde edilir. Daha sonra ikinci komşuluk yapısından ikinci yerel eniyi elde edilir. İkinci yerel eniyi, birinci yerel eniyiden elde edilir.

4.2. Değişken Komşuluk Aramanın Türleri

4.2.1. Değişken komşuluk iniş algoritması (variable neighborhood descent)

Değişken Komşuluk İniş (DKİ) Algoritması, DKA'nın deterministik tipidir. DKİ, yerel eniyiyi bulmak için iniş yönünde ardışık komşuları kullanır. İlk olarak komşuluk yapıları $N_l (l_1, l_2, \dots, l_{enb})$ tanımlanmalıdır. N_l ilk komşuluk yapımız olsun ve x de başlangıç çözümümüz olsun. x çözümünün komşuluğu $N_l(x)$ 'de bir ilerleme sağlanamıyorsa, komşuluk yapısı N_l 'den N_{l+1} 'e geçilir. Mevcut çözüm x 'den $N_{l(x)}$ komşuluk yapısıyla ilerleme sağlanabiliyorsa mevcut çözüm güncellenir ve başa dönlür. Bu strateji birbirini tamamlayıcı farklı komşuluk yapılarının olduğu durumlarda N_i komşuluk yapısı bakımından yerel eniyi, N_j komşuluk yapısı açısından yerel eniyiden farklı olacağından oldukça etkilidir (Talbi, 2009).

DKİ algoritmasının tasarımı esas olarak kullanılacak komşuluk yapılarının seçimi ve komşuluk yapılarının uygulama sırasına bağlıdır. Komşuluk yapıları büyüdükçe, DKİ algoritması da oldukça zaman harcayıcı olacaktır. Uygulama açısından en yaygın strateji, komşulukları karmaşıklıklarına göre sıralamaktır (Talbi, 2009).



Şekil 4.2. DKİ Algoritmasının (DKİA) İşleyişi (Talbi, 2009).

Şekil 4.2.'de DKİ algoritmasının genel işleyişi gösterilmiştir. Mevcut çözümde iyileşme sağlanıyorsa aynı komşuluk yapısı içinde devam edilmekte, kötüleşme varsa sonraki komşuluk yapısındaki komşulara bakılmaktadır.

Algoritmanın sözde kodu enküçükleme için şöyle verilmektedir:

Girdi : Komşuluk Yapıları Kümesi $N_l, l=1,2,\dots,l_{enb}$

$x=x_0$ (Başlangıç çözümünü üret)

$l=1$

Adım-0 : $l \leq l_{enb}$ ise **Adım-1**'e git yoksa dur.

Adım-1: $N_l(x)$ 'de eniyi x komşusu x' nü bul. **Adım-2**'ye git.

Adım-2: $f(x') < f(x)$ ise $x=x'$, $l=1$ ve **Adım-0**'a git yoksa **Adım-3**'e git.

Adım-3: $l=l+1$

Çıktı : Elde edilen eniyi çözüm.

4.2.2. Temel değişken komşuluk arama algoritması

DKA'nın en basit hali olan Temel Değişken Komşuluk Arama (TDKA), komşuluk yapıları tanımlandıktan sonra rassal bir algoritmadır. TDKA'nın her ardıştırması üç adımdan oluşmaktadır (Hansen vd., 2019).

4.2.2.1. Karıştırma

Her ardıştırmada komşuluk yapısında bir karıştırma yaparak bir başlangıç çözümü elde edilir. Örneğin, x 'in $N_k(x)$ komşuluğundan bir x' çözümü elde edilir. Genelde $x-x'$ geçişi rassal olarak yapılmaktadır.

4.2.2.2. Yerel Arama

x' çözümüne yerel bir arama uygulanır ve x'' çözümü elde edilir. Daha sonra mevcut çözüm x'' ile değiştirilir. Aynı yöntem x'' ne uygulanarak devam edilir.

4.2.2.3. Çeşitlendirme

Yerel arama sonucunda daha iyi bir çözüm elde edilememişse bir sonraki komşuluk yapısına geçilir. Bu şekilde arama uzayının farklı bir bölgesi araştırılmış yani çeşitlendirme sağlanmış olur.

TDKA'nın sözde kodu enküçükleme için şöyle verilmektedir:

Girdi : Komşuluk Yapıları Kümesi N_k , $k=k_1,k_2,\dots,k_{enb}$

$x=x_0$ (Başlangıç çözümünü üret)

Tekrarla

Adım-0: $k=1$

Adım-1: Tekrarla

1.1. Karıştırma : x 'in $N_k(x)$ komşuluğundan bir x' elde et;

1.2. $x''=Yerel\ Arama(x')$;

1.3. Eğer $f(x'') < f(x)$ ise $x=x''$ ve **Adım-1**'e git.

Yoksa **Adım-2**'ye git.

Adım-2: $k=k_{enb}$ ise **DUR**;

Yoksa $k=k+1$ ve **Adım-1**'e git. .

Çıktı: Elde edilen eniyi çözüm.

TDKA az sayıda parametre içerir. Karıştırma aşaması için k_{enb} komşuluk yapısı tek parametredir. k_{enb} çok büyük olduğu yapılar düşünüldüğünde DKA çok başlangıçlı yerel aramaya benzeyecektir. k_{enb} küçük ise DKA basit yerel armaya indirgenecektir (Talbi, 2009).

4.2.3. Genel değişken komşuluk arama algoritması

TDKA algoritmasının yerel arama adımı yerine, DKİ algoritmasının uygulanmasıyla Genel Değişken Komşuluk Arama (GDKA) Algoritması elde edilir. Sözde kodu enküçükleme için şu şekildedir:

Girdi : Karıştırma için Komşuluk Yapıları Kümesi N_k , $k=k_1, k_2, \dots, k_{enb}$

Yerel Arama için Komşuluk Yapıları Kümesi N_l , $l=l_1, l_2, \dots, l_{enb}$

$x=x_0$ (Başlangıç çözümünü üret)

Tekrarla

Adım-0: $k=1$

Adım-1: Karıştırma : x 'in $N_k(x)$ komşuluğundan bir x' elde et;

Adım-2: DİA yoluyla Yerel Arama yap :

Tekrarla

2.1. $l=1$;

2.2. x' nün $N_l(x')$ deki eniyi komşusu x'' nü bul.

2.3. Eğer $f(x'') < f(x')$ ise $x'=x''$ ve Adım 2.1. e git. Adım-1'e git.

Yoksa Adım-2.4'ye git.

2.4. $l=l_{enb}$ ise Adım-3'e git yoksa $l=l+1$ ve Adım 2.2. ye git.

Adım-3: $k=k_{enb}$ ise Adım-4'git;

Yoksa $k=k+1$ ve Adım-1'e git. .

Adım-4 : Durma Koşulu Sağlandıysa DUR yoksa Adım-0'a dön.

Çıktı: Elde edilen eniyi çözüm.

4.2.4. İndirgenmiş değişken komşuluk arama (Reduced variable neighborhood search)

İndirgenmiş değişken komşuluk arama (İDKA) sezgiseli kısa sürede uygun sonuçlar elde etmek amacıyla tasarlanmıştır. TDKA'da en çok zaman alan aşama yerel aramadır. Bu nedenle İDKA'da yerel arama adımı tamamen kaldırılmış ve onun yerine karıştırma adımında elde edilen sonuca doğru hareket adımı önerilmiştir. Bu yöntemde, her seferinde komşuluk kümesinden rassal olarak noktalar seçilir ve eğer öncekinden iyi bir sonuç elde edilirse yeni bir çözüme hareket edilir. Yani bir komşulukta rassal olarak bir çözüm seçildikten sonra doğrudan başlangıç çözüm ile karşılaştırma adımına geçilir. Böylece çok hızlı bir şekilde sonuç elde edilmiş olur. Elde edilen sonucun daha iyi olmaması durumunda ise aramaya farklı komşuluklarda devam edilir. Bu yöntem, yerel aramanın güç olduğu büyük boyutlu problemlerde kolaylık sağlamaktadır. Durdurma koşulu olarak ise genellikle iki iyileşme arasındaki enbüyük artışın sayısı kullanılmaktadır (Hansen ve Mladenovich, 2001).

4.2.5. Ayrışık değişken komşuluk arama (Variable neighborhood decomposition search)

Hansen vd. (2001), gerçekleştirdikleri çalışmada, DKA'nın büyük boyutlu problemler üzerindeki etkinliğini artırmak amacı ile ayrışık değişken komşuluk arama (ADKA) sezgiselini önermişlerdir. ADKA, tüm problem yerine alt problemin çözüldüğü yerel arama adımında TDKA'dan farklılık göstermektedir. Bu yöntem, TDKA'ya ardışık yakınsama ve ayrıştırma metodunun entegre edilmesi ile geliştirilmiştir.

4.2.6. Çarpık değişken komşuluk arama (Skewed variable neighborhood search)

Çarpık değişken komşuluk arama (ÇDKA), arama yapılan alanda önceki çözümden çok uzağa hareket etmeyi gerektiren problemleri çözmek için geliştirilmiştir. Yöntem ile elde edilen çözümün amaç fonksiyonu değerinin yanı sıra, bir önceki çözüme olan uzaklığı da belirlenmektedir. Bu yolla kötü çözümlerin de belli koşullarda kabul edilmesine izin verilmektedir. Bu yöntem ile önceki çözümden uzak alanların da araştırılması sağlanmaktadır (Hansen ve Mladenovich, 2001).

5. ÖNERİLEN ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Bu bölümde, ele alınan esnek akış atölyesi ortamında müşteri sipariş çizelgeleme problemi tanımlanmış sonrasında ise problemin çözümü için önerilen çözüm yöntemleri anlatılmıştır.

Ele alınan problem için eniyi çözüm veren 3 farklı Karma Tamsayılı Doğrusal Karar Modeli (KTDKM), DKA yaklaşımına dayanan yeni bir metasezgisel algoritma ve NEH tabanlı yeni bir sezgisel algoritma önerilmiştir. Önerilen NEH tabanlı algoritma, işlerin sıralaması için kullanılacak 5 farklı yöntemle denenmiştir. Bu yöntemler, NEH-0,...,NEH-4 şeklinde adlandırılarak kullanılmıştır.

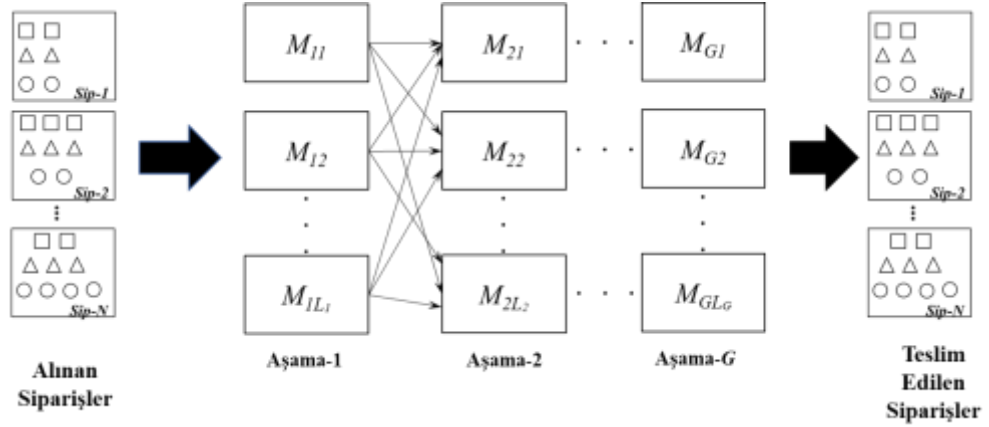
5.1. Problemin Tanımı

Bu tez çalışması kapsamında ele alınan problem, esnek (hibrit) akış tipi atölye ortamında müşteri siparişlerinin çizelgelenmesi problemidir. Ortamda N adet müşteriden gelen siparişler, G adet üretim aşamasından geçerek işlenmektedir. Her aşamada L_h adet makine vardır. Gelen siparişlerin içinde R farklı ürün tipinden işler ve her i siparişinde Q_{ij} adet, j tipinde iş vardır. Her sipariş önceden belirlenen bir teslim tarihinde müşteriye teslim edilmek zorundadır. Problem şu varsayımlar altında incelenecektir:

- Her iş tüm aşamalarından sırayla geçmek zorundadır.
- Makinelerde kesintiye izin verilmemektedir.
- Bir sipariş, içerdiği tüm ürünler (işler) tamamlanmadan müşteriye sevk edilemez.
- Farklı müşterilerden gelen siparişler farklı önceliklere sahiptir.
- Planlama ufğunun başında tüm siparişler mevcuttur.

- Her aşamadaki paralel makineler, her ürün tipini işleyebilmektedir.
- Aşamalardaki paralel makineler, özdeş değildir.
- Makine hazırlık süreleri dikkate alınmamıştır.
- İşlerin işlem sıraları değiştirilemez.
- Geri dönüşlere izin verilmemektedir.
- Ara stok kapasiteleri sınırsızdır.

Problem $FF_c/o/\sum w_j T_j$ şeklinde gösterilebilir.



Şekil 5.1. Tez çalışmasında ele alınan problemin şekilsel gösterimi

Şekil 5.1.'de ele alınan problem temsili olarak gösterilmiştir. Bu şekilde üç farklı ürün tipi, farklı şekillerle (kare, yuvarlak, üçgen) gösterilmiştir. Siparişler bu ürün tiplerinden farklı miktarlarda içermektedir. Alınan siparişlerin içerdiği ürünler, üretim aşamalarındaki paralel makinelerden geçerek üretilmekte ve müşterilere teslim edilmektedir. Burada M , makinenin, Sip , siparişin kısaltmasıdır.

5.2. Problem İçin Geliştirilen Tamsayılı Karar Modelleri

Bu bölümde ele alınan tez problemi için geliştirilen 3 farklı Karma Tamsayılı Doğrusal Karar Modeli (KTDKM) sunulmuştur. Bunlar, pozisyon tabanlı, öncelik tabanlı ve zaman indeksli model olarak isimlendirilmiştir.

Bu KTDKM'nin geliştirilmesi sırasında,

- Sawik (2000),
- Fattahi vd. (2007),
- Ruiz vd. (2008),
- Baker ve Triestch (2009),
- Baker ve Keller (2010)
- Özgüven vd. (2010),
- Roshanaei vd. (2012),
- Demir ve İşleyen (2013),
- Thrnblad (2013)
- Naderi vd. (2014)'ın çalışmalarından yararlanılmıştır.

Burada öncelikle tüm modeller için ortak değişkenler ve parametreler tanımlanmıştır.

Kümeler:

I : Siparişler Kümesi $I = \{i: i = 1, \dots, N\}$

J : Ürün tipleri kümesi $J = \{j: j = 1, \dots, R\}$

K : İşlenecek işlerin kümesi $K = \{k: k = 1, \dots, Q\}$

H : Akıştaki üretim aşamaları kümesi $H = \{h: h = 1, \dots, G\}$

M : Makineler kümesi $M = \{m: m = 1, \dots, L_h\}, \quad \forall h$

U : Belirlenen planlama ufkundaki zaman adımları (aralıkları kümesi)

$U = \{u: u = 1, \dots, T + 1\}$

Parametreler:

p_{jh}^m : j tipindeki ürünün h aşamasındaki m makinesindeki işlem süresi

Q_{ij} : i siparişindeki j ürün tipindeki ürün sayısı

L_h : h aşamasındaki makine sayısı

f_m : m makinesinde yapılan işlem sayısı

d_i : i siparişinin teslim zamanı (termini)

w_i : i siparişinin önem (öncelik) katsayısı

Karar Değişkenleri:

C_{ijk} : i siparişindeki j tipindeki k işinin tamamlanma zamanı

C_i : i siparişinin tamamlanma zamanı

S_{ijkh} : i siparişinin j türündeki k işinin h aşamasındaki başlama zamanı

T_i : i siparişinin gecikmesi

5.2.1. Pozisyonu tabanlı model

Bu modelde, işin atandığı makinedeki işlem sırasında atandığı işlem sıra numarasını (pozisyon numarası) gösteren karar değişkeni kullanılmaktadır. Modelde kullanılan ek tanımlar şunlardır:

Kümeler:

F : Makinelerdeki işlere ait pozisyonlar kümesi $F = \{f: f = 1, \dots, f_m\}$

Karar Değişkenleri

B_h^{mf} : h aşamasındaki m makinesinin f . pozisyonundaki işlemin başlama zamanı

$x_{ijkh}^{mf} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } o_{ijk} \text{ işi } h \text{ aşamasında } m \text{ makinesinde } f \text{ pozisyonunda işleniyorsa} \\ 0, & \text{d. d.} \end{cases}$

Amaç Fonksiyonu:

$$Enk \sum_{i=1}^n w_i T_i \quad (5.0)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{m=1}^{L_h} \sum_{f=1}^{f_m} x_{ijkh}^{mf} = 1, \quad \forall(i, j, k, h) \quad (5.1)$$

$$S_{ijkh+1} \geq S_{ijkh} + \sum_{m=1}^{L_h} \sum_{f=1}^{f_m} x_{ijkh}^{mf} p_{jh}^m, \quad \forall(i, j, k, h) \quad (5.2)$$

$$B_h^{mf+1} \geq B_h^{mf} + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^R \sum_{k=1}^{Q_{ij}} x_{ijkh}^{mf} p_{jh}^m, \quad \forall(h, m, f) \quad (5.3)$$

$$B_h^{mf} \leq S_{ijkh} + M(1 - x_{ijkh}^{mf}), \quad \forall(i, j, k, h), \quad \forall(h, m, f) \quad (5.4)$$

$$B_h^{mf} \geq S_{ijkh} - M(1 - x_{ijkh}^{mf}), \quad \forall(i, j, k, h), \quad \forall(h, m, f) \quad (5.5)$$

$$C_i \geq S_{ijkG} + \sum_{m=1}^{L_h} \sum_{f=1}^{f_m} x_{ijkG}^{mf} p_{jG}^m, \quad \forall (i, j, k) \quad (5.6)$$

$$T_i \geq C_i - d_i, \quad \forall i \quad (5.7)$$

$$x_{ijkh}^{mf} \in \{0,1\}, \quad T_i, C_i, S_{ijkh}, B_h^{mf} \geq 0 \quad (5.8)$$

Amaç fonksiyonu eşitlik 5.0'da gösterilmiştir ve siparişlerin toplam ağırlıklı gecikmesini ifade etmektedir.

Pozisyon tabanlı modelde kısıtlar şu anlama gelmektedir:

Kısıt-5.1: Her işlemin makinede mutlaka bir pozisyona atanması kısıtı.

Kısıt-5.2: Ardışık aşamalarda, işin öncül aşamasının, ardıl aşamasından önce başlaması kısıtı.

Kısıt-5.3: h aşamasının m makinesinde ardışık pozisyonlardaki işlerin birbirinden sonra başlaması kısıtı.

Kısıt-(5.4, 5.5): Ayrıştırıcı kısıtlardır. Herhangi bir makinede işlenen bir işin rotasındaki öncül iş tamamlanmadan, makinedeki işleminin başlamamasını ifade eder.

Kısıt-5.6: Tamamlanma zamanının tüm parçaların son işleminin tamamlanma zamanından küçük olmamasını sağlar.

Kısıt-5.7: i siparişinin gecikmesini tanımlar.

Kısıt-5.8: İşaret kısıtlarıdır.

5.2.2. Sıralama tabanlı model:

Bu modelde birbirinden farklı işlerin makinelerde işlem sıralaması olarak birbirinden önce gelip gelmediğini kontrol eden bir değişken yapısı kullanılmıştır. Modelde kullanılan ek tanımlar şunlardır:

Karar Değişkenleri:

$$y_{ijkh}^m = \begin{cases} 1, & \text{eğer } o_{ijk} \text{ işi } h \text{ aşamasında } m \text{ makinesinde işleniyorsa} \\ 0, & d. d. \end{cases}$$

$$x_{ijki'j'k'h} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } o_{ijkh} \text{ işlemi, } o_{i'j'k'h} \text{ işleminden önce ise} \\ 0, & d. d. \end{cases}$$

Amaç Fonksiyonu:

$$Enk \sum_{i=1}^n w_i T_i \quad (5.9)$$

Kısıtlar:

$$S_{ijkh} \leq M y_{ijkh}^m, \quad \forall (i, j, k, h) \quad (5.10)$$

$$S_{ijkh+1} \geq S_{ijkh} + \sum_{m=1}^{L_h} y_{ijkh}^m p_{ijkh}^m, \quad \forall (i, j, k, h) \quad (5.11)$$

$$S_{ijkh} \geq S_{i'j'k'h} + p_{i'j'k'h}^m - M(3 - x_{ijki'j'k'h} - y_{ijkh}^m - y_{i'j'k'h}^m), \\ \forall (i, j, k, i', j', k', h) \quad (5.12)$$

$$S_{i'j'k'h}^m \geq S_{ijkh}^m + p_{ijkh}^m - M(x_{ijki'j'k'h} + 2 - y_{ijkh}^m - y_{i'j'k'h}^m), \quad \forall (i, j, k, i', j', k', h) \quad (5.13)$$

$$C_i \geq S_{ijkG}^m + \sum_{m=1}^{G_h} y_{ijkG}^m p_{ijkG}^m, \quad \forall i \quad (5.14)$$

$$T_i \geq C_i - d_i, \quad \forall i \quad (5.15)$$

$$x_{ijki'j'k'h}, y_{ijkh}^m \in \{0,1\} \quad (5.16)$$

$$S_{ijkh}^m, C_i, T_i \geq 0 \quad (5.17)$$

Amaç fonksiyonu eşitlik 5.9.'da gösterilmiştir ve önceki modelde olduğu gibi siparişlerin toplam ağırlıklı gecikmesini göstermektedir.

Öncelik tabanlı modelde kısıtlar şu anlama gelmektedir:

Kısıt-5.10: Bir O_{ijkh} işlemi m makinesine atanmışsa, işleme başlama süresini başlatır.

Kısıt-5.11: Bir parçanın her işlem aşamasının, kendinden önceki aşama bittikten sonra başlamasını temin eder.

Kısıt- (5.12, 5.13): Aynı makinedeki ardışık işlemlerin birbirinden sonra işlenmesini sağlar.

Kısıt-5.14: Siparişlerin tamamlanma zamanlarının, o siparişteki son parçanın son işleminin tamamlanma zamanından küçük olmamasını sağlar.

Kısıt-5.15: i siparişinin gecikmesini tanımlar.

Kısıt – (5.16, 5.17): İşaret kısıtlarıdır.

5.2.3. Zaman indeksli model

Bu modelde planlama ufku, daha önce tek makineli zaman indeksli modelde açıklandığı gibi zaman adımlarına bölünmüştür. Burada, her işlemin makinelere, belirlenen zaman adımlarında atanıp atanmaması kuralına göre bir karar değişkeni kullanılmıştır.

Modelde kullanılan ek tanımlar aşağıda verilmiştir:

Karar Değişkeni:

$$x_{ijkh}^{mu} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } o_{ijkh} \text{ işlemi } m \text{ makinesinde } u - 1. \text{ zamanda başlarsa} \\ 0, & \text{d. d.} \end{cases}$$

Amaç Fonksiyonu:

$$Enk \sum_{i=1}^n w_i T_i \quad (5.18)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{m=1}^{L_h} \sum_{u=1}^T x_{ijkh}^{mu} = 1, \quad \forall(i, j, k, h) \quad (5.19)$$

$$\sum_{m=1}^{L_h} \sum_{u=T-p_{jh}^m+1}^T x_{ijkh}^{mu} = 1, \quad \forall(i, j, k, h) \quad (5.20)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^R \sum_{k=1}^{Q_{ij}} \sum_{u=1}^T x_{ijkh}^{mu} \leq 1, \quad \forall(h, m) \quad (5.21)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^R \sum_{k=1}^{Q_{ij}} \sum_{u=u-p_{ijkh}^m+1}^u x_{ijkh}^{mu} \leq 1, \quad \forall(h, m, u) \quad (5.22)$$

$$S_{ijkh} = \sum_{m=1}^{L_h} \sum_{u=1}^T x_{ijkh}^{mu} (u - 1), \quad \forall(i, j, k, h) \quad (5.23)$$

$$S_{ijk(h+1)} \geq S_{ijkh} + p_{ijkh}^m, \quad \forall(i, j, k, h: h < G) \quad (5.24)$$

$$C_i \geq S_{ijkG} + p_{ijkG}^m, \quad \forall(i, j, k) \quad (5.25)$$

$$T_i \geq C_i - d_i, \quad \forall i \quad (5.26)$$

$$x_{ijkh}^{mu} \in \{0,1\} \quad (5.27)$$

$$T_i, C_i, S_{ijkh}, u \geq 0 \quad (5.28)$$

Amaç fonksiyonu (5.18) numaralı eşitlikte gösterilmiştir ve daha önceki modellerde olduğu gibi siparişlerin toplam ağırlıklı gecikmesinin toplamını ifade etmektedir.

Zaman indeksli modelde kısıtlar şu anlama gelmektedir:

Kısıt-5.19: Her işlemin mutlaka bir zaman aralığında başlamasını sağlar.

Kısıt-5.20: Her işlemin yalnızca bir zaman aralığına atanmasını sağlar.

Kısıt-5.21: Her zaman aralığına en fazla bir işlemin atanmasını sağlar.

Kısıt-5.22: Makinede işlem varsa, aynı anda başka bir işlemin atanmasını önler.

Kısıt-5.23: Her işlemin mutlaka bir zaman aralığında başlamasını sağlar.

Kısıt-5.24: Bir işin önceki aşamaları tamamlanmadan, sonraki aşamalarının başlamamasını sağlar.

Kısıt-5.25: Siparişlerin tamamlanma zamanlarının, o siparişteki son işin son işleminin tamamlanma zamanından küçük olmamasını sağlar.

Kısıt-5.26: Siparişlerin gecikmesini tanımlar.

Kısıt –(5.27, 5.28): İşaret kısıtlarıdır.

5.2.4. Matematiksel modellerin boyut karşılaştırması

Bu bölümde önerilen matematiksel modellerin gerektirdiği kısıt ve değişken sayısı açısından özellikleri karşılaştırılmıştır.

Sipariş sayısı N , ürün tipi sayısı R , üretilecek toplam iş sayısı Q , üretim aşaması sayısı G , her aşamada bulunan makine sayısı L ve planlama ufku U olsun. Toplam iş sayısına ifade eden Q , matematiksel modellerdeki i (sipariş), j (tip) ve k (ürün numarası) indisleri ile gösterilen değişkenlerde, toplam ürün sayısını göstermektedir. Q yerine $N \times R \times Q_{ij}$ ifadesi de kullanılabilir. Ancak modellerdeki değişkenler, üretim sisteminde yapılacak işleri ve onların geçeceği işlemleri ifade etmek için kullanıldığından ve i siparişinin j ürün tipindeki k numaralı işi yerine, tüm ürünlere benzersiz bir numara verilerek de ifade edilebileceğinden kısıt ve değişken sayılarının hesaplanmasında Q kullanılmıştır. Kısıt sayılarının hesaplanmasında verilen her üç modelde geçen kısıtların ayrı ayrı toplamları bulunmuştur.

Çizelge 5.1. Önerilen matematiksel modellerdeki kısıt ve değişken sayıları.

PTM	
KS	$2QG+3QGL+Q+N$
DS	$Q^2GL+QGL+2N+QG$
TDS	Q^2GL
STM	
KS	$2QH+Q^2G+Q+N$
DS	$Q^2G+2QGL+2N$
TDS	Q^2G+QGL
ZİM	
KS	$2QG+GLU+QG+Q(G-1)+Q+2N=4QG+GLU+2N$
DS	$QGLU+2N+QG$
TDS	$QGLU$

Önerilen matematiksel modellerdeki kısıt ve değişken sayılarının parametrik olarak ifadeleri Çizelge 5.1.'de verilmiştir. Burada KS kısıt sayısını, DS değişken sayısını, TDS ise tamsayı değişken sayısını ifade etmektedir.

Pozisyon tabanlı modelde (PTM), kısıt sayısı toplam iş sayısı, aşama sayısı ve her aşamadaki makine sayısının çarpımı ile değişmektedir. Değişken sayısının hesaplanmasında, bir makinede işlem kuyruğunda en fazla toplam iş sayısı kadar pozisyon numarası olabileceği göz önünde bulundurulmuştur. Bu durumda değişken sayısı toplam iş sayısının karesi, aşama sayısı ve aşama başına makine sayısının çarpımı ile orantılı olarak değişmektedir.

Sıralama tabanlı modelde (STM), kısıt sayısı iş sayısının karesi ile orantılı olarak büyümektedir. Çünkü işlerin birbirinden önce gelip gelmediğine göre kurulan modelde Q^2 kadar öncelik ilişkisi kurulabilir.

Zaman indeksli modelde (ZİM), kısıt sayısı ve değişken sayısı, iş sayısında ve planlama ufkunun büyüklüğüne bağlıdır. Buna göre iş sayıları, işlem süreleri ve dolayısıyla seçilen işlem süreleri ne kadar büyükse, değişken sayısı da bunların çarpımının bir sonucu olarak çok hızlı artmaktadır. Kısıt sayısı ile iş sayısı ve planlama ufkunun büyüklüğü arasında doğrusal bir ilişki görülmektedir. Planlama ufku ne kadar küçülürse, değişken sayısı ve kısıt sayısı da o ölçüde azaltılmış dolayısıyla hesaplama süresi de azalmış olacaktır. Bu durumda planlama ufkunun önceden farklı bir algoritmayla hesaplanarak modele verilmesi düşünülebilir. ZİM'e ait değişken sayısına bakıldığında, planlama ufkunun çok yüksek olduğu problemlerde çok fazla değişken sayısı olmasından dolayı hafıza problemleri ile karşılaşılabilir.

ZİM'de başka bir önemli konu da belirlenen birim zaman adımı uzunluğunun belirlenmesidir. Zaman adımı uzunluğunun, sistemdeki tüm farklı işlem sürelerini temsil edebilecek şekilde belirlenmesinin önemli olduğu düşünülmektedir. Ayrıca zaman uzunluğu ve planlama ufkuna bağlı olarak modelin gerektireceği değişken sayısının büyük farklılıklar göstereceği de açıktır.

Modellerin performans açısından karşılaştırma sonuçları 6. Bölümde verilmektedir.

5.3. Problem İçin Geliştirilen Değişken Komşuluk Arama (DKA) Yöntemi

5.3.1. Çözüm gösterimi

Bu çalışmada literatürdeki diğer gösterimlerden farklı olarak makine yerleşimine dayanan bir çözüm gösterimi kullanılmıştır. Bu gösterim problemin gerçek yapısına çok benzeyen bir gösterimdir.

Her üretim aşaması ayrı bir sütunda ve belli bir aşamadaki her bir makine de ayrı bir satırda gösterilmekte ve makineye atanan işlemler bir vektörle ifade edilmektedir. Bu 3 boyutlu gösterimde makineleri göstermek için ayrıca bir yapı kurma gerekliliği ortadan kalkmaktadır. Ayrıca her makineye atanan işlem (ürün) sayısı değişken olabilmektedir.

Gösterimin yazılım ortamında kodlanması için 3 boyutlu vektör kullanılmaktadır. Makinedeki her bir işlem, o işlemin yer aldığı ana tablodaki yerini gösteren işaretçi olarak gösterilmektedir. İşaretçiler C++ programlama dilinin güçlü yönlerinde biri olup istenen verinin aranmadan doğrudan ulaşılmasına olanak sağlamaktadır. Geliştirilen çözüm yaklaşımının konunun daha iyi anlaşılması için aşağıda bir örnek problem verilmiş ve çözüm elde etmek için kullanılan yapılarla yöntemler doğrudan bu örnek üzerinde açıklanmıştır.

Örnek Problem: 3 sipariş, 2 ürün tipi ve 3 üretim aşamasının olduğu, toplamda 10 üründen oluşan bir problem düşünelim. Her üretim aşamasında sırasıyla 2, 3, 2 makine olsun. Ürünlerin ait oldukları siparişler ve ürün tipleri Çizelge 5.2.'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. Örnek problemde yer alan ürünlerin ait olduğu siparişler ve ürün tipleri

Ürün No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sipariş No	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3
Ürün Tipi	1	1	2	1	2	2	1	1	2	2

Örnek probleme göre çözüm gösterimi Şekil 5.2'de verildiği gibidir.

Makine	Aşama-1						Aşama-2				Aşama-3						
M-1	2	5	4	6	7 [^]	10 [^]	3	5	4			3	5	8 [^]	10 [^]	9 [^]	6
M-2	3	8 [^]	9 [^]	1	5		2	1	9 [^]	10 [^]		2	1	4	7 [^]		
M-3	X	X	X	X	X	X	8 [^]	7 [^]	6			X	X	X	X	X	X

Şekil 5.2. Önerilen yöntemdeki çözüm gösterimi örneği.

Bu çözüm gösteriminden anlaşılan şudur:

Akış tipi üretim sisteminde üç aşama vardır. Her aşamadaki makine sayıları 2, 3, 2'dir. Her aşamaya ait makineler satırlarda M-1, M-2, M-3 şeklinde gösterilmiştir. 1. ve 3. üretim aşamasında 3. makineler olmadığından, iş kuyruğunu gösteren M-3 satırları X işareti ile kapatılmıştır. Sistemdeki her işin bir türü ve ait olduğu bir sipariş vardır. Çizelge 5.24.'de gösterildiği gibi 1. siparişin 1. ürün tipindeki 1. işi 1, 1. işin, 1. ürün tipindeki 2. işi 2, 1. siparişin 2. ürün tipindeki 1. işi 3, 2. siparişin, 1. ürün tipindeki 1. işi 4 numaralı iş şeklinde devam eden bir iş numaralaması yapılmıştır. Buradaki amaç sistemde yer alan her işe benzersiz (unique) bir numara atamaktır. Burada 1 numaralı siparişe ait işler normal font, 2 numaralı siparişe ait işler altı çizili olarak, 3 numaralı siparişe ait işler ise yanında ^ işareti ile gösterilmiştir. Gösterimdeki iş sıralaması keyfidir.

5.3.2. Kullanılan komşuluk yapıları

Çalışmada farklı komşuluk yapıları da kullanılmıştır. Bunlar izleyen kesimde detaylı olarak verilmektedir.

5.3.2.1. İkili yer değiştirme (aynı makine):

Aynı makineye atanmış ürünlerden iki tanesi rastgele seçilir ve ikisinin yerleri karşılıklı olarak değiştirilir. Bir örnek Şekil 5.3'de verilmiştir.

	Aşama-1					Aşama-2					Aşama-3						
M-1	2	5	4	6	7	3	5	4			3	5	8	10	9	6	
M-2	3	8	9	1	10	2	1	9	10		2	1	4	7			
M-3	X	X	X	X	X	8	7	6			X	X	X	X	X	X	X

	Aşama-1					Aşama-2					Aşama-3						
M-1	2	7	4	6	5	3	5	4			3	5	8	10	9	6	
M-2	3	8	9	1	10	2	1	9	10		2	1	4	7			
M-3	X	X	X	X	X	8	7	6			X	X	X	X	X	X	X

Şekil 5.3. Aynı Makinede İkili Yer Değiştirme

5.3.2.2. İKili yer değiştirme (farklı makine)

Aynı aşamada bulunan farklı iki makine rassal olarak seçilir. Her makineden birer işlem rassal olarak seçilir ve bunların yerleri karşılıklı olarak yer değiştirilir. Örnek, Şekil 5.4.'de verilmiştir.

	Aşama-1					Aşama-2					Aşama-3						
M-1	2	5	4	6	7	3	5	4			3	5	8	10	9	6	
M-2	3	8	9	1	5	2	1	9	10		2	1	4	7			
M-3						8	7	6									

	Aşama-1					Aşama-2					Aşama-3						
M-1	2	7	4	6	5	3	6	4			3	5	8	10	9	6	
M-2	3	8	9	1	5	2	1	9	10		2	1	4	7			
M-3						8	7	5									

Şekil 5.4. Farklı Makinelerde İkili Yer Değiştirme

5.3.2.3. İKili ardışık yer değiştirme

Bir makineye atanmış ürünlerden birisi rassal olarak seçilir, bu ürün aynı makinede kendinden bir önce veya bir sonra gelen ürünle yer değiştirilir. Şekil 5.5.'de durum örneklenmiştir.

	Aşama-1					Aşama-2				Aşama-3								
M-1	2	5	4	6	7		3	5	4			3	5	8	10	9	6	
M-2	3	8	9	1	5		2	1	9	10		2	1	4	7			
M-3	×	×	×	×	×	×	8	7	6			×	×	×	×	×	×	×

	Aşama-1					Aşama-2				Aşama-3								
M-1	2	7	4	6	5		3	5	4			3	5	10	8	9	6	
M-2	3	8	9	1	5		2	1	9	10		2	1	4	7			
M-3	×	×	×	×	×	×	8	7	6			×	×	×	×	×	×	×

Şekil 5.5. İkili Ardışık Yer Değiştirme

5.3.2.4. Araya ekleme (aynı makine)

Bir makine rassal olarak seçilir. Bu makineye atanan işlemlerden biri rassal olarak seçilir. Bu işlem ait olduğu işlem sırasından silinir ve rassal belirlenen bir pozisyondaki işlemlerin arasına eklenir. Şekil 5.6. tanımlanan işlemi göstermektedir.

	Aşama-1					Aşama-2				Aşama-3								
M-1	2	5	4	6	7		3	5	4			3	5	8	10	9	6	
M-2	3	8	9	1	5		2	1	9	10		2	1	4	7			
M-3	×	×	×	×	×	×	8	7	6			×	×	×	×	×	×	×

	Aşama-1					Aşama-2				Aşama-3								
M-1	2	5	7	4	6		3	5	4			3	5	8	10	9	6	
M-2	3	8	9	1	5		2	1	9	10		2	1	4	7			
M-3	×	×	×	×	×	×	8	7	6			×	×	×	×	×	×	×

Şekil 5.6. Aynı Makinede Araya Ekleme

5.3.2.5. Araya ekleme (farklı makine)

Aynı aşamada iki farklı makine rassal seçilir. Birinci makineden rassal bir işlem seçilir, bu ürün ikinci makinede rassal bir pozisyonda araya eklenir. Örnek, Şekil 5.7’de verilmiştir.

	Aşama-1					Aşama-2				Aşama-3							
M-1	2	5	4	6	7	3	5	4			3	5	8	10	9	6	
M-2	3	8	9	1	5	2	1	9	10		2	1	4	7			
M-3						8	7	6									

	Aşama-1					Aşama-2				Aşama-3							
M-1	2	5	4	6	7	3	5	10	4		3	5	8	10	9	6	
M-2	3	8	9	1	5	2	1	9			2	1	4	7			
M-3						8	7	6									

Şekil 5.7. Farklı Makinede Araya Ekleme

5.3.2.6. Ters çevirme

Herhangi bir aşamada rassal bir makine seçilir. Bu makinedeki işlem sıralamasının rassal olarak belirlenen bir bölümünün sıralaması tam tersi olarak değiştirilir. Şekil 5.8’de örneklenmiştir.

	Aşama-1					Aşama-2				Aşama-3							
M-1	2	5	4	6	7	3	5	4			3	5	8	10	9	6	
M-2	3	8	9	1	5	2	1	9	10		2	1	4	7			
M-3						8	7	6									

	Aşama-1					Aşama-2				Aşama-3							
M-1	2	5	4	6	7	3	5	10	4		3	5	8	10	9	6	
M-2	1	9	8	3	5	2	1	9			2	1	4	7			
M-3						8	7	6									

Şekil 5.8. Ters Çevirme

5.3.2.7. Parça değişimi

Herhangi bir aşamada rassal iki makine seçilir. Bu makinelerde belli büyüklükteki (3 veya daha fazla işlem içeren) rassal parçalar seçilir ve bunlar karşılıklı olarak yer değiştirilir. Bu değişimde, her işlem, karşı parçadaki aynı sıradaki işlemle değiştirilir. Şekil 5.9'da örneklenmiştir.

	Aşama-1					Aşama-2				Aşama-3							
M-1	2	5	4	6	7	3	5	4			3	5	8	10	9	6	
M-2	3	8	9	1	5	2	1	9	10		2	1	4	7			
M-3						8	7	6									

	Aşama-1					Aşama-2				Aşama-3							
M-1	2	8	9	1	7	3	5	10	4		3	5	8	10	9	6	
M-2	1	5	4	6	5	2	1	9			2	1	4	7			
M-3						8	7	6									

Şekil 5.9. Parça Değişimi

5.3.3. Çizelgedeki işlemlerin zamanlama hesaplamaları

Algoritmaların çalışması sırasında amaç fonksiyonu hesaplaması yapılırken, çizelgedeki işlemlerin başlama ve bitiş zamanlarının da hesaplanması gerekmektedir. Bu hesaplamaların yapılabilmesi için aşağıda adımları verilen zaman hesaplama algoritması geliştirilmiştir.

Geliştirilen zaman hesaplama algoritmasında kullanılan notasyon şu şekildedir:-

h : İşlem gören aşama numarası

H : Aşama Sayısı

m_h : h aşamasındaki m makinesi

M_h : h aşamasındaki makine sayısı

JT : Bir işlemin başlayabileceği en erken zaman (öncül işlemin bitiş zamanı)

MT : Bir işlemin makineye yüklenebileceği en erken zaman

ST : Bir işlemin başlama zamanı

FT : Bir işlemin bitiş zamanı

f : Bir makinedeki işlemlerin sıralama pozisyonu numarası

r : Başlama ve bitiş zamanları hesaplanacak işlem

$NJ(r)$: r işleminin bir sonraki aşamadaki ardıl işlemi

$PJ(r)$: r işleminin bir önceki aşamadaki öncül işlemi

$MN(r)$: r işleminin aynı makinede kendinden bir sonra gelen işlem

$MP(r)$: r işleminin aynı makinede kendinden bir önce gelen işlem.

İşlerin başlama ve bitiş zamanlarını veren algoritmanın sözde kodu şu şekildedir:

Girdi: Hesaplanacak Çizelge, Problem Bilgileri

Adım-0:

0.1. $h=0, m_h = 0, f=0$

0.2. m_h makinesinde şu işlemleri yap.

0.2.1. $f = 0$ ise $r.JT=0, r.MT=0, r.ST=0, r.FT=p_{m(h)}(r)$

$NJ(r).JT = r.FT, MN(r).MT=r.FT$

Eğer $f>0$ ise $r.JT=0, r.ST=enb(r.JT, r.MT), r.FT=r.ST + p_{m(h)}(r)$

$NJ(r).JT=r.FT, MN(r).MT=r.FT$

0.2.2. $f=f+1, f=R_{m(h)}$ ise $m_h = m_h + 1$

0.2.3. Eğer $m_h = M_h$ ise Adım-1'e git yoksa Adım-0.2'ye git.

Adım-1:

1.0. $h=h+1, m_h=0, f=0.$

1.1. m_h makinesinde şu işlemleri yap.

1.1.0. Tüm işlemleri JT 'ye göre (makine geliş zamanları) küçükten büyüğe sırala.

1.1.1. Eğer $f=0$ ise $r.MT=0, r.ST=r.JT, r.FT=r.ST + p_{m(h)}(r), NJ(r).JT=r.FT,$

$MN(r).MT=r.FT$

Eğer $f>0$ ise $r.ST=enb(r.JT, r.MT), r.FT=r.ST + p_{m(h)}(r), NJ(r).JT=r.FT,$

$MN(r).MT=r.FT$

1.1.2. $f=f+1, f=R_{m(h)}$ ise Adım-1.1.3'e git yoksa $m_h = m_h + 1$ ve Adım-1.1'e git.

1.1.3. Eğer $m_h = M_h$ ise Adım-1.1.4'e git yoksa $m_h = m_h + 1$ ve Adım-1.1.'e git.

1.2. Eğer $h=H$ ise DUR yoksa Adım-1.0'a git.

Çıktı: İşlemlerin Başlama ve Bitiş Zamanları Hesaplanmış Çizelge.

5.3.4. Başlangıç çözümün belirlenmesi

Geliştirilen algoritmada başlangıç çözüm rassal olarak oluşturulmaktadır. Birinci aşamada ürünler makinelere rassal olarak atanmakta ve daha sonra birinci aşamadaki işlem sırası korunarak diğer aşamalara atama yapılmaktadır. Sonrasında ise diğer aşamalardaki işlemler makineye varış zamanına göre (ilk gelen ilk çıkar-FIFO) sıralanmaktadır.

5.3.5. Algoritmanın genel işleyişi

Algoritma mevcut çözümden büyük bir sıçrama yaparak çok daha farklı bir çözüme ulaşmayı sağlayan karıştırma işlemi ile başlamaktadır. Karıştırma, yerel eniyiden kurtularak, genel eniyeye ulaşmak amacıyla yapılmaktadır. Böylece çeşitlendirme (diversification) da sağlanmış olur.

Karıştırma için tanımlanan komşuluk değiştirme sıralaması şu şekildedir:

- *N₁: Parça Değişimi*
- *N₂: Ters Çevirme*
- *N₃: İkili Yer Değiştirme (Aynı Makine)*
- *N₄: Araya Ekleme (Farklı Makine)*
- *N₅: Araya Ekleme (Aynı Makine)*
- *N₆: İkili Yer Değiştirme (Farklı Makine)*
- *N₇: İkili Ardışık Yer Değiştirme*

Önerilen DKA algoritmasında karıştırma işlemi, belirlenen komşuluk yapılarından rasgele bir çözüm elde edilmesi demektir. Örneğin, N_1 parça değişimi olarak tanımlanan bir harekette, belirli bir aşamada rasgele iki makine seçilir. Bu makinelerde rasgele iki sıralama pozisyonu numarası belirlenir. Ardından makinelerde bu sıralama pozisyonlarının arasındaki işler bir bütün olarak karşılıklı yer değiştirir. N_2 komşuluğunda rasgele bir makine seçilir, bu makinede aradaki fark 3'ten az olmamak üzere rasgele iki sıralama pozisyonu numarası seçilir. Ardından bu iki pozisyon arasındaki işlerin sırası tam tersi şekilde yeniden sıralanır. Diğer komşuluk yapılarında da karıştırma işlemi benzer şekilde rassal olarak yapılır.

Mevcut komşuluk yapısında karıştırma işlemi ile elde edilen çözüme yerel arama uygulanır. Böylece komşuluk yapısındaki yerel eniyi çözüm elde edilmeye çalışılır. Yerel aramada 3 farklı yapı kullanılır.

İlkinde tek bir makine seçilir. Bu makinede sabit bir eleman belirlenir. Bir de aynı makinede bir ekleme noktası belirlenir. Belirlenen sabit eleman ekleme noktasından itibaren kuyruğun sonuna kadar sırayla eklenir.

İkinci yerel arama türünde, aynı aşamada farklı iki makine belirlenir. Bunlardan birincisinden sabit eleman olarak bir iş belirlenir. Seçilen ikinci makinede rasgele bir sıralama pozisyonu ekleme noktası olarak seçilir. Belirlenen sabit eleman, ekleme noktasından itibaren kuyruk sonuna kadar sırayla araya eklenir ve amaç fonksiyonu değerine bakılır.

Üçüncü yerel arama türünde ise, tek bir makine seçilir. Bu makine sabit bir eleman (işlem) seçilir. Yine aynı makinede rastgele bir işlem seçilir. Seçilen sabit eleman seçilen rastgele işlemden sonra gelen işlemlerle sırayla karşılıklı yer değiştirilir ve amaç fonksiyonuna bakılır.

Dördüncü yerel arama türünde aynı aşamada iki makine seçilir. Bu makinelerden ilkindeki işlem sırasından rasgele bir işlem sabit eleman olarak seçilir. Diğer makinedeki işlem sırasından rasgele bir işlem seçilir. Seçilen sabit eleman, diğer makinede seçilen işlemden sonraki işlemlerle sırayla yer değiştirilir.

Ele alınan problemde, üretim hattı birden fazla aşamadan oluşmakta ve işlerin rotası aşamalardan sırayla geçmek zorundadır. Daha önce bahsedilen işlerin başlama ve bitiş zamanlarının hesaplanmasında kullanılan algoritma, ikinci ve daha sonraki aşamalarda işlemlerin makineye geliş zamanına göre sıralanmasını sağlamaktadır. Bu da belli bir makinede işlem sıralaması değişse dahi kullanılan algoritma gereği işlem sıralamasının, işlemin makineye geliş zamanına göre olmasını dikte ettirmekte ve bu nedenle de herhangi işlem sıralaması değişikliği anlamsız olmaktadır. Bu durum ikinci ve daha sonraki aşamalarda ancak farklı iki makine arasında yapılan hareketleri anlamlı kılmaktadır.

Üretimin ilk aşamasında, sıfır anında tüm işler hazır olduğundan bütün komşuluk yapıları (N_1, \dots, N_7) sırayla geçiş yapıları olarak kullanılmaktadır.

İkinci ve diğer aşamalarda ise yukarıda bahsedilen durumdan dolayı sadece farklı makineler arasında yapılan hareketlere izin veren $N_1-N_4-N_6$ komşuluk yapıları sırasıyla kullanılmaktadır.

Algoritma tasarlanırken bazı özel durumlar da gözönüne alınmıştır. Bazı problemlerde, bir veya birden fazla aşamada sadece bir makine bulunabilir. Bu durumdaki aşamalarda, farklı makineler arasında işlem değişimini öngören hareketlere izin vermek anlamsızdır. Bu nedenle belli bir aşamada sadece bir makinenin bulunduğu durumlarda, komşuluk değiştirme yapısının $N_2-N_4-N_5-N_7$ şeklinde olmasına izin verilmektedir.

Önerilen algoritmanın sözde kodu şöyledir:

Girdi: Karıştırma için Komşuluk Yapıları Kümesi

$h=1$ için N_k , $k=k_1, k_2, \dots, k_7$

$h>1$ için N_k , $k= k_1, k_4, k_6$

Adım-0: $S=S_0$ (Başlangıç çizelgesi üret), $h=1$

Adım-1: $k=1$

Adım-2: Karıştırma: S 'in $N_k(S)$ komşuluğundan bir S' elde et;

Adım-3: $f(S') < f(S)$ ise Adım-1'e git yoksa Adım-4'e git.

Adım-4: Yerel Arama:

4.1. $l=1$;

4.2. S' nün $N_k(S')$ komşuluğundan bir S'' nü bul.

4.3. Eğer $f(S) < f(S'')$ ise $S=S''$ ve **Adım-5** e git.

Yoksa **Adım-4.4**'e git.

4.4. $l=l_{enb}$ ise **Adım-5**'e git yoksa $l=l+1$ ve **Adım 4.2.** ye git.

Adım-5: $k=k_{enb}$ ise **Adım-6**'e git;

Yoksa $k=k+1$ ve **Adım-1**'e git. .

Adım-6: İlgili Aşama için Durma Koşulu Sağlandıysa Adım-7'ye git yoksa **Adım-1**'e dön.

Adım-7: Eğer $h=G$ ise DUR yoksa $h=h+1$ ve **Adım-1**'e dön.

Çıktı: Elde edilen eniyi çözüm.

5.4. Geliştirilen NEH Tabanlı Sezgisel

5.4.1. NEH algoritması

Geliştiricileri Nawaz, Enscore ve Ham'in (1983) baş harfleriyle anılan NEH algoritması akış tipi çizelgeleme problemleri için önerilen en başarılı kurucu sezgisellerden biridir (Vallada vd., 2008). Algoritmanın ana felsefesi toplam işlem zamanı büyük olan işlerin mümkün olduğunca erken çizelgelenmesidir.

Algoritma ilk olarak yayılım zamanı (makespan) enküçüklemesi için geliştirilmiştir. Sonraki yıllarda, algoritmanın farklı amaç fonksiyonlarına ve atölye ortalarına da başarılı olarak uyarlandığı görülmüştür (Vallada vd., 2008).

5.4.2. Önerilen NEH tabanlı algoritma ve farklı tipleri

Esnek akış atölyesi ortamında müşteri sipariş çizelgeleme problemi için NEH algoritması yeniden ele alınmıştır. Öncelikle bu problemde amaç her siparişin sistemden çıkan son işleminin tamamlanma zamanına bağlı olduğu için işin değil, siparişin tamamlanma zamanı daha öne çıkmaktadır.

Bu kapsamda tezde ele alınan problem için önerilen NEH tabanlı algoritmanın adımları şu şekildedir:

Adım-0: İşleri istenen kritere göre sırala.

Adım-1: Sıralamadaki ilk iki işi makinelerde mümkün olan pozisyonlara ata, üretilebilecek çizelgelerden en iyisini seç ve $k=2$.

Adım-2:

2.1. $k=k+1$ (k işe ait sıra numarası indisi)

2.2. k . işin ilk işlemini sıradaki pozisyona ekle.

2.3. k . işin ikinci ve sonraki aşamalarındaki ardıl işlemlerini o aşamadaki toplam işlem süresi en düşük olan makineye ekle.

2.4. k . iş için mümkün olan tüm çizelgeler üretildiyse eniyisini seç ve adım-3'e geç yoksa adım 2.2.'ye dön.

Adım-3: Tüm işler atanmış ($k=n$) ise DUR yoksa **Adım-2'**ye dön.

Burada orijinal NEH algoritmasından farklı olarak 5 farklı kurala göre iş sıralaması yapılmış ve bunlar farklı NEH tipleri olarak kodlanmıştır. Bu NEH tipleri şunlardır:

- **NEH-0:** İşlerin her aşamadaki makinelerde ortalama işlem zamanları toplamını hesapla ve bu işleri *toplam ortalama işlem sürelerine* göre artan düzende sıralanmasını müteakip NEH algoritması adımlarını uygula.

- **NEH-1:** İşleri *teslim zamanlarına (terminlerine)* göre artan düzende sırala ve müteakiben NEH algoritmasını işlet.

- **NEH-2:** İşlerin bolluk durumunu *Teslim Süresi -Toplam Ortalama İşlem Süresi* olarak tespit et ve işleri bolluklarına göre artan düzende sırala, müteakiben NEH algoritması adımlarını uygula.

- **NEH-3:** İşleri *toplam ortalama işlem süresine* göre artan düzende sırala, toplam ortalama işlem süresi aynı olan işlerden teslim zamanı önce olanı daha önce sırala ve NEH algoritması adımlarını işlet.

• **NEH-4:** İşleri teslim süresine göre artan düzende sırala, teslim süresi aynı olan işlerden toplam ortalama işlem süresi küçük olanı önce sırala ve NEH algoritması adımlarını işlet.

5.4.3. Önerilen NEH tabanlı algoritmanın karmaşıklığı

Klasik NEH algoritmasını karmaşıklığı $O(n^2)$ 'dir. Yeni önerilen NEH tabanlı algoritmada ise her aşamada paralel makinelerden kaynaklanan farklılık söz konusudur. Bu durumda yapılacak hareket sayısı ilk aşamadaki paralel makine sayısı m ve toplam iş sayısı n olmak üzere şu şekildedir.

<i>İş No</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>...</i>	<i>n-1</i>	<i>n</i>
<i>Hareket Sayısı</i>	<i>m</i>	<i>m+1</i>	<i>m+2</i>	<i>m+3</i>	<i>m+4</i>	<i>m+5</i>	<i>...</i>	<i>m+n-2</i>	<i>m+n-1</i>

$$\text{Yapılması Gereken Toplam Ekleme Sayısı} = \sum_{n=1}^n (m + n - 1)$$

$$= (n^2 - n + 2mn)/2' \text{ dir.}$$

Dolayısıyla önerilen yeni algoritmanın karmaşıklığı da $O(n^2+n(m-1))$ 'dir.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1. Test Problemleri

İncelenen problemin literatürde daha önce ele alınmamış olması nedeniyle önerilen yöntemlerin performanslarını kıyaslayabilecek herhangi bir test problemi bulunmamaktadır. Dolayısıyla bu çalışmanın önemli aşamalarından birisini test problemlerinin üretimi oluşturmuştur.

Problemde sipariş sayısı, ürün tipi sayısı, her siparişte belli bir ürün tipinden yer alan ürün sayısı, aşama sayısı, her aşamada yer alan makine sayısı, siparişlerin teslim süresi, siparişlerin öncelik katsayısı, işlemlerin makine işlem süreleri gibi çok fazla sayıda parametre söz konusudur. Bu kadar çok parametrenin kombinasyonlarının bir deney tasarımı içinde ele alınması halinde, ortaya binlerce sayıda test problemi çıkmaktadır. Bu nedenle test problemleri öncelikle aşama açısından 2 aşama ve 4 aşamalı olarak ikiye ayrılmıştır. Her aşamadaki makine sayısı, matematiksel model performanslarının kıyaslanabileceği durumda ilk aşamada 2, ikinci aşamada 1 olarak alınırken, sezgisel ve metasezgisel yöntemlerin performanslarının denendiği durumlarda her aşamada 3 veya 5 olarak alınmıştır. Diğer parametreler ise problem tipine göre değişen belli bir alt sınır ve üst sınır değerine sahip düzgün dağılımdan üretilmiştir. Gösterimde bu durum $U(\text{alt sınır, üst sınır})$ şeklinde gösterilmiştir.

Test problemleri iki ayrı ana sınıfa ayrılabilir. İlki önerilen matematiksel modellerin (KTDKM'lerinin) test edildiği çok küçük boyutlu problem seti, diğeri ise önerilen sezgisel ve metasezgisel algoritmanın test edilebilmesi için üretilen daha büyük boyutlu test problemleridir.

6.1.1. Matematiksel modeller için üretilen test problemleri

KTDKM'lerinin performanslarının görülebilmesi için çok küçük boyutlu test problemleri üretilmiştir. Bu problem setinde 21 adet problem yer almaktadır.

Bu problemler, atölye ortamını ve yapılacak çizelgenin türünün belirtilmesi açısından “**Flexible Flow Shop with Order Scheduling (Sipariş Çizelgelemeli Esnek Akış Atölyesi)**”nin kısaltması olan **FFOS** ismiyle gösterilmiştir. Test problemlerin isimlendirilmesinde FFOS01'den FFOS21'e gidildikçe iş sayısı 3'ten, 400'a doğru artmaktadır.

Çizelge 6.1. Test Problemleri İçin Kullanılan Sipariş Teslim Tarihleri ve Öncelik Katsayıları

SN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<i>D</i>	11	12	14	18	20	12	19	13	12	18	27	30	35	20	24	46	67	59	58	67
<i>W</i>	8	9	5	2	1	3	2	2	5	7	9	5	3	4	4	2	2	4	9	6

Çizelge 6.1.'de SN sipariş numarasını, *D* teslim süresini, *W* ise siparişim öncelik katsayısını göstermektedir.

Çizelge 6.2. Ürün Tipine Göre Makina İşlem Süreleri

Aşama	Ürün Tipi	Makine-1	Makine-2
1	1	6	4
2	1	5	*
1	2	3	4
2	2	4	*

Test problemlerinin türetilmesinde şu yaklaşım izlenmiştir. Sipariş sayısı Çizelge 6.1.'e göre belirlenmiştir. Eğer problem setinde üç sipariş varsa bu çizelgede ilk üç siparişe ait parametre değerleri, on sipariş varsa ilk on siparişe ait parametre değerleri, 20 sipariş varsa Çizelge 6.1.'deki tüm parametre değerleri kullanılmıştır. Sistemde iki ürün tipi vardır. Üretim hattı iki aşamalıdır. Birinci aşamada 2, ikinci aşamada 1 makine vardır. Ürün tiplerinin makine işlem süreleri $U(1,10)$ 'dan Çizelge 6.2.'deki gibi üretilmiştir. Tüm problemlerde aynı işlem süreleri kullanılmıştır. Buradaki amaç sipariş sayısı ve iş sayısı arttıkça modellerin performansını gözlemek olmuştur.

Daha büyük boyutlu problemler için de test problemi türetilerek modeller çalıştırılmış ancak bellek sorunundan dolayı çözüm elde edilememiştir. Teslim tarihleri $U(10,100)$, öncelik katsayıları $U(1,10)$ olacak şekilde düzgün dağılıma göre üretilmiştir.

6.1.2. Önerilen yeni algoritmalar için türetilen test problemleri

Yeni geliştirilen DKA ve NEH tabanlı algoritmaların performanslarının belirlenmesinde kullanılacak test problemlerinin türetilmesinde kullanılan parametre değerleri Çizelge 6.3.'de ve Çizelge 6.4.'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.3. Yapılan ilk çalışmada türetilen test problemi sınıflarının içerdiği en az ($\bar{ÜS}_{alt}$), en fazla ($\bar{ÜS}_{üst}$) ve ortalama ($\bar{ÜS}_{ort}$) iş sayıları

Sınıf	SS	TS	$\bar{ÜS}/SS/TS$	$\bar{ÜS}_{alt}$	$\bar{ÜS}_{üst}$	$\bar{ÜS}_{ort}$	
küçük	U(3,10)	U(2,5)	U(1,5)	6	250	68,25	
orta	U(10,20)	U(2,5)	U(1,5)	50	1000	337,5	
büyük	U(20,30)	U(10,20)	U(5,20)	1.000	12.000	4687,5	

SS: Sipariş sayısı

TS: Ürün tipi sayısı

$\bar{ÜS}/SS/TS$: Her bir ürün tipinden sipariş sayısı başına düşen ürün sayısı

Çizelge 6.3.'de görüldüğü gibi yapılan ilk çalışmada problem sınıfları iş sayısına göre büyük, orta ve küçük boyut olarak planlanmıştır. Küçük boyutlu test problemlerinde sipariş sayısı $U(3,10)$, tip sayısı $U(2,5)$, her ürün tipinden sipariş başına ürün sayısı $U(1,5)$ olarak alınmıştır. Orta boyutlu problemlerde sipariş sayısı $U(10,20)$, tip sayısı $U(2,5)$, her ürün tipinden sipariş başına ürün sayısı $U(1,5)$ olarak alınmıştır. Büyük boyutlu problemlerde sipariş sayısı $U(20,30)$, tip sayısı $U(10,20)$, her ürün tipinden sipariş başına ürün sayısı $U(5,20)$ olarak alınmıştır. Yapılan bu ilk sınıflamaya göre problem boyutuna göre sistemde bulunabilecek enbüyük, enküçük ve ortalama iş sayıları Çizelge 6.3.'deki gibi olacaktır. Burada enküçük iş sayısı, sipariş sayısı, ürün tipi sayısı ve her ürün tipinden sipariş başına ürün sayısının alt ve üst sınırlarının çarpımı ile elde edilmiştir. Ortalama iş sayısı ise alt sınır ve üst sınır arasında düzgün dağılan rassal değişkenlerin beklenen değerlerinin çarpımıdır. Bu ilk düzenlemede problem boyut sınıfları sistemde yer alabilecek en fazla iş sayısına göre yapılmıştır. Burada 250 işe kadar küçük, 250-1000 arası orta ve 1000'den fazla iş içeren problemler de büyük boyutlu olarak adlandırılmıştır.

Test problemleri için kullanılacak işlem süreleri için iki alternatif öngörülmüştür. Birinci alternatifte işlem süreleri $U(1,10)$ 'dan rassal olarak üretilmiştir. Bu alternatifte makine işlem sürelerinin çok büyük farklılıklar arz ettiği durumların değerlendirilmesi yapılmıştır. Diğer alternatifte ise işlem süreleri $U(3,5)$ 'den rassal olarak üretilmiştir. Bu alternatifte işlem süreleri daha sıklıdır ve makineler arasındaki işlem hızlarının çok büyük farklılık arz etmediği durumların değerlendirilmesi öngörülmüştür.

Test problemleri için üretilmesi gereken diğer parametre de siparişlerin öncelik katsayıları (ağırlıkları) idi. Bu parametre için üç farklı durum kullanılmıştır. 1 normal sipariş, 2 önemli sipariş, 3 ise çok önemli sipariş olarak önceliklendirilmiş ve katsayılar $U(1,3)$ 'den rassal olarak türetilmiştir.

Test problemlerinin üretiminde karşılaşılan zorluklardan biri siparişlere ait teslim sürelerinin belirlenmesi idi. Teslim süresini sistematik olarak belirlemek için Vallada vd. (2008)'de kullanılan şu yöntem uygulanmıştır:

TIS_i : i siparişine ait işlerin aşamalardaki ortalama işlem süreleri toplamı

J : Ürün tipi sayısı

K_{ij} : i siparişinde j ürün tipinden iş sayısı-

P_j : j ürün tipinin aşamalarda ortalama işlem sürelerinin toplamı

p_{jhl} : j tipindeki işin h aşamasında l makinesindeki işlem süresi-

T : Sıklık Faktörü (1 olursa teslim tarihi çok sıkı, 0 olursa çok gevşek olur)

R : Teslim Tarihi Aralığı Faktörü (1 olursa teslim tarihi çok değişken, 0 olursa çok katı olur.)

H : Üretim sistemindeki aşama sayısı

$M_h = h$ aşamasındaki makine sayısı

D_i : i siparişinin teslim süresi

$$P_j = \sum_{h=1}^H \left[\frac{\sum_{l=1}^{M_h} p_{jhl}}{M_h} \right] \quad (6.0)$$

$$TİS_i = \sum_{j=1}^J \sum_{j=1}^{K_{ij}} P_j \quad (6.1)$$

P_j hesaplanırken eşitlik 6.0'da görüldüğü gibi her aşamadaki ortalama işlem süresi ondalıklı ise kendinden küçük en yakın tamsayıya çevrilmektedir ve denklemde [] ile gösterilmiştir. P_j hesaplamasından sonra sipariş teslim süreleri aşağıdaki düzgün dağılıma uygun olarak türetilmiştir. Herhangi bir siparişte yer alan ürünlerin toplam işlem süresi ($TİS$), eşitlik 6.1.'de görüldüğü gibi o siparişte yer alan ürünlerin, birim toplam işlem süresinin, ürün sayısı kadar toplanmasıyla elde edilmektedir.

Bu hesaplamalardan sonra siparişlerin teslim süresi eşitlik 6.2.'deki gibi düzgün dağılıma göre üretilmektedir.

$$D_i \sim U(1-T-R/2, 1-T+R/2) * T\dot{I}S_i \quad (6.2)$$

Test problemlerinin üretimi sırasında T ve R değerleri için iki alternatif kullanılmıştır. Birincisi teslim sürelerinin sıkı tutulduğu 0,75 ve 0,25 değerleri, ikincisinde ise teslim sürelerinin daha değişken tutulduğu 0,5 ve 0,5 değerleri kullanılmıştır.

Çizelge 6.4. Yeni geliştirilen algoritmalar için üretilen test problemlerinde kullanılan parametrelere ilişkin alternatifler.

AS	MS	T-R	MİS
2	3	0,75-0,25	U(1,10)
4	5	0,5-0,5	U(3,5)

AS: Aşama Sayısı

MS: Her Aşamadaki Makine Sayısı

T-R: Teslim Tarihi Sıklık (T) ve Aralık (R) Faktörü

MİS: Makine İşlem Süreleri

Test problemlerinin üretiminde kullanılan aşama sayısı (AS), her aşamadaki makine sayısı (MS), teslim süresinin belirlenmesinde kullanılan sıklık-aralık faktörleri (T-R) ve makine işlem süreleri (MİS) parametrelerinin üretiminde, Çizelge 6.4.'de gösterildiği gibi ikişer alternatif kullanılmıştır. Bu dört parametrenin, herbirinin iki alternatifinin olduğu durumda, $2 \times 2 \times 2 \times 2 = 16$ farklı parametre kombinasyonu elde edilmektedir. Her bir kombinasyon için beş problem üretilmiş, toplamda 80 adet küçük boyutlu, 80 adet de orta boyutlu olmak üzere 160 problem üretilmiştir. Büyük boyutlu problemlerin üretiminde yine aynı parametre alternatifleri kullanılmış ancak $(T,R)=(0,5; 0,5)$ değeri, sadece aşamalarda 3 makinenin olduğu durumlar ve işlem süresi olarak da $U(3,5)$ alternatifi kullanılarak üretilmiştir. Bu durumda üretilen “büyük” boyutlu problem sınıfında toplam 50 problem üretilmiştir. Büyük boyutlu problemlerde yapılan koşumlarda, belirlenen iki saatlik enbüyük çözüm süresi içinde sadece DKA algoritması ile çözüm elde edilebilmiştir. Bu nedenle daha fazla problem üretilmemiştir.

Çizelge 6.5. Test Problemlerinin İş Sayısına Göre Türleri

İş Sayısı	Problem Sınıfı	Problem Sayısı
<i>0-100</i>	<i>Küçük</i>	<i>62</i>
<i>101-300</i>	<i>Orta</i>	<i>58</i>
<i>301-600</i>	<i>Büyük</i>	<i>40</i>
<i>>600</i>	<i>Çok Büyük</i>	<i>50</i>

Yapılan koşumlarda Şekil 6.1.'de yer alan önerilen NEH tabanlı algoritma performansına dair işlemci sürelerine bakıldığında, iş sayısının 100 işe kadar problemlerin hızlı çözülebildiği (0-15 saniye), 100-300 iş arasında sürenin hızlı artmaya başladığı (20-500 saniye), 300'den fazla işin olduğu problemlerde ise sürenin çok hızlı olarak arttığı (500-4100 saniye) gözlemlenmiştir. İş sayısının 1000'in üzerinde olduğu durumlarda ise önerilen NEH tabanlı algoritmanın belirlenen 2 saatlik üst süre limiti dahilinde cevap alınamamıştır. Bu nedenle, daha önce belirlenen küçük ve orta boyutlu olarak üretilen 160 adet problem yeniden derlenmiş ve son tahlilde Çizelge 6.5.'deki gibi gruplandırılmıştır. Bu gruplandırmanın neticesinde, daha önce büyük boyutlu olarak adlandırılan problemler de çok büyük boyutlu olarak adlandırılmıştır.

6.2. Test Sonuçları

6.2.1. Performans kriteri

Deney sonuçları karşılaştırılırken eniyi çözüm değerleri, problemden probleme çok büyük değişkenlik göstermesinden dolayı karşılaştırma yapabilmek için bir performans kriterine ihtiyaç duyulmuştur.

Performans kriteri olarak Vallada vd. (2008) tarafından kullanılan ve Göreceli Sapma Değeri-*GSD* (Relative Deviation Index-RDI) olarak adlandırılan gösterge kullanılmıştır.

GSD şu şekilde hesaplanmaktadır (Vallada vd., 2008):

$$GSD = \frac{Z - Z_{enk}}{Z_{enb} - Z_{enk}} * 100 \quad (6.3)$$

Test problemlerinde elde edilen sonuçlar enküçük ve ortalama amaç fonksiyonu değerleri bakımından *GSD*'ye göre değerlendirilmiştir.

6.2.2. Matematiksel modellerin çalıştırılması ile elde edilen sonuçlar

KTDKM'lerinin çok küçük boyutlu 15 adet problem için çalıştırılması neticesinde elde edilen sonuçlar, Çizelge 6.6.'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.6. Matematiksel Modellerin ve Önerilen DKA Algoritmasının Sonuçları

					Amaç Fonksiyonu Değeri					İşlem Süresi (sn)			
Problem	N	ÜT	İS	MS	DKA Ort. Z	DKA Z*	ZİM Z	PTM Z	STM Z	DKA	ZİM	PTM	STM
FFOS01	3	2	6	(2 - 1)	166,3	<u>160</u>	<u>160</u>	<u>160</u>	<u>160</u>	0,8	0,3	1	1
FFOS02	3	2	9	(2 - 1)	395,2	<u>360</u>	<u>360</u>	<u>360</u>	<u>360</u>	2,1	3	2	2
FFOS03	3	2	12	(2 - 1)	550,6	<u>520</u>	<u>520</u>	<u>520</u>	<u>520</u>	2,9	1.500	34	53
FFOS04	4	2	8	(2 - 1)	226,3	<u>202</u>	<u>202</u>	<u>202</u>	<u>202</u>	2,0	0,4	2	2
FFOS05	4	2	12	(2 - 1)	498,2	<u>442</u>	<u>442</u>	<u>442</u>	<u>442</u>	2,9	28	74	48
FFOS06	4	2	16	(2 - 1)	673,6	<u>634</u>	<u>634</u>	<u>634</u>	<u>634</u>	3,8	1.500	1.500	1.501
FFOS07	5	2	10	(2 - 1)	247,1	<u>230</u>	<u>230</u>	<u>230</u>	<u>230</u>	2,6	1	4	4
FFOS08	5	2	15	(2 - 1)	545,1	<u>495</u>	<u>495</u>	<u>495</u>	<u>495</u>	3,8	5	1.500	1.186
FFOS09	6	2	12	(2 - 1)	359,6	<u>338</u>	<u>338</u>	<u>338</u>	<u>338</u>	3,2	1	151	17
FFOS10	7	2	14	(2 - 1)	441	<u>423</u>	<u>423</u>	<u>423</u>	<u>423</u>	3,9	1	1.500	1.382
FFOS11	8	2	16	(2 - 1)	560,1	<u>538</u>	<u>538</u>	<u>538</u>	565	4,6	1	1.500	1.502
FFOS12	9	2	18	(2 - 1)	800,9	<u>763</u>	<u>763</u>	<u>763</u>	772	5,4	1	1.500	1.502
FFOS13	10	2	20	(2 - 1)	1078,3	<u>1027</u>	<u>1027</u>	1036	<u>1027</u>	6,3	2	1.500	1.503
FFOS14	15	2	30	(2 - 1)	2635,7	2516	<u>2501</u>	2768	2665	10,9	5	1.500	1.507
FFOS15	20	2	40	(2 - 1)	4167,8	3989	<u>3923</u>	4174	4607	16,2	11	1.500	1.512
FFOS16	20	2	50	(2 - 1)	5753	5515	5384	7128	8593	23,7	1500	1500	1500
FFOS17	20	2	80	(2 - 1)	11184	10474	18557	28869	20813	34,6	1500	1500	1500
FFOS18	20	2	100	(2 - 1)	15544	14348	33890	37569	27887	40,2	1500	1500	1500
FFOS19	20	2	140	(2 - 1)	22745	19881	40497	55769	43797	54,0	3600	3600	3600
FFOS20	20	2	200	(2 - 1)	34820	32913	97658	113388	-*	65,6	3600	3600	3600
FFOS21	20	2	400	(2-1)	88694	82466	-*	102765	-*	112,7	3600	3600	3600

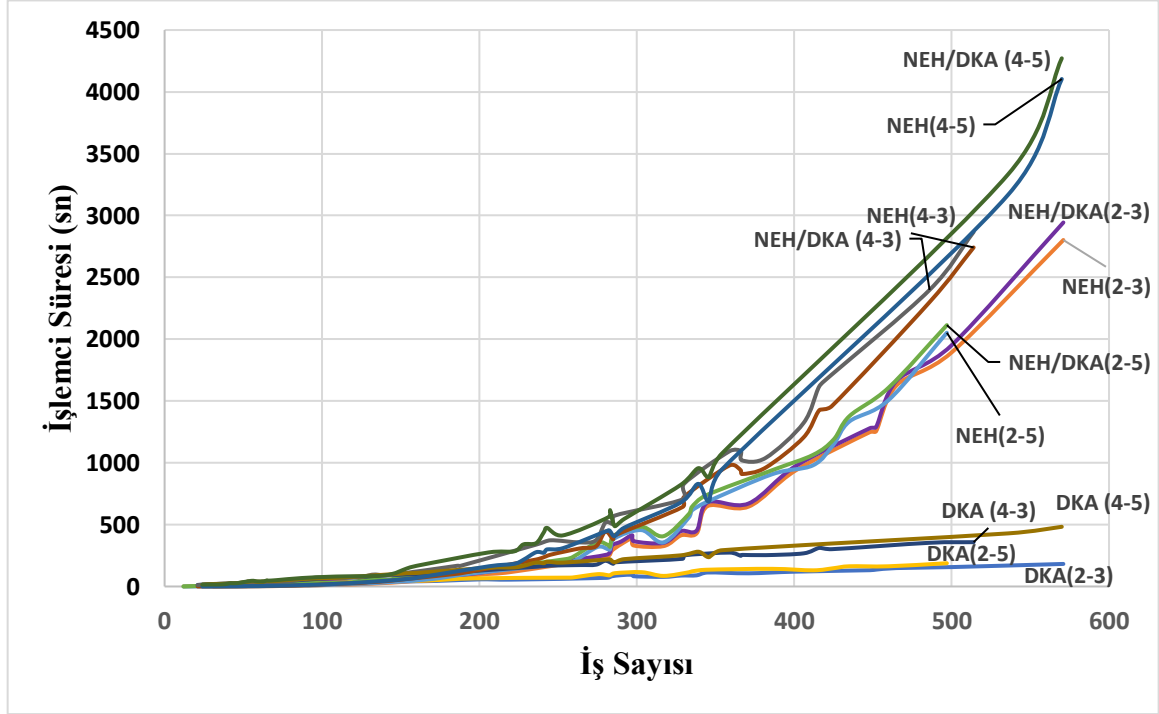
* Belirtilen işlem süresi içinde tamsayıly uygun bir çözüm bulunamamıştır.

Çizelge 6.6.'da, N sipariş sayısını, $ÜT$ ürün tipi sayısını, $İS$ iş sayısını, MS aşamalardaki makine sayısını, DKA Ort._ Z , DKA algoritmasının problem için 10 kere koşturulması sonucu elde edilen ortalama amaç fonksiyonu değerini, DKA Z^* bu 10 koşulda elde edilen eniyi amaç fonksiyonu değerini, ZİM Z zaman indeksli modelin (ZİM) çalıştırılması sonucu elde edilen amaç fonksiyonu değerini, PTM Z pozisyon tabanlı modelin_(PTM) çalıştırılması sonucu elde edilen amaç fonksiyonu değerini, STM Z sıralama tabanlı modelin_(STM) çalıştırılması sonucu elde edilen amaç fonksiyonu değerini, diğer süre sütunları ise ilgili algoritmanın veya matematiksel modelin koşturulması sırasında harcanan işlemci süresini saniye olarak göstermektedir. Altı çizili gösterilen değerler, o problemin eniyi amaç fonksiyonu değeridir. Çizelgede “-“ ile gösterilen hücreler, belirtilen işlem süresi içinde tamsayı uygun bir çözüm bulunamadığını ifade etmektedir. Verilen süre değerleri saniye cinsindedir.

Çizelge 6.6.'da da görüldüğü gibi önerilen DKA yöntemi ile 21 problemin 13'ünde eniyi amaç fonksiyonu değerlerine ulaşılmıştır. Ayrıca İS 50'den büyük olduğunda, DKA'nın performansının, matematiksel modellere göre çok daha iyi olduğu görülmektedir. FFOS14 ve FFOS15 problemlerinde de sıralama tabanlı model (STM) ve pozisyon tabanlı modele (PTM) göre daha iyi sonuçlar elde edilmiş ancak eniyi sonuç elde edilememiştir. Burada ZİM bariz bir şekilde diğer modellere üstünlük sağlamıştır. Ancak İS'nin 50'yi geçtiği durumlarda ZİM'in performansının kötüleştiği, 400 iş için bir saat içinde, uygun bir tamsayı çözüm bile üretilemediği görülmüştür. Çok büyük boyutlu problemlerde RAM yetersizliği nedeniyle matematiksel modellerin çalıştırılmaması da söz konusudur. Öte yandan çok büyük boyutlu problemler için geliştirilen DKA algoritması rahatlıkla kullanılabilir.

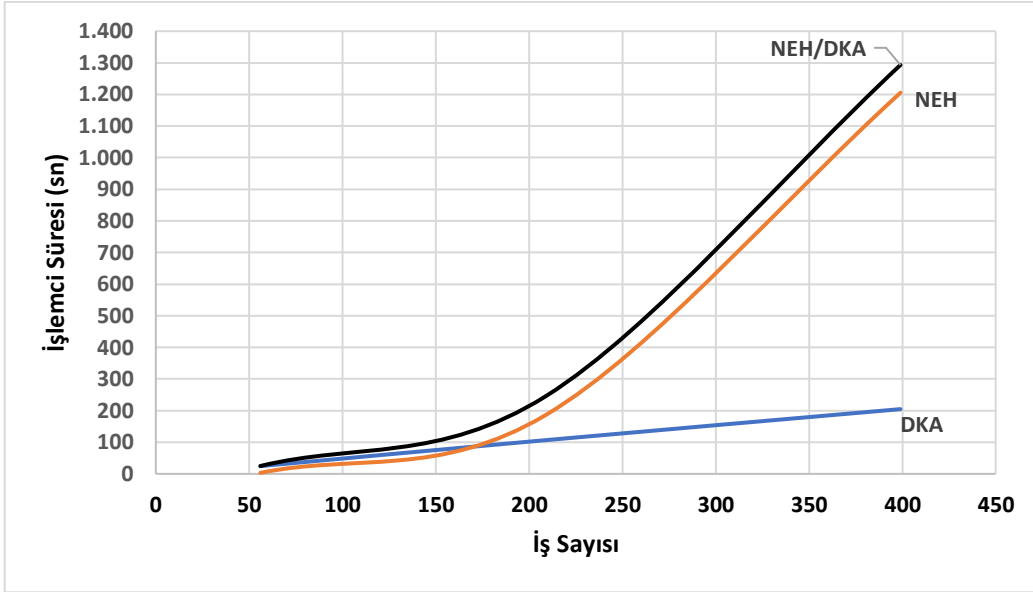
6.2.3. Önerilen NEH tabanlı algoritmalarla elde edilen sonuçlar

Test problemlerinin geliştirilen NEH tabanlı algoritmalarla çözümü neticesinde, elde edilen sonuçlar 1000 ardıştırma için gereken işlem süreleri ve iş sayısına göre grafiği Şekil 6.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Algoritmaların 10 kere koşturulması sonucunda ortalama işlemci süresinin, iş sayısına göre değişim grafiği.

Şekil 6.1.'deki grafikte, her bir algoritmanın, her problem için yapılan 10 koşumunun ortalama işlemci süresinin, sistemdeki iş sayısına göre değişimi, aşama ve makine sayısına (algoritma isimlerinin yanında parantez içinde gösterilen değerler) gruplandırılarak gösterilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi önerilen DKA algoritmasına ait işlemci süreleri doğrusal olarak değişmektedir. Öte yandan NEH tabanlı algoritmaların işlemci süreleri ise iş sayısına bağlı olarak, karesel artış göstermektedir. Bu da algoritma karmaşıklığının $O(n^2)$ olmasını bir sonucudur. Ayrıca aşama sayısı ve aşamalardaki makine sayısı arttıkça işlemci süresinin de arttığı görülmektedir. Şekil 6.1.'e göre, aşama sayısındaki artış, bir aşamadaki ortalama makine sayısına göre işlemci süresini daha fazla etkilemektedir.



Şekil 6.2. Önerilen algoritmaların koşumlardaki ortalama işlemci sürelerinin iş sayısına göre değişim grafiği.

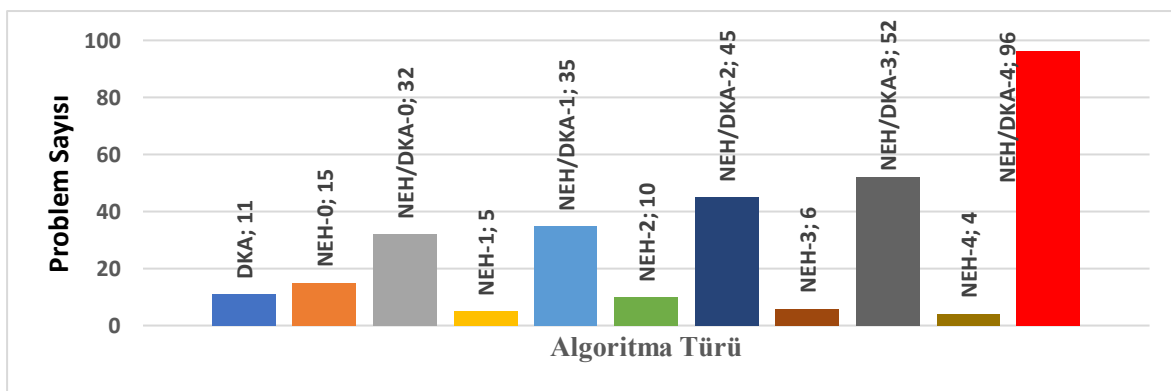
Önerilen farklı sıralama kurallarına dayanan NEH tabanlı algoritmalar, sıralama kuralı farklı olsa da aynı mantıkla yani sıradaki işlemin en uygun noktaya eklenmesi prensibine göre çalışmaktadır. Bu nedenle Şekil 6.2.'de işlemci süreleri önerilen 5 farklı NEH algoritmasının ortalama işlemci süresi NEH etiketiyle, 5 farklı NEH/DKA algoritmasının işlemci süresi ortalaması da NEH/DKA etiketiyle, saf DKA algoritmasının işlemci süresi de DKA etiketiyle gösterilmiştir. İş sayısı arttıkça, NEH algoritmasının koşullarındaki işlemci süresinin hızlı bir biçimde arttığı açıkça görülmektedir.

Elde edilen sonuçlara dair detaylı bilgiler Çizelge 6.7.'de verilmektedir.

Çizelge 6.7. Küçük/Orta/Büyük Boyutlu Problemler Üzerinde Elde Edilen Sonuçlara Ait Bilgiler

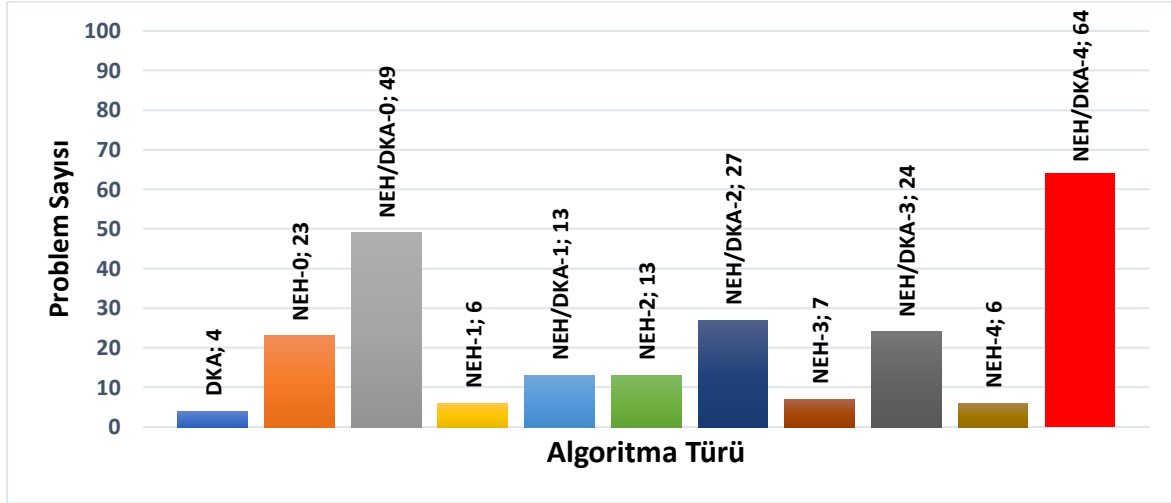
Boyut	Gösterge	DKA	NEH-0	NEH/DKA-0	NEH-1	NEH/DKA-1	NEH-2	NEH/DKA-2	NEH-3	NEH/DKA-3	NEH-4	NEH/DKA-4
Küçük	Ort. (Z*)	232,5	306,3	173,2	344,0	162,6	348,5	156,2	357,8	146,7	346,4	143,6
	Ort. (Z _{ort})	289,9	306,3	227,3	344,0	213,3	348,5	207,7	357,8	211,1	346,4	203,8
	Ort. Süre	24,5	3,2	22,5	3,3	24,8	3,2	25,1	3,2	25,4	3,3	26,0
	GSD (Z*)	29,6	63,2	10,0	74,4	6,4	71,2	4,0	75,3	1,8	73,5	0,7
	GSD (Z _{ort})	49,5	61,7	29,3	73,6	25,3	70,4	22,9	73,8	23,3	72,6	21,5
	EOPS (Z*)	10	5	19	2	23	3	28	4	42	2	46
	EOPS (Z _{ort})	4	5	14	2	7	3	13	4	16	2	29
Orta	Ort. (Z*)	3.261,3	2.404,0	2.138,2	2.660,4	2.079,6	2.630,9	2.045,8	2.724,5	2.021,4	2.574,9	1.952,6
	Ort. (Z _{ort})	3.567,1	2.404,0	2.337,7	2.660,4	2.443,9	2.630,9	2.373,1	2.724,5	2.398,8	2.574,9	2.257,4
	Ort. Süre	106,7	181,4	220,4	190,6	243,1	189,4	251,6	180,4	253,4	190,1	260,5
	GSD (Z*)	85,8	37,4	17,3	55,5	14,8	52,6	10,8	61,5	9,5	50,8	4,3
	GSD (Z _{ort})	93,9	33,1	27,7	49,5	35,0	46,8	30,2	55,0	33,0	45,5	24,6
	EOPS (Z*)	1	6	9	1	6	3	10	0	5	0	32
	EOPS (Z _{ort})	0	9	22	1	3	3	6	1	4	1	23
Büyük	Ort. (Z*)	10.724,6	7.229,4	6.830,0	7.347,7	6.419,8	7.156,1	6.313,0	7.745,2	6.427,1	7.118,7	6.225,2
	Ort. (Z _{ort})	11.351,9	7.229,4	7.102,3	7.347,7	7.048,7	7.156,1	6.815,5	7.745,2	7.159,5	7.118,7	6.692,0
	Ort. Süre	204,7	1.161,0	1.224,7	1.239,3	1.316,8	1.233,5	1.319,6	1.147,7	1.253,6	1.244,7	1.351,2
	GSD (Z*)	99,3	22,5	16,1	24,4	7,0	21,6	5,6	33,7	10,3	22,4	4,0
	GSD (Z _{ort})	99,7	19,8	18,2	21,9	17,4	19,3	13,9	29,5	21,6	20,0	12,0
	EOPS (Z*)	0	4	4	2	6	4	7	2	5	2	18
	EOPS (Z _{ort})	0	9	13	3	3	7	8	2	4	3	12

Çizelge 6.7.'de önerilen DKA ve NEH algoritmalarının test problemleri üzerindeki koşum sonuçları özetlenmiştir. Çizelgede Ort. (Z^*) problemlerde algoritmaların 10 kere koşturulması sonucu elde edilen eniyi amaç fonksiyonu değerlerinin ortalamasını göstermektedir. Z_{ort} her bir algoritmanın çözülen problem için yapılan 10 koşumun amaç fonksiyonu değerlerinin ortalamasıdır. Ort. (Z_{ort}) ise o problem sınıfında elde edilen tüm Z_{ort} değerlerinin ortalamasıdır. Ort. $(Süre)$ ilgili problem sınıfında yapılan koşumların ortalama çözüm süresi ortalamalarının ortalamasıdır. GSD (Z^*), ilgili algoritmanın problemler üzerinde 10 kere koşturulması sonucu elde edilen enküçük amaç fonksiyonu değerlerinin, problem için elde edilebilen enküçük Z değerine uzaklığını belirleyen GSD değerlerinin ortalamasıdır. GSD (Z_{ort}), her algoritmanın her problem için yapılan 10 koşumunun Z değeri ortalamasının, elde edilebilen eniyi Z değerine olan uzaklığını belirleyen GSD değerleri ortalamasıdır. EOPS (Z^*), ilgili algoritmanın elde edilebilecek eniyi amaç fonksiyonu değerini elde ettiği problem sayısını “Eniyi Olunan Problem Sayısı (EOPS)” ifade eder. EOPS (Z_{ort}) algoritmanın, ilgili problemde yapılan 10 koşumunun ortalama amaç fonksiyonu değerinin, diğer algoritmalara göre eniyi olduğu problem sayısını ifade eder. Çizelge 6.7’de koyu olarak gösterilen değerler, elde edilen eniyi değerleri göstermektedir. Bu değerler incelendiğinde NEH/DKA-4 algoritmasının küçük, orta ve büyük boyutlu test problemlerinin tümünde diğerlerine göre açık ara önde olduğu görülmektedir. Sonrasında NEH/DKA-3 ve NEH/DKA-2 algoritmaları gelmektedir.



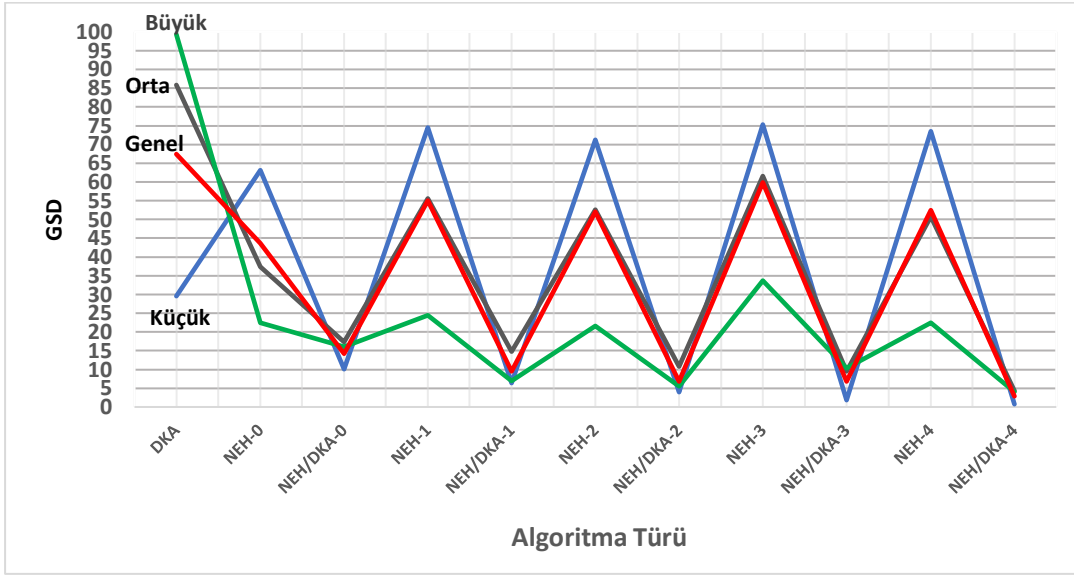
Şekil 6.3. Üretilen 160 adet test probleminde, geliştirilen algoritmaların enküçük amaç fonksiyonu elde ettiği problem sayısı grafiği.

Test problemleri üzerinde yapılan koşumlarda, algoritmaların enküçük Z değerine ulaştığı problem sayısı Şekil 6.3.'deki grafikte gösterilmiştir. Grafikten anlaşıldığı üzere başlangıç çözümü NEH-4 algoritması ile elde edilen NEH/DKA-4 algoritması 160 problemin 96'sında enküçük amaç fonksiyonu değerine ulaşmıştır.



Şekil 6.4. Üretilen 160 adet test probleminde, geliştirilen algoritmaların ortalama amaç fonksiyonu değeri (Z_{ort}) eniyi olduğu problem sayısı grafiği

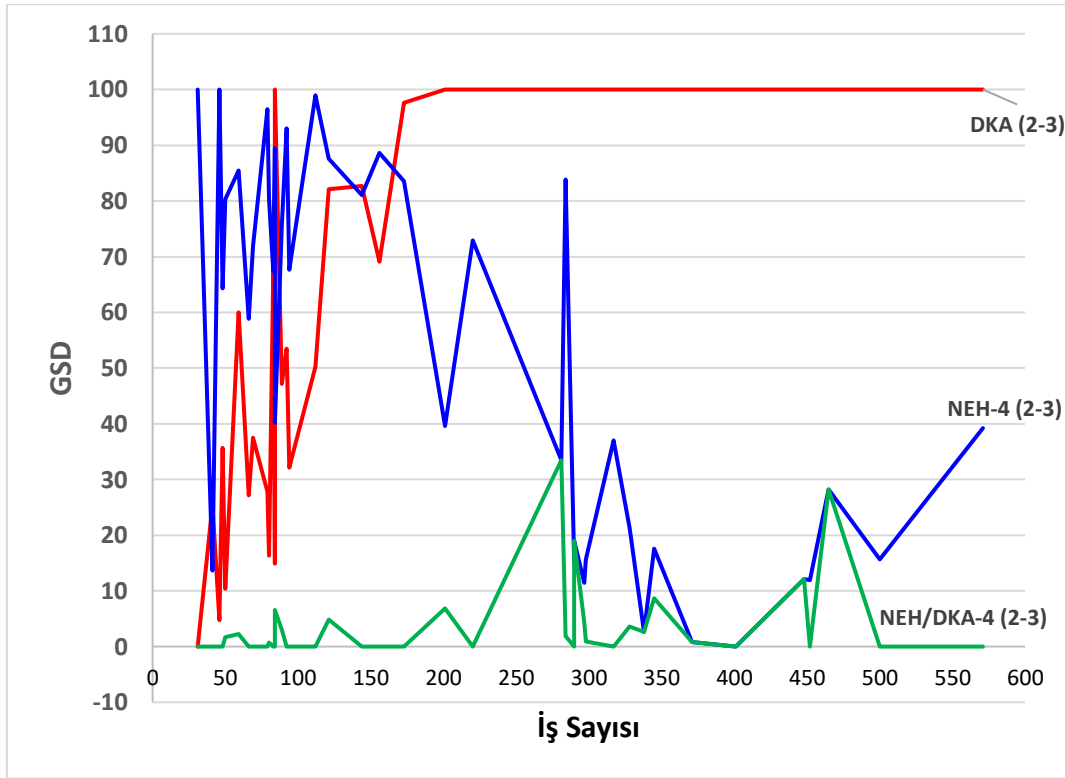
Şekil 6.4.'de ortalama çözüm kalitesi açısından algoritmaların eniyi değere sahip olduğu problem sayısının algoritma türüne göre grafiği verilmiştir. Z_{ort} açısından en iyi olunan problem sayısı kriterine göre NEH/DKA-4 algoritması 64 problemle en başarılı algoritma olduğu, NEH/DKA-0 algoritmasının 49 problemle başarılı olarak değerlendirilebilecek diğer algoritma olduğu görülmektedir.



Şekil 6.5. Algoritmaların test problemlerinde bulunduğu eniyi çözümlerin GSD'lerinin ortalamasını gösteren grafik.

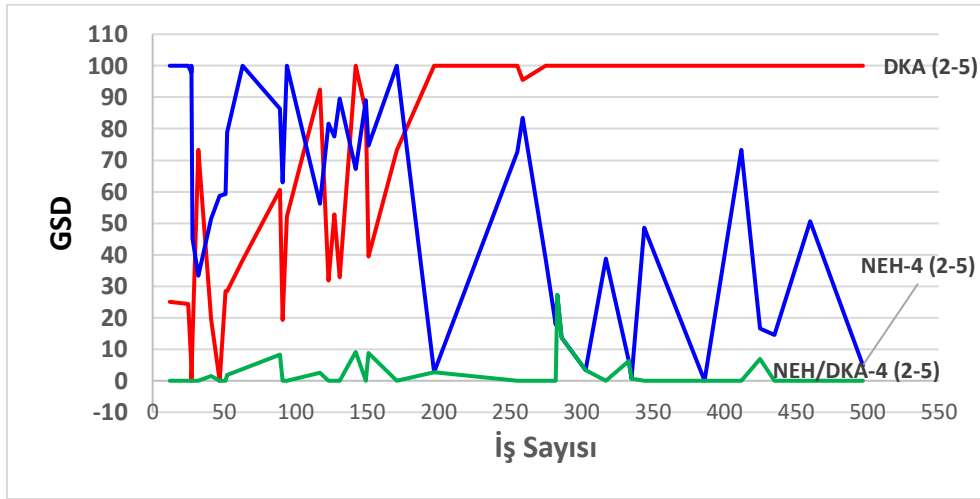
Test problemlerinde, algoritmaların problem sınıfına göre GSD ortalamaları grafiği Şekil 6.5.'de görülmektedir. GSD ne kadar küçükse, elde edilen çözümün o kadar iyi olduğu anlaşılır. Bu grafikte algoritma tipleri önce NEH- k ($k=0, \dots, 4$), sonra NEH/DKA- k ($k=0, \dots, 4$) şeklinde verilmiştir. Burada maksat, NEH- k ile üretilen başlangıç çözümünün, NEH/DKA- k ile ne kadar iyileştirildiğinin görülmesidir. Grafikte NEH-0'la, NEH-3 ve NEH-4'e göre daha iyi bir başlangıç çözümü üretilmiş, ancak DKA algoritmasının bu başlangıç çözümleri ile çalıştırılması sonucunda NEH/DKA-(3 ve 4)'ün daha iyi çözümlere ulaştığı görülmüştür. Grafikten görüldüğü gibi tüm problem tiplerinde NEH/DKA-4 algoritması eniyi GSD değerlerini vermiştir. Grafikte DKA algoritmasının performansına bakıldığında, küçük boyutlu problemlerde nispeten daha iyi performans gösterdiği ancak diğer orta ve büyük boyutlu problemlerde yeterince etkin olmadığı görülmüştür. GSD grafiğine bakıldığında tek başına önerilen DKA algoritmasının, 100 işten sonra iyi çözümler üretemediği ama kısa sürede çözüm verdiği görülmektedir. Bu büyük problem tipleri için NEH ile başlayan bir başlangıç çözümüne ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle daha büyük boyutlu problemlerde NEH'in farklı kurallara dayanan türleri ile başlangıç çözümleri üretilmiş ve bu başlangıç çözümleri ile DKA yeniden çalıştırılmıştır. Grafikten de görüldüğü gibi DKA algoritmasının başlangıç çözümü olarak NEH algoritmasından elde edilen çözümün kullanıldığı durumlarda performans önemli ölçüde artmıştır.

Aşama sayısı ve her aşamadaki iş sayısına bağlı olarak algoritmaların performansları incelenmiş ve izleyen kesimde açıklanmıştır.



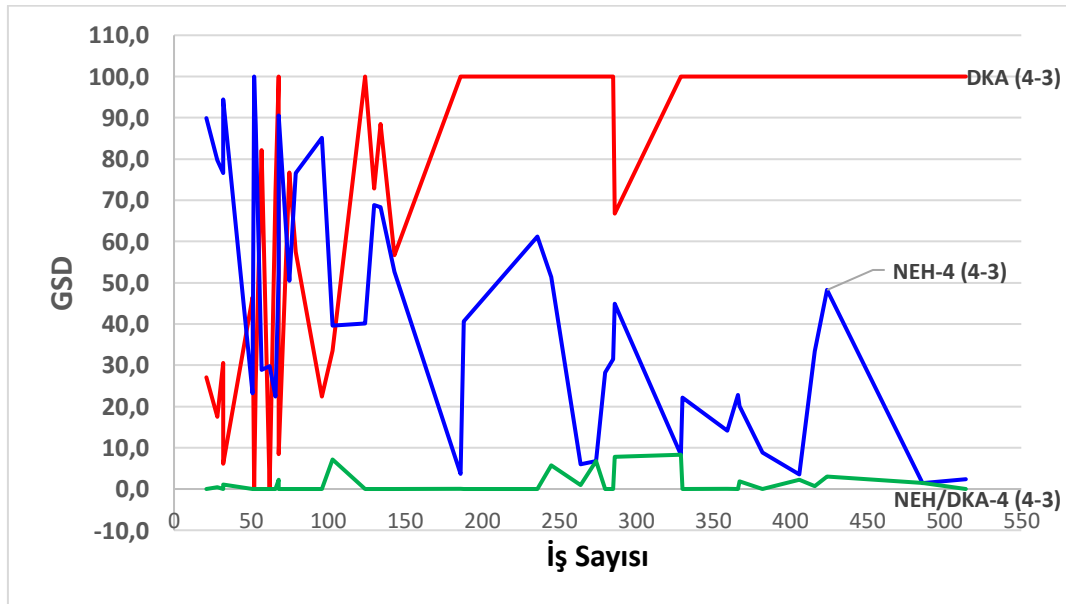
Şekil 6.6. 2 Aşama ve her aşamada 3 makine için GSD değerleri grafiği

Genel olarak değerlendirme yapıldığında, NEH-4 algoritma sonucunu başlangıç çözümü olarak başlayan NEH/DKA-4 algoritmasının en başarılı algoritma olduğu tespit edilmiştir. Şekil 6.6.'da 2 aşama ve her aşamada 3 makinenin olduğu problemlerde NEH-4, NEH/DKA-4 ve saf DKA algoritmalarının GSD'lerinin iş sayısına göre değişimi grafikte karşılaştırmalı olarak görülmektedir. Grafikte görüldüğü üzere yaklaşık 150 işe kadar DKA, NEH-4'e göre daha iyi çözümler verirken, 150 işten sonra NEH'in daha iyi çözümler ürettiği görülmektedir. NEH'ten çıkan çözümün başlangıç çözümünü kullanan NEH/DKA-4 algoritmasının çok iyi sonuçlar üretebildiği açıkça görülmektedir.



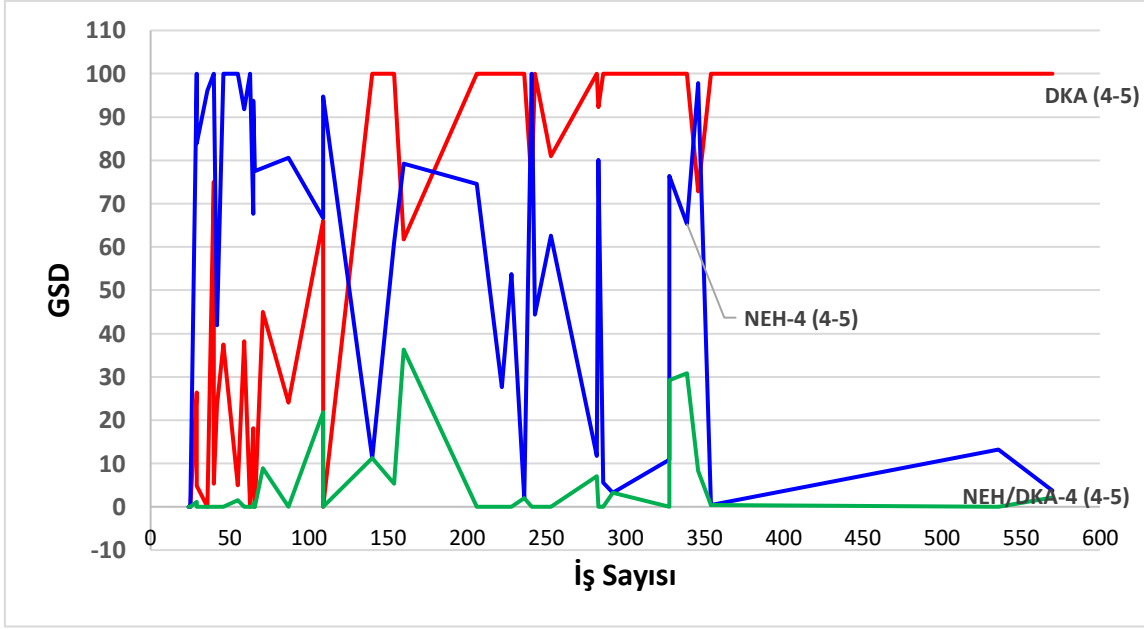
Şekil 6.7. 2 Aşama ve her aşamada 5 makine için GSD değerleri grafiği.

Şekil 6.7.'de 2 aşama ve her aşamada 5 makine için DKA, NEH-4 ve NEH/DKA-4 algoritmalarının GSD'lerinin, iş sayısına göre değişim grafiği görülmektedir. Grafikten de görüldüğü gibi yaklaşık 100 işten sonra NEH-4'ün performansı, DKA'ya göre çok daha yüksek olmaktadır. Yine NEH/DKA-4, NEH-4 ile elde edilen başlangıç çözümünü oldukça iyileştirmiştir.



Şekil 6.8. 4 Aşama ve her aşamada 3 makine için GSD değerleri grafiği.

DKA, NEH-4 ve NEH/DKA-4 algoritmalarının elde ettiği GSD'lerin iş sayısına göre değişimi Şekil 6.8.'de gösterilmiştir. Grafiğe bakılacak olursa, 50 işten sonra DKA'nın performansı kötüleşmektedir. Yaklaşık 100 işten sonra NEH-4 daha iyi çözümler vermektedir. NEH/DKA-4, NEH-4 ile elde edilen başlangıç çözümünü oldukça iyileştirmiştir.



Şekil 6.9. 4 Aşama ve her aşamada 5 makine için GSD-iş sayısı değişim grafiği.

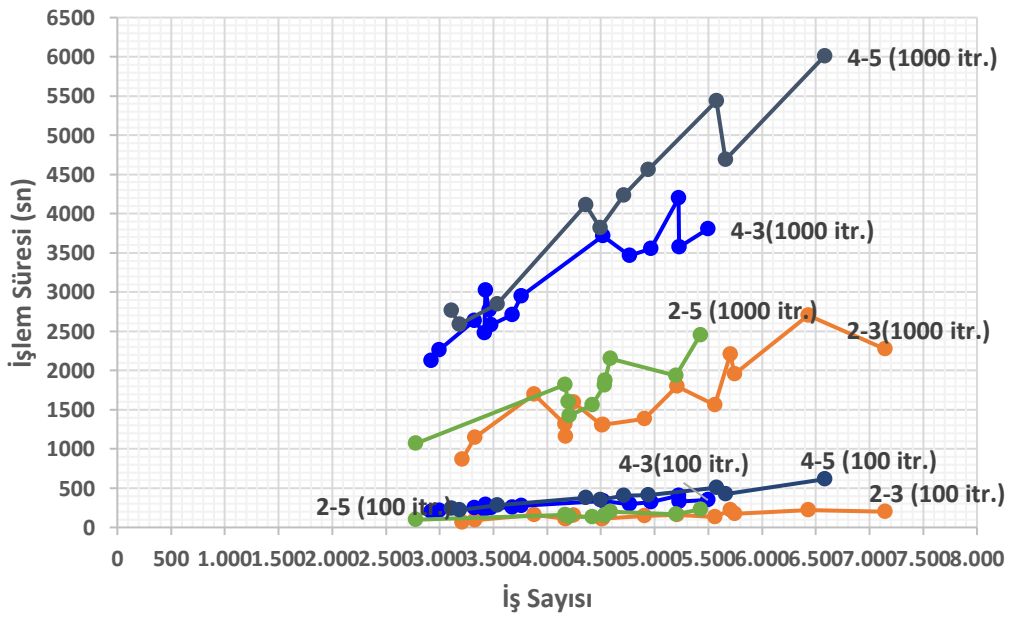
DKA, NEH-4 ve NEH/DKA-4 algoritmalarının 4 aşama ve her aşamada 5 makinenin olduğu problemlerdeki GSD'lerinin iş sayısına göre değişim grafiği Şekil 6.9.'da sunulmuştur. Bu grafikte de 100 işten sonra DKA algoritmasının elde ettiği çözüm performansının kötüleştiği görülmektedir. Grafikten, NEH-4 ile elde edilen başlangıç çözümünün NEH/DKA-4 algoritması ile oldukça geliştirildiği anlaşılmaktadır.

Test problemleriyle yapılan deneylerin detaylı sonuçları Ek Açıklamalar-2 ve 3'de sunulmuştur.

Çok büyük boyutlu problemlerde elde edilen sonuçlar Çizelge 6.8.'de sunulmuştur. Bu çizelgede, PN problem numarasını, $İS$ iş sayısını, AS problemdeki aşama sayısını, MS her aşamadaki makine sayısını, yapılan 10 koşumda elde edilen enküçük amaç fonksiyonu değeri $Enk Z$, amaç fonksiyonu değerlerinin ortalaması $Ort. Z$ ve enbüyük (en kötü) amaç fonksiyonu değeri $Enb Z$ ile gösterilmiştir. $Ort. Süre$ bir koşumun ortalama işlemci süresini göstermektedir.

Çok büyük boyutlu problemlerde, iş sayısının 600'ün çok üstüne çıkmasından dolayı belirlenen iki saatlik süre içinde bir NEH çözümüne ulaşamamıştır. Bu nedenle DKA algoritmasının, 100 ardıştırma ve 1000 ardıştırma için karşılaştırmalı sonuçlarına Çizelge 6.8.'de yer verilmiştir.

Çok büyük boyutlu problemler için Çizelge 6.8.'daki koşum sonuçlarına bakıldığında önerilen DKA algoritmasının, makul bir süre içinde iyi çözümler üretebildiği görülmüştür. Diğer NEH tabanlı algoritmalar ise belirlenen iki saatlik süre limiti içinde çözüm üretememiştir. Çok büyük boyutlu problemlerde, kısa sürede iyi çözümler üretilebilmesinin önemli olduğu değerlendirilmiştir.



Şekil 6.10. Çok büyük boyutlu problemlerde kullanılan DKA algoritmasının 1000 ardıştırma çalıştırılması için gereken işlem süresinin iş sayısına göre değişim grafiği.

Çok büyük boyutlu problemlerde belirlenen işlem süresi limiti içinde çözüm üreten tek algoritma olan DKA algoritmasının, 1000 ardıştırma çalıştırılması için geçen sürenin, iş sayısına göre farklı aşama ve makine sayısı içeren ortamlardaki değişimi Şekil 6.10'da gösterilmiştir. Genel olarak iş sayısı arttıkça, işlem süresi de doğrusala yakın şekilde artmaktadır. Aşama sayısı ve her aşamadaki paralel makine sayısı da işlem süresini artırmaktadır. Çünkü algoritmanın yapısı gereği her aşamadaki eniyi işlem sırasını bulmak üzere arama işlemi yapılmaktadır. Bu da aşama sayısı arttıkça, işlem süresini de artırmaktadır. Grafikte de görüldüğü 4 aşama ve her aşamada 5 makine bulunan, 6500 işlik bir problemde DKA'nın 100 ardıştırma için yaklaşık 600 sn'ye ihtiyaç duyarken, 1000 ardıştırma için yaklaşık 6000 sn'ye ihtiyaç duymaktadır.

Çizelge 6.8'de DKA algoritmasının çok büyük boyutlu problemlerde, 100 ve 1000 ardıştırma yapılarak çalıştırılması sonucunda elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Çok büyük boyutlu problemlerde sadece DKA algoritmasının belirlenen iş saatlik süre içinde sonuç döndürebilmesi nedeniyle, tabloda farklı ardıştırma sayıları ile elde edilen sonuçlara yer verilmiştir.

Çizelge 6.8. Çok Büyük Ölçekli Problemlerde Önerilen DKA Algoritmasıyla 100 ve 1000 ardıştırma için elde edilen sonuçlar

PN	İS	AS	MS	100 İterasyon				1000 İterasyon			
				Enk Z	Ort. Z	Enb Z	Ort.Süre (sn)	Enk Z	Ort. Z	Enb Z	Ort.Süre (sn)
0	4.166	2	3	460.773	463.715	466.414	115	424.415	433.198	442.028	1.315
1	4.518	2	3	302.180	305.065	306.727	114	287.601	292.996	297.903	1.308
2	4.509	2	3	423.024	425.486	428.675	104	413.529	417.393	420.285	1.301
3	4.905	2	3	467.265	470.331	474.642	147	409.972	414.128	418.393	1.383
4	7.143	2	3	762.833	771.168	777.438	202	672.736	680.106	688.901	2.276
5	2.775	2	5	132.394	134.013	135.389	98	108.624	112.829	116.447	1.068
6	4.203	2	5	194.048	195.559	199.216	138	166.546	170.816	174.228	1.423
7	4.540	2	5	293.191	297.011	299.491	163	259.366	265.984	271.517	1.871
8	4.418	2	5	244.592	247.131	248.814	135	221.538	228.853	235.340	1.561
9	4.533	2	5	263.997	266.991	269.103	143	249.165	253.610	258.024	1.813
10	2.919	4	3	299.878	303.905	306.630	204	257.515	263.062	267.339	2.128
11	3.323	4	3	305.456	308.965	313.227	245	288.183	289.815	291.868	2.632
12	5.495	4	3	543.686	547.531	551.194	348	515.615	527.110	534.190	3.802
13	3.475	4	3	367.939	370.358	372.201	247	309.092	313.710	318.336	2.581
14	3.418	4	3	242.617	246.529	249.759	230	229.948	232.775	235.276	2.478
15	6.583	4	5	486.091	491.689	497.141	615	437.787	440.273	443.019	6.011
16	3.109	4	5	158.114	161.891	165.293	243	148.287	150.088	152.267	2.764
17	4.940	4	5	253.577	255.414	258.704	412	245.149	248.164	250.617	4.560
18	5.659	4	5	274.206	276.073	278.295	422	262.631	265.125	267.932	4.690
19	4.713	4	5	371.363	376.959	382.199	403	322.346	324.167	326.639	4.235
20	3.879	2	3	293.394	294.899	296.107	161	279.517	281.158	282.281	1.695
21	5.207	2	3	370.478	371.597	372.530	159	353.765	355.755	356.968	1.797
22	6.427	2	3	511.248	512.286	513.064	219	506.388	507.929	509.920	2.704
23	4.171	2	3	247.367	248.163	248.533	105	243.689	245.153	246.692	1.160
24	3.328	2	3	199.620	201.096	201.833	95	196.807	197.608	198.375	1.144
25	5.196	2	5	183.074	184.032	184.626	164	178.784	179.840	180.612	1.937
26	5.424	2	5	196.956	197.825	198.894	231	193.183	194.047	195.423	2.454
27	4.197	2	5	137.220	138.662	140.093	142	134.868	135.343	135.938	1.600
28	4.163	2	5	190.296	191.088	191.838	163	180.865	182.350	184.220	1.817
29	4.588	2	5	181.660	182.592	183.494	202	174.090	175.242	176.833	2.155

PN	İS	AS	MS	100 İterasyon				1000 İterasyon			
				Enk Z	Ort. Z	Enb Z	Ort.Süre (sn)	Enk Z	Ort. Z	Enb Z	Ort.Süre (sn)
30	3.758	4	3	176.898	177.686	178.278	274	174.727	175.766	177.070	2.951
31	4.768	4	3	232.178	232.673	233.333	299	228.150	229.324	230.009	3.468
32	5.230	4	3	315.732	316.313	317.431	328	311.858	313.962	315.400	3.571
33	4.519	4	3	329.980	330.859	331.551	334	326.560	328.126	329.261	3.717
34	3.674	4	3	184.131	184.551	185.218	257	179.698	181.098	182.616	2.713
35	3.181	4	5	86.800	87.098	87.442	220	84.314	85.031	85.604	2.589
36	4.493	4	5	143.953	144.413	144.751	352	140.468	141.692	142.303	3.818
37	4.361	4	5	143.820	144.728	145.363	377	140.575	142.596	144.157	4.110
38	3.537	4	5	97.508	98.086	98.647	283	96.028	96.869	97.259	2.849
39	5.576	4	5	192.186	193.014	193.719	505	189.820	191.413	193.565	5.437
40	3.208	2	3	171.167	172.448	173.909	68	157.177	158.770	160.655	865
41	5.703	2	3	391.606	393.344	395.737	221	383.107	385.739	388.259	2.209
42	5.558	2	3	287.126	288.007	289.463	134	282.452	284.641	286.292	1.558
43	5.745	2	3	367.041	368.905	370.871	171	353.806	355.115	356.253	1.953
44	4.247	2	3	266.813	267.872	269.038	154	259.367	261.252	262.872	1.592
45	2.992	4	3	117.307	118.721	119.727	212	113.741	114.712	115.887	2.264
46	3.426	4	3	136.846	137.928	140.101	286	131.715	132.954	134.381	3.024
47	4.962	4	3	224.936	227.048	228.706	322	214.658	215.560	216.720	3.553
48	5.225	4	3	280.787	281.453	281.903	404	278.639	279.925	281.819	4.198
49	3.460	4	3	185.251	186.134	187.194	249	182.976	183.367	183.952	2.772
Ort.	4.471			273.812	275.786	277.679	236	258.037	260.731	263.243	2.577

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında, Esnek Akış Atölyesi ortamında MSCP incelenmiştir. Ele alınan problemin amaç fonksiyonu olarak, karmaşıklık hiyerarşisinde en üstte bulunan siparişlerin ağırlıklı toplam gecikmesi alınmıştır.

Bu kapsamda;

MSCP için detaylı bir literatür araştırması yapılmıştır.

Ele alınan problem için Pozisyon Tabanlı, Sıralama Tabanlı ve Zaman İndeksi Tabanlı 3 farklı KTDKM geliştirilmiştir. Geliştirilen bu matematiksel modeller GAMS yazılımı ortamında kodlanmış ve 50'den az işin olduğu küçük boyutlu problemlerde yapılan deneylerde Zaman İndekli Modelin kısa sürede eniyi çözümleri bulabildiği görülmüştür.

Problemin NP-Zor yapısından dolayı büyük boyutlu problemleri eniyiye yakın çözebilmek amacıyla yeni bir sezgisel ve bir de metasezgisel algoritma geliştirilmiştir.

Geliştirilen sezgisel ve metasezgisel algoritmaların kodlanabilmesi için yeni bir çözüm gösterimi önerilmiştir. Üç boyutlu olarak tasarlanan bu gösterim, problemde yer alan aşamalar, makineler ve işlem sıralarını gerçekçi olarak başarılı bir şekilde temsil edebilmektedir.

Geliştirilen metasezgisel algoritma, literatürde DKA olarak bilinen yaklaşıma dayanmaktadır. Bu yaklaşım, arama uzayında komşuluk yapısının sistematik olarak değiştirilmesine dayanmaktadır. Önerilen metasezgisel için yeni bir 3 boyutlu çözüm gösterimi kullanılmıştır. Bu gösterime dayanarak 7 farklı komşuluk yapısı tanımlanmış ve algoritma C++ yazılım ortamında kodlanmıştır. Kodlama sırasında C++'ın Standart Şablon Kütüphanesinin (Standart Template Library-STL), oldukça gelişmiş bir yapıya sahip olduğu görülmüştür.

Kodlama sonrasında elde edilen DKA algoritması matematiksel modellerin denendiği test problemlerinde koşturulmuş ve 21 test probleminin 13'ünde eniyi çözüm elde edilmiştir. İş sayısının 50'den fazla olduğu problemlerde, DKA'nın matematiksel modellere göre çok daha iyi sonuçlar elde ettiği görülmüştür.

Önerilen DKA algoritmasının büyük boyutlu problemlerde performansının test edilebilmesi için 210 farklı test problemi üretilmiştir. Bu test problemleri üzerinde yapılan koşumlarda performans kıyaslaması yapabilmek için iyi çözüm veren bir karşılaştırma algoritmasına ihtiyaç olduğu ortaya çıkmıştır.

Kıyaslama yapabilmek için literatürde NEH algoritması olarak bilinen ve çoğu akış tipi çizelgeleme problemin iyi sonuçlar veren sezgiselin, ele alınan probleme uyarlaması yapılmıştır. Sonrasında klasik NEH algoritmasındaki toplam işlem zamanına göre sıralama kuralı, farklı kurallarla değiştirilerek 5 farklı yeni NEH tabanlı algoritma geliştirilmiştir.

Önerilen NEH tabanlı algoritmaların test problemleri üzerinde koşturulması sonucunda önerilen DKA algoritmasının çok başarılı sonuçlar veremediği gözlemlenmiştir. Ancak NEH algoritmasından elde edilen çözümün, önerilen DKA algoritmasına başlangıç çözümü olarak verildiği durumlarda çözüm performansının belirgin bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir.

Deney sonuçlarına bakıldığında işlerin toplam işlem zamanı ve teslim süresine göre sıralanmasını sağlayan NEH/DKA-4 algoritmasının diğerlerine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Benzer şekilde NEH/DKA-3 algoritmasının da oldukça iyi sonuçlar verebildiği gözlenmiştir. Böylece müşteri sipariş çizelgeleme problemi için iyi çözümler verebilen algoritmalar geliştirilmiştir.

Sonuç olarak, Esnek Akış Atölyesi Ortamında MSCP için 3 farklı matematiksel model, yeni bir çözüm gösteriminin kullanıldığı bir yeni NEH tabanlı sezgisel algoritma ve DKA algoritması literatüre kazandırılmış ve geliştirilen yöntemlerin başarısı test problemleri üzerinde gösterilmiştir.

Gelecek dönemlerde;

- Problemin geciken iş sayısı, makine kullanım oranları, siparişlerden elde edilecek gelir vb. farklı amaç fonksiyonları altında ele alınması,
- MSÇP’de, siparişler açısından eniyilenecek amaç fonksiyonları ile işler açısından eniyilenecek amaç fonksiyonlarının birbiri ile ödünleşmelerinin, çok amaçlı programlama perspektifinden irdelenmesi,
- Genetik algoritma, yasaklı arama vb. diğer metasezgisellerin bu probleme uygulanması,
- MSÇP’nin farklı atölye ortamlarında (sipariş atölyesi, esnek sipariş atölyesi, açık atölye vb.) ele alınması konularında yeni çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Ahmadi, R., Bagchi, U., Roemer, T., 2005, Coordinated scheduling of customer orders for quick response, *Naval Research Logistics (NRL)*, 52(6), 493-512.
- Bagchi, U., Julien, F.M., Magazine, M.J., 1994, Note: Due-date assignment to multi-job customer orders, *Management Science*, 40(10), 1389-1392.
- Baker, K.R. and Keller, B., 2010, Solving the single-machine sequencing problem using integer programming. *Computers & Industrial Engineering*, 59(4), pp.730-735.
- Baker, K. R., Trietsch, D., 2009, *Principles of Sequencing and Scheduling*, John Wiley & Sons.
- Blocher, J., Chhajed, D., 1996, The customer order lead-time problem on parallel machines. *Naval Research Logistics*, 43, 629–654.
- Blocher, J.D., Chhajed, D. and Leung, M., 1998, Customer order scheduling in a general job shop environment, *Decision Sciences*, 29(4), pp.951-981.
- Bowman, E. H. (1959). The schedule-sequencing problem. *Operations Research*, 7(5), 621-624.
- Campbell, H. G., Dudek, R. A., Smith, M. L., 1970, A heuristic algorithm for the n job, m machine sequencing problem. *Management science*, 16(10), B-630.
- Cesaret, B., Oğuz, C., Salman, F. S., 2012, A tabu search algorithm for order acceptance and scheduling, *Computers & Operations Research*, 39(6), 1197-1205.
- Chan, F.T.S., Wong, T.C. and Chan, L.Y., 2008, Lot streaming for product assembly in job shop environment, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 24(3), pp.321-331.
- Cheng, T.C., Nong, Q., Ng, C.T. 2011, Polynomial-time approximation scheme for concurrent open shop scheduling with a fixed number of machines to minimize the total weighted completion time, *Naval Research Logistics (NRL)*, 58(8), 763-770.
- Demir, Y., İşleyen, S. K., 2013, Evaluation of mathematical models for flexible job-shop scheduling problems, *Applied Mathematical Modelling*, 37(3), 977-988.
- Du, J., Leung, J., 1990, Minimizing total tardiness on one machine is NP-hard, *Mathematics of Operations Research*, 15, 483–495.
- Dudek, R. A., Panwalkar, S. S., Smith, M. L., 1992, The lessons of flowshop scheduling research, *Operations Research*, 40(1), 7-13.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Erel, E., Ghosh, J.B., 2007, Customer order scheduling on a single machine with family setup times: complexity and algorithms. *Applied Mathematics and Computation*, 185(1), 11-18.
- Fattahi, P., Mehrabad, M. S., Jolai, F., 2007, Mathematical modeling and heuristic approaches to flexible job shop scheduling problems. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 18(3), 331-342.
- Gerodimos, A., Potts, C., Tautenhahn, T., 1999, Scheduling multi-operation jobs on a single machine. *Annals of Operations Research*, 92, 87–105.
- Graham, R., Lawler, E., Lenstra, J., Kan, A.R. (1979), Optimization and approximation in deterministic sequencing and scheduling: A survey, *Annals of Discrete Mathematics*, 5, 287–326.
- Guo, Z. X., Wong, W. K., Leung, S. Y. S., Fan, J. T., Chan, S. F., 2008, Genetic optimization of order scheduling with multiple uncertainties, *Expert Systems with Applications*, 35(4), 1788-1801.
- Gupta, J. N., Ho, J. C., van der Veen, J. A., 1997, Single machine hierarchical scheduling with customer orders and multiple job classes, *Annals of Operations Research*, 70, 127-143.
- Hansen, P., Mladenović, N., 2001, Variable neighborhood search: Principles and applications. *European journal of operational research*, 130(3), 449-467.
- Hansen, P., Mladenović, N., Perez-Britos, D., 2001, Variable neighborhood decomposition search, *Journal of Heuristics*, 7(4), 335-350.
- Hansen, P., Mladenovich, N., Brimberg, J., Pérez, J.A.M., 2019, Variable neighborhood search, In *Handbook of metaheuristics*, p. 57-97 Springer, Cham.
- Hansen, P., Mladenovich, N., Perez, J.A.M., 2010, Variable neighbourhood search: methods and applications. *Annals of Operations Research*, 175(1), 367-407.
- Hazır, Ö., Günalay, Y., Erel, E., 2008, Customer order scheduling problem: a comparative metaheuristics study, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 37(5-6), 589-598.
- Herrmann, J., 2007, "The Legacy of Taylor, Gantt, and Johnson: How to Improve Production Scheduling". The Institute for Systems Research ISR Technical Report: 2007-26.
- Jia, J., Mason, S.J., 2009, Semiconductor manufacturing scheduling of jobs containing multiple orders on identical parallel machines, *International Journal of Production Research*, 47(10), 2565-2585.
- Johnson, S. M., 1954, Optimal two-and three-stage production schedules with setup times included, *Naval research logistics quarterly*, 1(1), 61-68.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Jonsson, P and Mattsson, S-A., 2009, Manufacturing, planning and control, New York: McGraw-Hill Higher Education.
- Julien, F., Magazine, M., 1990, Scheduling customer orders—an alternative production scheduling approach. *Journal of Manufacturing and Operations Management*, 3,177–199.
- Kjellsdotter Ivert, L., Jonsson, P., 2014, When should advanced planning and scheduling systems be used in sales and operations planning?. *International Journal of Operations & Production Management*, 34(10), 1338-1362.
- Kobu, B., 2014, Üretim Yönetimi, Beta Basım, 17. Baskı, İstanbul.
- Lee, I.S., 2013, Minimizing total tardiness for the order scheduling problem, *International Journal of Production Economics*, 144(1), pp.128-134.
- Lei, D. and Guo, X., 2015, A parallel neighborhood search for order acceptance and scheduling in flow shop environment. *International Journal of Production Economics*, 165, pp.12-18.
- Leung, J. Y., Li, H., Pinedo, M., Sriskandarajah, C., 2005a, Open shops with jobs overlap—revisited, *European Journal of Operational Research*, 163(2), 569-571.
- Leung, J.Y., Li, H., Pinedo, M., 2005b, Order scheduling models: an overview. In *Multidisciplinary scheduling: theory and applications*, p. 37-53,. Springer US.
- Leung, J.Y.T., Li, H., Pinedo, M., 2005c, Order scheduling in an environment with dedicated resources in parallel, *Journal of Scheduling*, 8(5), 355-386.
- Leung, J.Y.T., Li, H., Pinedo, M., 2006, Scheduling orders for multiple product types with due date related objectives, *European Journal of Operational Research*, 168(2), 370-389.
- Li, C. L., Ou, J., 2007, Coordinated scheduling of customer orders with decentralized machine locations, *IIE Transactions*, 39(9), 899-909.
- Lin, B. M., Kononov, A. V., 2007, Customer order scheduling to minimize the number of late jobs, *European Journal of Operational Research*, 183(2), 944-948.
- Lin, S.W. ve Ying, K.C., 2015. Order acceptance and scheduling to maximize total net revenue in permutation flowshops with weighted tardiness. *Applied Soft Computing*, 30, pp.462-474.
- Liu, C. H., 2009, Lot streaming for customer order scheduling problem in job shop environments, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 22(9), 890-907.
- Liu, C. H., 2010, A coordinated scheduling system for customer orders scheduling problem in job shop environments, *Expert Systems with Applications*, 37(12), 7831-7837.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ma, Y. and Jin, D., 2013. Concurrent Open-shop Scheduling Accurate Algorithm Research, *International Journal of u-and e-Service, Science and Technology*, 1(1), p.10.
- Maccarthy, B.L., Fernandes, F.C., 2000, A multi-dimensional classification of production systems for the design and selection of production planning and control systems, *Production Planning & Control*, 11(5), 481-496.
- Manne, A. S., 1960, On the job-shop scheduling problem, *Operations Research*, 8(2), 219-223.
- Mladenović, N., Hansen, P., 1997, Variable neighborhood search, *Computers & operations research*, 24(11), 1097-1100.
- Naderi, B., Gohari, S. and Yazdani, M., 2014, Hybrid flexible flowshop problems: Models and solution methods. *Applied Mathematical Modelling*, 38(24), pp.5767-5780.
- Nahmias, S., 1997, *Production and Operations Analysis*, Singapur, McGraw-Hill.
- Nawaz, M., Ensore Jr, E.E., Ham, I., 1983, A heuristic algorithm for the m-machine, n-job flow-shop sequencing problem, *Omega*, 11(1), 91-95.
- Ng, C. T., Cheng, T.C. E., Yuan, J.J., 2003, Concurrent open shop scheduling to minimize the weighted number of tardy jobs, *Journal of Scheduling*, 6(4), 405-412.
- Ng, C., Cheng, T., Yuan, J., 2002, Strong NP-hardness of the single machine multi-operation jobs total completion time scheduling problem, *Information Processing Letters*, 82, 187-191.
- Oğuz, C., Salman, F. S., Yalçın, Z. B., 2010, Order acceptance and scheduling decisions in make-to-order systems, *International Journal of Production Economics*, 125(1), 200-211.
- Özgüven, C., Özbakır, L., Yavuz, Y., 2010, Mathematical models for job-shop scheduling problems with routing and process plan flexibility, *Applied Mathematical Modelling*, 34(6), 1539-1548.
- Palmer, D. S., 1965, Sequencing jobs through a multi-stage process in the minimum total time—a quick method of obtaining a near optimum, *Journal of the Operational Research Society*, 16(1), 101-107.
- Pinedo, M. L., 2012, *Scheduling: theory, algorithms, and systems*, Springer Science & Business Media.
- Potts, C.N., Kovalyov, M. Y., 2000, Scheduling with batching: a review, *European Journal of Operational Research*, 120(2), 228-249.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Reisi-Nafchi, M. and Moslehi, G., 2015, A hybrid genetic and linear programming algorithm for two-agent order acceptance and scheduling problem, *Applied Soft Computing*, 33, pp.37-47.
- Roshanaei, V. (2012): Mathematical modelling and optimization of flexible job shop scheduling problem. *Elektronik Ortamda Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi*.<http://scholar.uwindsor.ca/etd/157>
- Ruiz, R., Şerifoğlu, F.S., Urlings, T., 2008, Modeling realistic hybrid flexible flowshop scheduling problems. *Computers& Operations Research*, 35(4), 1151-1175.
- Ruiz, R., Vázquez-Rodríguez, J.A., 2010, The hybrid flowshop scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 205(1), 1-18.
- Sawik, T, 2000, Mixed integer programming for scheduling flexible flowlines with limited intermediate buffers. *Mathematical and Computer Modelling*, 31(13), 39-52.
- Sawik, T., 2007, A multi-objective customer orders assignment and resource leveling in make-to-order manufacturing. *International Transactions in Operational Research*, 14(6), 491-508.
- Shi, Z., Huang, Z., & Shi, L., 2018, Customer order scheduling on batch processing machines with incompatible job families, *International Journal of Production Research*, 56(1-2), 795-808.
- Shobrys, D.E., White, D.C., 2000, Planning, scheduling and control systems: why can they not work together, *Computers & Chemical Engineering*, 24(2-7), 163-173.
- Sipper, D., Bulfin, R.L., 1998. *Production: planning, control, and integration*, Singapur: Mc Graw-Hill.
- Slotnick, S. A., 2011, Order acceptance and scheduling: A taxonomy and review, *European Journal of Operational Research*, 212(1), 1-11.
- Su, L. H., Chen, P.S., Chen, S.Y., 2013, Scheduling on parallel machines to minimise maximum lateness for the customer order problem, *International Journal of Systems Science*, 44(5), 926-936.
- Sung, C.S., Yoon, S. H., 1998, Minimizing total weighted completion time at a pre-assembly stage composed of two feeding machines, *International Journal of Production Economics*, 54(3), 247-255.
- Talbi, E.G., 2009, *Metaheuristics: from design to implementation (Vol. 74)*, John Wiley & Sons.
- Tekbaş, H. (2011). *Esnek Sipariş Tipi Üretim Sistemlerinde Müşteri Siparişlerinin Çizelgenmesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü)*.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Thörnblad, K., 2013, *Mathematical Optimization in Flexible Job Shop Scheduling: Modelling, Analysis, and Case Studies*. Elektronik Ortamda Yayınlanmış Doktora Tezi, Chalmers University of Technology.
- Vallada, E., Ruiz, R., Minella, G., 2008, Minimising total tardiness in the m-machine flowshop problem: A review and evaluation of heuristics and metaheuristics, *Computers & Operations Research*, 35(4), 1350-1373.
- Wagner, H. M., 1959, An integer linear-programming model for machine scheduling, *Naval Research Logistics Quarterly*, 6(2), 131-140.
- Wagneur, E., Sriskandarajah, C., 1993, Openshops with jobs overlap. *European Journal of Operational Research*, 71(3), 366-378.
- Wang, B., Guan, Z., Chen, Y., Shao, X., Jin, M. and Zhang, C., 2013. An assemble-to-order production planning with the integration of order scheduling and mixed-model sequencing, *Frontiers of Mechanical Engineering*, 8(2), pp.137-145.
- Xu, J., Wu, C. C., Yin, Y., Zhao, C., Chiou, Y. T., Lin, W. C., 2016, An order scheduling problem with position-based learning effect, *Computers & Operations Research*, 74, 175-186.
- Xu, X.; Ma, Y. ;Zhou, Z., Zhao, Y., 2013, Customer Order Scheduling on Unrelated Parallel Machines to Minimize Total Completion Time, *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 12(1), 244-257.
- Yan, M., Jin, D. 2013, Concurrent Open Shop Scheduling Accurate Algorithm Research. *International Journal of u-and e-Service, Science and Technology*, 6(5), 1-16.
- Yang, J., 2005, The complexity of customer order scheduling problems on parallel machines. *Computers& Operations Research*, 32(7), 1921-1939.
- Yang, J., 2011, Customer order scheduling in a two machine flowshop, *Management Science and Financial Engineering*, 17(1), 95-116.
- Yang, W.H., Liao, C.J., 1998, Batching and sequencing of jobs with order availability at a single facility, *International Journal of Systems Science*, 29(1), 13-20.
- Youssef, K. H., Van Delft, C., Dallery, Y., 2004, Efficient scheduling rules in a combined make-to-stock and make-to-order manufacturing system, *Annals of Operations Research*, 126(1-4), 103-134.

EK AÇIKLAMALAR

Ek Açıklama-A: Önerilen Matematiksel Modellere Ait GAMS Kodları

A.1. Pozisyon Tabanlı Modele Ait GAMS Kodları

A.2. Sıralama Tabanlı Modele Ait GAMS Kodları

A.3. Zaman İndeksli Modele Ait GAMS Kodları

Ek Açıklama-B: Küçük-Orta-Büyük Boyutlu Problemlerde Elde Edilen Sonuçlar

Ek Açıklama-C: Deneylerde Kullanılan Test Problemlerine Ait Bilgiler

Ek Açıklama-A: Önerilen Matematiksel Modellere Ait GAMS Kodları

A.1. Pozisyon Tabanlı Modele Ait GAMS Kodları

\$Ontext

Bu örnek problemde 2 aşamalı Akış Atölyesi ortamında sipariş çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Aşamalarda sırasıyla 2,2 makine vardır.

Sipariş sayısı 3'tür. İki ürün tipi vardır. Sipariş-1 de 3/2, Sip-2'de 2/4, Sip-3'de 4/5 ürün vardır. Amaç toplam ağırlıklı gecikmeyi enküçükmektir.

\$Offtext

Sets

i siparişler /i1*i3/

j Ürün Tipleri /j1*j2/

k Üretilecek Parçalar /k1*k10/

h Üretim Aşamaları /h1*h2/

m Makineler /m1*m5/

pos Makinelerdeki Sıralama Pozisyonları /pos1*pos300/;

Parameter

hm(h) h aşamasındaki makine sayısı /h1 2,h2 2/

w(i) siparişlerin öncelik katsayısı /i1 3, i2 5, i3 6/

duedate(i) Teslim Tarihleri /i1 4, i2 5, i3 6/;

Table SipType(i,j) Siparişlerdeki Ürün Sayıları

 j1 j2

i1 3 2

i2 2 4

i3 4 5;

```

Table ProcTimes(j,h,m) Her Parça Tipinin Makine İşlem Süresi
      m1 m2
j1.h1 3  2
j2.h1 4  3
j1.h2 3  5
j2.h2 4  3      ;

Scalar TotalPart Toplam Parça Sayısı;
TotalPart=sum((i,j),SipType(i,j));

Scalar BigM Çok Büyük Bir Sayı /10000/;

Set Proc(i,j,k,h) i siparişi j ürün tipindeki k parçası h'inci işlem;

Proc(i,j,k,h)$ (ord(k) le SipType(i,j))=yes;

Set hmpos(h,m,pos) h aşama m makinesi pos sırası ;

hmpos(h,m,pos)$ (ord(m)<=hm(h) and ord(pos)<=TotalPart)=yes;

Display Proc,hmpos

variables
x(i,j,k,h,m,pos) ijk parçasının h işlemi m makinesinde pos sırasında yapılıyorsa 1
z amaç fonksiyonu toplam ağırlıklı gecikme
OrCompTime(i) i siparişinin tamamlanma zamanı
PartCompTime(i,j,k) ijk parçasının tamamlanma zamanı (son işleminin bitiş zamanı)
OrTardiness(i) Siparişin Gecikme Süresi
OpStart(i,j,k,h) ijk parçasının h işleminin başlama zamanı
MchStart(h,m,pos) h aşamasındaki m makinesi pos sırasındaki işlemin başlama zamanı ;

Binary variable x;
free variable z;
Positive variable

```



```

Disjunctive1(i,j,k,h,m,pos)$(Proc(i,j,k,h)+hmpos(h,m,pos))..
    MchStart(h,m,pos)=l=OpStart(i,j,k,h)+ BigM*(1-x(i,j,k,h,m,pos));

Disjunctive2(i,j,k,h,m,pos)$(Proc(i,j,k,h)+hmpos(h,m,pos))..
    MchStart(h,m,pos)=g=OpStart(i,j,k,h)$(Proc(i,j,k,h))- BigM*(1-x(i,j,k,h,m,pos)) ;

PartCompletion(i,j,k,h)$(Proc(i,j,k,h) and ord(h)=card(h))..
    PartCompTime(i,j,k)=g=OpStart(i,j,k,h)$(Proc(i,j,k,h))+
sum((m,pos)$(hmpos(h,m,pos)),x(i,j,k,h,m,pos))*ProcTimes(j,h,m) ;

OrderCompletion(i,j,k)..
    OrCompTime(i)=g=PartCompTime(i,j,k);

OrderTardiness(i)..
    OrTardiness(i)=g= OrCompTime(i)-duedate(i);

OPTION RESLIM = 100 ;

Model OrderSchedule /all/;

Option MIP = CPLEX;

solve OrderSchedule using mip minimizing z;
Display OrCompTime.l,OrTardiness.l,x.l, z.l, MchStart.l,OpStart.l,PartCompTime.l

Parameter CompTime(i,j,k,h,m,pos);

Loop((i,j,k,h,m,pos)$(x.l(i,j,k,h,m,pos)>=1),CompTime(i,j,k,h,m,pos)=OpStart.l(i,j,k,h)+ProcTimes(j,h,m));

File shortPositionResultsOneStage20
/"F:\DoktoraTez\Yazilanlar\shortPositionResultsOneStage20.txt"/;

Put shortPositionResultsOneStage20 ;

```

```
Loop((i,j,k,h,m,pos)$(x.l(i,j,k,h,m,pos)>=1),put  
i.tl,j.tl,k.tl,h.tl,m.tl,pos.tl,OpStart.l(i,j,k,h),CompTime(i,j,k,h,m,pos),x.l(i,j,k,h,m,pos)/);
```

A.2. Sıralama Tabanlı Modele Ait GAMS Kodları

\$Ontext

Bu örnek problemde 3 aşamalı Akış Atölyesi ortamında sipariş çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Aşamalarda sırasıyla 1,2 makine vardır.

Sipariş sayısı 3'tür. İki ürün tipi vardır. Sipariş-1 de 1/1, Sip-2'de 1/1, Sip-3'de 1/1 ürün vardır. Amaç toplam ağırlıklı gecikmeyi enküçükmektir.

\$Offtext

Sets

```
i siparişler /i1*i3/  
j Ürün Tipleri /j1*j2/  
k Üretilecek Parçalar /k1*k10/  
h Üretim Aşamaları /h1*h2/  
m Makineler /m1*m5/ ;  
alias (i,ii)  
(j,jj)  
(k,kk);
```

Parameter

```
numofhm(h) h aşamasındaki makine sayısı /h1 1,h2 2/  
w(i) siparişlerin öncelik katsayısı /i1 3, i2 5, i3 6/  
duedate(i) Teslim Tarihleri /i1 4, i2 5, i3 6/;
```

Table SipType(i,j) Siparişlerdeki Ürün Sayıları

```
      j1 j2  
i1 1 1  
i2 1 1  
i3 1 1  
;
```

Table ProcTimes(j,h,m) Her Parça Tipinin Makine İşlem Süresi

```
      m1 m2  
j1.h1 3  
j2.h1 4  
j1.h2 3 5
```

```

j2.h2 4 3 ;

Scalar TotalPart Toplam Parça Sayısı;
TotalPart=sum((i,j),SipType(i,j));

Scalar BigM Çok Büyük Bir Sayı /10000/;

Set Proc(i,j,k,h) i siparişi j ürün tipindeki k parçası h'ıncı işlem;

Proc(i,j,k,h)$ (ord(k) le SipType(i,j))=yes;

Set SamePart(i,j,k,ii,jj,kk,h,m);
  SamePart(i,j,k,ii,jj,kk,h,m)$ (ord(i)=ord(ii) and ord(j)=ord(jj) and ord(k)=ord(kk))=yes

Set DifPart(i,j,k,ii,jj,kk,h,m);
  DifPart(i,j,k,ii,jj,kk,h,m)$ (not SamePart(i,j,k,ii,jj,kk,h,m))=yes

Set hm(h,m) h aşama m makinesi ;

hm(h,m)$ (ord(m)<=numofhm(h))=yes;

Display Proc,hm,SamePart, DifPart

variables
x(i,j,k,ii,jj,kk,h) ijk parçası iijjkk parçasından hemen sonra m makinesinde yapılıyorsa 1
y(i,j,k,h,m) ijk parçasının h işlemi m makinesinde yapılıyorsa 1
z amaç fonksiyonu toplam ağırlıklı gecikme
OrCompTime(i) i siparişinin tamamlanma zamanı
PartCompTime(i,j,k) ijk parçasının tamamlanma zamanı (son işleminin bitiş zamanı)
OrTardiness(i) Siparişin Gecikme Süresi
OpStart(i,j,k,h) ijk parçasının h işleminin başlama zamanı ;

Binary variable x,y;
free variable z;
Positive variable

```

OrCompTime
PartCompTime
OrTardiness
OpStart ;

Equations

Objective Toplam Ağırlıklı Gecikme
EachProcessMustAssign(i,j,k,h) Her işlem mutlaka bir makineye atanmalıdır(1).

PartProcOrder(i,j,k,h) Parçanın aşamalardaki işlem sırası korunmalıdır.(3)
Disjunctive1(i,j,k,ii,jj,kk,h,m) Makine boşken iş gelirse hemen işlenmelidir. (5)
Disjunctive2(i,j,k,ii,jj,kk,h,m) Gelen iş varken makine boşta beklememelidir. (6)
PartCompletion(i,j,k,h) Parçanın tamamlanma zamanı (7)
OrderCompletion(i,j,k) Siparişin tamamlanma zamanı (8)
OrderTardiness(i) Siparişin gecikmesi (9) ;

Objective..

$z=e=\sum(i,w(i)*OrTardiness(i))$;

EachProcessMustAssign(i,j,k,h)\$Proc(i,j,k,h)..
 $\sum(m$(hm(h,m)), y(i,j,k,h,m))=e=1$;

PartProcOrder(i,j,k,h+1)\$ (Proc(i,j,k,h))..
 $OpStart(i,j,k,h+1)=g= OpStart(i,j,k,h)+ \sum(m$(hm(h,m)), y(i,j,k,h,m)*ProcTimes(j,h,m))$;

Disjunctive1(i,j,k,ii,jj,kk,h,m)\$DifPart(i,j,k,ii,jj,kk,h,m)..
 $BigM*(2+x(i,j,k,ii,jj,kk,h)-y(i,j,k,h,m)-y(ii,jj,kk,h,m))+OpStart(i,j,k,h)$Proc(i,j,k,h)-OpStart(ii,jj,kk,h)$Proc(i,j,k,h)=g=ProcTimes(jj,h,m)$;

Disjunctive2(i,j,k,ii,jj,kk,h,m)\$DifPart(i,j,k,ii,jj,kk,h,m)..
 $BigM*(3-x(i,j,k,ii,jj,kk,h)-y(i,j,k,h,m)-y(ii,jj,kk,h,m))+ OpStart(ii,jj,kk,h)$Proc(i,j,k,h)-OpStart(i,j,k,h)$Proc(i,j,k,h)=g= ProcTimes(j,h,m)$;

```

PartCompletion(i,j,k,h)$(Proc(i,j,k,h) and ord(h)=card(h))..
  PartCompTime(i,j,k)=g=OpStart(i,j,k,h)+ sum(m,y(i,j,k,h,m)*ProcTimes(j,h,m)) ;

OrderCompletion(i,j,k)..
  OrCompTime(i)=g=PartCompTime(i,j,k);

OrderTardiness(i)..
  OrTardiness(i)=g= OrCompTime(i)-duedate(i);

OPTION RESLIM = 100
  mip=cplex ;

Model OrderSchedule /all/;
solve OrderSchedule using mip minimizing z;
Display OrCompTime.l,OrTardiness.l,x.l, z.l,y.l,OpStart.l,PartCompTime.l

Parameter CompTime(i,j,k,h,m), MyStart(i,j,k,h,m);

Loop((i,j,k,h,m)$(y.l(i,j,k,h,m)>=1),CompTime(i,j,k,h,m)=OpStart.l(i,j,k,h)+ProcTimes(j,h,m));

File ShortPrecedenceResults1stg
/"F:\DoktoraTez\Yazilanlar\ShortPrecedenceResults1stg.txt"/;

Put ShortPrecedenceResults1stg ;

Loop((i,j,k,h,m)$(y.l(i,j,k,h,m)>=1),put
i.tl,j.tl,k.tl,h.tl,m.tl,OpStart.l(i,j,k,h),CompTime(i,j,k,h,m),y.l(i,j,k,h,m)/);

```

A.3. Zaman İndeksli Modele Ait GAMS Kodları

\$Ontext

Bu örnek problemde 2 aşamalı Akış Atölyesi ortamında sipariş çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Aşamalarda sırasıyla 2,2 makine vardır.

Sipariş sayısı 3'tür. İki ürün tipi vardır. Sipariş-1 de 1/1, Sip-2'de 1/1, Sip-3'de 1/1 ürün vardır.

Amaç toplam ağırlıklı gecikmeyi enküçükmektir.

\$Offtext

Sets

i siparişler /i1*i3/

j Ürün Tipleri /j1*j2/

k Üretilecek Parçalar /k1*k10/

h Üretim Aşamaları /h1*h2/

m Makineler /m1*m5/

u İşlerin atanabileceği zaman periyotları /u1*u40/;

Parameter

hmch(h) h aşamasındaki makine sayısı /h1 2, h2 2/

w(i) siparişlerin öncelik katsayısı /i1 3, i2 5, i3 6/

duedate(i) Teslim Tarihleri /i1 4, i2 5, i3 6/;

Table SipType(i,j) Siparişlerdeki Ürün Sayıları

	j1	j2
i1	1	1
i2	1	1
i3	1	1

;

Table ProcTimes(j,h,m) Her Parça Tipinin Makine İşlem Süresi

	m1	m2
j1.h1	3	2
j2.h1	4	3
j1.h2	3	5
j2.h2	4	3

;


```

Scalar TotalPart Toplam Parça Sayısı;
TotalPart=sum((i,j),SipType(i,j));

Scalar BigM Çok Büyük Bir Sayı /10000/;

Set PartStage(i,j,k,h) i siparişi j ürün tipindeki k parçası h'ıncı işlem;

    PartStage(i,j,k,h)$ (ord(k) le SipType(i,j))=yes;

Scalar TotalProcTime Toplam İşlem Süresi;
TotalProcTime=sum((i,j,k,h,m)$ (PartStage(i,j,k,h)), ProcTimes(j,h,m));

Set v(u) Planlama Ufku Sınırı ;
v(u)$ (ord(u)<=TotalProcTime)=yes;

Set hmv(h,m,u) h aşama m makinesi u zaman adımı ;

hmv(h,m,u)$ (v(u) and ord(m)<=hmch(h))=yes;

Alias (u,mu,nu);
alias(i,ii),(j,jj),(k,kk);
set newpart(ii,jj,kk);
    newpart(ii,jj,kk)$ (ord(kk) le SipType(ii,jj))=yes;
Parameter TheLastAssignableTimeStep(j,h,m);
    TheLastAssignableTimeStep(j,h,m)=TotalProcTime-ProcTimes(j,h,m);

Display PartStage,TotalProcTime,hmv,TheLastAssignableTimeStep;

variables
x(i,j,k,h,m,u) ijk parçasının h işlemi m makinesinde u-1 ve u zaman aralığında yapılıyorsa 1
z amaç fonksiyonu toplam ağırlıklı gecikme
PartCompTime(i,j,k) ijk parçasının tamamlanma zamanı (son işleminin bitiş zamanı)
OrCompTime(i) i siparişinin tamamlanma zamanı
OrTardiness(i) Siparişin Gecikme Süresi ;

```

Binary variable x;
 free variable z;
 Positive variable
 OrCompTime
 PartCompTime
 OrTardiness ;

Equations

Objective Toplam Ağırlıklı Gecikme
 EachPartProcessMustAssign(i,j,k,h) Her işlem mutlaka bir makineye atanmalıdır.(1).
 OnlyOneProcForEachTimeStep(i,j,k,h) Bir işlem yalnız bir makineye atanmalıdır. (2)
 ProcessPrecedence(i,j,k,h) Parçanın aşamalardaki işlem sırası korunmalıdır.(3)
 NoOverlap(h,m,u) Makine boşken iş yüklenmelidir.(4)
 PartCompletion(i,j,k,h) Parçanın tamamlanma zamanı (7)
 OrderCompletion(i,j,k) Siparişin tamamlanma zamanı (8)
 OrderTardiness(i) Siparişin gecikmesi (9)
 TotalAssign ;

Objective..

z=e=sum(i,w(i)*OrTardiness(i)) ;

EachPartProcessMustAssign(i,j,k,h)\$PartStage(i,j,k,h)..
 sum((m,u)\$ (hmv(h,m,u) and ord(u)<=TheLastAssignableTimeStep(j,h,m)), x(i,j,k,h,m,u))=e=1;

OnlyOneProcForEachTimeStep(i,j,k,h)\$PartStage(i,j,k,h)..

sum((m,mu), x(i,j,k,h,m,mu))=1=1;

NoOverlap(h,m,u)\$hmv(h,m,u)..

sum((i,j,k,mu)\$ (ord(mu)<=ord(u) and ord(mu)>=ord(u)-ProcTimes(j,h,m)+1), x(i,j,k,h,m,mu))=1=1;

ProcessPrecedence(i,j,k,h+1)\$ (PartStage(i,j,k,h)) ..

sum((m,u)\$ (hmv(h,m,u)), x(i,j,k,h+1,m,u) * (ord(u)-1))=g=

sum((m,u)\$ (hmv(h,m,u)), x(i,j,k,h,m,u) * (ord(u)-1+ProcTimes(j,h,m)));

```

PartCompletion(i,j,k,h)$ (PartStage(i,j,k,h) and ord(h)=card(h))..
  PartCompTime(i,j,k)=g= sum((m,u)$hmv(h,m,u),x(i,j,k,h,m,u)*(ord(u)-1+ProcTimes(j,h,m))) ;

TotalAsign..
  sum((i,j,k,h,m,u)$PartStage(i,j,k,h),x(i,j,k,h,m,u))=l=TotalPart*card(h);

OrderCompletion(i,j,k)..
  OrCompTime(i)=g=PartCompTime(i,j,k);

OrderTardiness(i)..
  OrTardiness(i)=g= OrCompTime(i)-duedate(i);

OPTION RESLIM = 500 ;

Model OrderSchedule /all/;
Option MIP = CPLEX;

solve OrderSchedule using mip minimizing z;
Display x.l, z.l,OrTardiness.l,OrCompTime.l,PartCompTime.l

Parameter CompTime(i,j,k,h,m), MyStart(i,j,k,h,m);

Loop((i,j,k,h,m,u)$ (x.l(i,j,k,h,m,u)>=1),CompTime(i,j,k,h,m)=ord(u)-
1+ProcTimes(j,h,m);MyStart(i,j,k,h,m)=ord(u)-1);

File shortTimeStepResults20stg
/"F:\DoktoraTez\Yazilanlar\shortTimeStepResults20stg.txt"/;

Put shortTimeStepResults20stg ;

Loop((i,j,k,h,m,u)$ (x.l(i,j,k,h,m,u)>=1),put
i.tl,j.tl,k.tl,h.tl,m.tl,u.tl,MyStart(i,j,k,h,m),CompTime(i,j,k,h,m),x.l(i,j,k,h,m,u)/);

```

Ek Açıklama-B: Küçük-Orta-Büyük Boyutlu Problemlerde Elde Edilen Sonuçlar

Küçük Boyutlu Problemlerde Elde Edilen Eniyi Amaç Fonksiyonu Değerleri

SN	PN	Tür	İS	AS	MS	DKA	NEH-0	NEH/DKA-0	NEH-1	NEH/DKA-1	NEH-2	NEH/DKA-2	NEH-3	NEH/DKA-3	NEH-4	NEH/DKA-4
1	73	Küçük	12	2	5	6	23	6	24	<u>0</u>	19	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	24	<u>0</u>
2	13	Küçük	21	4	3	41	52	32	122	16	135	13	126	13	122	<u>6</u>
3	79	Küçük	24	4	5	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
4	8	Küçük	25	2	5	26	68	11	88	11	83	9	72	6	88	<u>6</u>
5	76	Küçük	25	4	5	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
6	70	Küçük	27	2	5	18	68	<u>12</u>	146	<u>12</u>	149	<u>12</u>	118	<u>12</u>	146	<u>12</u>
7	72	Küçük	27	2	5	<u>0</u>	11	<u>0</u>	22	<u>0</u>	12	<u>0</u>	15	<u>0</u>	22	<u>0</u>
8	25	Küçük	28	2	5	61	89	60	81	<u>53</u>	84	<u>53</u>	115	<u>53</u>	81	<u>53</u>
9	64	Küçük	28	4	3	49	199	21	184	13	228	12	199	<u>11</u>	184	12
10	18	Küçük	29	4	5	32	84	23	99	19	65	12	76	<u>8</u>	99	9
11	69	Küçük	29	4	5	3	38	<u>0</u>	52	<u>0</u>	48	<u>0</u>	62	<u>0</u>	52	<u>0</u>
12	51	Küçük	31	2	3	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	12	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	12	<u>0</u>
13	10	Küçük	32	4	3	177	379	146	311	148	268	142	341	<u>88</u>	311	<u>88</u>
14	27	Küçük	32	2	5	69	81	45	51	42	60	<u>36</u>	63	36	51	<u>36</u>
15	43	Küçük	32	4	3	29	173	22	186	18	196	<u>18</u>	173	<u>18</u>	186	20
16	19	Küçük	36	4	5	<u>0</u>	53	<u>0</u>	77	<u>0</u>	72	<u>0</u>	36	<u>0</u>	74	<u>0</u>
17	16	Küçük	40	4	5	24	31	8	26	8	19	3	25	<u>0</u>	32	<u>0</u>
18	17	Küçük	40	4	5	8	52	<u>0</u>	133	<u>0</u>	98	<u>0</u>	102	<u>0</u>	150	<u>0</u>
19	6	Küçük	41	2	5	233	402	203	304	193	335	196	337	<u>192</u>	300	195
20	23	Küçük	41	2	3	223	297	209	234	199	212	<u>195</u>	305	<u>195</u>	210	<u>195</u>
21	39	Küçük	42	4	5	87	164	69	173	69	141	66	182	63	110	<u>58</u>
22	36	Küçük	46	4	5	6	12	<u>0</u>	14	<u>0</u>	14	<u>0</u>	8	<u>0</u>	16	<u>0</u>

Küçük Boyutlu Problemlerde Elde Edilen Eniyi Amaç Fonksiyonu Değerleri

SN	PN	Tür	İS	AS	MS	DKA	NEH-0	NEH/DKA-0	NEH-1	NEH/DKA-1	NEH-2	NEH/DKA-2	NEH-3	NEH/DKA-3	NEH-4	NEH/DKA-4
23	47	Küçük	46	2	3	4	52	<u>0</u>	80	<u>0</u>	80	<u>0</u>	60	<u>0</u>	84	<u>0</u>
24	57	Küçük	47	2	5	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	44	<u>0</u>	51	<u>0</u>	12	<u>0</u>	30	<u>0</u>
25	4	Küçük	48	2	3	117	174	90	176	90	179	86	200	86	154	<u>71</u>
26	48	Küçük	50	2	3	61	225	57	156	50	169	<u>42</u>	199	45	189	45
27	30	Küçük	51	4	3	342	340	249	333	232	355	230	478	228	283	<u>224</u>
28	58	Küçük	51	2	5	80	214	46	111	41	195	34	238	<u>17</u>	148	<u>17</u>
29	29	Küçük	52	2	5	416	533	387	551	343	544	342	602	391	547	347
30	42	Küçük	52	4	3	<u>0</u>	36	<u>0</u>	102	<u>0</u>	105	<u>0</u>	81	<u>0</u>	114	<u>0</u>
31	61	Küçük	53	4	3	339	767	175	837	173	974	135	677	<u>115</u>	872	<u>115</u>
32	75	Küçük	55	4	5	16	203	14	274	8	258	7	304	<u>0</u>	326	5
33	33	Küçük	57	4	3	408	410	280	324	274	316	<u>260</u>	440	<u>260</u>	312	<u>260</u>
34	2	Küçük	59	2	3	622	645	<u>333</u>	737	398	815	383	761	357	745	344
35	37	Küçük	59	4	5	151	224	81	240	79	272	78	264	<u>76</u>	256	<u>76</u>
36	41	Küçük	62	4	3	<u>0</u>	46	<u>0</u>	21	<u>0</u>	17	<u>0</u>	47	<u>0</u>	14	<u>0</u>
37	7	Küçük	63	2	5	242	298	106	451	124	312	<u>75</u>	387	114	511	91
38	65	Küçük	63	4	5	<u>0</u>	90	<u>0</u>	94	<u>0</u>	79	<u>0</u>	94	0	135	<u>0</u>
39	68	Küçük	65	4	5	50	146	<u>0</u>	275	27	251	19	242	13	186	<u>0</u>
40	78	Küçük	65	4	5	136	321	109	495	92	494	92	491	92	470	95
41	34	Küçük	66	4	3	288	334	211	242	210	228	173	316	171	206	169
42	54	Küçük	66	2	3	277	534	180	459	176	640	176	408	142	435	142
43	66	Küçük	66	4	5	<u>0</u>	117	<u>0</u>	128	<u>0</u>	227	<u>0</u>	122	<u>0</u>	176	<u>0</u>
44	11	Küçük	68	4	3	728	629	498	537	411	551	391	604	<u>377</u>	560	385
45	63	Küçük	68	4	3	27	193	2	319	1	196	<u>0</u>	203	<u>0</u>	289	<u>0</u>
46	1	Küçük	69	2	3	365	558	312	569	260	414	244	598	229	493	<u>225</u>
47	15	Küçük	71	4	5	241	366	79	372	<u>73</u>	423	143	446	141	365	106

Küçük Boyutlu Problemlerde Elde Edilen Eniyi Amaç Fonksiyonu Değerleri

SN	PN	Tür	İS	AS	MS	DKA	NEH-0	NEH/DKA-0	NEH-1	NEH/DKA-1	NEH-2	NEH/DKA-2	NEH-3	NEH/DKA-3	NEH-4	NEH/DKA-4
48	32	Küçük	75	4	3	673	726	522	651	516	560	506	681	502	613	<u>498</u>
49	50	Küçük	79	2	3	350	378	217	714	212	739	202	669	<u>200</u>	720	<u>200</u>
50	62	Küçük	79	4	3	96	24	21	156	12	167	11	58	<u>0</u>	128	<u>0</u>
51	24	Küçük	80	2	3	545	748	463	881	<u>454</u>	926	457	1.011	465	901	458
52	3	Küçük	83	2	3	814	801	707	786	656	792	658	941	595	813	<u>549</u>
53	0	Küçük	84	2	3	1.185	1.532	1.140	2.103	1.113	2.336	1.096	2.077	1.004	2.194	<u>984</u>
54	52	Küçük	84	2	3	986	761	706	617	603	602	602	797	<u>388</u>	628	427
55	67	Küçük	87	4	5	129	115	<u>0</u>	536	<u>0</u>	448	<u>0</u>	382	<u>0</u>	432	<u>0</u>
56	5	Küçük	89	2	5	590	661	448	520	427	582	382	732	<u>371</u>	683	401
57	21	Küçük	89	2	3	1.221	1.446	1.097	1.303	1.074	1.323	1.032	1.375	<u>1.020</u>	1.342	1.033
58	55	Küçük	91	2	5	38	<u>0</u>	<u>0</u>	197	<u>0</u>	172	<u>0</u>	36	<u>0</u>	124	<u>0</u>
59	53	Küçük	92	2	3	689	861	579	943	452	941	404	974	378	931	<u>361</u>
60	9	Küçük	94	2	5	500	413	220	639	220	574	214	602	216	765	<u>211</u>
61	46	Küçük	94	2	3	462	562	443	565	404	626	392	701	377	587	<u>349</u>
62	44	Küçük	96	4	3	137	232	102	449	75	438	53	519	32	446	<u>27</u>
Ort.			55,7			232,5	306,3	173,2	344,0	162,6	348,5	156,2	357,8	146,7	346,4	143,6

Küçük Boyutlu Problemlere Ait GSD Değerleri

SN	PN	Tür	İS	AS	MS	DKA	NEH-0	NEH/DKA-0	NEH-1	NEH/DKA-1	NEH-2	NEH/DKA-2	NEH-3	NEH/DKA-3	NEH-4	NEH/DKA-4
1	73	Küçük	12	2	5	25,0	95,8	25,0	100,0	<u>0,0</u>	79,2	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	100,0	<u>0,0</u>
2	13	Küçük	21	4	3	27,1	35,7	20,2	89,9	7,8	100,0	5,4	93,0	5,4	89,9	<u>0,0</u>
3	79	Küçük	24	4	5	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>
4	8	Küçük	25	2	5	24,4	75,6	6,1	100,0	6,1	93,9	3,7	80,5	<u>0,0</u>	100,0	<u>0,0</u>
5	76	Küçük	25	4	5	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>
6	70	Küçük	27	2	5	4,4	40,9	<u>0,0</u>	97,8	<u>0,0</u>	100,0	<u>0,0</u>	77,4	<u>0,0</u>	97,8	<u>0,0</u>
7	72	Küçük	27	2	5	<u>0,0</u>	50,0	<u>0,0</u>	100,0	<u>0,0</u>	54,5	<u>0,0</u>	68,2	<u>0,0</u>	100,0	<u>0,0</u>
8	25	Küçük	28	2	5	12,9	58,1	11,3	45,2	<u>0,0</u>	50,0	<u>0,0</u>	100,0	<u>0,0</u>	45,2	<u>0,0</u>
9	64	Küçük	28	4	3	17,5	86,6	4,6	79,7	0,9	100,0	0,5	86,6	<u>0,0</u>	79,7	0,5
10	18	Küçük	29	4	5	26,4	83,5	16,5	100,0	12,1	62,6	4,4	74,7	<u>0,0</u>	100,0	1,1
11	69	Küçük	29	4	5	4,8	61,3	<u>0,0</u>	83,9	<u>0,0</u>	77,4	<u>0,0</u>	100,0	<u>0,0</u>	83,9	<u>0,0</u>
12	51	Küçük	31	2	3	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	100,0	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	100,0	<u>0,0</u>
13	10	Küçük	32	4	3	30,6	100,0	19,9	76,6	20,6	61,9	18,6	86,9	<u>0,0</u>	76,6	<u>0,0</u>
14	27	Küçük	32	2	5	73,3	100,0	20,0	33,3	13,3	53,3	<u>0,0</u>	60,0	<u>0,0</u>	33,3	<u>0,0</u>
15	43	Küçük	32	4	3	6,2	87,1	2,2	94,4	<u>0,0</u>	100,0	<u>0,0</u>	87,1	<u>0,0</u>	94,4	1,1
16	19	Küçük	36	4	5	<u>0,0</u>	68,8	<u>0,0</u>	100,0	<u>0,0</u>	93,5	<u>0,0</u>	46,8	<u>0,0</u>	96,1	<u>0,0</u>
17	16	Küçük	40	4	5	75,0	96,9	25,0	81,3	25,0	59,4	9,4	78,1	<u>0,0</u>	100,0	<u>0,0</u>
18	17	Küçük	40	4	5	5,3	34,7	<u>0,0</u>	88,7	<u>0,0</u>	65,3	<u>0,0</u>	68,0	<u>0,0</u>	100,0	<u>0,0</u>
19	6	Küçük	41	2	5	19,5	100,0	5,2	53,3	0,5	68,1	1,9	69,0	<u>0,0</u>	51,4	1,4
20	23	Küçük	41	2	3	25,5	92,7	12,7	35,5	3,6	15,5	<u>0,0</u>	100,0	<u>0,0</u>	13,6	<u>0,0</u>
21	39	Küçük	42	4	5	23,4	85,5	8,9	92,7	8,9	66,9	6,5	100,0	4,0	41,9	<u>0,0</u>
22	36	Küçük	46	4	5	37,5	75,0	<u>0,0</u>	87,5	<u>0,0</u>	87,5	<u>0,0</u>	50,0	<u>0,0</u>	100,0	<u>0,0</u>
23	47	Küçük	46	2	3	4,8	61,9	<u>0,0</u>	95,2	<u>0,0</u>	95,2	<u>0,0</u>	71,4	<u>0,0</u>	100,0	<u>0,0</u>
24	57	Küçük	47	2	5	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	86,3	<u>0,0</u>	100,0	<u>0,0</u>	23,5	<u>0,0</u>	58,8	<u>0,0</u>
25	4	Küçük	48	2	3	35,7	79,8	14,7	81,4	14,7	83,7	11,6	100,0	11,6	64,3	<u>0,0</u>

Küçük Boyutlu Problemlere Ait GSD Değerleri

SN	PN	Tür	İS	AS	MS	DKA	NEH-0	NEH/DKA-0	NEH-1	NEH/DKA-1	NEH-2	NEH/DKA-2	NEH-3	NEH/DKA-3	NEH-4	NEH/DKA-4
26	48	Küçük	50	2	3	10,4	100,0	8,2	62,3	4,4	69,4	<u>0,0</u>	85,8	1,6	80,3	1,6
27	30	Küçük	51	4	3	46,5	45,7	9,8	42,9	3,1	51,6	2,4	100,0	1,6	23,2	<u>0,0</u>
28	58	Küçük	51	2	5	28,5	89,1	13,1	42,5	10,9	80,5	7,7	100,0	<u>0,0</u>	59,3	<u>0,0</u>
29	29	Küçük	52	2	5	28,5	73,5	17,3	80,4	0,4	77,7	<u>0,0</u>	100,0	18,8	78,8	1,9
30	42	Küçük	52	4	3	<u>0,0</u>	31,6	<u>0,0</u>	89,5	<u>0,0</u>	92,1	<u>0,0</u>	71,1	<u>0,0</u>	100,0	<u>0,0</u>
31	61	Küçük	53	4	3	26,1	75,9	7,0	84,1	6,8	100,0	2,3	65,4	<u>0,0</u>	88,1	<u>0,0</u>
32	75	Küçük	55	4	5	4,9	62,3	4,3	84,0	2,5	79,1	2,1	93,3	<u>0,0</u>	100,0	1,5
33	33	Küçük	57	4	3	82,2	83,3	11,1	35,6	7,8	31,1	<u>0,0</u>	100,0	<u>0,0</u>	28,9	<u>0,0</u>
34	2	Küçük	59	2	3	60,0	64,7	<u>0,0</u>	83,8	13,5	100,0	10,4	88,8	5,0	85,5	2,3
35	37	Küçük	59	4	5	38,3	75,5	2,6	83,7	1,5	100,0	1,0	95,9	<u>0,0</u>	91,8	<u>0,0</u>
36	41	Küçük	62	4	3	<u>0,0</u>	97,9	<u>0,0</u>	44,7	<u>0,0</u>	36,2	<u>0,0</u>	100,0	<u>0,0</u>	29,8	<u>0,0</u>
37	7	Küçük	63	2	5	38,3	51,1	7,1	86,2	11,2	54,4	<u>0,0</u>	71,6	8,9	100,0	3,7
38	65	Küçük	63	4	5	<u>0,0</u>	66,7	<u>0,0</u>	69,6	<u>0,0</u>	58,5	<u>0,0</u>	69,6	<u>0,0</u>	100,0	<u>0,0</u>
39	68	Küçük	65	4	5	18,2	53,1	<u>0,0</u>	100,0	9,8	91,3	6,9	88,0	4,7	67,6	<u>0,0</u>
40	78	Küçük	65	4	5	10,9	56,8	4,2	100,0	<u>0,0</u>	99,8	<u>0,0</u>	99,0	<u>0,0</u>	93,8	0,7
41	34	Küçük	66	4	3	72,1	100,0	25,5	44,2	24,8	35,8	2,4	89,1	1,2	22,4	<u>0,0</u>
42	54	Küçük	66	2	3	27,1	78,7	7,6	63,7	6,8	100,0	6,8	53,4	<u>0,0</u>	58,8	<u>0,0</u>
43	66	Küçük	66	4	5	<u>0,0</u>	51,5	<u>0,0</u>	56,4	<u>0,0</u>	100,0	<u>0,0</u>	53,7	<u>0,0</u>	77,5	<u>0,0</u>
44	11	Küçük	68	4	3	100,0	71,8	34,5	45,6	9,7	49,6	4,0	64,7	<u>0,0</u>	52,1	2,3
45	63	Küçük	68	4	3	8,5	60,5	0,6	100,0	0,3	61,4	<u>0,0</u>	63,6	<u>0,0</u>	90,6	<u>0,0</u>
46	1	Küçük	69	2	3	37,5	89,3	23,3	92,2	9,4	50,7	5,1	100,0	1,1	71,8	<u>0,0</u>
47	15	Küçük	71	4	5	45,0	78,6	1,6	80,2	<u>0,0</u>	93,8	18,8	100,0	18,2	78,3	8,8
48	32	Küçük	75	4	3	76,8	100,0	10,5	67,1	7,9	27,2	3,5	80,3	1,8	50,4	<u>0,0</u>
49	50	Küçük	79	2	3	27,8	33,0	3,2	95,4	2,2	100,0	0,4	87,0	<u>0,0</u>	96,5	<u>0,0</u>
50	62	Küçük	79	4	3	57,5	14,4	12,6	93,4	7,2	100,0	6,6	34,7	<u>0,0</u>	76,6	<u>0,0</u>

Küçük Boyutlu Problemlere Ait GSD Değerleri

SN	PN	Tür	İS	AS	MS	DKA	NEH-0	NEH/DKA-0	NEH-1	NEH/DKA-1	NEH-2	NEH/DKA-2	NEH-3	NEH/DKA-3	NEH-4	NEH/DKA-4
51	24	Küçük	80	2	3	16,3	52,8	1,6	76,7	<u>0,0</u>	84,7	0,5	100,0	2,0	80,3	0,7
52	3	Küçük	83	2	3	67,6	64,3	40,3	60,5	27,3	62,0	27,8	100,0	11,7	67,3	<u>0,0</u>
53	0	Küçük	84	2	3	14,9	40,5	11,5	82,8	9,5	100,0	8,3	80,8	1,5	89,5	<u>0,0</u>
54	52	Küçük	84	2	3	100,0	62,4	53,2	38,3	36,0	35,8	35,8	68,4	<u>0,0</u>	40,1	6,5
55	67	Küçük	87	4	5	24,1	21,5	<u>0,0</u>	100,0	<u>0,0</u>	83,6	<u>0,0</u>	71,3	<u>0,0</u>	80,6	<u>0,0</u>
56	5	Küçük	89	2	5	60,7	80,3	21,3	41,3	15,5	58,4	3,0	100,0	<u>0,0</u>	86,4	8,3
57	21	Küçük	89	2	3	47,2	100,0	18,1	66,4	12,7	71,1	2,8	83,3	<u>0,0</u>	75,6	3,1
58	55	Küçük	91	2	5	19,3	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	100,0	<u>0,0</u>	87,3	<u>0,0</u>	18,3	<u>0,0</u>	62,9	<u>0,0</u>
59	53	Küçük	92	2	3	53,5	81,6	35,6	94,9	14,8	94,6	7,0	100,0	2,8	93,0	<u>0,0</u>
60	9	Küçük	94	2	5	52,2	36,5	1,6	77,3	1,6	65,5	0,5	70,6	0,9	100,0	<u>0,0</u>
61	46	Küçük	94	2	3	32,1	60,5	26,7	61,4	15,6	78,7	12,2	100,0	8,0	67,6	<u>0,0</u>
62	44	Küçük	96	4	3	22,4	41,7	15,2	85,8	9,8	83,5	5,3	100,0	1,0	85,2	<u>0,0</u>
Ort.			55,7			29,6	63,2	10,0	74,4	6,4	71,2	4,0	75,3	1,8	73,5	0,7

Küçük Boyutlu Problemlerde Elde Edilen Ortalama Amaç Fonksiyonu Değerleri (Z_{ort})

SN	PN	Tür	İS	AS	MS	DKA	NEH-0	NEH/DKA-0	NEH-1	NEH/DKA-1	NEH-2	NEH/DKA-2	NEH-3	NEH/DKA-3	NEH-4	NEH/DKA-4
1	73	Küçük	12	2	5	6,0	23,0	6,0	24,0	6,0	19,0	5,9	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	24,0	6,6
2	13	Küçük	21	4	3	75,8	52,0	40,7	122,0	30,7	135,0	21,3	126,0	20,3	122,0	<u>16,3</u>
3	79	Küçük	24	4	5	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>
4	8	Küçük	25	2	5	51,9	68,0	34,2	88,0	33,3	83,0	34,0	72,0	29,8	88,0	<u>28,8</u>
5	76	Küçük	25	4	5	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>
6	70	Küçük	27	2	5	32,6	68,0	26,5	146,0	24,1	149,0	28,9	118,0	26,2	146,0	<u>19,9</u>
7	72	Küçük	27	2	5	7,2	11,0	5,9	22,0	5,1	12,0	<u>4,8</u>	15,0	<u>4,8</u>	22,0	4,9
8	25	Küçük	28	2	5	80,8	89,0	76,5	81,0	72,0	84,0	72,4	115,0	76,4	81,0	<u>71,6</u>
9	64	Küçük	28	4	3	77,5	199,0	45,5	184,0	49,4	228,0	52,0	199,0	34,9	184,0	<u>33,0</u>
10	18	Küçük	29	4	5	45,4	84,0	36,9	99,0	42,3	65,0	33,6	76,0	<u>28,6</u>	99,0	28,7
11	69	Küçük	29	4	5	23,1	38,0	12,3	52,0	8,6	48,0	<u>3,7</u>	62,0	23,3	52,0	18,2
12	51	Küçük	31	2	3	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	12,0	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	12,0	<u>0,0</u>
13	10	Küçük	32	4	3	223,8	379,0	181,9	311,0	173,3	268,0	167,1	341,0	152,5	311,0	<u>145,2</u>
14	27	Küçük	32	2	5	79,2	81,0	62,4	51,0	49,2	60,0	48,3	63,0	47,4	51,0	<u>44,7</u>
15	43	Küçük	32	4	3	47,9	173,0	38,9	186,0	32,9	196,0	63,7	173,0	<u>30,1</u>	186,0	52,2
16	19	Küçük	36	4	5	8,0	53,0	<u>2,1</u>	77,0	30,9	72,0	27,6	36,0	21,8	74,0	29,6
17	16	Küçük	40	4	5	30,9	31,0	21,2	26,0	18,6	19,0	<u>15,2</u>	25,0	16,9	32,0	17,2
18	17	Küçük	40	4	5	26,9	52,0	<u>17,9</u>	133,0	22,5	98,0	23,3	102,0	23,8	150,0	33,4
19	6	Küçük	41	2	5	287,5	402,0	241,2	304,0	230,1	335,0	225,3	337,0	<u>221,4</u>	300,0	222,5
20	23	Küçük	41	2	3	271,4	297,0	250,0	234,0	224,5	212,0	209,1	305,0	229,5	210,0	<u>204,1</u>
21	39	Küçük	42	4	5	97,8	164,0	91,1	173,0	92,3	141,0	92,5	182,0	83,3	110,0	<u>78,1</u>
22	36	Küçük	46	4	5	11,1	12,0	9,6	14,0	7,4	14,0	5,2	8,0	<u>3,3</u>	16,0	4,9
23	47	Küçük	46	2	3	28,0	52,0	19,2	80,0	11,0	80,0	4,6	60,0	3,4	84,0	<u>2,8</u>
24	57	Küçük	47	2	5	18,4	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	44,0	11,3	51,0	8,8	12,0	2,6	30,0	2,1
25	4	Küçük	48	2	3	165,1	174,0	125,5	176,0	126,9	179,0	121,2	200,0	108,1	154,0	<u>95,0</u>

Küçük Boyutlu Problemlerde Elde Edilen Ortalama Amaç Fonksiyonu Değerleri (Z_{ort})

SN	PN	Tür	İS	AS	MS	DKA	NEH-0	NEH/DKA-0	NEH-1	NEH/DKA-1	NEH-2	NEH/DKA-2	NEH-3	NEH/DKA-3	NEH-4	NEH/DKA-4
26	48	Küçük	50	2	3	83,2	225,0	76,1	156,0	66,8	169,0	59,7	199,0	59,4	189,0	<u>57,0</u>
27	30	Küçük	51	4	3	373,9	340,0	314,2	333,0	269,6	355,0	256,1	478,0	275,0	283,0	<u>250,3</u>
28	58	Küçük	51	2	5	127,1	214,0	90,2	111,0	70,7	195,0	61,2	238,0	60,6	148,0	<u>56,7</u>
29	29	Küçük	52	2	5	454,2	533,0	418,6	551,0	386,4	544,0	<u>381,1</u>	602,0	441,4	547,0	421,8
30	42	Küçük	52	4	3	<u>0,0</u>	36,0	<u>0,0</u>	102,0	<u>0,0</u>	105,0	<u>0,0</u>	81,0	<u>0,0</u>	114,0	35,4
31	61	Küçük	53	4	3	466,0	767,0	329,3	837,0	284,7	974,0	257,8	677,0	<u>254,2</u>	872,0	276,8
32	75	Küçük	55	4	5	34,9	203,0	33,4	274,0	22,5	258,0	19,5	304,0	<u>14,9</u>	326,0	77,8
33	33	Küçük	57	4	3	472,6	410,0	384,2	324,0	315,2	316,0	305,8	440,0	377,0	312,0	<u>300,2</u>
34	2	Küçük	59	2	3	701,3	645,0	538,4	737,0	524,1	815,0	515,9	761,0	<u>490,9</u>	745,0	494,5
35	37	Küçük	59	4	5	203,9	224,0	155,9	240,0	135,8	272,0	139,1	264,0	<u>131,5</u>	256,0	159,7
36	41	Küçük	62	4	3	11,5	46,0	2,4	21,0	<u>1,5</u>	17,0	2,6	47,0	2,6	14,0	2,6
37	7	Küçük	63	2	5	323,9	298,0	227,5	451,0	195,7	312,0	<u>162,8</u>	387,0	177,4	511,0	164,4
38	65	Küçük	63	4	5	42,9	90,0	33,1	94,0	31,2	79,0	25,3	94,0	27,3	135,0	<u>21,7</u>
39	68	Küçük	65	4	5	117,4	146,0	<u>34,1</u>	275,0	111,9	251,0	120,3	242,0	94,9	186,0	93,2
40	78	Küçük	65	4	5	256,8	321,0	228,2	495,0	<u>219,2</u>	494,0	301,0	491,0	274,9	470,0	239,0
41	34	Küçük	66	4	3	366,7	334,0	285,7	242,0	231,0	228,0	217,9	316,0	251,5	206,0	<u>202,3</u>
42	54	Küçük	66	2	3	349,2	534,0	266,1	459,0	241,0	640,0	253,8	408,0	<u>228,6</u>	435,0	245,3
43	66	Küçük	66	4	5	8,8	117,0	<u>4,6</u>	128,0	27,0	227,0	56,3	122,0	51,7	176,0	36,9
44	11	Küçük	68	4	3	795,5	629,0	615,9	537,0	507,0	551,0	496,3	604,0	525,4	560,0	<u>480,6</u>
45	63	Küçük	68	4	3	181,4	193,0	103,7	319,0	119,7	196,0	97,0	203,0	68,8	289,0	<u>61,1</u>
46	1	Küçük	69	2	3	454,7	558,0	365,8	569,0	327,4	414,0	<u>310,6</u>	598,0	311,0	493,0	317,9
47	15	Küçük	71	4	5	266,9	366,0	<u>166,5</u>	372,0	180,1	423,0	188,5	446,0	194,4	365,0	168,4
48	32	Küçük	75	4	3	771,5	726,0	658,8	651,0	594,3	560,0	545,3	681,0	587,2	613,0	<u>542,1</u>
49	50	Küçük	79	2	3	512,7	378,0	361,9	714,0	349,0	739,0	313,8	669,0	<u>299,9</u>	720,0	331,3
50	62	Küçük	79	4	3	141,3	24,0	<u>23,5</u>	156,0	81,4	167,0	52,6	58,0	28,2	128,0	35,4

Küçük Boyutlu Problemlerde Elde Edilen Ortalama Amaç Fonksiyonu Değerleri (Z_{ort})

SN	PN	Tür	İS	AS	MS	DKA	NEH-0	NEH/DKA-0	NEH-1	NEH/DKA-1	NEH-2	NEH/DKA-2	NEH-3	NEH/DKA-3	NEH-4	NEH/DKA-4
51	24	Küçük	80	2	3	634,0	748,0	567,7	881,0	535,5	926,0	525,3	1.011,0	521,8	901,0	<u>517,8</u>
52	3	Küçük	83	2	3	993,7	801,0	791,6	786,0	773,0	792,0	765,3	941,0	876,0	813,0	<u>717,7</u>
53	0	Küçük	84	2	3	1.290,5	1.532,0	1.205,6	2.103,0	1.181,7	2.336,0	<u>1.160,0</u>	2.077,0	1.170,7	2.194,0	1.166,7
54	52	Küçük	84	2	3	1.141,0	761,0	734,7	617,0	615,6	602,0	602,0	797,0	604,7	628,0	<u>515,9</u>
55	67	Küçük	87	4	5	237,8	115,0	<u>54,1</u>	536,0	126,9	448,0	129,5	382,0	116,6	432,0	127,6
56	5	Küçük	89	2	5	799,3	661,0	636,0	520,0	<u>494,8</u>	582,0	518,0	732,0	591,7	683,0	537,3
57	21	Küçük	89	2	3	1.376,0	1.446,0	1.284,3	1.303,0	1.219,6	1.323,0	1.213,8	1.375,0	1.207,0	1.342,0	<u>1.189,9</u>
58	55	Küçük	91	2	5	78,1	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	197,0	17,3	172,0	24,7	36,0	19,2	124,0	22,1
59	53	Küçük	92	2	3	813,0	861,0	700,6	943,0	564,6	941,0	<u>548,0</u>	974,0	570,2	931,0	<u>548,0</u>
60	9	Küçük	94	2	5	661,7	413,0	<u>393,7</u>	639,0	473,0	574,0	418,7	602,0	407,0	765,0	500,6
61	46	Küçük	94	2	3	529,7	562,0	501,0	565,0	483,5	626,0	449,6	701,0	430,0	587,0	<u>414,1</u>
62	44	Küçük	96	4	3	203,4	232,0	162,2	449,0	140,8	438,0	<u>114,2</u>	519,0	158,9	446,0	148,3
Ort.			55,7			289,9	306,3	227,3	344,0	213,3	348,5	207,7	357,8	211,1	346,4	203,8

Küçük Boyutlu Problemler İçin Z_{ort}'ya Ait GSD Değerleri

SN	PN	Tür	İS	AS	MS	DKA	NEH-0	NEH/DKA-0	NEH-1	NEH/DKA-1	NEH-2	NEH/DKA-2	NEH-3	NEH/DKA-3	NEH-4	NEH/DKA-4
1	73	B1	12	2	5	25,0	95,8	25,0	100,0	25,0	79,2	24,6	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	100,0	27,5
2	13	B1	21	4	3	54,1	35,7	26,9	89,9	19,1	100,0	11,9	93,0	11,1	89,9	<u>8,0</u>
3	79	B1	24	4	5	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>
4	8	B1	25	2	5	56,0	75,6	34,4	100,0	33,3	93,9	34,1	80,5	29,0	100,0	<u>27,8</u>
5	76	B1	25	4	5	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>
6	70	B1	27	2	5	15,0	40,9	10,6	97,8	8,8	100,0	12,3	77,4	10,4	97,8	<u>5,8</u>
7	72	B1	27	2	5	32,7	50,0	26,8	100,0	23,2	54,5	<u>21,8</u>	68,2	<u>21,8</u>	100,0	22,3
8	25	B1	28	2	5	44,8	58,1	37,9	45,2	30,6	50,0	31,3	100,0	37,7	45,2	<u>30,0</u>
9	64	B1	28	4	3	30,6	86,6	15,9	79,7	17,7	100,0	18,9	86,6	11,0	79,7	<u>10,1</u>
10	18	B1	29	4	5	41,1	83,5	31,8	100,0	37,7	62,6	28,1	74,7	<u>22,6</u>	100,0	22,7
11	69	B1	29	4	5	37,3	61,3	19,8	83,9	13,9	77,4	<u>6,0</u>	100,0	37,6	83,9	29,4
12	51	B1	31	2	3	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	100,0	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	100,0	<u>0,0</u>
13	10	B1	32	4	3	46,7	100,0	32,3	76,6	29,3	61,9	27,2	86,9	22,2	76,6	<u>19,7</u>
14	27	B1	32	2	5	96,0	100,0	58,7	33,3	29,3	53,3	27,3	60,0	25,3	33,3	<u>19,3</u>
15	43	B1	32	4	3	16,8	87,1	11,7	94,4	8,4	100,0	25,7	87,1	<u>6,8</u>	94,4	19,2
16	19	B1	36	4	5	10,4	68,8	<u>2,7</u>	100,0	40,1	93,5	35,8	46,8	28,3	96,1	38,4
17	16	B1	40	4	5	96,6	96,9	66,3	81,3	58,1	59,4	<u>47,5</u>	78,1	52,8	100,0	53,8
18	17	B1	40	4	5	17,9	34,7	<u>11,9</u>	88,7	15,0	65,3	15,5	68,0	15,9	100,0	22,3
19	6	B1	41	2	5	45,5	100,0	23,4	53,3	18,1	68,1	15,9	69,0	<u>14,0</u>	51,4	14,5
20	23	B1	41	2	3	69,5	92,7	50,0	35,5	26,8	15,5	12,8	100,0	31,4	13,6	<u>8,3</u>
21	39	B1	42	4	5	32,1	85,5	26,7	92,7	27,7	66,9	27,8	100,0	20,4	41,9	<u>16,2</u>
22	36	B1	46	4	5	69,4	75,0	60,0	87,5	46,3	87,5	32,5	50,0	<u>20,6</u>	100,0	30,6
23	47	B1	46	2	3	33,3	61,9	22,9	95,2	13,1	95,2	5,5	71,4	4,0	100,0	<u>3,3</u>
24	57	B1	47	2	5	36,1	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	86,3	22,2	100,0	17,3	23,5	5,1	58,8	4,1
25	4	B1	48	2	3	72,9	79,8	42,2	81,4	43,3	83,7	38,9	100,0	28,8	64,3	<u>18,6</u>

Küçük Boyutlu Problemler İçin Zort'ya Ait GSD Değerleri

SN	PN	Tür	İS	AS	MS	DKA	NEH-0	NEH/DKA-0	NEH-1	NEH/DKA-1	NEH-2	NEH/DKA-2	NEH-3	NEH/DKA-3	NEH-4	NEH/DKA-4
26	48	B1	50	2	3	22,5	100,0	18,6	62,3	13,6	69,4	9,7	85,8	9,5	80,3	<u>8,2</u>
27	30	B1	51	4	3	59,0	45,7	35,5	42,9	18,0	51,6	12,6	100,0	20,1	23,2	<u>10,4</u>
28	58	B1	51	2	5	49,8	89,1	33,1	42,5	24,3	80,5	20,0	100,0	19,7	59,3	<u>18,0</u>
29	29	B1	52	2	5	43,2	73,5	29,5	80,4	17,1	77,7	<u>15,0</u>	100,0	38,2	78,8	30,7
30	42	B1	52	4	3	<u>0,0</u>	31,6	<u>0,0</u>	89,5	<u>0,0</u>	92,1	<u>0,0</u>	71,1	<u>0,0</u>	100,0	31,1
31	61	B1	53	4	3	40,9	75,9	24,9	84,1	19,8	100,0	16,6	65,4	<u>16,2</u>	88,1	18,8
32	75	B1	55	4	5	10,7	62,3	10,2	84,0	6,9	79,1	6,0	93,3	<u>4,6</u>	100,0	23,9
33	33	B1	57	4	3	100,0	70,6	58,4	30,1	26,0	26,3	21,5	84,7	55,0	24,5	<u>18,9</u>
34	2	B1	59	2	3	76,4	64,7	42,6	83,8	39,6	100,0	37,9	88,8	<u>32,8</u>	85,5	33,5
35	37	B1	59	4	5	65,3	75,5	40,8	83,7	30,5	100,0	32,2	95,9	<u>28,3</u>	91,8	42,7
36	41	B1	62	4	3	24,5	97,9	5,1	44,7	<u>3,2</u>	36,2	5,5	100,0	5,5	29,8	5,5
37	7	B1	63	2	5	57,1	51,1	35,0	86,2	27,7	54,4	<u>20,1</u>	71,6	23,5	100,0	20,5
38	65	B1	63	4	5	31,8	66,7	24,5	69,6	23,1	58,5	18,7	69,6	20,2	100,0	<u>16,1</u>
39	68	B1	65	4	5	42,7	53,1	<u>12,4</u>	100,0	40,7	91,3	43,7	88,0	34,5	67,6	33,9
40	78	B1	65	4	5	40,9	56,8	33,8	100,0	<u>31,6</u>	99,8	51,9	99,0	45,4	93,8	36,5
41	34	B1	66	4	3	100,0	83,5	59,0	36,9	31,4	29,8	24,7	74,4	41,7	18,7	<u>16,8</u>
42	54	B1	66	2	3	41,6	78,7	24,9	63,7	19,9	100,0	22,4	53,4	<u>17,4</u>	58,8	20,7
43	66	B1	66	4	5	3,9	51,5	<u>2,0</u>	56,4	11,9	100,0	24,8	53,7	22,8	77,5	16,3
44	11	B1	68	4	3	100,0	60,2	57,1	38,2	31,1	41,6	28,5	54,2	35,5	43,7	<u>24,8</u>
45	63	B1	68	4	3	56,9	60,5	32,5	100,0	37,5	61,4	30,4	63,6	21,6	90,6	<u>19,2</u>
46	1	B1	69	2	3	61,6	89,3	37,7	92,2	27,5	50,7	<u>22,9</u>	100,0	23,1	71,8	24,9
47	15	B1	71	4	5	52,0	78,6	<u>25,1</u>	80,2	28,7	93,8	31,0	100,0	32,5	78,3	25,6
48	32	B1	75	4	3	100,0	83,4	58,8	55,9	35,2	22,7	17,3	66,9	32,6	42,0	<u>16,1</u>
49	50	B1	79	2	3	58,0	33,0	30,0	95,4	27,6	100,0	21,1	87,0	<u>18,5</u>	96,5	24,4
50	62	B1	79	4	3	84,6	14,4	<u>14,1</u>	93,4	48,7	100,0	31,5	34,7	16,9	76,6	21,2

Küçük Boyutlu Problemler İçin Z_{ort}'ya Ait GSD Değerleri

SN	PN	Tür	İS	AS	MS	DKA	NEH-0	NEH/DKA-0	NEH-1	NEH/DKA-1	NEH-2	NEH/DKA-2	NEH-3	NEH/DKA-3	NEH-4	NEH/DKA-4
51	24	B1	80	2	3	32,3	52,8	20,4	76,7	14,6	84,7	12,8	100,0	12,2	80,3	<u>11,5</u>
52	3	B1	83	2	3	100,0	56,7	54,6	53,3	50,4	54,6	48,6	88,1	73,5	59,4	<u>37,9</u>
53	0	B1	84	2	3	22,7	40,5	16,4	82,8	14,6	100,0	<u>13,0</u>	80,8	13,8	89,5	13,5
54	52	B1	84	2	3	100,0	49,5	46,0	30,4	30,2	28,4	28,4	54,3	28,8	31,9	<u>17,0</u>
55	67	B1	87	4	5	44,4	21,5	<u>10,1</u>	100,0	23,7	83,6	24,2	71,3	21,8	80,6	23,8
56	5	B1	89	2	5	100,0	67,7	61,9	34,8	<u>28,9</u>	49,3	34,3	84,3	51,5	72,8	38,8
57	21	B1	89	2	3	83,6	100,0	62,0	66,4	46,9	71,1	45,5	83,3	43,9	75,6	<u>39,9</u>
58	55	B1	91	2	5	39,6	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	100,0	8,8	87,3	12,5	18,3	9,7	62,9	11,2
59	53	B1	92	2	3	73,7	81,6	55,4	94,9	33,2	94,6	<u>30,5</u>	100,0	34,1	93,0	<u>30,5</u>
60	9	B1	94	2	5	81,4	36,5	<u>33,0</u>	77,3	47,3	65,5	37,5	70,6	35,4	100,0	52,3
61	46	B1	94	2	3	51,3	60,5	43,2	61,4	38,2	78,7	28,6	100,0	23,0	67,6	<u>18,5</u>
62	44	B1	96	4	3	35,9	41,7	27,5	85,8	23,1	83,5	<u>17,7</u>	100,0	26,8	85,2	24,7
Ort.			55,74			49,5	61,7	29,3	73,6	25,3	70,4	22,9	73,8	23,3	72,6	<u>21,5</u>

Küçük Boyutlu Problemlerde Gerçekleşen Ortalama İşlem Süreleri

SN	PN	Tür	İS	AS	MS	DKA	NEH-0	NEH/DKA-0	NEH-1	NEH/DKA-1	NEH-2	NEH/DKA-2	NEH-3	NEH/DKA-3	NEH-4	NEH/DKA-4
1	73	Küçük	12	2	5	0,64	0,03	0,68	0,03	0,67	0,03	0,68	0,03	0,25	0,03	0,66
2	13	Küçük	21	4	3	12,67	0,16	7,25	0,16	12,20	0,16	12,07	0,16	12,09	0,16	12,05
3	79	Küçük	24	4	5	14,50	0,25	14,74	0,25	14,75	0,26	14,75	0,25	14,83	0,25	14,75
4	8	Küçük	25	2	5	5,86	0,18	5,86	0,18	5,81	0,17	5,59	0,18	5,52	0,18	5,51
5	76	Küçük	25	4	5	15,17	0,28	15,28	0,28	15,29	0,28	15,29	0,28	15,28	0,28	15,28
6	70	Küçük	27	2	5	7,89	0,27	8,04	0,26	8,01	0,27	8,03	0,27	8,04	0,26	7,83
7	72	Küçük	27	2	5	6,33	0,20	5,92	0,20	6,41	0,20	6,32	0,20	6,24	0,20	6,21
8	25	Küçük	28	2	5	7,72	0,27	5,64	0,27	5,64	0,27	6,23	0,27	8,05	0,27	6,25
9	64	Küçük	28	4	3	17,94	0,38	17,85	0,37	17,79	0,37	17,60	0,36	17,71	0,37	18,15
10	18	Küçük	29	4	5	17,22	0,41	17,02	0,42	15,42	0,42	14,66	0,41	15,40	0,42	15,41
11	69	Küçük	29	4	5	19,92	0,48	17,25	0,49	17,90	0,48	16,67	0,48	16,43	0,49	16,43
12	51	Küçük	31	2	3	6,71	0,24	6,94	0,25	6,94	0,25	6,93	0,24	6,93	0,25	6,95
13	10	Küçük	32	4	3	18,76	0,48	19,26	0,49	19,44	0,49	19,32	0,49	19,40	0,49	19,49
14	27	Küçük	32	2	5	7,62	0,32	7,17	0,32	4,42	0,32	6,34	0,32	6,71	0,32	6,70
15	43	Küçük	32	4	3	20,35	0,62	21,50	0,63	21,47	0,61	21,58	0,62	21,90	0,61	21,51
16	19	Küçük	36	4	5	21,24	0,73	21,35	0,73	17,41	0,76	17,61	0,74	11,00	0,73	17,43
17	16	Küçük	40	4	5	23,47	0,98	20,97	0,99	19,82	0,98	15,79	0,98	20,82	0,99	21,45
18	17	Küçük	40	4	5	23,32	0,99	22,68	0,99	24,40	0,98	24,36	0,97	24,43	0,98	23,65
19	6	Küçük	41	2	5	12,83	0,91	13,95	0,92	12,91	0,93	13,86	0,93	13,87	0,93	13,90
20	23	Küçük	41	2	3	9,22	0,59	8,51	0,60	6,35	0,59	4,18	0,60	9,22	0,60	6,58
21	39	Küçük	42	4	5	25,59	1,18	26,77	1,20	26,80	1,22	26,89	1,18	26,90	1,21	27,01
22	36	Küçük	46	4	5	26,33	1,43	27,76	1,46	27,85	1,45	27,86	1,45	21,03	1,46	27,91
23	47	Küçük	46	2	3	9,34	0,73	10,23	0,75	10,23	0,75	10,37	0,73	10,38	0,76	10,36
24	57	Küçük	47	2	5	12,10	1,06	4,73	1,07	12,18	1,06	11,54	1,05	9,77	1,05	11,06
25	4	Küçük	48	2	3	10,04	0,81	9,28	0,84	9,29	0,84	9,32	0,82	10,82	0,86	10,92
26	48	Küçük	50	2	3	11,16	1,00	12,17	1,03	12,12	1,03	12,22	1,01	12,26	1,03	12,32

Küçük Boyutlu Problemlerde Gerçekleşen Ortalama İşlem Süreleri

SN	PN	Tür	İS	AS	MS	DKA	NEH-0	NEH/DKA-0	NEH-1	NEH/DKA-1	NEH-2	NEH/DKA-2	NEH-3	NEH/DKA-3	NEH-4	NEH/DKA-4
27	30	Küçük	51	4	3	29,92	1,95	19,31	1,94	22,89	1,93	29,05	1,89	32,37	1,92	27,15
28	58	Küçük	51	2	5	16,05	1,72	17,04	1,73	14,01	1,73	17,89	1,77	17,87	1,76	17,94
29	29	Küçük	52	2	5	17,62	2,02	19,97	2,04	20,03	2,02	20,24	2,03	19,96	2,04	20,22
30	42	Küçük	52	4	3	30,48	1,90	32,77	1,96	32,61	1,99	32,54	1,86	32,42	1,95	32,84
31	61	Küçük	53	4	3	37,12	2,58	40,36	2,58	40,34	2,56	40,09	2,51	40,19	2,55	40,41
32	75	Küçük	55	4	5	42,07	3,32	45,52	3,33	45,65	3,34	45,55	3,35	45,45	3,33	45,60
33	33	Küçük	57	4	3	33,12	2,67	19,19	2,72	17,35	2,73	19,38	2,64	24,22	2,65	24,43
34	2	Küçük	59	2	3	15,15	1,98	11,57	2,06	16,61	2,03	16,54	1,98	16,56	2,08	17,11
35	37	Küçük	59	4	5	38,41	3,45	38,02	3,42	42,18	3,36	41,97	3,32	41,85	3,41	42,06
36	41	Küçük	62	4	3	35,52	3,27	38,92	3,42	39,61	3,41	39,28	3,30	39,12	3,42	39,21
37	7	Küçük	63	2	5	15,15	2,35	11,86	2,39	17,85	2,44	18,25	2,36	18,02	2,43	18,14
38	65	Küçük	63	4	5	39,50	4,07	40,94	4,09	40,98	4,12	40,97	4,05	41,04	4,11	44,23
39	68	Küçük	65	4	5	42,98	4,57	45,17	4,62	46,72	4,69	43,10	4,53	44,12	4,61	44,17
40	78	Küçük	65	4	5	48,87	5,38	50,88	5,42	54,58	5,41	54,51	5,23	54,11	5,40	54,10
41	34	Küçük	66	4	3	38,41	4,03	30,11	4,19	24,38	4,08	26,12	4,00	33,78	4,12	17,52
42	54	Küçük	66	2	3	15,43	2,35	17,83	2,53	18,13	2,50	18,01	2,48	16,86	2,50	16,80
43	66	Küçük	66	4	5	43,56	4,81	48,96	4,89	48,85	4,82	47,49	4,88	42,50	4,88	47,31
44	11	Küçük	68	4	3	43,15	4,70	18,08	4,90	21,52	4,84	29,20	4,93	29,36	4,86	32,15
45	63	Küçük	68	4	3	40,56	4,42	34,92	4,56	44,95	4,60	45,06	4,39	44,73	4,53	44,79
46	1	Küçük	69	2	3	16,38	2,71	19,15	2,85	19,41	2,82	19,44	2,59	19,10	2,75	19,20
47	15	Küçük	71	4	5	45,09	5,56	50,52	5,73	50,87	5,68	51,09	5,56	51,05	5,69	51,11
48	32	Küçük	75	4	3	44,66	5,93	36,73	6,35	36,19	6,24	32,22	6,14	42,14	6,28	40,83
49	50	Küçük	79	2	3	22,89	5,79	12,98	5,60	29,42	5,57	29,37	5,55	29,53	5,55	29,72
50	62	Küçük	79	4	3	46,47	7,03	21,04	6,96	47,25	6,83	50,17	6,72	39,96	7,05	54,34
51	24	Küçük	80	2	3	21,92	5,15	27,48	5,37	27,69	5,24	27,57	5,19	27,55	5,33	27,87
52	3	Küçük	83	2	3	19,81	4,96	10,93	5,12	11,25	5,08	12,80	4,92	12,62	5,11	14,83

Küçük Boyutlu Problemlerde Gerçekleşen Ortalama İşlem Süreleri

SN	PN	Tür	İS	AS	MS	DKA	NEH-0	NEH/DKA-0	NEH-1	NEH/DKA-1	NEH-2	NEH/DKA-2	NEH-3	NEH/DKA-3	NEH-4	NEH/DKA-4
53	0	Küçük	84	2	3	24,84	6,82	33,05	7,02	33,00	6,57	32,70	6,22	32,00	6,77	32,71
54	52	Küçük	84	2	3	22,71	5,99	13,96	6,27	12,09	6,24	11,53	5,82	21,75	6,15	22,23
55	67	Küçük	87	4	5	60,92	11,53	45,53	11,55	73,72	11,58	73,69	11,51	73,67	11,80	73,92
56	5	Küçük	89	2	5	26,68	8,25	17,17	8,60	18,19	8,61	21,90	8,27	25,15	8,70	28,31
57	21	Küçük	89	2	3	24,45	7,36	28,96	7,47	27,18	7,75	27,50	7,44	29,11	7,69	29,55
58	55	Küçük	91	2	5	23,56	7,25	12,45	7,43	30,83	7,43	31,02	7,18	23,57	7,46	30,87
59	53	Küçük	92	2	3	21,89	6,86	23,50	6,80	29,42	6,70	29,48	6,45	29,12	6,99	29,75
60	9	Küçük	94	2	5	25,87	9,12	17,31	9,05	27,76	9,07	28,08	8,81	27,97	9,15	33,72
61	46	Küçük	94	2	3	24,02	8,11	29,76	8,17	30,01	8,21	33,91	8,29	34,07	8,37	34,41
62	44	Küçük	96	4	3	60,28	12,77	64,79	13,36	73,14	13,31	73,41	12,92	73,82	13,36	74,41
Ort.			55,7			24,51	3,19	22,51	3,25	24,81	3,24	25,12	3,16	25,35	3,26	25,96

Orta Boyutlu Problemlerde Elde Edilen Eniyi Amaç Fonksiyonu Değerleri

SN	PN	Tür	İS	AS	MS	DKA	NEH-0	NEH/DKA-0	NEH-1	NEH/DKA-1	NEH-2	NEH/DKA-2	NEH-3	NEH/DKA-3	NEH-4	NEH/DKA-4
1	31	orta	103	4	3	1.217	1.332	1.204	1.198	1.099	1.283	<u>1.068</u>	1.512	1.090	1.244	1.100
2	38	orta	109	4	5	373	305	<u>270</u>	371	331	377	324	426	310	374	304
3	77	orta	109	4	5	<u>0</u>	209	<u>0</u>	184	<u>0</u>	186	<u>0</u>	211	<u>0</u>	200	<u>0</u>
4	49	orta	112	2	3	837	715	613	1.106	660	1.120	568	911	571	1.114	<u>551</u>
5	26	orta	117	2	5	927	945	840	808	741	829	712	867	<u>705</u>	840	711
6	20	orta	121	2	3	1.180	1.019	<u>890</u>	1.223	1.026	1.243	990	1.077	977	1.199	907
7	71	orta	123	2	5	424	440	387	527	404	515	370	<u>591</u>	358	546	346
8	60	orta	124	4	3	693	342	211	415	175	384	87	518	81	326	<u>80</u>
9	56	orta	127	2	5	680	616	219	1.173	156	1.011	161	873	145	938	<u>130</u>
10	40	orta	130	4	3	1.350	1.457	961	1.239	911	1.272	880	1.539	878	1.322	<u>844</u>
11	74	orta	131	2	5	309	382	213	550	187	556	166	626	165	577	<u>154</u>
12	12	orta	134	4	3	2.469	2.053	1.604	2.222	1.203	1.889	1.113	2.655	1.073	2.143	<u>1.036</u>
13	35	orta	140	4	5	1.229	1.225	899	843	843	<u>756</u>	<u>756</u>	1.162	886	809	809
14	28	orta	142	2	5	1.276	1.035	858	1.062	808	1.096	<u>779</u>	1.253	805	1.113	824
15	14	orta	143	4	3	2.280	1.907	1.907	2.064	2.064	1.993	1.796	2.962	1.446	2.217	<u>1.389</u>
16	45	orta	144	2	3	1.516	1.342	1.278	1.518	1.234	1.462	1.138	1.609	1.124	1.507	<u>1.071</u>
17	108	orta	149	2	5	1.756	1.236	1.022	1.928	881	1.629	844	1.591	789	1.798	<u>744</u>
18	59	orta	151	2	5	468	429	252	940	249	831	174	588	<u>160</u>	742	228
19	119	orta	154	4	5	1.974	1.484	886	1.647	<u>875</u>	1.724	1.047	1.536	1.037	1.546	934
20	22	orta	156	2	3	2.201	1.782	1.782	2.419	1.861	2.259	1.790	2.078	1.737	2.339	<u>1.714</u>
21	116	orta	160	4	5	2.116	1.688	1.071	2.437	<u>1.028</u>	2.791	1.158	2.101	1.141	2.425	1.668
22	145	orta	171	2	5	1.050	738	398	1.093	372	1.234	338	711	308	1.326	<u>298</u>
23	140	orta	173	2	3	1.843	1.546	1.546	1.803	1.803	1.613	1.613	1.869	1.026	1.685	<u>752</u>
24	96	orta	186	4	3	3.255	2.307	1.984	1.951	1.787	2.006	<u>1.766</u>	2.411	1.767	1.821	1.767
25	112	orta	188	4	3	4.911	3.647	3.647	3.646	3.041	3.961	3.035	4.359	2.772	3.494	<u>2.526</u>
26	105	orta	197	2	5	3.396	<u>2.193</u>	<u>2.193</u>	2.260	2.260	2.751	2.751	2.559	2.447	2.225	2.225

Orta Boyutlu Problemlerde Elde Edilen Eniyi Amaç Fonksiyonu Değerleri

SN	PN	Tür	İS	AS	MS	DKA	NEH-0	NEH/DKA-0	NEH-1	NEH/DKA-1	NEH-2	NEH/DKA-2	NEH-3	NEH/DKA-3	NEH-4	NEH/DKA-4
27	142	orta	201	2	3	4.420	<u>2.851</u>	<u>2.851</u>	3.803	3.803	3.812	3.812	3.825	3.274	3.472	2.958
28	157	orta	206	4	5	1.557	687	687	1.487	883	1.134	766	909	521	1.277	<u>455</u>
29	104	orta	220	2	3	3.167	2.438	2.438	3.125	2.158	2.803	2.175	2.575	2.117	2.870	<u>2.070</u>
30	115	orta	222	4	5	1.848	1.176	805	1.132	754	1.072	707	1.067	694	993	<u>666</u>
31	118	orta	228	4	5	4.721	3.700	3.038	3.699	2.783	3.328	2.685	3.838	2.597	3.661	<u>2.431</u>
32	93	orta	236	4	5	3.695	2.978	2.547	<u>2.144</u>	<u>2.144</u>	2.150	2.150	2.649	2.474	2.176	2.176
33	151	orta	236	4	3	4.024	2.368	2.368	3.452	2.397	3.646	2.081	3.207	1.994	3.217	<u>1.941</u>
34	158	orta	241	4	5	3.140	2.113	1.112	3.152	992	2.924	976	2.434	897	3.928	<u>843</u>
35	117	orta	243	4	5	5.875	4.767	3.733	5.529	3.587	5.471	3.495	4.842	3.255	4.394	<u>3.213</u>
36	113	orta	245	4	3	8.833	8.256	7.480	7.765	<u>6.121</u>	7.924	6.255	8.530	6.208	7.515	6.277
37	137	orta	253	4	5	1.806	1.000	719	1.673	688	1.529	705	2.073	687	1.548	<u>668</u>
38	146	orta	255	2	5	1.375	804	804	1.201	628	1.145	580	817	571	1.145	<u>536</u>
39	149	orta	259	2	5	1.473	562	562	1.524	582	1.092	470	1.028	448	1.341	<u>412</u>
40	98	orta	264	4	3	6.378	4.913	4.913	4.164	4.164	<u>3.866</u>	<u>3.866</u>	4.544	4.544	4.016	3.889
41	125	orta	274	4	3	1.912	1.115	1.115	1.377	1.377	<u>1.110</u>	<u>1.110</u>	1.798	1.491	1.164	1.164
42	130	orta	275	2	5	3.059	2.123	1.974	2.339	1.977	2.417	1.967	2.384	1.997	2.360	<u>1.919</u>
43	126	orta	280	4	3	6.243	4.162	4.059	4.087	3.391	4.202	3.322	4.977	3.268	4.058	<u>3.201</u>
44	120	orta	281	2	3	4.373	<u>2.335</u>	<u>2.335</u>	3.053	3.053	2.953	2.953	3.289	3.053	3.017	3.017
45	89	orta	282	2	5	3.594	2.306	2.108	2.353	2.079	2.349	2.056	2.589	2.085	2.326	<u>2.052</u>
46	94	orta	282	4	5	4.030	2.650	2.398	2.747	2.323	2.526	2.320	3.289	<u>2.292</u>	2.497	2.414
47	134	orta	283	2	5	2.696	<u>1.921</u>	<u>1.921</u>	2.082	2.082	2.148	2.148	2.229	2.229	2.132	2.132
48	159	orta	283	4	5	2.594	1.296	827	2.759	834	2.235	713	1.649	639	2.332	<u>619</u>
49	144	orta	284	2	3	7.046	4.160	3.353	6.217	3.062	6.648	<u>2.926</u>	5.151	3.186	6.380	3.004
50	114	orta	285	4	3	9.232	6.790	5.577	7.024	5.562	6.554	5.285	6.552	5.134	6.300	<u>4.953</u>
51	86	orta	286	2	5	6.112	<u>4.327</u>	<u>4.327</u>	4.541	4.541	4.670	4.670	5.104	4.973	4.573	4.573
52	91	orta	286	4	5	4.278	2.377	2.206	2.371	2.075	2.348	2.053	2.724	2.062	2.172	<u>2.049</u>

Orta Boyutlu Problemlerde Elde Edilen Eniyi Amaç Fonksiyonu Değerleri

SN	PN	Tür	İS	AS	MS	DKA	NEH-0	NEH/DKA-0	NEH-1	NEH/DKA-1	NEH-2	NEH/DKA-2	NEH-3	NEH/DKA-3	NEH-4	NEH/DKA-4
53	154	orta	286	4	3	8.903	8.571	6.442	8.433	<u>6.423</u>	8.953	6.765	10.134	6.516	8.090	6.712
54	84	orta	290	2	3	10.455	8.298	8.298	8.330	8.330	8.388	8.388	8.260	8.260	8.545	<u>8.201</u>
55	100	orta	290	2	3	8.176	<u>4.449</u>	<u>4.449</u>	5.276	5.276	5.466	5.466	5.456	5.456	5.156	5.156
56	136	orta	292	4	5	1.482	1.089	1.020	871	849	893	<u>827</u>	1.252	907	848	848
57	80	orta	297	2	3	6.047	5.149	5.149	4.713	4.543	4.659	<u>4.506</u>	4.833	4.617	4.682	4.573
58	121	orta	298	2	3	6.881	5.327	5.267	5.256	5.155	5.408	5.037	5.418	<u>4.996</u>	5.291	5.014
Ort.						3.261	2.404	2.138	2.660	2.080	2.631	2.046	2.725	2.021	2.575	1.953

Orta Boyutlu Problemlerde Elde Edilen Eniyi Amaç Fonksiyonu GSD Değerleri

SN	PN	Tür	İS	AS	MS	DKA	NEH-0	NEH/DKA-0	NEH-1	NEH/DKA-1	NEH-2	NEH/DKA-2	NEH-3	NEH/DKA-3	NEH-4	NEH/DKA-4
1	31	orta	103	4	3	33,6	59,5	30,6	29,3	7,0	48,4	0,0	100,0	5,0	39,6	7,2
2	38	orta	109	4	5	66,0	22,4	0,0	64,7	39,1	68,6	34,6	100,0	25,6	66,7	21,8
3	77	orta	109	4	5	0,0	99,1	0,0	87,2	0,0	88,2	0,0	100,0	0,0	94,8	0,0
4	49	orta	112	2	3	50,3	28,8	10,9	97,5	19,2	100,0	3,0	63,3	3,5	98,9	0,0
5	26	orta	117	2	5	92,5	100,0	56,3	42,9	15,0	51,7	2,9	67,5	0,0	56,3	2,5
6	20	orta	121	2	3	82,2	36,5	0,0	94,3	38,5	100,0	28,3	53,0	24,6	87,5	4,8
7	71	orta	123	2	5	31,8	38,4	16,7	73,9	23,7	69,0	9,8	100,0	4,9	81,6	0,0
8	60	orta	124	4	3	100,0	42,7	21,4	54,6	15,5	49,6	1,1	71,5	0,2	40,1	0,0
9	56	orta	127	2	5	52,7	46,6	8,5	100,0	2,5	84,5	3,0	71,2	1,4	77,5	0,0
10	40	orta	130	4	3	72,8	88,2	16,8	56,8	9,6	61,6	5,2	100,0	4,9	68,8	0,0
11	74	orta	131	2	5	32,8	48,3	12,5	83,9	7,0	85,2	2,5	100,0	2,3	89,6	0,0
12	12	orta	134	4	3	88,5	62,8	35,1	73,3	10,3	52,7	4,8	100,0	2,3	68,4	0,0
13	35	orta	140	4	5	100,0	99,2	30,2	18,4	18,4	0,0	0,0	85,8	27,5	11,2	11,2
14	28	orta	142	2	5	100,0	51,5	15,9	56,9	5,8	63,8	0,0	95,4	5,2	67,2	9,1
15	14	orta	143	4	3	56,6	32,9	32,9	42,9	42,9	38,4	25,9	100,0	3,6	52,6	0,0
16	45	orta	144	2	3	82,7	50,4	38,5	83,1	30,3	72,7	12,5	100,0	9,9	81,0	0,0
17	108	orta	149	2	5	85,5	41,6	23,5	100,0	11,6	74,7	8,4	71,5	3,8	89,0	0,0
18	59	orta	151	2	5	39,5	34,5	11,8	100,0	11,4	86,0	1,8	54,9	0,0	74,6	8,7
19	119	orta	154	4	5	100,0	55,4	1,0	70,2	0,0	77,3	15,7	60,1	14,7	61,1	5,4
20	22	orta	156	2	3	69,1	9,6	9,6	100,0	20,9	77,3	10,8	51,6	3,3	88,7	0,0
21	116	orta	160	4	5	61,7	37,4	2,4	79,9	0,0	100,0	7,4	60,9	6,4	79,2	36,3
22	145	orta	171	2	5	73,2	42,8	9,7	77,3	7,2	91,1	3,9	40,2	1,0	100,0	0,0
23	140	orta	173	2	3	97,7	71,1	71,1	94,1	94,1	77,1	77,1	100,0	24,5	83,5	0,0
24	96	orta	186	4	3	100,0	36,3	14,6	12,4	1,4	16,1	0,0	43,3	0,1	3,7	0,1
25	112	orta	188	4	3	100,0	47,0	47,0	47,0	21,6	60,2	21,3	76,9	10,3	40,6	0,0
26	105	orta	197	2	5	100,0	0,0	0,0	5,6	5,6	46,4	46,4	30,4	21,1	2,7	2,7

Orta Boyutlu Problemlerde Elde Edilen Eniyi Amaç Fonksiyonu GSD Değerleri

SN	PN	Tür	İS	AS	MS	DKA	NEH-0	NEH/DKA-0	NEH-1	NEH/DKA-1	NEH-2	NEH/DKA-2	NEH-3	NEH/DKA-3	NEH-4	NEH/DKA-4
27	142	orta	201	2	3	100,0	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	60,7	60,7	61,2	61,2	62,1	27,0	39,6	6,8
28	157	orta	206	4	5	100,0	21,1	21,1	93,6	38,8	61,6	28,2	41,2	6,0	74,6	<u>0,0</u>
29	104	orta	220	2	3	100,0	33,5	33,5	96,2	8,0	66,8	9,6	46,0	4,3	72,9	<u>0,0</u>
30	115	orta	222	4	5	100,0	43,1	11,8	39,4	7,4	34,3	3,5	33,9	2,4	27,7	<u>0,0</u>
31	118	orta	228	4	5	100,0	55,4	26,5	55,4	15,4	39,2	11,1	61,4	7,2	53,7	<u>0,0</u>
32	93	orta	236	4	5	100,0	53,8	26,0	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	0,4	0,4	32,6	21,3	2,1	2,1
33	151	orta	236	4	3	100,0	20,5	20,5	72,5	21,9	81,9	6,7	60,8	2,5	61,3	<u>0,0</u>
34	158	orta	241	4	5	74,5	41,2	8,7	74,8	4,8	67,5	4,3	51,6	1,8	100,0	<u>0,0</u>
35	117	orta	243	4	5	100,0	58,4	19,5	87,0	14,0	84,8	10,6	61,2	1,6	44,4	<u>0,0</u>
36	113	orta	245	4	3	100,0	78,7	50,1	60,6	<u>0,0</u>	66,5	4,9	88,8	3,2	51,4	5,8
37	137	orta	253	4	5	81,0	23,6	3,6	71,5	1,4	61,3	2,6	100,0	1,4	62,6	<u>0,0</u>
38	146	orta	255	2	5	100,0	31,9	31,9	79,3	11,0	72,6	5,2	33,5	4,2	72,6	<u>0,0</u>
39	149	orta	259	2	5	95,4	13,5	13,5	100,0	15,3	61,2	5,2	55,4	3,2	83,5	<u>0,0</u>
40	98	orta	264	4	3	100,0	41,7	41,7	11,9	11,9	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	27,0	27,0	6,0	0,9
41	125	orta	274	4	3	100,0	0,6	0,6	33,3	33,3	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	85,8	47,5	6,7	6,7
42	130	orta	275	2	5	100,0	17,9	4,8	36,8	5,1	43,7	4,2	40,8	6,8	38,7	<u>0,0</u>
43	126	orta	280	4	3	100,0	31,6	28,2	29,1	6,2	32,9	4,0	58,4	2,2	28,2	<u>0,0</u>
44	120	orta	281	2	3	100,0	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	35,2	35,2	30,3	30,3	46,8	35,2	33,5	33,5
45	89	orta	282	2	5	100,0	16,5	3,6	19,5	1,8	19,3	0,3	34,8	2,1	17,8	<u>0,0</u>
46	94	orta	282	4	5	100,0	20,6	6,1	26,2	1,8	13,5	1,6	57,4	<u>0,0</u>	11,8	7,0
47	134	orta	283	2	5	100,0	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	20,8	20,8	29,3	29,3	39,7	39,7	27,2	27,2
48	159	orta	283	4	5	92,3	31,6	9,7	100,0	10,0	75,5	4,4	48,1	0,9	80,0	<u>0,0</u>
49	144	orta	284	2	3	100,0	30,0	10,4	79,9	3,3	90,3	<u>0,0</u>	54,0	6,3	83,8	1,9
50	114	orta	285	4	3	100,0	42,9	14,6	48,4	14,2	37,4	7,8	37,4	4,2	31,5	<u>0,0</u>
51	86	orta	286	2	5	100,0	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	12,0	12,0	19,2	19,2	43,5	36,2	13,8	13,8
52	91	orta	286	4	5	100,0	14,7	7,0	14,4	1,2	13,4	0,2	30,3	0,6	5,5	<u>0,0</u>

Orta Boyutlu Problemlerde Elde Edilen Eniyi Amaç Fonksiyonu GSD Değerleri

SN	PN	Tür	İS	AS	MS	DKA	NEH-0	NEH/DKA-0	NEH-1	NEH/DKA-1	NEH-2	NEH/DKA-2	NEH-3	NEH/DKA-3	NEH-4	NEH/DKA-4
53	154	orta	286	4	3	66,8	57,9	0,5	54,2	<u>0,0</u>	68,2	9,2	100,0	2,5	44,9	7,8
54	84	orta	290	2	3	100,0	4,3	4,3	5,7	5,7	8,3	8,3	2,6	2,6	15,3	<u>0,0</u>
55	100	orta	290	2	3	100,0	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	22,2	22,2	27,3	27,3	27,0	27,0	19,0	19,0
56	136	orta	292	4	5	100,0	40,0	29,5	6,7	3,4	10,1	<u>0,0</u>	64,9	12,2	3,2	3,2
57	80	orta	297	2	3	100,0	41,7	41,7	13,4	2,4	9,9	<u>0,0</u>	21,2	7,2	11,4	4,3
58	121	orta	298	2	3	100,0	17,6	14,4	13,8	8,4	21,9	2,2	22,4	<u>0,0</u>	15,6	1,0
Ort.			209,3			85,8	37,4	17,3	55,5	14,8	52,6	10,8	61,5	9,5	50,8	4,3

Orta Boyutlu Problemlerde Ortalama Amaç Fonksiyonu Değerleri

SN	PN	Tür	İS	AS	MS	DKA	NEH-0	NEH/DKA-0	NEH-1	NEH/DKA-1	NEH-2	NEH/DKA-2	NEH-3	NEH/DKA-3	NEH-4	NEH/DKA-4
1	31	B2	103	4	3	1.362,0	1.332,0	1.273,0	1.198,0	<u>1.188,1</u>	1.283,0	1.215,6	1.512,0	1.233,6	1.244,0	1.206,8
2	38	B2	109	4	5	404,7	305,0	<u>301,5</u>	371,0	358,1	377,0	349,5	426,0	340,6	374,0	329,4
3	77	B2	109	4	5	60,2	209,0	47,6	184,0	31,3	186,0	<u>16,5</u>	211,0	18,6	200,0	35,6
4	49	B2	112	2	3	958,9	715,0	<u>704,8</u>	1.106,0	848,2	1.120,0	785,2	911,0	743,4	1.114,0	758,9
5	26	B2	117	2	5	1.025,2	945,0	931,2	808,0	801,3	829,0	815,2	867,0	840,0	840,0	<u>798,5</u>
6	20	B2	121	2	3	1.388,7	1.019,0	<u>1.006,1</u>	1.223,0	1.186,0	1.243,0	1.197,0	1.077,0	1.062,9	1.199,0	1.151,9
7	71	B2	123	2	5	585,7	440,0	<u>434,7</u>	527,0	504,7	515,0	480,0	591,0	486,3	546,0	455,2
8	60	B2	124	4	3	835,1	342,0	328,9	415,0	363,5	384,0	311,7	518,0	296,1	326,0	<u>238,9</u>
9	56	B2	127	2	5	826,6	616,0	541,0	1.173,0	<u>519,2</u>	1.011,0	557,6	873,0	535,2	938,0	521,3
10	40	B2	130	4	3	1.595,8	1.457,0	1.273,0	1.239,0	1.157,7	1.272,0	<u>1.147,5</u>	1.539,0	1.239,3	1.322,0	1.165,3
11	74	B2	131	2	5	507,5	382,0	<u>351,5</u>	550,0	413,8	556,0	394,2	626,0	372,6	577,0	386,6
12	12	B2	134	4	3	2.671,8	2.053,0	1.893,3	2.222,0	1.789,0	1.889,0	1.549,5	2.655,0	1.677,6	2.143,0	<u>1.497,9</u>
13	35	B2	140	4	5	1.290,1	1.225,0	1.038,8	843,0	843,0	<u>756,0</u>	<u>756,0</u>	1.162,0	964,1	809,0	809,0
14	28	B2	142	2	5	1.420,1	1.035,0	<u>988,7</u>	1.062,0	990,7	1.096,0	1.009,8	1.253,0	1.124,7	1.113,0	1.030,5
15	14	B2	143	4	3	2.722,3	1.907,0	1.907,0	2.064,0	2.064,0	1.993,0	1.954,2	2.962,0	2.121,7	2.217,0	<u>1.861,6</u>
16	45	B2	144	2	3	1.671,9	1.342,0	1.335,6	1.518,0	1.462,7	1.462,0	1.407,8	1.609,0	1.436,6	1.507,0	<u>1.334,9</u>
17	108	B2	149	2	5	1.930,3	1.236,0	1.193,8	1.928,0	1.366,6	1.629,0	1.216,1	1.591,0	<u>1.153,5</u>	1.798,0	1.164,5
18	59	B2	151	2	5	605,8	429,0	399,1	940,0	420,8	831,0	381,4	588,0	367,0	742,0	<u>354,8</u>
19	119	B2	154	4	5	2.195,5	1.484,0	1.370,8	1.647,0	1.373,1	1.724,0	1.282,9	1.536,0	1.135,6	1.546,0	<u>1.072,6</u>
20	22	B2	156	2	3	2.470,6	<u>1.782,0</u>	<u>1.782,0</u>	2.419,0	2.273,0	2.259,0	2.129,4	2.078,0	1.998,9	2.339,0	2.123,9
21	116	B2	160	4	5	2.264,7	1.688,0	<u>1.526,5</u>	2.437,0	1.700,9	2.791,0	1.909,3	2.101,0	1.841,2	2.425,0	1.867,0
22	145	B2	171	2	5	1.163,7	738,0	692,2	1.093,0	777,3	1.234,0	672,2	711,0	566,6	1.326,0	<u>548,4</u>
23	140	B2	173	2	3	2.112,5	1.546,0	1.546,0	1.803,0	1.803,0	1.613,0	1.613,0	1.869,0	1.739,3	1.685,0	<u>1.535,5</u>
24	96	B2	186	4	3	3.396,6	2.307,0	2.235,8	1.951,0	1.915,9	2.006,0	1.930,2	2.411,0	2.130,8	1.821,0	<u>1.809,0</u>
25	112	B2	188	4	3	5.817,0	3.647,0	3.647,0	3.646,0	3.585,5	3.961,0	3.670,8	4.359,0	3.544,4	3.494,0	<u>3.071,5</u>
26	105	B2	197	2	5	3.718,0	<u>2.193,0</u>	<u>2.193,0</u>	2.260,0	2.260,0	2.751,0	2.751,0	2.559,0	2.547,8	2.225,0	2.225,0

Orta Boyutlu Problemlerde Ortalama Amaç Fonksiyonu Değerleri

SN	PN	Tür	İS	AS	MS	DKA	NEH-0	NEH/DKA-0	NEH-1	NEH/DKA-1	NEH-2	NEH/DKA-2	NEH-3	NEH/DKA-3	NEH-4	NEH/DKA-4
27	142	B2	201	2	3	4.786,2	<u>2.851,0</u>	<u>2.851,0</u>	3.803,0	3.803,0	3.812,0	3.812,0	3.825,0	3.769,9	3.472,0	3.392,6
28	157	B2	206	4	5	1.733,5	<u>687,0</u>	<u>687,0</u>	1.487,0	1.340,6	1.134,0	858,4	909,0	701,4	1.277,0	691,5
29	104	B2	220	2	3	3.499,6	2.438,0	2.438,0	3.125,0	2.784,8	2.803,0	2.585,0	2.575,0	<u>2.435,2</u>	2.870,0	2.536,6
30	115	B2	222	4	5	2.182,7	1.176,0	1.055,8	1.132,0	966,5	1.072,0	906,3	1.067,0	897,0	993,0	<u>801,3</u>
31	118	B2	228	4	5	5.047,8	3.700,0	3.459,1	3.699,0	3.245,9	3.328,0	2.993,0	3.838,0	3.000,6	3.661,0	<u>2.837,2</u>
32	93	B2	236	4	5	4.078,7	2.978,0	2.811,9	<u>2.144,0</u>	<u>2.144,0</u>	2.150,0	2.150,0	2.649,0	2.586,3	2.176,0	2.176,0
33	151	B2	236	4	3	4.417,1	2.368,0	2.368,0	3.452,0	2.958,6	3.646,0	2.585,5	3.207,0	2.325,6	3.217,0	<u>2.234,0</u>
34	158	B2	241	4	5	3.400,8	2.113,0	<u>1.639,9</u>	3.152,0	2.005,9	2.924,0	1.942,2	2.434,0	1.717,7	3.928,0	1.838,6
35	117	B2	243	4	5	6.423,0	4.767,0	4.520,1	5.529,0	4.322,5	5.471,0	4.093,0	4.842,0	3.974,6	4.394,0	<u>3.829,2</u>
36	113	B2	245	4	3	9.472,8	8.256,0	8.178,4	7.765,0	7.250,9	7.924,0	7.131,9	8.530,0	7.001,8	7.515,0	<u>6.542,6</u>
37	137	B2	253	4	5	1.952,4	1.000,0	<u>960,7</u>	1.673,0	1.492,1	1.529,0	1.379,7	2.073,0	1.680,7	1.548,0	1.376,3
38	146	B2	255	2	5	1.629,9	804,0	804,0	1.201,0	1.067,6	1.145,0	959,8	817,0	<u>750,6</u>	1.145,0	952,7
39	149	B2	259	2	5	1.842,9	<u>562,0</u>	<u>562,0</u>	1.524,0	1.308,6	1.092,0	828,9	1.028,0	727,8	1.341,0	755,5
40	98	B2	264	4	3	6.700,1	4.913,0	4.913,0	4.164,0	4.164,0	<u>3.866,0</u>	<u>3.866,0</u>	4.544,0	4.544,0	4.016,0	3.993,4
41	125	B2	274	4	3	2.109,1	1.115,0	1.115,0	1.377,0	1.377,0	<u>1.110,0</u>	<u>1.110,0</u>	1.798,0	1.691,6	1.164,0	1.164,0
42	130	B2	275	2	5	3.500,4	2.123,0	<u>2.108,1</u>	2.339,0	2.302,8	2.417,0	2.367,3	2.384,0	2.340,1	2.360,0	2.309,7
43	126	B2	280	4	3	6.536,0	4.162,0	4.151,7	4.087,0	4.017,4	4.202,0	4.114,0	4.977,0	4.806,1	4.058,0	<u>3.972,3</u>
44	120	B2	281	2	3	4.632,4	<u>2.335,0</u>	<u>2.335,0</u>	3.053,0	3.053,0	2.953,0	2.953,0	3.289,0	3.265,4	3.017,0	3.017,0
45	89	B2	282	2	5	3.849,2	2.306,0	<u>2.286,2</u>	2.353,0	2.325,6	2.349,0	2.306,2	2.589,0	2.504,7	2.326,0	2.289,6
46	94	B2	282	4	5	4.227,8	2.650,0	2.624,8	2.747,0	2.664,4	2.526,0	2.505,4	3.289,0	2.810,9	2.497,0	<u>2.480,7</u>
47	134	B2	283	2	5	2.893,0	<u>1.921,0</u>	<u>1.921,0</u>	2.082,0	2.082,0	2.148,0	2.148,0	2.229,0	2.229,0	2.132,0	2.132,0
48	159	B2	283	4	5	2.918,3	1.296,0	<u>1.137,8</u>	2.759,0	1.816,6	2.235,0	1.628,0	1.649,0	1.363,8	2.332,0	1.393,7
49	144	B2	284	2	3	8.119,3	4.160,0	<u>4.079,3</u>	6.217,0	5.741,5	6.648,0	5.814,5	5.151,0	4.833,5	6.380,0	5.244,4
50	114	B2	285	4	3	9.839,3	6.790,0	6.668,7	7.024,0	6.694,8	6.554,0	5.807,6	6.552,0	5.520,4	6.300,0	<u>5.324,1</u>
51	86	B2	286	2	5	6.471,9	<u>4.327,0</u>	<u>4.327,0</u>	4.541,0	4.541,0	4.670,0	4.670,0	5.104,0	5.090,9	4.573,0	4.573,0
52	91	B2	286	4	5	4.369,7	2.377,0	2.345,0	2.371,0	2.314,7	2.348,0	2.293,5	2.724,0	2.591,8	2.172,0	<u>2.148,6</u>

Orta Boyutlu Problemlerde Ortalama Amaç Fonksiyonu Değerleri

SN	PN	Tür	İS	AS	MS	DKA	NEH-0	NEH/DKA-0	NEH-1	NEH/DKA-1	NEH-2	NEH/DKA-2	NEH-3	NEH/DKA-3	NEH-4	NEH/DKA-4
53	154	B2	286	4	3	9.503,5	8.571,0	7.998,9	8.433,0	7.541,8	8.953,0	7.564,8	10.134,0	7.408,5	8.090,0	<u>7.190,2</u>
54	84	B2	290	2	3	11.281,8	8.298,0	8.298,0	8.330,0	8.330,0	8.388,0	8.388,0	<u>8.260,0</u>	<u>8.260,0</u>	8.545,0	8.510,6
55	100	B2	290	2	3	9.020,7	<u>4.449,0</u>	<u>4.449,0</u>	5.276,0	5.276,0	5.466,0	5.466,0	5.456,0	5.456,0	5.156,0	5.156,0
56	136	B2	292	4	5	1.574,7	1.089,0	1.082,1	871,0	868,8	893,0	886,4	1.252,0	1.207,4	<u>848,0</u>	<u>848,0</u>
57	80	B2	297	2	3	6.554,6	5.149,0	5.149,0	4.713,0	4.702,4	4.659,0	<u>4.649,4</u>	4.833,0	4.819,5	4.682,0	4.675,2
58	121	B2	298	2	3	7.320,4	5.327,0	5.321,0	5.256,0	5.245,9	5.408,0	5.370,9	5.418,0	5.299,2	5.291,0	<u>5.190,6</u>
Ort.			209			3.567,1	2.404,0	2.337,7	2.660,4	2.443,9	2.630,9	2.373,1	2.724,5	2.398,8	2.574,9	2.257,4

Orta Boyutlu Problemlerde Elde Edilen Ortalama Amaç Fonksiyonu GSD Değerleri

SN	PN	Tür	İS	AS	MS	DKA	NEH-0	NEH/DKA-0	NEH-1	NEH/DKA-1	NEH-2	NEH/DKA-2	NEH-3	NEH/DKA-3	NEH-4	NEH/DKA-4
1	31	orta	103	4	3	66,2	59,5	46,2	29,3	<u>27,0</u>	48,4	33,2	100,0	37,3	39,6	31,3
2	38	orta	109	4	5	86,3	22,4	<u>20,2</u>	64,7	56,5	68,6	51,0	100,0	45,3	66,7	38,1
3	77	orta	109	4	5	28,5	99,1	22,6	87,2	14,8	88,2	<u>7,8</u>	100,0	8,8	94,8	16,9
4	49	orta	112	2	3	71,7	28,8	<u>27,0</u>	97,5	52,2	100,0	41,2	63,3	33,8	98,9	36,5
5	26	orta	117	2	5	100,0	75,0	70,6	32,2	30,1	38,7	34,4	50,6	42,2	42,2	<u>29,2</u>
6	20	orta	121	2	3	100,0	25,9	<u>23,3</u>	66,8	59,4	70,8	61,6	37,5	34,7	62,0	52,5
7	71	orta	123	2	5	97,8	38,4	<u>36,2</u>	73,9	64,8	69,0	54,7	100,0	57,3	81,6	44,6
8	60	orta	124	4	3	100,0	34,7	33,0	44,4	37,5	40,3	30,7	58,0	28,6	32,6	<u>21,0</u>
9	56	orta	127	2	5	66,8	46,6	39,4	100,0	<u>37,3</u>	84,5	41,0	71,2	38,8	77,5	37,5
10	40	orta	130	4	3	100,0	81,5	57,1	52,5	41,7	56,9	<u>40,4</u>	92,4	52,6	63,6	42,7
11	74	orta	131	2	5	74,9	48,3	<u>41,8</u>	83,9	55,0	85,2	50,9	100,0	46,3	89,6	49,3
12	12	orta	134	4	3	100,0	62,2	52,4	72,5	46,0	52,1	31,4	99,0	39,2	67,7	<u>28,2</u>
13	35	orta	140	4	5	100,0	87,8	52,9	16,3	16,3	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	76,0	39,0	9,9	9,9
14	28	orta	142	2	5	100,0	39,9	<u>32,7</u>	44,1	33,0	49,4	36,0	73,9	53,9	52,1	39,2
15	14	orta	143	4	3	84,8	32,9	32,9	42,9	42,9	38,4	35,9	100,0	46,6	52,6	<u>30,0</u>
16	45	orta	144	2	3	100,0	45,1	44,0	74,4	65,2	65,1	56,0	89,5	60,8	72,6	<u>43,9</u>
17	108	orta	149	2	5	100,0	41,5	37,9	99,8	52,5	74,6	39,8	71,4	<u>34,5</u>	88,8	35,4
18	59	orta	151	2	5	57,2	34,5	30,7	100,0	33,4	86,0	28,4	54,9	26,5	74,6	<u>25,0</u>
19	119	orta	154	4	5	100,0	46,1	37,5	58,5	37,7	64,3	30,9	50,1	19,7	50,8	<u>15,0</u>
20	22	orta	156	2	3	100,0	<u>9,0</u>	<u>9,0</u>	93,2	73,9	72,0	54,9	48,1	37,7	82,6	54,2
21	116	orta	160	4	5	70,1	37,4	<u>28,3</u>	79,9	38,2	100,0	50,0	60,9	46,1	79,2	47,6
22	145	orta	171	2	5	84,2	42,8	38,3	77,3	46,6	91,1	36,4	40,2	26,1	100,0	<u>24,4</u>
23	140	orta	173	2	3	100,0	58,4	58,4	77,3	77,3	63,3	63,3	82,1	72,6	68,6	<u>57,6</u>
24	96	orta	186	4	3	100,0	33,2	28,8	11,3	9,2	14,7	10,1	39,6	22,4	3,4	<u>2,6</u>
25	112	orta	188	4	3	100,0	34,1	34,1	34,0	32,2	43,6	34,8	55,7	30,9	29,4	<u>16,6</u>
26	105	orta	197	2	5	100,0	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	4,4	4,4	36,6	36,6	24,0	23,3	2,1	2,1

Orta Boyutlu Problemlerde Elde Edilen Ortalama Amaç Fonksiyonu GSD Değerleri

SN	PN	Tür	İS	AS	MS	DKA	NEH-0	NEH/DKA-0	NEH-1	NEH/DKA-1	NEH-2	NEH/DKA-2	NEH-3	NEH/DKA-3	NEH-4	NEH/DKA-4
27	142	orta	201	2	3	100,0	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	49,2	49,2	49,7	49,7	50,3	47,5	32,1	28,0
28	157	orta	206	4	5	100,0	<u>18,1</u>	<u>18,1</u>	80,7	69,3	53,1	31,6	35,5	19,3	64,3	18,5
29	104	orta	220	2	3	100,0	25,7	25,7	73,8	50,0	51,3	36,0	35,3	<u>25,5</u>	56,0	32,6
30	115	orta	222	4	5	100,0	33,6	25,7	30,7	19,8	26,8	15,8	26,4	15,2	21,6	<u>8,9</u>
31	118	orta	228	4	5	100,0	48,5	39,3	48,5	31,1	34,3	21,5	53,8	21,8	47,0	<u>15,5</u>
32	93	orta	236	4	5	100,0	43,1	34,5	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	0,3	0,3	26,1	22,9	1,7	1,7
33	151	orta	236	4	3	100,0	17,2	17,2	61,0	41,1	68,9	26,0	51,1	15,5	51,5	<u>11,8</u>
34	158	orta	241	4	5	82,9	41,2	<u>25,8</u>	74,8	37,7	67,5	35,6	51,6	28,4	100,0	32,3
35	117	orta	243	4	5	100,0	48,4	40,7	72,1	34,6	70,3	27,4	50,7	23,7	36,8	<u>19,2</u>
36	113	orta	245	4	3	100,0	63,7	61,4	49,0	33,7	53,8	30,2	71,9	26,3	41,6	<u>12,6</u>
37	137	orta	253	4	5	91,4	23,6	<u>20,8</u>	71,5	58,7	61,3	50,7	100,0	72,1	62,6	50,4
38	146	orta	255	2	5	100,0	24,5	24,5	60,8	48,6	55,7	38,7	25,7	<u>19,6</u>	55,7	38,1
39	149	orta	259	2	5	100,0	<u>10,5</u>	<u>10,5</u>	77,7	62,7	47,5	29,1	43,0	22,1	64,9	24,0
40	98	orta	264	4	3	100,0	36,9	36,9	10,5	10,5	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	23,9	23,9	5,3	4,5
41	125	orta	274	4	3	100,0	0,5	0,5	26,7	26,7	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	68,9	58,2	5,4	5,4
42	130	orta	275	2	5	100,0	12,9	<u>12,0</u>	26,6	24,3	31,5	28,3	29,4	26,6	27,9	24,7
43	126	orta	280	4	3	100,0	28,8	28,5	26,6	24,5	30,0	27,4	53,3	48,1	25,7	<u>23,1</u>
44	120	orta	281	2	3	100,0	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	31,3	31,3	26,9	26,9	41,5	40,5	29,7	29,7
45	89	orta	282	2	5	100,0	14,1	<u>13,0</u>	16,7	15,2	16,5	14,1	29,9	25,2	15,2	13,2
46	94	orta	282	4	5	100,0	18,5	17,2	23,5	19,2	12,1	11,0	51,5	26,8	10,6	<u>9,7</u>
47	134	orta	283	2	5	100,0	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	16,6	16,6	23,4	23,4	31,7	31,7	21,7	21,7
48	159	orta	283	4	5	100,0	29,4	<u>22,6</u>	93,1	52,1	70,3	43,9	44,8	32,4	74,5	33,7
49	144	orta	284	2	3	100,0	23,8	<u>22,2</u>	63,4	54,2	71,7	55,6	42,8	36,7	66,5	44,6
50	114	orta	285	4	3	100,0	37,6	35,1	42,4	35,6	32,8	17,5	32,7	11,6	27,6	<u>7,6</u>
51	86	orta	286	2	5	100,0	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	10,0	10,0	16,0	16,0	36,2	35,6	11,5	11,5
52	91	orta	286	4	5	100,0	14,1	12,8	13,9	11,4	12,9	10,5	29,1	23,4	5,3	<u>4,3</u>

Orta Boyutlu Problemlerde Elde Edilen Ortalama Amaç Fonksiyonu GSD Değerleri

SN	PN	Tür	İS	AS	MS	DKA	NEH-0	NEH/DKA-0	NEH-1	NEH/DKA-1	NEH-2	NEH/DKA-2	NEH-3	NEH/DKA-3	NEH-4	NEH/DKA-4
53	154	orta	286	4	3	83,0	57,9	42,5	54,2	30,1	68,2	30,8	100,0	26,6	44,9	<u>20,7</u>
54	84	orta	290	2	3	100,0	3,1	3,1	4,2	4,2	6,1	6,1	<u>1,9</u>	<u>1,9</u>	11,2	10,0
55	100	orta	290	2	3	100,0	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	18,1	18,1	22,2	22,2	22,0	22,0	15,5	15,5
56	136	orta	292	4	5	100,0	35,0	34,1	5,9	5,6	8,8	7,9	56,8	50,9	<u>2,8</u>	<u>2,8</u>
57	80	orta	297	2	3	100,0	31,4	31,4	10,1	9,6	7,5	<u>7,0</u>	16,0	15,3	8,6	8,3
58	121	orta	298	2	3	100,0	14,2	14,0	11,2	10,8	17,7	16,1	18,2	13,0	12,7	<u>8,4</u>
Ort.			209,3			93,9	33,1	27,7	49,5	35,0	46,8	30,2	55,0	33,0	45,5	24,6

Orta Boyutlu Problemlerde Elde Edilen İşlemci Süreleri (sn)

SN	PN	Tür	İS	AS	MS	DKA	NEH-0	NEH/DKA-0	NEH-1	NEH/DKA-1	NEH-2	NEH/DKA-2	NEH-3	NEH/DKA-3	NEH-4	NEH/DKA-4
1	31	orta	103	4	3	67,8	17,8	65,6	18,4	42,3	17,9	70,2	17,7	87,8	18,0	68,1
2	38	orta	109	4	5	69,7	20,2	40,1	20,6	53,0	20,8	72,9	20,0	85,8	20,7	86,9
3	77	orta	109	4	5	71,2	21,1	92,8	21,4	93,1	21,5	93,9	21,0	93,2	21,5	93,7
4	49	orta	112	2	3	30,8	15,6	25,5	15,5	45,5	15,4	45,7	14,8	43,0	15,7	46,3
5	26	orta	117	2	5	33,2	18,2	29,5	18,5	29,1	18,8	31,4	18,3	31,8	18,9	36,0
6	20	orta	121	2	3	29,7	17,3	26,9	17,7	29,7	17,6	29,8	17,1	29,3	17,2	29,4
7	71	orta	123	2	5	36,6	23,0	34,7	23,1	38,9	22,8	43,7	21,9	49,3	23,0	52,7
8	60	orta	124	4	3	76,1	27,6	53,7	28,6	62,2	28,5	77,5	26,5	89,7	28,7	87,8
9	56	orta	127	2	5	35,5	23,1	35,4	23,2	60,2	22,9	60,1	22,6	60,0	23,0	60,4
10	40	orta	130	4	3	82,3	33,8	89,2	34,7	76,7	35,6	87,3	32,4	103,7	34,9	96,8
11	74	orta	131	2	5	37,4	25,4	43,2	26,0	55,9	26,2	56,4	25,1	61,3	25,8	61,9
12	12	orta	134	4	3	85,3	36,1	70,1	37,1	90,0	36,6	96,5	36,4	114,7	37,3	113,0
13	35	orta	140	4	5	95,5	44,6	105,0	45,5	72,1	46,6	72,9	44,6	127,5	46,2	72,5
14	28	orta	142	2	5	42,1	34,1	51,9	35,0	55,4	34,4	54,9	34,0	54,4	35,1	55,6
15	14	orta	143	4	3	91,4	47,1	72,4	47,0	72,3	45,7	75,8	42,7	122,1	46,3	120,4
16	45	orta	144	2	3	36,9	29,4	41,3	31,3	46,1	31,8	46,7	29,6	54,8	30,9	58,2
17	108	orta	149	2	5	43,8	37,9	50,2	39,6	80,6	39,8	82,4	38,3	81,2	40,5	83,6
18	59	orta	151	2	5	43,9	40,3	58,0	40,8	86,6	40,6	86,7	38,2	84,0	40,5	85,8
19	119	orta	154	4	5	107,5	60,5	105,5	63,3	133,5	62,7	157,4	60,1	163,3	62,6	170,4
20	22	orta	156	2	3	41,3	41,5	51,4	42,7	66,3	42,4	66,5	40,3	64,5	42,1	67,5
21	116	orta	160	4	5	109,1	67,9	120,1	71,0	183,2	70,7	183,8	67,0	163,9	70,8	183,9
22	145	orta	171	2	5	50,9	57,6	75,0	63,9	95,6	63,8	117,9	61,1	94,7	62,4	117,5
23	140	orta	173	2	3	44,9	52,8	63,7	54,8	65,7	55,0	65,9	51,2	69,7	56,0	74,6
24	96	orta	186	4	3	115,9	103,6	156,2	103,1	156,2	102,4	172,6	100,5	184,9	106,2	167,9
25	112	orta	188	4	3	118,1	105,0	138,7	108,9	147,8	107,7	159,7	101,7	190,0	108,3	198,7
26	105	orta	197	2	5	65,8	106,5	122,3	109,8	125,6	108,5	124,7	105,4	123,2	110,1	126,1

Orta Boyutlu Problemlerde Elde Edilen İşlemci Süreleri (sn)

SN	PN	Tür	İS	AS	MS	DKA	NEH-0	NEH/DKA-0	NEH-1	NEH/DKA-1	NEH-2	NEH/DKA-2	NEH-3	NEH/DKA-3	NEH-4	NEH/DKA-4
27	142	orta	201	2	3	57,6	93,6	107,6	100,6	114,5	94,6	108,6	95,3	110,6	100,1	120,2
28	157	orta	206	4	5	151,7	158,3	199,6	167,6	238,7	166,7	307,1	159,3	309,9	165,3	323,4
29	104	orta	220	2	3	55,3	111,4	125,1	120,1	151,1	122,3	156,9	113,1	148,4	117,9	157,9
30	115	orta	222	4	5	153,9	178,6	264,3	187,4	285,3	185,4	283,9	176,6	275,0	186,4	310,2
31	118	orta	228	4	5	166,3	210,7	280,6	224,0	337,4	215,8	344,0	207,9	359,8	222,0	380,5
32	93	orta	236	4	5	193,9	276,1	370,0	278,5	331,3	277,2	330,1	274,2	386,5	279,1	332,1
33	151	orta	236	4	3	159,9	208,0	251,0	226,5	309,2	224,9	371,9	209,7	374,5	220,3	386,1
34	158	orta	241	4	5	188,3	262,5	370,2	277,3	444,5	275,5	467,0	264,4	441,4	284,2	476,3
35	117	orta	243	4	5	200,6	291,1	375,2	303,9	475,3	304,8	513,1	293,3	503,1	306,8	501,9
36	113	orta	245	4	3	168,8	240,5	290,7	261,3	359,9	266,1	384,5	245,0	395,7	268,2	436,3
37	137	orta	253	4	5	193,0	305,4	378,1	313,7	396,0	317,8	399,6	295,6	491,4	315,8	400,4
38	146	orta	255	2	5	71,5	178,8	195,6	190,1	224,2	191,6	232,3	181,5	222,8	192,8	233,4
39	149	orta	259	2	5	72,4	187,2	204,3	199,2	233,6	197,8	244,3	192,7	244,9	198,8	252,8
40	98	orta	264	4	3	173,2	294,9	341,2	319,8	366,2	318,3	364,7	297,2	343,6	311,5	366,0
41	125	orta	274	4	3	176,1	319,4	365,4	330,0	375,9	332,5	378,5	310,2	373,3	328,8	376,0
42	130	orta	275	2	5	99,4	319,0	350,9	319,2	351,3	326,1	360,5	308,0	348,6	323,5	364,4
43	126	orta	280	4	3	208,0	419,2	479,3	459,3	533,6	449,3	523,8	429,7	503,7	462,8	537,1
44	120	orta	281	2	3	70,0	238,8	255,4	241,5	258,1	240,0	256,6	236,1	258,9	242,5	259,2
45	89	orta	282	2	5	90,4	290,6	319,4	306,6	335,5	303,2	340,0	291,6	328,7	303,9	340,9
46	94	orta	282	4	5	219,5	436,4	506,8	469,4	575,5	461,2	540,7	445,4	622,1	459,4	558,0
47	134	orta	283	2	5	91,1	296,2	317,6	303,1	324,5	307,2	328,8	288,0	309,4	308,9	330,3
48	159	orta	283	4	5	219,6	432,7	534,9	462,0	652,2	462,1	660,4	424,0	549,1	459,8	692,1
49	144	orta	284	2	3	82,5	279,4	306,9	297,0	326,9	294,0	338,7	278,9	321,0	294,0	357,8
50	114	orta	285	4	3	183,2	366,1	423,1	395,2	478,9	384,9	534,3	360,9	525,5	395,6	572,5
51	86	orta	286	2	5	107,5	392,1	417,6	389,4	414,9	389,7	415,2	383,5	411,8	395,5	421,2
52	91	orta	286	4	5	196,1	400,7	460,1	413,6	498,6	406,4	492,0	404,7	490,5	410,5	496,4

Orta Boyutlu Problemlerde Elde Edilen İşlemci Süreleri (sn)

SN	PN	Tür	İS	AS	MS	DKA	NEH-0	NEH/DKA-0	NEH-1	NEH/DKA-1	NEH-2	NEH/DKA-2	NEH-3	NEH/DKA-3	NEH-4	NEH/DKA-4
53	154	orta	286	4	3	195,7	405,5	504,7	430,4	566,5	413,2	588,3	390,0	597,6	425,8	608,2
54	84	orta	290	2	3	99,3	382,9	407,1	403,6	427,8	402,2	426,3	389,1	413,3	402,4	429,4
55	100	orta	290	2	3	83,5	290,5	308,6	290,6	308,7	288,9	306,9	272,0	290,2	295,8	313,9
56	136	orta	292	4	5	221,1	465,8	529,2	490,6	554,0	486,3	564,4	455,0	542,6	479,7	540,2
57	80	orta	297	2	3	95,0	355,5	377,6	401,6	429,3	407,9	435,8	379,3	407,1	395,5	423,1
58	121	orta	298	2	3	82,8	327,5	349,4	337,7	358,8	335,6	363,0	324,1	369,4	332,4	391,9
Ort.			209,3			106,7	181,4	220,4	190,6	243,1	189,4	251,6	180,4	253,4	190,1	260,5

Büyük Boyutlu Problemlerde Elde Edilen Eniyi Amaç Fonksiyonu Değerleri

SN	PN	Tür	İS	AS	MS	DKA	NEH-0	NEH/DKA-0	NEH-1	NEH/DKA-1	NEH-2	NEH/DKA-2	NEH-3	NEH/DKA-3	NEH-4	NEH/DKA-4
1	133	büyük	303	2	5	4.484	3.373	3.373	<u>3.145</u>	<u>3.145</u>	3.168	3.168	3.623	3.623	3.190	3.190
2	143	büyük	317	2	3	4.903	3.624	3.624	2.757	2.184	2.638	1.942	3.672	1.961	3.021	<u>1.917</u>
3	147	büyük	317	2	5	2.864	1.040	1.040	1.722	1.017	1.524	963	1.411	890	1.646	<u>873</u>
4	124	büyük	328	2	3	5.006	2.798	2.584	3.126	2.583	3.060	2.553	3.202	<u>2.552</u>	3.074	2.640
5	135	büyük	328	4	5	1.931	1.752	1.543	1.213	1.213	1.161	1.161	1.758	1.418	1.244	<u>1.160</u>
6	156	büyük	328	4	5	5.532	1.744	1.451	3.975	<u>1.397</u>	4.079	2.722	3.424	2.711	4.554	2.608
7	97	büyük	329	4	3	7.961	<u>5.338</u>	<u>5.338</u>	5.663	5.663	5.715	5.715	6.559	6.258	5.556	5.556
8	127	büyük	330	4	3	8.081	4.899	4.208	5.112	4.159	4.974	4.084	5.818	4.003	4.859	<u>3.940</u>
9	109	büyük	333	2	5	7.134	5.213	5.213	4.424	4.424	<u>4.391</u>	4.391	5.322	5.322	4.561	4.561
10	87	büyük	335	2	5	7.047	4.939	4.939	4.866	4.866	<u>4.791</u>	4.791	4.940	4.940	4.807	4.807
11	81	büyük	338	2	3	4.596	<u>3.324</u>	<u>3.324</u>	3.360	3.360	3.435	3.435	3.841	3.548	3.357	3.357
12	138	büyük	339	4	5	5.183	3.107	2.797	4.053	<u>2.607</u>	4.111	2.684	3.993	3.395	4.291	3.400
13	106	büyük	344	2	5	7.655	5.048	5.048	5.562	3.954	5.401	3.707	5.315	3.614	5.565	<u>3.585</u>
14	82	büyük	345	2	3	11.392	7.964	7.964	8.385	8.385	8.034	8.034	<u>7.578</u>	<u>7.578</u>	8.247	7.910
15	155	büyük	346	4	5	1.352	827	400	1.732	<u>335</u>	1.368	351	1.094	558	1.702	451
16	92	büyük	354	4	5	7.940	5.664	4.928	4.484	4.331	4.372	<u>4.271</u>	5.852	4.462	4.288	4.288
17	128	büyük	359	4	3	12.118	7.330	6.598	7.742	<u>6.536</u>	7.688	6.705	8.186	6.628	7.325	6.539
18	152	büyük	366	4	3	16.627	7.574	7.574	11.366	8.133	7.939	6.807	8.579	6.776	8.859	<u>6.562</u>
19	153	büyük	367	4	3	16.002	9.329	9.329	10.144	9.267	9.650	8.851	10.131	<u>8.762</u>	10.212	8.895
20	102	büyük	371	2	3	10.342	8.341	8.341	7.988	7.988	<u>7.914</u>	7.914	8.442	8.145	7.933	7.933
21	99	büyük	382	4	3	9.451	6.658	6.502	5.062	5.062	4.890	4.890	6.346	6.060	5.276	<u>4.871</u>
22	88	büyük	386	2	5	8.403	5.178	5.178	5.167	5.167	5.282	5.282	5.522	5.522	<u>5.141</u>	<u>5.141</u>
23	141	büyük	401	2	3	19.124	14.764	14.764	13.834	13.834	13.895	13.895	16.253	13.715	<u>13.505</u>	<u>13.505</u>
24	150	büyük	406	4	3	14.794	9.098	7.353	7.704	6.987	6.981	<u>6.526</u>	8.035	6.758	6.814	6.709
25	148	büyük	412	2	5	6.010	3.174	3.174	4.416	2.574	5.384	2.190	3.384	2.061	4.856	<u>1.683</u>
26	111	büyük	416	4	3	19.859	16.450	16.450	16.111	13.069	15.478	12.550	17.053	<u>12.386</u>	14.884	12.438

Büyük Boyutlu Problemlerde Elde Edilen Eniyi Amaç Fonksiyonu Değerleri

SN	PN	Tür	İS	AS	MS	DKA	NEH-0	NEH/DKA-0	NEH-1	NEH/DKA-1	NEH-2	NEH/DKA-2	NEH-3	NEH/DKA-3	NEH-4	NEH/DKA-4
27	110	büyük	424	4	3	20.580	18.488	13.041	17.142	12.212	17.222	<u>12.122</u>	20.283	12.188	16.204	12.379
28	85	büyük	425	2	5	6.171	<u>4.032</u>	<u>4.032</u>	4.363	4.363	4.328	4.328	4.484	4.246	4.385	4.179
29	131	büyük	435	2	5	7.635	4.777	4.777	5.018	5.018	5.137	5.137	4.957	4.728	5.097	<u>4.662</u>
30	83	büyük	448	2	3	13.438	9.498	9.498	9.207	9.207	9.352	9.352	<u>8.631</u>	<u>8.631</u>	9.214	9.214
31	123	büyük	452	2	3	10.817	6.580	6.580	6.695	6.695	6.578	6.578	6.559	6.227	6.606	<u>6.037</u>
32	107	büyük	460	2	5	9.936	5.414	5.414	7.575	5.440	7.712	5.184	6.114	5.144	7.546	<u>5.090</u>
33	122	büyük	465	2	3	16.855	<u>10.512</u>	<u>10.512</u>	12.418	12.418	12.347	12.347	12.779	12.779	12.300	12.300
34	95	büyük	486	4	3	19.879	13.086	13.086	11.726	11.726	<u>11.699</u>	<u>11.699</u>	13.863	13.340	11.816	11.816
35	132	büyük	497	2	5	9.182	5.888	5.888	5.101	4.855	5.054	4.748	5.380	4.832	4.950	<u>4.730</u>
36	103	büyük	500	2	3	21.625	13.088	13.088	15.738	13.503	14.946	13.149	13.558	13.067	14.296	<u>12.937</u>
37	129	büyük	514	4	3	14.260	6.849	6.849	6.686	6.686	6.959	6.735	8.428	7.019	6.746	<u>6.565</u>
38	139	büyük	536	4	5	5.040	3.507	3.507	3.000	3.000	2.889	2.889	3.326	2.888	3.023	<u>2.715</u>
39	90	büyük	570	4	5	13.207	9.615	9.615	<u>8.120</u>	<u>8.120</u>	8.278	8.132	9.157	8.289	8.308	8.228
40	101	büyük	571	2	3	34.568	29.293	24.274	28.006	21.310	26.420	20.536	32.955	20.059	25.491	<u>19.635</u>
Ort.						10.725	7.229	6.830	7.348	6.420	7.156	6.313	7.745	6.427	7.119	6.225

Büyük Boyutlu Problemlerde Elde Edilen Eniyi Amaç Fonksiyonu GSD Değerleri

SN	PN	Tür	İS	AS	MS	DKA	NEH-0	NEH/DKA-0	NEH-1	NEH/DKA-1	NEH-2	NEH/DKA-2	NEH-3	NEH/DKA-3	NEH-4	NEH/DKA-4
1	133	büyük	303	2	5	100,0	17,0	17,0	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	1,7	1,7	35,7	35,7	3,4	3,4
2	143	büyük	317	2	3	100,0	57,2	57,2	28,1	8,9	24,1	0,8	58,8	1,5	37,0	<u>0,0</u>
3	147	büyük	317	2	5	100,0	8,4	8,4	42,6	7,2	32,7	4,5	27,0	0,9	38,8	<u>0,0</u>
4	124	büyük	328	2	3	100,0	10,0	1,3	23,4	1,3	20,7	0,0	26,5	<u>0,0</u>	21,3	3,6
5	135	büyük	328	4	5	100,0	76,8	49,7	6,9	6,9	0,1	0,1	77,6	33,5	10,9	<u>0,0</u>
6	156	büyük	328	4	5	100,0	8,4	1,3	62,3	<u>0,0</u>	64,9	32,0	49,0	31,8	76,3	29,3
7	97	büyük	329	4	3	100,0	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	12,4	12,4	14,4	14,4	46,5	35,1	8,3	8,3
8	127	büyük	330	4	3	100,0	23,2	6,5	28,3	5,3	25,0	3,5	45,4	1,5	22,2	<u>0,0</u>
9	109	büyük	333	2	5	100,0	30,0	30,0	1,2	1,2	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	33,9	33,9	6,2	6,2
10	87	büyük	335	2	5	100,0	6,6	6,6	3,3	3,3	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	6,6	6,6	0,7	0,7
11	81	büyük	338	2	3	100,0	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	2,8	2,8	8,7	8,7	40,6	17,6	2,6	2,6
12	138	büyük	339	4	5	100,0	19,4	7,4	56,1	<u>0,0</u>	58,4	3,0	53,8	30,6	65,4	30,8
13	106	büyük	344	2	5	100,0	35,9	35,9	48,6	9,1	44,6	3,0	42,5	0,7	48,6	<u>0,0</u>
14	82	büyük	345	2	3	100,0	10,1	10,1	21,2	21,2	12,0	12,0	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	17,5	8,7
15	155	büyük	346	4	5	72,8	35,2	4,7	100,0	<u>0,0</u>	73,9	1,1	54,3	16,0	97,9	8,3
16	92	büyük	354	4	5	100,0	38,0	17,9	5,8	1,6	2,8	<u>0,0</u>	43,1	5,2	0,5	0,5
17	128	büyük	359	4	3	100,0	14,2	1,1	21,6	<u>0,0</u>	20,6	3,0	29,6	1,6	14,1	0,1
18	152	büyük	366	4	3	100,0	10,1	10,1	47,7	15,6	13,7	2,4	20,0	2,1	22,8	<u>0,0</u>
19	153	büyük	367	4	3	100,0	7,8	7,8	19,1	7,0	12,3	1,2	18,9	<u>0,0</u>	20,0	1,8
20	102	büyük	371	2	3	100,0	17,6	17,6	3,0	3,0	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	21,7	9,5	0,8	0,8
21	99	büyük	382	4	3	100,0	39,0	35,6	4,2	4,2	0,4	0,4	32,2	26,0	8,8	<u>0,0</u>
22	88	büyük	386	2	5	100,0	1,1	1,1	0,8	0,8	4,3	4,3	11,7	11,7	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>
23	141	büyük	401	2	3	100,0	22,4	22,4	5,9	5,9	6,9	6,9	48,9	3,7	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>
24	150	büyük	406	4	3	100,0	31,1	10,0	14,2	5,6	5,5	<u>0,0</u>	18,3	2,8	3,5	2,2
25	148	büyük	412	2	5	100,0	34,5	34,5	63,2	20,6	85,5	11,7	39,3	8,7	73,3	<u>0,0</u>
26	111	büyük	416	4	3	100,0	54,4	54,4	49,8	9,1	41,4	2,2	62,5	<u>0,0</u>	33,4	0,7

Büyük Boyutlu Problemlerde Elde Edilen Eniyi Amaç Fonksiyonu GSD Değerleri

SN	PN	Tür	İS	AS	MS	DKA	NEH-0	NEH/DKA-0	NEH-1	NEH/DKA-1	NEH-2	NEH/DKA-2	NEH-3	NEH/DKA-3	NEH-4	NEH/DKA-4	
27	110	büyük	424	4	3	100,0	75,3	10,9	59,4	1,1	60,3	<u>0,0</u>	96,5	0,8	48,3	3,0	
28	85	büyük	425	2	5	100,0	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	15,5	15,5	13,8	13,8	21,1	10,0	16,5	6,9	
29	131	büyük	435	2	5	100,0	3,9	3,9	12,0	12,0	16,0	16,0	9,9	2,2	14,6	<u>0,0</u>	
30	83	büyük	448	2	3	100,0	18,0	18,0	12,0	12,0	15,0	15,0	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	12,1	12,1	
31	123	büyük	452	2	3	100,0	11,4	11,4	13,8	13,8	11,3	11,3	10,9	4,0	11,9	<u>0,0</u>	
32	107	büyük	460	2	5	100,0	6,7	6,7	51,3	7,2	54,1	1,9	21,1	1,1	50,7	<u>0,0</u>	
33	122	büyük	465	2	3	100,0	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	30,0	30,0	28,9	28,9	35,7	35,7	28,2	28,2	
34	95	büyük	486	4	3	100,0	17,0	17,0	0,3	0,3	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	26,5	20,1	1,4	1,4	
35	132	büyük	497	2	5	100,0	26,0	26,0	8,3	2,8	7,3	0,4	14,6	2,3	4,9	<u>0,0</u>	
36	103	büyük	500	2	3	100,0	1,7	1,7	32,2	6,5	23,1	2,4	7,1	1,5	15,6	<u>0,0</u>	
37	129	büyük	514	4	3	100,0	3,7	3,7	1,6	1,6	5,1	2,2	24,2	5,9	2,4	<u>0,0</u>	
38	139	büyük	536	4	5	100,0	34,1	34,1	12,3	12,3	7,5	7,5	26,3	7,4	13,2	<u>0,0</u>	
39	90	büyük	570	4	5	100,0	29,4	29,4	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	3,1	0,2	20,4	3,3	3,7	2,1	
40	101	büyük	571	2	3	100,0	64,7	31,1	56,1	11,2	45,4	6,0	89,2	2,8	39,2	<u>0,0</u>	
Ort.			399,1				99,3	22,5	16,1	24,4	7,0	21,6	5,6	33,7	10,3	22,4	4,0

Büyük Boyutlu Problemlere Ait Ortalama Amaç Fonksiyonu Değerleri

SN	PN	Tür	İS	AS	MS	DKA	NEH-0	NEH/DKA-0	NEH-1	NEH/DKA-1	NEH-2	NEH/DKA-2	NEH-3	NEH/DKA-3	NEH-4	NEH/DKA-4
1	133	büyük	303	2	5	5.127,7	3.373,0	3.373,0	<u>3.145,0</u>	<u>3.145,0</u>	3.168,0	3.168,0	3.623,0	3.623,0	3.190,0	3.190,0
2	143	büyük	317	2	3	5.919,5	3.624,0	3.624,0	2.757,0	2.699,7	2.638,0	<u>2.568,4</u>	3.672,0	3.415,5	3.021,0	2.848,4
3	147	büyük	317	2	5	3.295,5	<u>1.040,0</u>	<u>1.040,0</u>	1.722,0	1.530,7	1.524,0	1.231,9	1.411,0	1.154,1	1.646,0	1.249,4
4	124	büyük	328	2	3	5.418,1	2.798,0	<u>2.765,3</u>	3.126,0	3.018,0	3.060,0	2.965,2	3.202,0	3.079,7	3.074,0	2.996,3
5	135	büyük	328	4	5	2.026,4	1.752,0	1.695,3	1.213,0	1.213,0	<u>1.161,0</u>	<u>1.161,0</u>	1.758,0	1.657,9	1.244,0	1.235,6
6	156	büyük	328	4	5	6.064,0	1.744,0	<u>1.714,7</u>	3.975,0	3.536,7	4.079,0	3.098,1	3.424,0	2.986,9	4.554,0	2.939,1
7	97	büyük	329	4	3	8.345,6	<u>5.338,0</u>	<u>5.338,0</u>	5.663,0	5.663,0	5.715,0	5.715,0	6.559,0	6.528,9	5.556,0	5.556,0
8	127	büyük	330	4	3	8.620,4	4.899,0	4.785,6	5.112,0	4.932,2	4.974,0	4.812,2	5.818,0	5.494,7	4.859,0	<u>4.714,0</u>
9	109	büyük	333	2	5	7.775,7	5.213,0	5.213,0	4.424,0	4.424,0	<u>4.391,0</u>	<u>4.391,0</u>	5.322,0	5.322,0	4.561,0	4.561,0
10	87	büyük	335	2	5	7.502,0	4.939,0	4.939,0	4.866,0	4.866,0	<u>4.791,0</u>	<u>4.791,0</u>	4.940,0	4.940,0	4.807,0	4.807,0
11	81	büyük	338	2	3	5.080,8	<u>3.324,0</u>	<u>3.324,0</u>	3.360,0	3.360,0	3.435,0	3.435,0	3.841,0	3.797,3	3.357,0	3.357,0
12	138	büyük	339	4	5	5.468,4	3.107,0	<u>3.076,0</u>	4.053,0	3.895,9	4.111,0	3.940,5	3.993,0	3.854,6	4.291,0	4.026,9
13	106	büyük	344	2	5	8.270,3	5.048,0	5.048,0	5.562,0	5.401,2	5.401,0	4.853,1	5.315,0	<u>4.735,1</u>	5.565,0	4.868,5
14	82	büyük	345	2	3	12.092,0	7.964,0	7.964,0	8.385,0	8.385,0	8.034,0	8.034,0	<u>7.578,0</u>	<u>7.578,0</u>	8.247,0	8.213,3
15	155	büyük	346	4	5	1.574,3	827,0	<u>714,0</u>	1.732,0	1.129,8	1.368,0	1.049,2	1.094,0	738,4	1.702,0	753,7
16	92	büyük	354	4	5	8.109,0	5.664,0	5.422,0	4.484,0	4.468,7	4.372,0	4.361,9	5.852,0	5.250,8	<u>4.288,0</u>	<u>4.288,0</u>
17	128	büyük	359	4	3	12.706,3	7.330,0	7.256,8	7.742,0	7.579,2	7.688,0	7.530,1	8.186,0	7.914,2	7.325,0	<u>7.246,4</u>
18	152	büyük	366	4	3	17.468,0	7.574,0	7.574,0	11.366,0	9.924,4	7.939,0	7.825,8	8.579,0	8.188,9	8.859,0	<u>7.349,1</u>
19	153	büyük	367	4	3	17.099,0	<u>9.329,0</u>	<u>9.329,0</u>	10.144,0	10.056,3	9.650,0	9.515,5	10.131,0	9.730,2	10.212,0	9.754,6
20	102	büyük	371	2	3	11.729,4	8.341,0	8.341,0	7.988,0	7.988,0	<u>7.914,0</u>	<u>7.914,0</u>	8.442,0	8.412,3	7.933,0	7.933,0
21	99	büyük	382	4	3	9.780,9	6.658,0	6.627,0	5.062,0	5.062,0	<u>4.890,0</u>	<u>4.890,0</u>	6.346,0	6.317,4	5.276,0	5.203,6
22	88	büyük	386	2	5	8.810,1	5.178,0	5.178,0	5.167,0	5.167,0	5.282,0	5.282,0	5.522,0	5.522,0	<u>5.141,0</u>	<u>5.141,0</u>
23	141	büyük	401	2	3	19.941,9	14.764,0	14.764,0	13.834,0	13.834,0	13.895,0	13.895,0	16.253,0	15.766,5	<u>13.505,0</u>	<u>13.505,0</u>
24	150	büyük	406	4	3	15.935,0	9.098,0	8.843,2	7.704,0	7.513,4	6.981,0	6.935,5	8.035,0	7.683,7	6.814,0	<u>6.803,5</u>
25	148	büyük	412	2	5	6.511,0	3.174,0	3.174,0	4.416,0	4.050,3	5.384,0	3.873,5	3.384,0	2.786,8	4.856,0	<u>2.727,1</u>
26	111	büyük	416	4	3	20.485,8	16.450,0	16.450,0	16.111,0	15.053,5	15.478,0	14.188,9	17.053,0	14.648,8	14.884,0	<u>13.605,0</u>

Büyük Boyutlu Problemlere Ait Ortalama Amaç Fonksiyonu Değerleri

SN	PN	Tür	İS	AS	MS	DKA	NEH-0	NEH/DKA-0	NEH-1	NEH/DKA-1	NEH-2	NEH/DKA-2	NEH-3	NEH/DKA-3	NEH-4	NEH/DKA-4
27	110	büyük	424	4	3	21.458,6	18.488,0	16.255,3	17.142,0	14.669,9	17.222,0	14.036,5	20.283,0	14.453,2	16.204,0	<u>13.731,4</u>
28	85	büyük	425	2	5	6.413,3	<u>4.032,0</u>	<u>4.032,0</u>	4.363,0	4.363,0	4.328,0	4.328,0	4.484,0	4.460,2	4.385,0	4.364,4
29	131	büyük	435	2	5	8.220,2	<u>4.777,0</u>	<u>4.777,0</u>	5.018,0	5.018,0	5.137,0	5.137,0	4.957,0	4.934,1	5.097,0	5.053,5
30	83	büyük	448	2	3	14.435,2	9.498,0	9.498,0	9.207,0	9.207,0	9.352,0	9.352,0	<u>8.631,0</u>	<u>8.631,0</u>	9.214,0	9.214,0
31	123	büyük	452	2	3	11.318,8	6.580,0	6.580,0	6.695,0	6.695,0	6.578,0	6.578,0	6.559,0	<u>6.525,8</u>	6.606,0	6.549,1
32	107	büyük	460	2	5	10.298,5	<u>5.414,0</u>	<u>5.414,0</u>	7.575,0	6.959,0	7.712,0	6.374,7	6.114,0	5.552,8	7.546,0	5.997,1
33	122	büyük	465	2	3	18.289,9	<u>10.512,0</u>	<u>10.512,0</u>	12.418,0	12.418,0	12.347,0	12.347,0	12.779,0	12.779,0	12.300,0	12.300,0
34	95	büyük	486	4	3	20.656,8	13.086,0	13.086,0	11.726,0	11.726,0	<u>11.699,0</u>	<u>11.699,0</u>	13.863,0	13.810,7	11.816,0	11.816,0
35	132	büyük	497	2	5	9.517,9	5.888,0	5.888,0	5.101,0	5.076,4	5.054,0	5.023,4	5.380,0	5.273,5	4.950,0	<u>4.892,2</u>
36	103	büyük	500	2	3	22.726,6	<u>13.088,0</u>	<u>13.088,0</u>	15.738,0	15.514,5	14.946,0	14.766,3	13.558,0	13.508,9	14.296,0	14.009,6
37	129	büyük	514	4	3	14.632,3	6.849,0	6.849,0	<u>6.686,0</u>	<u>6.686,0</u>	6.959,0	6.936,6	8.428,0	8.189,8	6.746,0	6.727,9
38	139	büyük	536	4	5	5.431,4	3.507,0	3.507,0	3.000,0	3.000,0	<u>2.889,0</u>	<u>2.889,0</u>	3.326,0	3.209,2	3.023,0	2.899,1
39	90	büyük	570	4	5	13.713,2	9.615,0	9.615,0	<u>8.120,0</u>	<u>8.120,0</u>	8.278,0	8.263,4	9.157,0	8.867,4	8.308,0	8.300,0
40	101	büyük	571	2	3	35.804,8	29.293,0	27.416,3	28.006,0	24.596,5	26.420,0	23.464,0	32.955,0	25.056,8	25.491,0	<u>22.953,1</u>
Ort.	büyük	399				11.351,9	7.229,4	7.102,3	7.347,7	7.048,7	7.156,1	6.815,5	7.745,2	7.159,5	7.118,7	6.692,0

Büyük Boyutlu Problemlerde Ortalama Amaç Fonksiyonu GSD Değerleri

SN	PN	Tür	İS	AS	MS	DKA	NEH-0	NEH/DKA-0	NEH-1	NEH/DKA-1	NEH-2	NEH/DKA-2	NEH-3	NEH/DKA-3	NEH-4	NEH/DKA-4
1	133	büyük	303	2	5	100,0	11,5	11,5	0,0	0,0	1,2	1,2	24,1	24,1	2,3	2,3
2	143	büyük	317	2	3	100,0	42,6	42,6	21,0	19,6	18,0	16,3	43,8	37,4	27,6	23,3
3	147	büyük	317	2	5	100,0	6,9	6,9	35,0	27,1	26,9	14,8	22,2	11,6	31,9	15,5
4	124	büyük	328	2	3	100,0	8,6	7,4	20,0	16,3	17,7	14,4	22,7	18,4	18,2	15,5
5	135	büyük	328	4	5	100,0	68,3	61,8	6,1	6,1	0,1	0,1	69,0	57,5	9,7	8,7
6	156	büyük	328	4	5	100,0	7,4	6,8	55,2	45,8	57,5	36,4	43,4	34,1	67,6	33,0
7	97	büyük	329	4	3	100,0	0,0	0,0	10,8	10,8	12,5	12,5	40,6	39,6	7,2	7,2
8	127	büyük	330	4	3	100,0	20,5	18,1	25,0	21,2	22,1	18,6	40,1	33,2	19,6	16,5
9	109	büyük	333	2	5	100,0	24,3	24,3	1,0	1,0	0,0	0,0	27,5	27,5	5,0	5,0
10	87	büyük	335	2	5	100,0	5,5	5,5	2,8	2,8	0,0	0,0	5,5	5,5	0,6	0,6
11	81	büyük	338	2	3	100,0	0,0	0,0	2,0	2,0	6,3	6,3	29,4	26,9	1,9	1,9
12	138	büyük	339	4	5	100,0	17,5	16,4	50,5	45,0	52,6	46,6	48,4	43,6	58,9	49,6
13	106	büyük	344	2	5	100,0	31,2	31,2	42,2	38,8	38,8	27,1	36,9	24,5	42,3	27,4
14	82	büyük	345	2	3	100,0	8,6	8,6	17,9	17,9	10,1	10,1	0,0	0,0	14,8	14,1
15	155	büyük	346	4	5	88,7	35,2	27,1	100,0	56,9	73,9	51,1	54,3	28,9	97,9	30,0
16	92	büyük	354	4	5	100,0	36,3	30,0	5,5	5,2	2,6	2,4	41,2	25,5	0,4	0,4
17	128	büyük	359	4	3	100,0	12,9	11,7	19,5	16,9	18,7	16,1	26,7	22,3	12,8	11,5
18	152	büyük	366	4	3	100,0	9,3	9,3	44,0	30,8	12,6	11,6	18,5	14,9	21,1	7,2
19	153	büyük	367	4	3	100,0	6,8	6,8	16,6	15,5	10,7	9,0	16,4	11,6	17,4	11,9
20	102	büyük	371	2	3	100,0	11,2	11,2	1,9	1,9	0,0	0,0	13,8	13,1	0,5	0,5
21	99	büyük	382	4	3	100,0	36,4	35,8	3,9	3,9	0,4	0,4	30,0	29,5	8,2	6,8
22	88	büyük	386	2	5	100,0	1,0	1,0	0,7	0,7	3,8	3,8	10,4	10,4	0,0	0,0
23	141	büyük	401	2	3	100,0	19,6	19,6	5,1	5,1	6,1	6,1	42,7	35,1	0,0	0,0
24	150	büyük	406	4	3	100,0	27,3	24,6	12,5	10,5	4,8	4,4	16,0	12,3	3,1	2,9
25	148	büyük	412	2	5	100,0	30,9	30,9	56,6	49,0	76,7	45,4	35,2	22,9	65,7	21,6
26	111	büyük	416	4	3	100,0	50,2	50,2	46,0	32,9	38,2	22,3	57,6	27,9	30,8	15,0

Büyük Boyutlu Problemlerde Ortalama Amaç Fonksiyonu GSD Değerleri

SN	PN	Tür	İS	AS	MS	DKA	NEH-0	NEH/DKA-0	NEH-1	NEH/DKA-1	NEH-2	NEH/DKA-2	NEH-3	NEH/DKA-3	NEH-4	NEH/DKA-4	
27	110	büyük	424	4	3	100,0	68,2	44,3	53,8	27,3	54,6	20,5	87,4	25,0	43,7	17,2	
28	85	büyük	425	2	5	100,0	0,0	0,0	13,9	13,9	12,4	12,4	19,0	18,0	14,8	14,0	
29	131	büyük	435	2	5	100,0	3,2	3,2	10,0	10,0	13,3	13,3	8,3	7,6	12,2	11,0	
30	83	büyük	448	2	3	100,0	14,9	14,9	9,9	9,9	12,4	12,4	0,0	0,0	10,0	10,0	
31	123	büyük	452	2	3	100,0	10,3	10,3	12,5	12,5	10,2	10,2	9,9	9,3	10,8	9,7	
32	107	büyük	460	2	5	100,0	6,2	6,2	47,7	35,9	50,3	24,7	19,7	8,9	47,2	17,4	
33	122	büyük	465	2	3	100,0	0,0	0,0	24,5	24,5	23,6	23,6	29,1	29,1	23,0	23,0	
34	95	büyük	486	4	3	100,0	15,5	15,5	0,3	0,3	0,0	0,0	24,2	23,6	1,3	1,3	
35	132	büyük	497	2	5	100,0	24,2	24,2	7,7	7,2	6,8	6,1	13,6	11,4	4,6	3,4	
36	103	büyük	500	2	3	100,0	1,5	1,5	28,6	26,3	20,5	18,7	6,3	5,8	13,9	11,0	
37	129	büyük	514	4	3	100,0	3,5	3,5	1,5	1,5	4,9	4,6	23,1	20,1	2,2	2,0	
38	139	büyük	536	4	5	100,0	29,2	29,2	10,5	10,5	6,4	6,4	22,5	18,2	11,3	6,8	
39	90	büyük	570	4	5	100,0	26,7	26,7	0,0	0,0	2,8	2,6	18,5	13,4	3,4	3,2	
40	101	büyük	571	2	3	100,0	59,7	48,1	51,8	30,7	42,0	23,7	82,4	33,5	36,2	20,5	
Ort.			399				99,7	19,8	18,2	21,9	17,4	19,3	13,9	29,5	21,6	20,0	12,0

Ek Açıklama-C: Deneylerde Kullanılan Test Problemlerine Ait Bilgiler

PN	Problem Dosya Adı	Boyut	SS	TS	AS	MS/AS	İS
0	short_hfos_1_o10_t3_j84_s2_m3_pt1_10_tight_dd.txt	küçük	10	3	2	3	84
1	short_hfos_2_o5_t5_j69_s2_m3_pt1_10_tight_dd.txt	küçük	5	5	2	3	69
2	short_hfos_3_o7_t3_j59_s2_m3_pt1_10_tight_dd.txt	küçük	7	3	2	3	59
3	short_hfos_4_o6_t5_j83_s2_m3_pt1_10_tight_dd.txt	küçük	6	5	2	3	83
4	short_hfos_5_o3_t5_j48_s2_m3_pt1_10_tight_dd.txt	küçük	3	5	2	3	48
5	short_hfos_1_o9_t4_j89_s2_m5_pt1_10_tight_dd.txt	küçük	9	4	2	5	89
6	short_hfos_2_o8_t2_j41_s2_m5_pt1_10_tight_dd.txt	küçük	8	2	2	5	41
7	short_hfos_3_o5_t4_j63_s2_m5_pt1_10_tight_dd.txt	küçük	5	4	2	5	63
8	short_hfos_4_o4_t2_j25_s2_m5_pt1_10_tight_dd.txt	küçük	4	2	2	5	25
9	short_hfos_5_o8_t4_j94_s2_m5_pt1_10_tight_dd.txt	küçük	8	4	2	5	94
10	short_hfos_1_o4_t3_j32_s4_m3_pt1_10_tight_dd.txt	küçük	4	3	4	3	32
11	short_hfos_2_o7_t3_j68_s4_m3_pt1_10_tight_dd.txt	küçük	7	3	4	3	68
12	short_hfos_3_o9_t5_j134_s4_m3_pt1_10_tight_dd.txt	orta	9	5	4	3	134
13	short_hfos_4_o4_t2_j21_s4_m3_pt1_10_tight_dd.txt	küçük	4	2	4	3	21
14	short_hfos_5_o10_t5_j143_s4_m3_pt1_10_tight_dd.txt	orta	10	5	4	3	143
15	short_hfos_1_o6_t5_j71_s4_m5_pt1_10_tight_dd.txt	küçük	6	5	4	5	71
16	short_hfos_2_o3_t5_j40_s4_m5_pt1_10_tight_dd.txt	küçük	3	5	4	5	40
17	short_hfos_3_o3_t4_j40_s4_m5_pt1_10_tight_dd.txt	küçük	3	4	4	5	40
18	short_hfos_4_o3_t3_j29_s4_m5_pt1_10_tight_dd.txt	küçük	3	3	4	5	29
19	short_hfos_5_o3_t5_j36_s4_m5_pt1_10_tight_dd.txt	küçük	3	5	4	5	36
20	short_hfos_1_o8_t5_j121_s2_m3_pt3_5_tight_dd.txt	orta	8	5	2	3	121
21	short_hfos_2_o9_t3_j89_s2_m3_pt3_5_tight_dd.txt	küçük	9	3	2	3	89
22	short_hfos_3_o10_t5_j156_s2_m3_pt3_5_tight_dd.txt	orta	10	5	2	3	156
23	short_hfos_4_o4_t5_j41_s2_m3_pt3_5_tight_dd.txt	küçük	4	5	2	3	41
24	short_hfos_5_o8_t3_j80_s2_m3_pt3_5_tight_dd.txt	küçük	8	3	2	3	80
25	short_hfos_1_o5_t2_j28_s2_m5_pt3_5_tight_dd.txt	küçük	5	2	2	5	28
26	short_hfos_2_o9_t4_j117_s2_m5_pt3_5_tight_dd.txt	orta	9	4	2	5	117
27	short_hfos_3_o3_t3_j32_s2_m5_pt3_5_tight_dd.txt	küçük	3	3	2	5	32
28	short_hfos_4_o10_t5_j142_s2_m5_pt3_5_tight_dd.txt	orta	10	5	2	5	142
29	short_hfos_5_o10_t2_j52_s2_m5_pt3_5_tight_dd.txt	küçük	10	2	2	5	52
30	short_hfos_1_o5_t3_j51_s4_m3_pt3_5_tight_dd.txt	küçük	5	3	4	3	51
31	short_hfos_2_o10_t3_j103_s4_m3_pt3_5_tight_dd.txt	orta	10	3	4	3	103
32	short_hfos_3_o6_t4_j75_s4_m3_pt3_5_tight_dd.txt	küçük	6	4	4	3	75
33	short_hfos_4_o5_t4_j57_s4_m3_pt3_5_tight_dd.txt	küçük	5	4	4	3	57
34	short_hfos_5_o5_t4_j66_s4_m3_pt3_5_tight_dd.txt	küçük	5	4	4	3	66
35	short_hfos_1_o9_t5_j140_s4_m5_pt3_5_tight_dd.txt	orta	9	5	4	5	140

PN	Problem Dosya Adı	Boyut	SS	TS	AS	MS/AS	İS
36	short_hfos_2_o3_t5_j46_s4_m5_pt3_5_tight_dd.txt	küçük	3	5	4	5	46
37	short_hfos_3_o6_t3_j59_s4_m5_pt3_5_tight_dd.txt	küçük	6	3	4	5	59
38	short_hfos_4_o7_t5_j109_s4_m5_pt3_5_tight_dd.txt	orta	7	5	4	5	109
39	short_hfos_5_o4_t4_j42_s4_m5_pt3_5_tight_dd.txt	küçük	4	4	4	5	42
40	short_hfos_1_o9_t5_j130_s4_m3_pt3_5_slack_dd.txt	orta	9	5	4	3	130
41	short_hfos_2_o5_t5_j62_s4_m3_pt3_5_slack_dd.txt	küçük	5	5	4	3	62
42	short_hfos_3_o4_t5_j52_s4_m3_pt3_5_slack_dd.txt	küçük	4	5	4	3	52
43	short_hfos_4_o6_t2_j32_s4_m3_pt3_5_slack_dd.txt	küçük	6	2	4	3	32
44	short_hfos_5_o7_t5_j96_s4_m3_pt3_5_slack_dd.txt	küçük	7	5	4	3	96
45	short_hfos_1_o9_t5_j144_s2_m3_pt3_5_slack_dd.txt	orta	9	5	2	3	144
46	short_hfos_2_o8_t4_j94_s2_m3_pt3_5_slack_dd.txt	küçük	8	4	2	3	94
47	short_hfos_3_o3_t5_j46_s2_m3_pt3_5_slack_dd.txt	küçük	3	5	2	3	46
48	short_hfos_4_o4_t4_j50_s2_m3_pt3_5_slack_dd.txt	küçük	4	4	2	3	50
49	short_hfos_5_o10_t4_j112_s2_m3_pt3_5_slack_dd.txt	orta	10	4	2	3	112
50	short_hfos_1_o10_t3_j79_s2_m3_pt1_10_slack_dd.txt	küçük	10	3	2	3	79
51	short_hfos_2_o3_t5_j31_s2_m3_pt1_10_slack_dd.txt	küçük	3	5	2	3	31
52	short_hfos_3_o9_t3_j84_s2_m3_pt1_10_slack_dd.txt	küçük	9	3	2	3	84
53	short_hfos_4_o6_t5_j92_s2_m3_pt1_10_slack_dd.txt	küçük	6	5	2	3	92
54	short_hfos_5_o5_t5_j66_s2_m3_pt1_10_slack_dd.txt	küçük	5	5	2	3	66
55	short_hfos_1_o6_t5_j91_s2_m5_pt1_10_slack_dd.txt	küçük	6	5	2	5	91
56	short_hfos_2_o9_t4_j127_s2_m5_pt1_10_slack_dd.txt	orta	9	4	2	5	127
57	short_hfos_3_o5_t3_j47_s2_m5_pt1_10_slack_dd.txt	küçük	5	3	2	5	47
58	short_hfos_4_o9_t2_j51_s2_m5_pt1_10_slack_dd.txt	küçük	9	2	2	5	51
59	short_hfos_5_o10_t5_j151_s2_m5_pt1_10_slack_dd.txt	orta	10	5	2	5	151
60	short_hfos_1_o8_t5_j124_s4_m3_pt1_10_slack_dd.txt	orta	8	5	4	3	124
61	short_hfos_2_o9_t2_j53_s4_m3_pt1_10_slack_dd.txt	küçük	9	2	4	3	53
62	short_hfos_3_o6_t4_j79_s4_m3_pt1_10_slack_dd.txt	küçük	6	4	4	3	79
63	short_hfos_4_o6_t4_j68_s4_m3_pt1_10_slack_dd.txt	küçük	6	4	4	3	68
64	short_hfos_5_o6_t2_j28_s4_m3_pt1_10_slack_dd.txt	küçük	6	2	4	3	28
65	short_hfos_1_o6_t3_j63_s4_m5_pt1_10_slack_dd.txt	küçük	6	3	4	5	63
66	short_hfos_2_o7_t3_j66_s4_m5_pt1_10_slack_dd.txt	küçük	7	3	4	5	66
67	short_hfos_3_o9_t3_j87_s4_m5_pt1_10_slack_dd.txt	küçük	9	3	4	5	87
68	short_hfos_4_o7_t3_j65_s4_m5_pt1_10_slack_dd.txt	küçük	7	3	4	5	65
69	short_hfos_5_o6_t2_j29_s4_m5_pt1_10_slack_dd.txt	küçük	6	2	4	5	29
70	short_hfos_1_o6_t2_j27_s2_m5_pt3_5_slack_dd.txt	küçük	6	2	2	5	27
71	short_hfos_2_o10_t4_j123_s2_m5_pt3_5_slack_dd.txt	orta	10	4	2	5	123
72	short_hfos_3_o3_t3_j27_s2_m5_pt3_5_slack_dd.txt	küçük	3	3	2	5	27
73	short_hfos_4_o3_t2_j12_s2_m5_pt3_5_slack_dd.txt	küçük	3	2	2	5	12
74	short_hfos_5_o9_t5_j131_s2_m5_pt3_5_slack_dd.txt	orta	9	5	2	5	131
75	short_hfos_1_o10_t2_j55_s4_m5_pt3_5_slack_dd.txt	küçük	10	2	4	5	55
76	short_hfos_2_o3_t3_j25_s4_m5_pt3_5_slack_dd.txt	küçük	3	3	4	5	25

PN	Problem Dosya Adı	Boyut	SS	TS	AS	MS/AS	İS
77	short_hfos_3_o8_t4_j109_s4_m5_pt3_5_slack_dd.txt	orta	8	4	4	5	109
78	short_hfos_4_o10_t2_j65_s4_m5_pt3_5_slack_dd.txt	küçük	10	2	4	5	65
79	short_hfos_5_o3_t4_j24_s4_m5_pt3_5_slack_dd.txt	küçük	3	4	4	5	24
80	mid_hfos_1_o16_t6_j297_s2_m3_pt3_5.txt	orta	16	6	2	3	297
81	mid_hfos_2_o11_t10_j338_s2_m3_pt3_5.txt	büyük	11	10	2	3	338
82	mid_hfos_3_o19_t6_j345_s2_m3_pt3_5.txt	büyük	19	6	2	3	345
83	mid_hfos_4_o16_t9_j448_s2_m3_pt3_5.txt	büyük	16	9	2	3	448
84	mid_hfos_5_o20_t5_j290_s2_m3_pt3_5.txt	orta	20	5	2	3	290
85	mid_hfos_1_o16_t9_j425_s2_m5_pt3_5.txt	büyük	16	9	2	5	425
86	mid_hfos_2_o18_t5_j286_s2_m5_pt3_5.txt	orta	18	5	2	5	286
87	mid_hfos_3_o18_t6_j335_s2_m5_pt3_5.txt	büyük	18	6	2	5	335
88	mid_hfos_4_o17_t8_j386_s2_m5_pt3_5.txt	büyük	17	8	2	5	386
89	mid_hfos_5_o13_t7_j282_s2_m5_pt3_5.txt	orta	13	7	2	5	282
90	mid_hfos_1_o20_t9_j570_s4_m5_pt3_5.txt	büyük	20	9	4	5	570
91	mid_hfos_2_o11_t8_j286_s4_m5_pt3_5.txt	orta	11	8	4	5	286
92	mid_hfos_3_o18_t7_j354_s4_m5_pt3_5.txt	büyük	18	7	4	5	354
93	mid_hfos_4_o16_t5_j236_s4_m5_pt3_5.txt	orta	16	5	4	5	236
94	mid_hfos_5_o16_t6_j282_s4_m5_pt3_5.txt	orta	16	6	4	5	282
95	mid_hfos_1_o18_t9_j486_s4_m3_pt3_5.txt	büyük	18	9	4	3	486
96	mid_hfos_2_o10_t6_j186_s4_m3_pt3_5.txt	orta	10	6	4	3	186
97	mid_hfos_3_o14_t8_j329_s4_m3_pt3_5.txt	büyük	14	8	4	3	329
98	mid_hfos_4_o12_t8_j264_s4_m3_pt3_5.txt	orta	12	8	4	3	264
99	mid_hfos_5_o13_t10_j382_s4_m3_pt3_5.txt	büyük	13	10	4	3	382
100	mid_hfos_1_o12_t8_j290_s2_m3_pt1_10.txt	orta	12	8	2	3	290
101	mid_hfos_2_o19_t10_j571_s2_m3_pt1_10.txt	büyük	19	10	2	3	571
102	mid_hfos_3_o14_t9_j371_s2_m3_pt1_10.txt	büyük	14	9	2	3	371
103	mid_hfos_4_o19_t9_j500_s2_m3_pt1_10.txt	büyük	19	9	2	3	500
104	mid_hfos_5_o11_t6_j220_s2_m3_pt1_10.txt	orta	11	6	2	3	220
105	mid_hfos_1_o14_t5_j197_s2_m5_pt1_10.txt	orta	14	5	2	5	197
106	mid_hfos_2_o19_t6_j344_s2_m5_pt1_10.txt	büyük	19	6	2	5	344
107	mid_hfos_3_o17_t9_j460_s2_m5_pt1_10.txt	büyük	17	9	2	5	460
108	mid_hfos_4_o10_t5_j149_s2_m5_pt1_10.txt	orta	10	5	2	5	149
109	mid_hfos_5_o16_t7_j333_s2_m5_pt1_10.txt	büyük	16	7	2	5	333
110	mid_hfos_1_o17_t8_j424_s4_m3_pt1_10.txt	büyük	17	8	4	3	424
111	mid_hfos_2_o18_t8_j416_s4_m3_pt1_10.txt	büyük	18	8	4	3	416
112	mid_hfos_3_o11_t6_j188_s4_m3_pt1_10.txt	orta	11	6	4	3	188
113	mid_hfos_4_o13_t6_j245_s4_m3_pt1_10.txt	orta	13	6	4	3	245
114	mid_hfos_5_o12_t9_j285_s4_m3_pt1_10.txt	orta	12	9	4	3	285
115	mid_hfos_1_o10_t8_j222_s4_m5_pt1_10.txt	orta	10	8	4	5	222
116	mid_hfos_2_o10_t6_j160_s4_m5_pt1_10.txt	orta	10	6	4	5	160
117	mid_hfos_3_o17_t5_j243_s4_m5_pt1_10.txt	orta	17	5	4	5	243

PN	Problem Dosya Adı	Boyut	SS	TS	AS	MS/AS	İS
118	mid_hfos_4_o13_t6_j228_s4_m5_pt1_10.txt	orta	13	6	4	5	228
119	mid_hfos_5_o10_t6_j154_s4_m5_pt1_10.txt	orta	10	6	4	5	154
120	mid_hfos_1_o10_t9_j281_s2_m3_pt3_5_slack_dd.txt	orta	10	9	2	3	281
121	mid_hfos_2_o13_t8_j298_s2_m3_pt3_5_slack_dd.txt	orta	13	8	2	3	298
122	mid_hfos_3_o20_t8_j465_s2_m3_pt3_5_slack_dd.txt	büyük	20	8	2	3	465
123	mid_hfos_4_o15_t10_j452_s2_m3_pt3_5_slack_dd.txt	büyük	15	10	2	3	452
124	mid_hfos_5_o12_t9_j328_s2_m3_pt3_5_slack_dd.txt	büyük	12	9	2	3	328
125	mid_hfos_1_o10_t9_j274_s4_m3_pt3_5_slack_dd.txt	orta	10	9	4	3	274
126	mid_hfos_2_o18_t5_j280_s4_m3_pt3_5_slack_dd.txt	orta	18	5	4	3	280
127	mid_hfos_3_o18_t6_j330_s4_m3_pt3_5_slack_dd.txt	büyük	18	6	4	3	330
128	mid_hfos_4_o20_t6_j359_s4_m3_pt3_5_slack_dd.txt	büyük	20	6	4	3	359
129	mid_hfos_5_o18_t10_j514_s4_m3_pt3_5_slack_dd.txt	büyük	18	10	4	3	514
130	mid_hfos_1_o16_t6_j275_s2_m5_pt3_5_slack_dd.txt	orta	16	6	2	5	275
131	mid_hfos_2_o18_t8_j435_s2_m5_pt3_5_slack_dd.txt	büyük	18	8	2	5	435
132	mid_hfos_3_o19_t9_j497_s2_m5_pt3_5_slack_dd.txt	büyük	19	9	2	5	497
133	mid_hfos_4_o18_t6_j303_s2_m5_pt3_5_slack_dd.txt	büyük	18	6	2	5	303
134	mid_hfos_5_o13_t8_j283_s2_m5_pt3_5_slack_dd.txt	orta	13	8	2	5	283
135	mid_hfos_1_o12_t9_j328_s4_m5_pt3_5_slack_dd.txt	büyük	12	9	4	5	328
136	mid_hfos_2_o14_t6_j292_s4_m5_pt3_5_slack_dd.txt	orta	14	6	4	5	292
137	mid_hfos_3_o14_t6_j253_s4_m5_pt3_5_slack_dd.txt	orta	14	6	4	5	253
138	mid_hfos_4_o18_t6_j339_s4_m5_pt3_5_slack_dd.txt	büyük	18	6	4	5	339
139	mid_hfos_5_o17_t10_j536_s4_m5_pt3_5_slack_dd.txt	büyük	17	10	4	5	536
140	mid_hfos_1_o10_t6_j173_s2_m3_pt1_10_slack_dd.txt	orta	10	6	2	3	173
141	mid_hfos_2_o18_t7_j401_s2_m3_pt1_10_slack_dd.txt	büyük	18	7	2	3	401
142	mid_hfos_3_o13_t5_j201_s2_m3_pt1_10_slack_dd.txt	orta	13	5	2	3	201
143	mid_hfos_4_o10_t10_j317_s2_m3_pt1_10_slack_dd.txt	büyük	10	10	2	3	317
144	mid_hfos_5_o14_t7_j284_s2_m3_pt1_10_slack_dd.txt	orta	14	7	2	3	284
145	mid_hfos_1_o11_t5_j171_s2_m5_pt1_10_slack_dd.txt	orta	11	5	2	5	171
146	mid_hfos_2_o10_t9_j255_s2_m5_pt1_10_slack_dd.txt	orta	10	9	2	5	255
147	mid_hfos_3_o10_t10_j317_s2_m5_pt1_10_slack_dd.txt	büyük	10	10	2	5	317
148	mid_hfos_4_o15_t9_j412_s2_m5_pt1_10_slack_dd.txt	büyük	15	9	2	5	412
149	mid_hfos_5_o10_t9_j259_s2_m5_pt1_10_slack_dd.txt	orta	10	9	2	5	259
150	mid_hfos_1_o15_t9_j406_s4_m3_pt1_10_slack_dd.txt	büyük	15	9	4	3	406
151	mid_hfos_2_o12_t7_j236_s4_m3_pt1_10_slack_dd.txt	orta	12	7	4	3	236
152	mid_hfos_3_o17_t7_j366_s4_m3_pt1_10_slack_dd.txt	büyük	17	7	4	3	366
153	mid_hfos_4_o16_t7_j367_s4_m3_pt1_10_slack_dd.txt	büyük	16	7	4	3	367
154	mid_hfos_5_o14_t7_j286_s4_m3_pt1_10_slack_dd.txt	orta	14	7	4	3	286
155	mid_hfos_1_o11_t10_j346_s4_m5_pt1_10_slack_dd.txt	büyük	11	10	4	5	346
156	mid_hfos_2_o18_t6_j328_s4_m5_pt1_10_slack_dd.txt	büyük	18	6	4	5	328
157	mid_hfos_3_o13_t5_j206_s4_m5_pt1_10_slack_dd.txt	orta	13	5	4	5	206

PN	Problem Dosya Adı	Boyut	SS	TS	AS	MS/AS	İS
158	mid_hfos_4_o15_t5_j241_s4_m5_pt1_10_slack_dd.txt	orta	15	5	4	5	241
159	mid_hfos_5_o16_t6_j283_s4_m5_pt1_10_slack_dd.txt	orta	16	6	4	5	283

PN: Problem Numarası **TS:** Ürün Tipi Sayısı **İS:** İş Sayısı
SS: Sipariş Sayısı **AS:** Aşama Sayısı **MS/AS:** Aşama Başına Makine Sayısı

ÖZGEÇMİŞ

Alper Aladağ, 1980 yılında Denizli’de doğmuştur. İlk, orta ve lise öğrenimini Denizli’de tamamlamıştır. 1997 yılında başladığı lisans öğrenimini, 2003 yılında İ.T.Ü. Endüstri Müh. bölümünden mezun olarak tamamlamıştır. Yüksek Lisans eğitimini ESOGÜ FBE Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda 2010 yılında tamamlamıştır. Halen Hv.K.K.lığında subay olarak görev yapmaktadır. Evli ve üç çocuk babasıdır.