



**T.C.**  
**SELÇUK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**PROSES ALTERNATİFLİ  
PARALEL DEMONTAJ HATTI DENGEME  
PROBLEMİ VE ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI**

**Seda HEZER**

**DOKTORA TEZİ**

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Nisan-2017**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

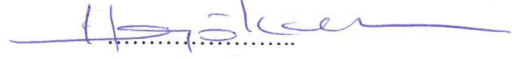
Seda HEZER tarafından hazırlanan “Proses Alternatifli Paralel Demontaj Hattı Dengeleme Problemi Ve Çözüm Yaklaşımları” adlı tez çalışması 17/04/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza


#### Başkan

Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN



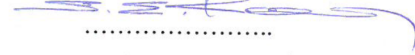
#### Danışman

Prof. Dr. Yakup KARA



#### Üye

Doç. Dr. Saadettin Erhan KESEN



#### Üye

Doç. Dr. İsmail KARAOĞLAN



#### Üye

Yrd. Doç. Dr. Kemal ALAYKIRAN



Yukarıdaki sonucu onaylarım.



Prof. Dr. Mustafa YILMAZ  
FBE Müdürü

Bu tez çalışması Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 13101003 nolu proje ile desteklenmiştir.

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Seda HEZER

Tarih: 17.04.2017

## ÖZET

### DOKTORA TEZİ PROSES ALTERNATİFLİ PARALEL DEMONTAJ HATTI DENGELEME PROBLEMİ VE ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI

Seda HEZER

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Yakup KARA

2017, 116 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Yakup KARA

Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

Doç. Dr. Saadettin Erhan KESEN

Doç. Dr. İsmail KARAOĞLAN

Yrd. Doç. Dr. Kemal ALAYKIRAN

Bir demontaj hattında özellikle büyük boyutlu ürünlerin demontajının gerçekleştirilmesinde yardımcı operatörlerin (asistanların) yardımına ve çeşitli ekipmanlara ihtiyaç duyulabilmekte ve buna bağlı olarak bazı demontaj görevlerinin gerçekleştirilebilmesi için değişik görev zamanlarına sahip birden fazla proses alternatifi ortaya çıkabilmektedir. Bu durumda görevlerin istasyonlara atanmalarının yanısıra her görev için en uygun proses alternatifinin seçilmesi probleminin de eş zamanlı olarak düşünülmesi gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında toplam net geri kazanım karını en büyükmek amacıyla görevlerin ve kaynakların (asistan ve ekipman) istasyonlara atanmalarını dikkate alan Proses Alternatifli Paralel Demontaj Hattı Dengeleme (PDHD\_PA) problemi ele alınmıştır. Her görev için en uygun proses alternatifinin seçilmesinin yanısıra hattın dengelenmesinin sağlandığı bu problem literatürde ilk kez bu çalışmada ele alınmıştır.

PDHD\_PA probleminin varsayımları ve kısıtları tanımlanarak 0-1 tamsayılı doğrusal programlama modeli önerilmiştir. İlgili modelin çözüm süresini kısaltmak ve elde edilen üst sınırları iyileştirmek amacıyla geçerli eşitsizlikler tanımlanmıştır. Çalışmada ayrıca PDHD\_PA probleminin çözümü için Demontaj Hattı Dengeleme problemi literatüründe ilk defa ele alınan Düzeltmeli Tavlama Benzetimi (DTB) yaklaşımı önerilmiştir.

Önerilen çözüm yaklaşımlarının performanslarını analiz etmek amacıyla PDHD\_PA probleminin yapısına özgü varsayımlar dikkate alınarak 423 test problemi geliştirilmiştir. Önerilen 0-1 tamsayılı matematiksel model ile 423 problemin 164'ünde (%38,77), önerilen DTB yaklaşımıyla 132 (%31,21) problemde optimal sonuçlara ulaşılmıştır. Uygun çözümlerin bulunduğu problemler için ise önerilen DTB'nin çözümü ile ulaşılan çözümlerin önerilen matematiksel modelin sonuçlarından genel olarak daha yüksek olduğu kullanılan performans ölçütleriyle gösterilmiştir.

Paralel hatların birbirinden bağımsız olarak dengelenmesi durumu ile eş zamanlı dengelenmesi durumu da karşılaştırılmış ve hatların eş zamanlı dengelenmeleri durumunda toplam net geri kazanım karı üzerinde %42,87 oranında iyileştirme sağlandığı ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Demontaj Hattı Dengeleme, Doğrusal Programlama, Düzeltmeli Tavlama Benzetimi, Paralel Demontaj Hattı Dengeleme, Proses Alternatifleri.

## ABSTRACT

### Ph.D THESIS

## PARALLEL DISASSEMBLY LINE BALANCING PROBLEM WITH PROCESSING ALTERNATIVES AND SOLUTION APPLICATIONS

Seda HEZER

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
SELÇUK UNIVERSITY  
DOCTOR OF PHILOSOPHY  
IN INDUSTRIAL ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. Yakup KARA

2017, 116 Pages

### Jury

Prof. Dr. Yakup KARA

Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

Assoc. Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN

Assoc. Prof. Dr. İsmail KARAOĞLAN

Asst. Prof. Dr. Kemal ALAYKIRAN

In a disassembly line, assistants and various equipments may be needed for the disassembly of especially large size products and so different processing alternatives may be available to process a task with different times. In this case, besides the assignment of tasks to stations, the problem of selecting the most appropriate process alternative for each task should be considered simultaneously.

In this thesis, we focus on the parallel disassembly line balancing problem with processing alternatives (PDLB\_PA) to maximize total net recovery profit by selecting assigning tasks and resources (assistants and equipments) to stations. The selection of the most appropriate process alternative for each task as well as the balancing of the line is discussed in this paper. To the best of our knowledge, this thesis is the first to address the PDLB\_PA problem.

A 0-1 integer linear programming model is proposed by defining the assumptions and constraints of the PDLB\_PA problem. Valid inequalities are defined to shorten the solution time of the model and improve the upper bounds. The study also proposed the Adaptive Simulated Annealing (ASA) approach which is the first addressed in the Disassembly Line Balancing problem literature to improve lower bounds.

In order to analyze the performance of the proposed solution approaches, 423 test problems have been developed taking into account the assumptions of the specific structure of the PDLB\_PA problem. Optimal solutions are obtained for 164 test problems (38.77%) by using the 0-1 integer linear programming model and for 132 problems (31,21) by using the ASA approach. For the problems with appropriate solutions, it is revealed that the ASA approach outperforms the 0-1 integer linear programming model using performance measures.

The situations of balancing of the parallel lines simultaneously and independent balancing of the lines are compared and it is revealed that balancing of the parallel lines simultaneously provides 42,87% improvement over the total net recovery profit.

**Keywords:** Adaptive Simulated Annealing, Disassembly Line Balancing, Linear Programming, Parallel Disassembly Line Balancing, Processing Alternatives.

## ÖNSÖZ

Lisans döneminden itibaren bana güvenerek büyük destek olan, hem yüksek lisans hem doktora tezimin danışmanlığını üstlenen, engin bilgilerini benden eksik etmeyen çok değerli hocam ve danışmanım Sayın Prof. Dr. Yakup KARA'ya sonsuz teşekkür ve minnetlerimi sunuyorum.

Tez sürecim boyunca önerileri ve kıymetli bilgileriyle bu tezin gelişmesinde büyük katkıları olan, çalışmaktan onur duyduğum çok değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN'e, Sayın Doç. Dr. Saadettin Erhan KESEN'e, Sayın Doç. Dr. İsmail KARAOĞLAN'a, Sayın Doç. Dr. Halife KODAZ'a ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Kemal ALAYKIRAN'a ayrı ayrı teşekkür ve minnetlerimi sunuyorum.

Doktora tez sürecimde gerekli olan her türlü fiziksel imkanı ve huzurlu ortamı sağlayan, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine ve Endüstri Mühendisliği Bölümü Başkanı Sayın Prof. Dr. Ahmet PEKER'e çok teşekkür ediyorum.

Doktora eğitimim boyunca gösterdiği anlayıştan ve sağladığı maddi destekten dolayı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)'a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Tanıdığım günden bugüne kadar hep yanımda olan, çalışmamın özellikle son zamanlarında yardımlarını esirgemeyen ve güler yüzüyle huzur veren canım arkadaşım ve meslektaşım Arş. Gör. Dr. Pınar KARAKUŞ'a, doktora çalışmamı bitirmem konusunda gerekli motivasyonu ve tez çalışmam için gerekli olan materyali sağlamam konusunda yardımcı olan değerli meslektaşlarım Arş. Gör. Osman ORHAN'a ve Arş. Gör. Bilgehan MAKİNECİ'ye sonsuz teşekkür ve minnetlerimi sunuyorum.

Bu çalışmayı, desteklerini her zaman hissettiğim, hayata karşı güçlü duruşlarıyla örnek aldığım ve çocukları olmaktan gurur duyduğum çok değerli ve canımdan çok sevdiğim sevgili annem Zahide ve babam Ali İhsan HEZER'e, doğduğu günden bugüne kadar farklı karakteri ve özel yetenekleriyle evimizin neşe kaynağı olan canım kardeşim Yakup HEZER'e, ilkokuldan bugüne kadar bütün eğitim hayatım boyunca benim için her türlü fedakârlığı yapan, her zaman örnek aldığım, hakkını asla ödeyemeceğim, her şeyin en güzelini hakeden canım ablam Gülçin HEZER'e ithaf ediyorum.

Seda HEZER  
KONYA-2017

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>7</b>
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>16</b>
3.1. Materyal .....	16
3.1.1. Demontaj hattı dengeleme problemlerinde kullanılan temel kavramlar .....	16
3.1.2. Demontaj hattı dengeleme problemleri.....	18
3.1.3. Paralel demontaj hattı dengeleme problemleri.....	23
3.1.4. Proses alternatifli PDHD problemi .....	24
3.1.5. Düzeltmeli tavlama benzetimi algoritması.....	30
3.1.6. Araştırmada kullanılan test problemleri.....	34
3.2. Yöntem.....	37
3.2.1. Önerilen 0-1 tamsayılı doğrusal programlama modeli .....	37
3.2.2. Açıklayıcı örnek.....	39
3.2.3. Geçerli eşitsizlikler .....	43
3.2.4. Önerilen düzeltilmeli tavlama benzetimi algoritması.....	47
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA</b> .....	<b>56</b>
4.1. Matematiksel model gevşetme tipleri.....	56
4.2. Deneysel karşılaştırmalar .....	57
4.2.1. Önerilen 0-1 tamsayılı doğrusal programlama modeli sonuçları .....	57
4.2.2. Önerilen düzeltilmeli tavlama benzetimi yaklaşımı sonuçları.....	61
4.2.3. Paralel hatların toplam net geri kazanım karı üzerindeki etkisinin araştırılması .....	66
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b> .....	<b>69</b>
5.1. Sonuçlar .....	69
5.2. Öneriler .....	70
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>72</b>
<b>EKLER</b> .....	<b>79</b>
EK-1. Demontaj hattı dengeleme problemlerinin sınıflandırılması-2.....	80

EK-2. Geçerli eşitsizliklerin küçük boyutlu problemlerin her birinin üzerindeki etkisi .82	
EK-3. Geçerli eşitsizliklerin orta boyutlu problemlerin her birinin üzerindeki etkisi ....85	
EK-4. Geçerli eşitsizliklerin büyük boyutlu problemlerin her birinin üzerindeki etkisi .87	
EK-5. Küçük boyutlu problemlerin her biri için deneysel sonuçlar .....91	
EK-6. Orta boyutlu problemlerin her biri için deneysel sonuçlar.....93	
EK-7. Büyük boyutlu problemlerin her biri için deneysel sonuçlar .....94	
EK-8. Küçük boyutlu problemlerin her biri için önerilen DTB yaklaşımından elde edilen sonuçlar .....96	
EK-9. Orta boyutlu problemlerin her biri için önerilen DTB yaklaşımından elde edilen sonuçlar.....99	
EK-10. Büyük boyutlu problemlerin her biri için önerilen DTB yaklaşımından elde edilen sonuçlar ..... 101	
<b>ÖZGEÇMİŞ.....105</b>	



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Kısaltmalar

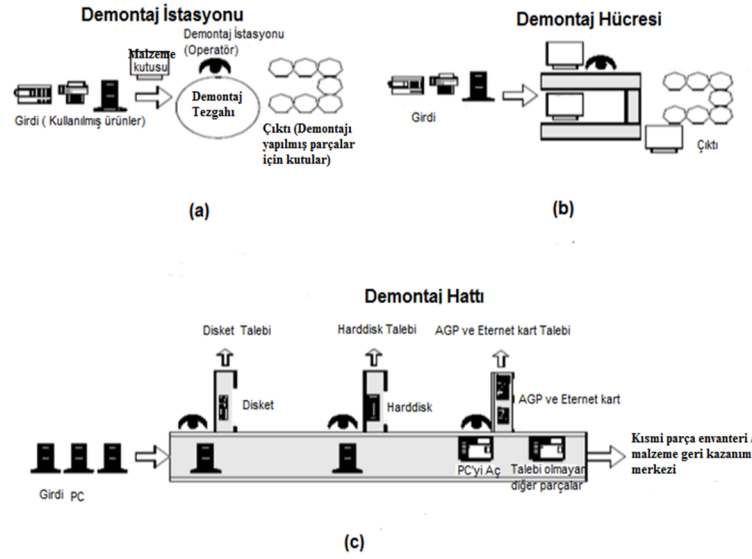
AG	: Aç Gözlü
BAHP	: Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi
BÇAP	: Bulanık Çok Amaçlı Programlama
BHP	: Bulanık Hedef Programlama
ÇAKKO	: Çok Amaçlı Karınca Kolonisi Optimizasyonu
ÇKKA	: Çok Kolonili Karınca Algoritması
ÇZO	: Çözme Zorluğu Oranı
DHD	: Demontaj Hattı Dengeleme
DKA	: Değişken Komşuluk Araması
DP	: Dinamik Programlama
DPG	: Doğrusal Programlama Gevşetmesi
DTB	: Düzeltmeli Tavlama Benzetimi
EKY	: En Kısa Yol
EY	: Eşit Yığınlar
GA	: Genetik Algoritma
GED	: Göreceli Efor Değeri
HGA	: Hibrit GA
HP	: Hedef Programlama
HYAK	: Hibrit Yapay Arı Kolonisi
IA	: Işın Arama
İKKO	: İşbirlikçi Karınca Kolonisi Optimizasyonu
KDS	: Karar Destek Sistemi
KKO	: Karınca Kolonisi Optimizasyonu
KMDHD	: Karışık Modelli Demontaj Hattı Dengeleme
KTP	: Karışık Tamsayılı Doğrusal Programlama
MHD	: Montaj Hattı Dengeleme
ÖRY	: Öğretici Reaktif Yaklaşım
PA	: Proses Alternatifi
PDHD	: Paralel Demontaj Hattı Dengeleme
PDHD_PA	: Proses Alternatifleri İçeren Kar Odaklı Deterministik Görev Zamanlı PDHD
PMHD	: Paralel Montaj Hattı Dengeleme
PÖT	: Pekiştirmeli Öğrenme Tekniği
PSO	: Parçacık Sürüsü Optimizasyonu
TA	: Tabu Arama
TB	: Tavlama Benzetimi
TM	: Tam Arama
TDP	: Tamsayılı Doğrusal Programlama
TT	: Tepe Tırmanma
VVD	: Ve/Veya Diyagramı
YAA	: Yerel Arama Algoritması
YAK	: Yapay Arı Kolonileri

## 1. GİRİŞ

Hayatta kalma ihtiyacı ve yaşam kalitesini yükseltme arzusu, endüstriyel devrimin ortaya çıkmasına yol açan teknolojik yenilikleri harekete geçirmiştir. Günümüzde üreticilerin, kitlesel özelleştirme ve hızlı ürün gerçekleştirme ilkelerini benimsemeleri nedeniyle, yeni ürünlerin pazara sunulma hızı çarpıcı bir şekilde artmıştır. Bu durum birçok ürünün ömrünü kısaltmakta ve atık yönetiminde endişe verici bir durum yaratmaktadır (Gungor ve Gupta, 2002). Son yıllarda, doğal kaynakların tükenmesi, katı atık sahalarının artan maliyeti, çevre ile ilgili konularda çıkarılan yasalar ve yönetmelikler, artan üretici ve toplum bilinci, üreticileri, atık durumuna gelmiş veya yıpranmış ürünlere geri kazanım faaliyetlerini uygulamaya zorlamaktadır (Agrawal ve Tiwari, 2008). Bunun yanı sıra, ürünlerin, alt montajların veya parçaların bertaraf edilmelerinin yerine yeniden kullanılmalarnın getirdiği ekonomik çekicilik geri kazanım konusundaki çabaları daha da arttırmaktadır (McGovern ve Gupta, 2007a). Geri kazanım, atık durumunda olan ürünlerin geri dönüşüm, yeniden üretim ve tamir gibi faaliyetlerle parçalarına ve bileşenlerine ayrılarak yeni ürünlere dönüştürülmesi ya da hiçbir işleme tabi tutulmaksızın ekonomik ömrü tamamlanıncaya kadar yeniden kullanılması yoluyla tekrar üretim zincirine sokulmalarıdır. Bu şekilde doğal kaynaklardan tasarruf edilerek, katı atık sahalarına gönderilen atık miktarının en küçüklenmesi hedeflenmektedir (Gungor, 2006). Geri kazanım faaliyetlerinin en temel süreci ve ilk adımı demontajdır (McGovern ve Gupta, 2011). Demontaj, ekonomik ömrünü tamamlamış ya da ıskartaya ayrılmış, atık olarak değerlendirilen ürünlerin kullanılabilir durumda olan parçalarına ve alt montajlarına bir takım operasyonlar aracılığıyla sistematik bir şekilde ayrılmasıdır (Gupta ve Taleb, 1994; McGovern ve Gupta, 2007a). Geri kazanım tesisine gelen ürünler temizlendikten sonra demonte edilerek uygulanacak geri kazanım faaliyetine göre sınıflandırılmaktadırlar.

Herhangi bir ürünün demontajı, Şekil 1.1'de verildiği gibi tek bir iş istasyonunda, bir demontaj hücresinde ya da bir demontaj hattında gerçekleştirilmektedir ve en yüksek verimlilik oranı demontaj hattı ile sağlanmaktadır (Gungor ve Gupta, 2001). Demontaj hattı, birbirlerine bir malzeme taşıma sistemi ile bağlanmış, belirli sayıda ardışık iş istasyonundan meydana gelmektedir (Altekin ve ark., 2008). Her istasyonda, ürünün demontaj işlemlerinin tamamlanması için gerekli

olan görevlerin bir kısmı gerçekleştirilir ve hattın sonuna gelindiğinde, ürünün demontajı tamamlanmış olur.



Şekil 1.1. a) Demontaj istasyonu b) Demontaj hücresi c) Demontaj hattı (Gungor ve Gupta, 2002)

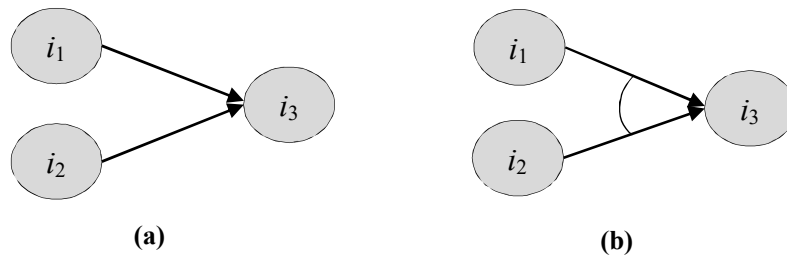
Demontaj ve montaj sistemleri süreçlerin yapısı, işleyişi ve hat üzerinde işlenen iş parçaları bakımından birbirlerinden farklı özellikler taşımaktadırlar. Örneğin, montaj hattında parçalar birleşerek ürünü meydana getirdikleri için “yakınsak (convergent)”, demontajda ise ürün parçalarına ayrıldığı için “uzaksak (divergent)” bir akış söz konusudur. Yine, parçaların çeşitli kalite kontrollerinden geçtiği bir montaj hattında parçalara ilişkin kesin veriler mevcutken, demontajda ürünlerin yapısında, kalitesinde ve parçaların miktarında kullanıcıdan dolayı yüksek düzeyde belirsizlikler söz konusudur. Çizelge 1.1’de montaj ve demontaj sistemlerinin operasyonel ve teknik açılarından farkları detaylı bir şekilde sunulmuştur.

Çizelge 1.1 Demontaj ve Montaj Hatlarının Karşılaştırılması (Gungor ve Gupta, 2001)

Özellik	Montaj	Demontaj
Talep	Bağımlı	Bağımlı
Talep kaynakları	Tek	Çok
Talep edilen	Son ürün	Parçalar/alt montajlar
Öncelik ilişkileri	Evet	Evet
Öncelik ilişkilerinden kaynaklanan karmaşıklık	Yüksek	Orta
Parça kalitesindeki belirsizlik	Düşük	Yüksek
Parça sayısındaki belirsizlik	Düşük	Yüksek
İstasyon ve malzeme taşıma sistemindeki belirsizlik	Düşük/Orta	Yüksek
İstasyon ve malzeme taşıma sisteminden güvenilirliği	Yüksek	Düşük
Birden çok ürün	Evet	Evet
Akış süreci	Çakışan	Ayrılan
Yerleşim alternatifleri	Çoklu	Çoklu
Performans ölçütlerinin karmaşıklığı	Orta	Yüksek
İhtiyaç duyulan hat dayanıklılığı	Orta	Yüksek
İstasyonlar arası stok taşıma karmaşıklığı	Orta	Yüksek
Problemin karmaşıklığı	NP-zor	NP-zor

Çizelge 1.1’de belirtilen farklar, montaj hatlarında karşılaşılan problemlerin çözümünde kullanılan yöntemlerin demontaj problemleri için doğrudan kullanılamayacağını, bununla birlikte ilgili yöntemlerden yararlanılarak demontaj hatları için yeni ve spesifik yöntemlerin geliştirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır (Gungor ve Gupta, 1999).

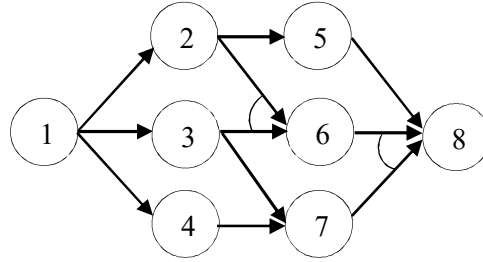
Demontaj hattında görevler veya parçalar arasındaki öncelik ilişkilerinin gösterilmesinde kullanılan araçlardan biri demontaj öncelik ilişkileri diyagramlarıdır. Literatürde problemin özelliklerine bağlı olarak farklı öncelik diyagramları mevcuttur. İlgili diyagramlar hakkında detaylı bilgi için McGovern ve Gupta’nın (2011) çalışması incelenebilir. Bu tez çalışması kapsamında, montaj hatlarında kullanılan öncelik diyagramlarına benzer görev tabanlı öncelik diyagramları kullanılmıştır. İlgili diyagramlarda görevler arasındaki öncelik ilişkileri temel olarak “VE”, “VEYA” olmak üzere iki şekilde gösterilmektedir. *VE öncelik ilişkisi* türünde bir görevin yapılabilmesi için kendisinden önce gelen *VE* öncelik ilişkisine sahip bütün görevlerin yapılması gerekmektedir. Şekil 1.2(a)’da,  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3$  görevleri arasındaki “VE” öncelik ilişkisi gösterilmektedir.  $i_3$  görevinin yapılabilmesi için  $i_1$  ve  $i_2$  görevlerinin kesinlikle yapılması gerekmektedir. *VEYA öncelik ilişkisi* türünde ise bir görevin yapılabilmesi için kendisinden önce gelen “VEYA” öncül görevlerinden en az birinin yapılması yeterli olmaktadır. Bu ilişki türü Şekil 1.2(b)’de verilen örnekte olduğu gibi “VEYA” öncül görevler arasına bir yay çizilerek gösterilmektedir. Aynı örnekte  $i_1$  veya  $i_2$  görevlerinden en az birinin yapılması  $i_3$  görevinin yapılabilmesi için yeterlidir (Altekin ve ark., 2008; McGovern ve Gupta, 2011).



Şekil 1.2. a) Ve öncelik ilişkisi b) Veya öncelik ilişkisi

Şekil 1.3.’te sekiz görevli bir ürünün demontajına ilişkin öncelik diyagramı verilmiştir. Daire içindeki sayılar görev numaralarını, oklar ise görevler arasındaki öncelik ilişkilerini göstermektedir. Örneğin 1 numaralı görev 2, 3 ve 4 numaralı görevlerden önce gelmektedir ve ilgili görevlerin öncül görevi olarak adlandırılmaktadır. 2, 3 ve 4 numaralı görevler ise 1 numaralı görevden sonra

geldikleri için 1 numaralı görevin ardıl görevleridir. Diyagramda ve/veya öncelik ilişkileri kullanılmıştır. Örneğin, 3 ve 4 numaralı görevler 7 numaralı görevin “ve” öncülleri iken, 2 ve 3 numaralı görevler 6 numaralı görevin “veya” öncülleri iken,



Şekil 1.3. Sekiz görevli örnek bir öncelik diyagramı

Demontaj işlemlerinin yapılması için gerekli görevlerin aralarındaki öncelik ilişkileri dikkate alınarak, belirlenen bir çevrim zamanı içinde, geri kazanılan parçalara ilişkin talebi karşılayacak ve bir ya da daha fazla performans ölçütünü en iyilenecek şekilde sıralı iş istasyonlarına atanması Demontaj Hattı Dengeleme (DHD) problemi olarak adlandırılmaktadır. İlgili performans ölçütü, genel olarak demontaj hattında ihtiyaç duyulacak istasyon (operatör) sayısının en küçüklenmesi veya geri kazanılan parçalardan elde edilen karın en büyüklenmesidir (Gungor ve Gupta, 2001).

DHD problemleri, hattın yerleşim şekline, ürün çeşitliliğine, görev zamanlarına ve ürünün demonte edilme seviyesine göre sınıflandırılabilirler. İlgili sınıflandırmalar aşağıda özetlenmiştir. DHD problemleri,

- Hattın şekline göre genel olarak geleneksel ve U-tipi demontaj hattı olmak üzere iki şekilde sınıflandırılabilir. Geleneksel demontaj hatlarında iş istasyonları düz bir çizgi halinde birbirini ardına sıralanmaktadır ve her istasyonda bir veya daha fazla parça demonte edilmekte, son istasyona geldiğinde talep edilen parça/parçaların tamamı elde edilmiş olmaktadır. U-tipi demontaj hatlarında ise hattın giriş ve çıkışı aynı pozisyonadadır. Operatörler hattın iç tarafında çalışmaktadırlar (Agrawal ve Tiwari, 2008; Avikal ve ark., 2013). Geleneksel hatların paralel şekilde yerleştirilmesi ile paralel demontaj hatları ortaya çıkmaktadır. İlgili hatlarda hat sayısı ile doğru orantılı olarak birden fazla ürünün eş zamanlı olarak demontajı söz konusudur (Hezer ve Kara, 2015).
- Ürün çeşitliliğine göre tek, karışık ve çok modelli olmak üzere üç şekilde sınıflandırılmaktadır. Tek modelli hatlarda tek tip ürün veya modeller, karışık modelli hatlarda birden fazla benzer tipteki model aynı anda karışık

olarak demonte edilmektedir. Çok modelli hatlarda ise birden fazla modelin demontajı partiler halinde yapılmaktadır (Gungor ve Gupta, 2002).

- Görev zamanlarına göre deterministik ve stokastik olmak üzere iki şekilde sınıflandırılmaktadır. Deterministik DHD problemlerinde görev zamanları sabit ve belirlidir. Stokastik DHD problemlerinde ise görev zamanlarının, belirli bir olasılık dağılımına uyduğu kabul edilir.
- Ürünün demonte edilme seviyesine göre kısmi ve tam olmak üzere iki şekilde sınıflandırılmaktadır. Demontaj sürecinde, ürünü oluşturan parçaların bir kaçı yada tamamı için talepler oluşabilmektedir ve talebi olan parçalardan gelir elde edilmektedir. Buna bağlı olarak talebi karşılamak aynı zamanda kar sağlamak amacıyla parçaların tamamının yada bir kısmının demonte edilmelerine göre ürün tamamen (tam demontaj) yada sadece belirli bir seviyeye kadar (kısmi demontaj) demonte edilmektedir (Lambert ve Gupta, 2005). Pratik uygulamalarda, görev maliyetleri ve bir ürünün her parçasının talebinin olmadığı kriterleri dikkate alındığında, tam demontaj yerine kısmi demontaj tercih edilmektedir (Altekin ve ark., 2008; Bentaha ve ark., 2014).

Yukarıda özetlenen sınıflandırmaların yanısıra DHD problemlerinin varsayımlarının belirlenmesinde etkin olan demontaja özgü iki tür eylem söz konusudur. İlgili eylemler demontaja özgü olup, çözme ve yıkıcı olmak üzere iki şekilde sınıflandırılmaktadır (Das ve Naik, 2002). Bu eylemlere göre ekipman, asistan vb. kaynakların gereksinimleri farklılık göstermektedir. Bu nedenle bir demontaj görevinin yapılması için birden fazla proses alternatifi ortaya çıkmaktadır ve bu görev bu alternatiflerden biri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bir proses alternatifi operatör, asistan ve ekipman olmak üzere bir dizi kaynaktan oluşmaktadır. Birden fazla proses alternatifine sahip bir görevin zamanı, parçalardan elde edilen gelirler ve kaynakların maliyeti bu alternatiflere bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu durumda hatların dengelenmesi konusunda görevlerle birlikte kaynakların da değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu değerlendirmeyle birlikte aynı zamanda gerçekleştirilen her görev için hangi eylemlerin de yapılacağına karar verilmektedir. Gerçek hayatta demontaja dair ilgili değerlendirmeler mevcutken ve gerekliyken, literatürde bu konunun henüz ele alınmadığı gözlemlenmiştir. Literatürde ilgili konunun önemini vurgulamak aynı zamanda bu konu hakkında çalışmak isteyen

araştırmacılara katkıda bulunmak amacıyla bu çalışmada görevlerin yanısıra kaynakların ve demontaja zgu eylemlerin birlikte dşunldgu bir problem ele alınmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında tek modellenli, deterministik görev zamanlı, kısmi demontaja izin veren Proses Alternatifli Paralel Demontaj Hattı Dengeleme (PDHD\_PA) Problemi ele alınmıştır. PDHD\_PA problemi ile görevlerin ve kaynakların birbirine paralel olarak konumlandırılmış düz hatlar üzerindeki istasyonlara eş zamanlı olarak atanmaları sağlanarak, toplam net geri kazanım karının en büyüklenmesi hedeflenmektedir (Gokcen ve ark., 2006). Önerilen problemin zmyle görevlerin ve kaynakların en uygun atamaları yapılırken aynı zamanda her görev için zaman, gelir ve maliyet parametreleri bakımından ödünleşmeyi sağlayan en uygun proses alternatifinin de seçilmesi sağlanmaktadır. Buna bağlı olarak demontaj planlama sürecinin çıktısı olan demontaj planı için yardımcı olabilecek veriler elde edilmektedir.

PDHD\_PA probleminin zm için 0-1 tamsayılı doğrusal programlama modeli nerilmış, bu modelin zm süresini kısaltmak ve elde edilen st sınırları iyileştirmek amacıyla geçerli eşitsizlikler tanımlanmıştır. PDHD\_PA probleminin NP-zor sınıfa girmesi nedeniyle orta ve büyük boyutlu problemler için önerilen 0-1 tamsayılı doğrusal programlama modeli kabul edilebilir bir zaman içerisinde iyi sonuçlar verememiştir. Bu nedenle probleme kısa zamanda etkin sonuçlar veren Düzeltmeli Tavlama Benzetimi (DTB) yaklaşımı nerilmıştir.

Bu tez çalışması beş bölümden meydana gelmektedir. İkinci bölümde DHD problemi ile ilgili literatür çalışması detaylı bir şekilde incelenmiştir. nc bölümde DHD problemleri ile ilgili literatürde kullanılan temel kavramlar verilerek, PDHD\_PA problemi detaylı olarak tanımlanmıştır. Problemin zm için önerilen 0-1 tamsayılı doğrusal programlama modeli, geçerli eşitsizlikler ve DTB yaklaşımı sunulmuştur. Dördüncü bölümde önerilen zm yöntemlerinin etkinlikleri tarafımızca geliştirilmiş olan test problemleri üzerinde test edilerek, elde edilen sonuçlar zm kalitesi ve üzüm süresi açısından karşılaştırılmıştır. Beşinci bölümde ise tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar vurgulanmış ve ileride yapılabilecek çalışmalar hakkında öneriler sunulmuştur.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Literatürdeki ilk çalışmalarda düz hatlarda tek modelli ürünlerin tam demontajının yapıldığı DHD problemlerinin çözümüne odaklanılmış, sonraki çalışmalarda ise çalışma alanı genişletilerek farklı demontaj hattı yerleşim tipleri incelenmiş, kısmi demontaj ve karışık modelli demontaj hatları konuları üzerinde durulmuştur. Çalışmaların çoğunda toplam istasyon sayısı en küçüklenirken, bazılarında ilgili amaç fonksiyonunun yanısıra demontaja özgü farklı amaç fonksiyonları eklenerek çok amaçlı DHD problemlerine ağırlık verilmiştir. Sınırlı sayıda çalışmada ise toplam net geri kazanım karının en büyüklenmesi amaçlanmıştır. Kullanılan çözüm yöntemleri incelendiğinde, DHD problemlerinin karmaşık ve NP zor sınıfına girmesi nedeniyle sezgisel yöntemlerin kesin çözüm yöntemlerine kıyasla daha fazla kullanıldığı gözlemlenmiştir.

DHD problemi ilk olarak Gungor ve Gupta (2001; 2002) tarafından yapılan çalışmalarda tanımlanmıştır. Gungor ve Gupta (2001) tarafından yapılan çalışmada operasyon hatalarının dikkate alındığı durumda oluşan DHD problemi ele alınmıştır. Bir yada birden fazla operasyon, hatalı olmaları nedeniyle yapılamayabilir. Bu durum demontaj hattında iş parçalarının akışında karışıklıklara neden olabilir. Öncelik ilişkileri nedeniyle hattaki diğer operasyonlardan bazıları veya hepsi gerçekleştirilemeyebilir. Çalışmada ilgili karışıklıkları dikkate alan, hattın işleyişinde karşılaşılabilecek hataların etkilerini en küçükleyecek şekilde görevlerin istasyonlara atanmasını hedefleyen sezgisel bir yaklaşım önerilmiştir.

Gungor ve Gupta (2002) tarafından yapılan çalışmada demontaj hatlarının geri kazanım faaliyetlerindeki önemi incelenmiştir. Demontaj operasyonları sırasında ortaya çıkan ve hattın etkin çalışabilmesi için göz ardı edilmemesi gereken karmaşık unsurlar özetlenmiştir. İlgili unsurlar ürünle, parçayla, hatla, operasyonlarla, taleplerle ilgili unsurlardır. Demontaja özgü bazı önemli faktörleri dikkate alan öncelik fonksiyonu tabanlı sezgisel bir yaklaşım önerilmiş, ilgili yaklaşımla istasyon sayısının en küçüklenmesi hedeflenmiştir. Öncelik fonksiyonun oluşturulmasında kullanılan faktörler istasyon boş zamanı, parçaların talepleri ve erişilebilirlikleri, tehlikeli parçalar ve parçaların demonte edilme yönleridir.

McGovern ve Gupta (2004) tarafından yapılan çalışmada çok amaçlı DHD probleminin çözümü için optimal ve optimale yakın çözümler veren iki aşamalı bir yaklaşım önerilmiştir. İlgili yaklaşımın ilk aşamasında tehlikeli parça ve talep



ölçütlerini dikkate alan aç gözlü (AG) yaklaşımı kullanılarak istasyon sayısını en küçükleyen uygun bir çözüm elde edilmiş, ikinci aşamada ise 2-opt yerel arama yaklaşımı kullanılarak hattın daha iyi dengelenmesi hedeflenmiştir. Hattın dengesinin en azından korunduğu durumda, öncelik kısıtını sağlamak koşuluyla 2-Opt yerel arama algoritması kullanılarak hattın tehlike ve talep ölçütleri bakımından da iyileştirilmesi sağlanmaktadır.

Duta ve ark. (2005) tarafından yapılan çalışmada herhangi bir ürünün parçalara veya alt montajlara ayrılması sürecinde oluşan belirsizlikler nedeniyle, demontaj hattının tasarlanmasının ve dengelenmesinin çok zor bir problem olduğu vurgusu yapılmıştır. İlgili problemi çözmek amacıyla eşit yığınlar yaklaşımına dayanan yeni bir yöntem önerilmiştir. Gerçek sistemlerde, ürünlerin demontajı sırasında ilgili belirsizlikler nedeniyle bazı görevlerin yapılamayacağı, bu durumda ilgili görevlerin yerine alternatif görevlerin yapılmasına karar verilmesi gerektiği belirtilmiştir. Eşit yığınlar (EY) yaklaşımıyla bu seçime karar verilirken, amaç istasyon yüklerinin arasındaki dengesizliğin en küçüklenmesidir.

McGovern ve Gupta'nın (2006) çalışmasında çok amaçlı DHD probleminin çözümüne yönelik karınca kolonisi optimizasyonu (KKO) önerilmiştir. Çalışmada istasyon sayısının en küçüklenmesi ve istasyon yüklerinin dengelenmesi, aynı zamanda tehlikeli bileşen içeren ve talebi yüksek parçaların mümkün olduğunca ilk istasyonlara atanması, demontaj hareket yönü değişiminin en küçüklenmesi amaçlanmıştır. Önerilen algoritma ile kısa sürelerde optimal ve optimale yakın sonuçların elde edildiği gösterilmiştir.

McGovern ve Gupta (2007a; 2007b) tarafından yapılan çalışmalarda, DHD probleminin NP-zor problemler sınıfına ait olduğu ispatlanmış, McGovern ve Gupta'nın (2006) çalışmasında belirtilen kriterlerini dikkate alan çok amaçlı DHD problemi sunulmuştur. İlgili problemin çözümü için McGovern ve Gupta'nın (2007a) çalışmasında Genetik Algoritma (GA) yaklaşımı önerilmiştir. GA'nın performansı küçük boyutlu bir problem üzerinde test edilerek kısa sürelerde problem için geçerli olan dört optimal sonuç elde edilmiştir. McGovern ve Gupta'nın (2007b) çalışmasında ise tam arama (TM), GA ve KKO, AG, AG/tepe tırmanma (TT), AG/2-opt yaklaşımları önerilmiştir. McGovern ve Gupta (2004) tarafından geliştirilmiş olan veri seti kullanılarak ilgili yaklaşımların performansları analiz edilmiştir.

Agrawal ve Tiwari (2008) tarafından yapılan çalışmada stokastik görev zamanlı karışık modelli U-tipi DHD probleminin çözümü için işbirlikçi KKO (İKKO)

metasezgisel yaklaşımı önerilmiştir. Toplam boş zamanın ve hattın durma olasılığının en küçüklenmesi amaçlanmıştır. İlgili algoritma, istatistiksel deney tasarımı teknikleri kullanılarak üretilen veri seti ile test edilerek, KKO'nun çözümleri ile karşılaştırılmış ve daha iyi sonuçların elde edildiği gösterilmiştir.

Altekin ve ark. (2008) tarafından yapılan çalışma, kar odaklı DHD probleminin ele alındığı ilk çalışmadır. Çalışmada kar odaklı kısmi DHD problemi tanımlanmış ve problemin çözümü için karışık tamsayı programlama (KTP) modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modelde toplam net geri kazanım karı en büyüklenirken aynı zamanda (1) gelir elde etmek için demonte edilmesi gereken parçalar, (2) görev ve istasyon maliyetleri dikkate alınarak yapılacak görevler, (3) açılacak istasyon sayısı, (4) çevrim zamanı ve (5) demontaj hattının dengesi belirlenmektedir. Ayrıca önerilen KTP'nin doğrusal programlama gevşetmesine dayanan alt ve üst sınır bulma yöntemleri önerilmiştir. Yapılan analizlere göre, ilgili yöntemlerle küçük boyutlu problemler için optimale yakın çözümler ve 320 demontaj görevinden oluşan büyük boyutlu problemlerde makul sürelerde uygun çözümler elde edildiği belirtilmiştir.

Koc ve ark.'nın (2009) çalışmasında tamsayı ve dinamik programlama (DP) modelleri önerilmiştir. İstasyon sayısının en küçüklenmesinin hedeflendiği yöntemlerde, görevler arasındaki öncelik ilişkilerinin uygunluğunu sağlamak için temel girdi olarak bir ve/veya diyagramı (VVD) kullanılmıştır. Bir VVD'den birden fazla görev tabanlı öncelik diyagramlarının üretileceği gösterilmiştir. Ayrıca, tek bir öncelik diyagramı yerine birden fazla öncelik diyagramı sunan VVD'nin kullanılmasıyla Montaj Hattı Dengeleme (MHD) problemlerinde daha iyi çözümlerin elde edildiği kanıtlanmıştır.

Altekin ve Akkan'ın (2012), çalışmasında görev hatalarının dikkate alındığı, demontaj hatlarının yeniden dengelenmesi problemi üzerinde odaklanılmıştır. Hattın kar değerinin en büyüklenmesinin hedeflendiği KTP tabanlı öngörücü reaktif bir yaklaşım (ÖRY) önerilmiş ve yaklaşımın etkinliği gerçekçi örnekler üzerinde kapsamlı bir şekilde test edilmiştir.

Kalayci ve ark. (2012) tarafından yapılan çalışmada çok amaçlı DHD problemi için tavlama benzetimi (TB) yaklaşımı önerilmiş ve ilgili yaklaşımın performansı literatürden alınan sayısal bir örnek üzerinden test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar önerilen yaklaşımın etkin olduğunu göstermektedir.

Kalayci ve Gupta'nın (2013a) çalışmasında görevler arasındaki sıraya bağlı olarak ortaya çıkan zaman artışlarının dikkate alındığı deterministik görev zamanlı sıra

bağımlı DHD problemi tanımlanmış ve modellenmiştir. Toplam istasyon sayısının en küçüklenmesinin, tehlikeli parçaların ve talebi yüksek olan parçaların mümkün olduğunca erken demonte edilmesinin hedeflendiği problemin çözümü için KKO tabanlı bir algoritma önerilmiştir. Aynı yazarlar tarafında ilerleyen dönemlerde, ilgili probleme ilişkin olarak yapay arı kolonileri (YAK) (Kalayci ve Gupta, 2013b), parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) (Kalayci ve Gupta, 2013c), tabu arama (TA) (Kalayci ve Gupta, 2013d), değişken komşuluk araması (DKA) (Kalayci ve ark., 2015a) ve hibrid GA (HGA) (Kalayci ve ark., 2016) yöntemleri önerilmiş ve analiz edilmiştir.

Aydemir-Karadag ve Turkbey'in (2013) çalışmasında, paralel istasyonlu çok amaçlı stokastik DHD problemi tanımlanmış ve çözüm önerileri geliştirilmiştir. Çalışmada, bir iş merkezine atanan görevlerin toplam sürelerinin çevrim zamanını aşması durumunda iş merkezindeki istasyonların çoğaltılması ile ortaya çıkan paralellik kavramı konusunda odaklanılmıştır. Denge ölçütünün, ekipman ve işgücü maliyetinden oluşan hattın tasarım maliyetinin en küçüklenmesinin amaçlandığı çalışmada stokastik görev zamanlı çok amaçlı DHD problemi için doğrusal olmayan 0-1 TDP modeli geliştirilerek, pareto-optimal çözümler kümesini veren GA tabanlı bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen yaklaşımın performansını değerlendirmek için bir hedef programlama (HP) yaklaşımı geliştirilmiştir.

Paksoy ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada karışık modellenmiş DHD (KMDHD) problemi tanımlanmış, bulanık hedef programlama (BHP) ve bulanık çok amaçlı programlama (BÇAP) modelleri önerilmiştir.

Tuncel ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada demontaj operasyonlarındaki ürünün kalitesine, yapısına ve talep miktarına ilişkin belirsizlikler üzerinde durularak pekiştirmeli öğrenme tekniği (PÖT) tabanlı bir yaklaşım önerilmiştir. Yaklaşımın performansının, karmaşık yapıdaki büyük ölçekli problemler üzerinde bile etkili olduğu belirtilmiştir. DHD probleminin altında yatan dinamiklere uyarlanan yaklaşımın stokastik ortamların yanısıra deterministik ortamlarda da uygulanabileceği vurgulanmıştır.

Bentaha ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada stokastik DHD problemi ele alınmıştır. Demontaj görev zamanlarının bilinen olasılık dağılımlarına göre rassal değişken oldukları varsayılmıştır ve stokastik bir program geliştirilmiştir. İlgili program ile geri dönen ürün için en iyi demontaj alternatifi seçilirken aynı zamanda görevlerin istasyonlara atanması sağlanır. Amaç demontaj hattının maliyetinin en

küçüklenmesidir. Hattın maliyeti, görevlerin istasyonlara atanmasında ortaya çıkan görev maliyetleri ve çevrim zamanının aşılması durumunda ortaya çıkan ceza maliyetinden oluşmaktadır. Monte Carlo öğrenme tekniği ile L-Şekilli algoritmayı birleştiren bir yaklaşım önerilmiştir. İlgili yaklaşımın büyük boyutlu problemlerde bile yüksek kaliteli sonuçlar verdiği gösterilmiştir.

Hezer ve Kara'nın (2015) çalışmasında literatürde ilk defa ele alınan Paralel Demontaj Hattı Dengeleme (PDHD) problemi tanımlanmış ve problemin çözümü için en kısa yol algoritması tabanlı bir ağ modeli önerilmiştir. Çalışmada her hatta tek modellenen ürünlerin demonte edildiği varsayılmış ve toplam istasyon sayısının en küçüklenmesi hedeflenmiştir. Önerilen model küçük boyutlu problemlerle test edilerek, etkin sonuçların elde edildiği gösterilmiş, problem boyutu arttıkça makul sürelerde optimal çözümlerin elde edilemeyeceği belirtilmiştir.

Riggs ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada, bir ürünün tüm olası ömür sonu koşullarını ve durumlarını eşzamanlı olarak inceleyen bir demontaj süreci için ortak öncelik diyagramı oluşturulmuş ve doğrulanmıştır. İlgili diyagram, karışık modellenen montaj hatlarında kullanılan ortak öncelik diyagramı referans alınarak uyarlanmış ve ilgili diyagramın nasıl oluşturulduğu verilen bir örnek üzerinden anlatılmıştır.

Bentaha ve ark. (2015a) tarafından yapılan çalışmada görev zamanlarının belirsiz olması durumunda demontaj hattının verimli şekilde tasarlanması amaçlanmıştır. Karar vericilerin ürün için en iyi demontaj alternatifini seçmelerini, çevrim zamanı ve öncelik kısıtları kapsamında görevlerin istasyonlara atanmasını sağlayan bir karar verme aracı önerilmiştir. Görev zamanlarının belirsizliklerini gidermek için, ikinci dereceden koni tabanlı alt ve üst sınır planları geliştirilmiştir. Amaç, istasyon işletme ve tehlikeli parçaların demontajına bağlı ortaya çıkan ek maliyetlerden oluşan hattın maliyetini en küçüklemektir.

Kalaycılar ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmada sabit sayıda istasyon içeren DHD problemi ele alınmıştır. Toplam net gelirin en büyüklenmesinin hedeflendiği çalışmada KTP modeli, alt ve üst sınır prosedürleri geliştirilmiş ve ilgili prosedürlerin tatmin edici sonuçlar verdiği gösterilmiştir.

DHD problemi ile detaylı literatür araştırması ilgili yerleşim şekline, ürün çeşitliliğine, görev zamanına, dikkate alınan amaca göre Çizelge 2.1'de, hedeflenen amaç fonksiyonları ve kullanılan yöntemlere göre ise EK-1'de tablo halinde verilmiştir.

İlgili çalışmaların yanısıra demontaj sürecine ilişkin daha detaylı bilgi edinmek için Lambert (1997), Brennan ve ark. (1994), Gungor ve Gupta (1999), Lambert (2003), Lambert ve Gupta (2005), Kim ve ark. (2007), Ilgin ve Gupta (2010), Ullerich (2014), Hazır ve ark. (2015), Bentaha ve ark. (2015c), Ghandi ve Masehian (2015) çalışmalarından yararlanılabilir.

**Çizelge 2.1.** Demontaj hattı dengeleme problemlerinin sınıflandırılması-1

Kaynaklar	Görev Zamanı			Ürün Yapısı			Hat Tasarımı			Amaç Tipi		Demontaj Seviyesi	
	dt	st	bl	tm	km	çm	düz	U	par	min	mak	tam	ks
Gungor ve Gupta (2001)	✓			✓			✓			✓		✓	
Gungor ve Gupta (2002)	✓			✓			✓			✓		✓	
McGovern ve Gupta (2004)	✓			✓			✓			✓		✓	
Duta ve ark. (2005)	✓			✓			✓			✓			✓
McGovern ve Gupta (2006)	✓			✓			✓			✓		✓	
McGovern ve Gupta (2007a)	✓			✓			✓			✓		✓	
McGovern ve Gupta (2007b)	✓			✓			✓			✓		✓	
Agrawal ve Tiwari (2008)		✓			✓			✓		✓		✓	
Altekin ve ark. (2008)	✓			✓			✓				✓		✓
Koc ve ark. (2009)	✓			✓			✓			✓		✓	
Ding ve ark. (2010)	✓			✓			✓			✓		✓	
Altekin ve Akkan (2012)	✓			✓			✓				✓		✓
Kalayci ve ark. (2012)	✓			✓			✓			✓		✓	
Aydemir-Karadag ve Turkbey (2013)		✓		✓			✓			✓		✓	
Paksoy ve ark. (2013)	✓				✓		✓			✓		✓	
Avikal ve ark. (2013)	✓			✓			✓	✓		✓		✓	
Kalayci ve Gupta (2013a)	✓			✓			✓			✓		✓	
Kalayci ve Gupta (2013b)	✓			✓			✓			✓		✓	
Kalayci ve Gupta (2013c)	✓			✓			✓			✓		✓	
Kalayci ve Gupta (2013d)	✓			✓			✓			✓		✓	
Tuncel ve ark. (2014)	✓			✓			✓			✓		✓	
Avikal ve ark. (2014a)	✓			✓			✓			✓		✓	
Avikal ve ark. (2014b)	✓			✓			✓			✓		✓	
Bentaha ve ark. (2014)		✓		✓			✓			✓		✓	
Kalayci ve ark. (2015a)	✓			✓			✓			✓		✓	
Kalayci ve ark. (2015b)			✓	✓			✓			✓		✓	
Riggs ve ark. (2015)	✓	✓		✓			✓			✓		✓	✓
Bentaha ve ark. (2015a)		✓		✓			✓			✓		✓	
Bentaha ve ark. (2015b)		✓		✓			✓				✓		✓
Hezer ve Kara (2015)	✓			✓					✓	✓		✓	
Kalaycilar ve ark. (2016)		✓		✓			✓				✓	✓	
Kalayci ve ark. (2016)	✓			✓			✓			✓		✓	
Colledani ve Battaia (2016)		✓		✓			✓				✓	✓	✓
Mete ve ark. (2016)	✓			✓			✓			✓		✓	
Altekin ve ark. (2016)		✓		✓			✓				✓		✓

dt: Deterministik  
st: Stokastik

bl: Bulanık  
tm: Tek modeli

km: Karışık modelli  
çm: Çok modelli

par: Paralel  
min: Minimizasyon

mak: Maksimizasyon  
ks: Kısmi

Çizelge 2.1 ve EK-1 incelendiğinde bazı alanların eksik ya da yetersiz çalışıldığı gözlemlenmiştir. Bu tez çalışmasında önerilen PDHD\_PA probleminin varsayımlarının oluşturulmasında dikkate alınan ilgili alanlar ve bu alanların üzerinde durulma nedenleri şu şekildedir:

- Çalışmaların çoğunda düz demontaj hatları dikkate alınmıştır. Az sayıda çalışmada ise farklı hat tasarımlarına yönelik problemler incelenmiştir. İlgili problemlerden biri Hezer ve Kara (2015) tarafından çalışılan birbirine paralel düz hatların eş zamanlı olarak dengelenmesine dayanan

PDHD problemi. Kaynaklardan tasarruf edilerek maliyetlerin azaltılması, yeterli kapasitenin sağlanması, taleplerin zamanında karşılanması vb. kriterler açısından paralel hatların düz hatlara göre daha avantajlı olmaları nedeniyle PDHD problemi ile ilgili daha fazla çalışmanın yapılması gerektiğine inanılmaktadır.

- Literatürde demontaj sürecine özgü çözümler ve yıkıcı eylemlerin ve ilgili eylemleri ekipman ve asistan gibi kaynaklarla birlikte ele alan proses alternatiflerinin çalışılmadığı gözlemlenmiştir. Gerçek hayatta bir demontaj görevi için farklı proses alternatifleri ortaya çıkabilmekte ve etkin bir demontaj planı için en uygun proses alternatiflerinin seçilmeleri gerekmektedir.
- Bir ürünün bazı parçaları fonksiyonel özelliklerini kaybetmiş yada fiziksel olarak orijinalinden farklı olabilmektedir. Buna bağlı olarak ürünün her parçası için talep meydana gelmeyebilir. Bu nedenle birinci bölümde bahsedildiği gibi tam demontaj yerine ürünün belirli seviyeye kadar demontajına izin veren kısmi demontaj tercih edilmelidir.

Yukarıda belirtilen eksik yada yetersiz olan alanlara katkıda bulunarak ileride bu konuda çalışacak araştırmacılara fikir vermek amacıyla literatürde daha önce çalışılmamış olan PDHD\_PA problemi tanımlanmıştır. İlgili problem, etkin bir demontaj planlama modelinin önerildiği Das ve Naik'in (2002), Paralel Montaj Hattı Dengeleme (PMHD) probleminin tanımlandığı Gokcen ve ark.'nın (2006) ve montaj hatlarında proses alternatiflerinin önerildiği Kara ve ark.'nın (2011) çalışmaları referans alınarak tanımlanmıştır. Kaynak araştırmasının devam eden bölümünde PMHD problemlerine ilişkin kısa bir literatür özeti sunulduktan sonra, Das ve Naik'in (2002), Gokcen ve ark.'nın (2006), Kara ve ark.'nın (2011) çalışmalarına ilişkin detaylı bilgiler verilmiş, son olarak önerilen DTB yaklaşımının montaj hattındaki uygulamalarına ilişkin çalışmalar anlatılmıştır.

PMHD problemi ilk kez Gokcen ve ark. (2006) tarafından önerilmiştir. Çalışmada PMHD probleminin varsayımları, kısıtları tanımlanarak, problemin çözümü için toplam istasyon sayısının en küçüklenmesi hedeflenmektedir. Problemin çözümü için 0-1 TDP modeli ve üç farklı sezgisel yöntem önerilmiştir. İlgili yöntemlerden ilk ikisi hatlarda, aynı ürünün üretilmesine yönelik önerilmiş olan *pasif durum* ve farklı ürün veya modellerinin üretilmesine yönelik önerilmiş olan COMSOAL tabanlı *aktif durum* sezgiselidir. Üçüncü yöntem ise farklı çevrim zamanlarının söz konusu olması

durumunda uygulanabilmesine yöneliktir. PMHD problemine ilişkin literatür özeti Çizelge 2.2’de verilmiş olup bu konuda Lusa (2008) tarafından yapılmış olan literatür araştırması da yararlanılabilecek kaynaklardan biridir.

**Çizelge 2.2.** PMHD problemlerine ilişkin literatür özeti

Kaynak	Ürün tipi	Amaç Fonksiyonu	Yöntem
Gokcen ve ark. (2006)	Tek	İstasyon sayısının en küçüklenmesidir.	0-1 TDP , Sezgisel prosedürler
Benzer ve ark. (2007)	Tek	İstasyon sayısının en küçüklenmesidir.	EKY tabanlı ağ modeli
Cercioglu ve ark. (2009)	Tek	İstasyon sayısının en küçüklenmesidir.	TB
Scholl ve Boysen (2009)	Tek	İşyeri sayısının en küçüklenmesidir.	0-1 TDP, dal-sınır
Ozcan ve ark. (2009)	Tek	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hat verimliliğinin en büyüklenmesi,</li> <li>İstasyon iş yüklerinin değişiminin en küçüklenmesidir.</li> </ul>	Çok amaçlı TA
Baykasoglu ve ark. (2009)	Tek	<ul style="list-style-type: none"> <li>İstasyon sayısının en küçüklenmesi,</li> <li>İstasyon yüklerinin dengelenmesidir.</li> </ul>	KKO
Ozcan ve ark. (2010)	Karışık	<ul style="list-style-type: none"> <li>İstasyon sayısının en küçüklenmesi,</li> <li>İstasyon yüklerinin dengelenmesidir.</li> </ul>	TB
Kara ve ark. (2010)	Tek	İstasyon sayısı, çevrim zamanı, bir istasyona atanan iş sayısı olmak üzere birbiriyle çelişen amaçlar için uzlaşık çözümler aranmıştır.	HP ve BHP
Ozbakir ve ark. (2011)	Tek	<ul style="list-style-type: none"> <li>İstasyonların boş zamanlarının en küçüklenmesi,</li> <li>Hat etkinliğinin en büyüklenmesidir.</li> </ul>	ÇKKA
Baykasoglu ve ark. (2012)	Tek	Denge gecikmesinin en küçüklenmesidir.	ÇKKA

Das ve Naik’in (2002), çalışmasında bir demontaj süreç planının oluşturulması, belgelenmesi ve değerlendirilmesi için tanımlayıcı bir model önerilmiştir. Model sonucu ortaya çıkacak olan planın, herhangi bir geri kazanım sistemine kolaylıkla uygulanabilir nitelikte olması amaçlanmıştır. İlgili modelin temel özelliği, demontaj malzeme listesi kullanılarak ürüne ilişkin özelliklerin ve bilinmesi gereken her türlü bilginin, ürünün üreticisinden tüketicisine ve demontajının gerçekleştirildiği son noktaya kadar iletilmesi için bir format niteliği taşımasıdır. Modelde demontaj süreci, her biri çözme, yıkıcı ve alt montajın bertaraf edilmesi faaliyetlerinden birisi ile nitelendirilen adımlar sırasından oluşmaktadır. Etkili bir demontaj planını sağlayan modelin (i) ürünün tasarımı hakkındaki sınırlı veri ile uygulanabilir olması (ii) en az zaman ve çaba ile uygulanabilmesi ve yürütülmesi (iii) bağlantı elemanlarını ve kullanılan ekipmanları/yöntemleri tanımlamak için standart bir terminoloji konularında bilgiler içermesi gerektiği vurgulanmıştır.

Kara ve ark.’nın (2011) çalışmasında MHD probleminde bir görevin farklı zamanlarda yapılmasına neden olan farklı proses alternatiflerinin ele alındığı kaynak bağımlı MHD problemi için yeni bir tamsayılı programlama formülasyonu önerilmiştir. İlgili problemde amaç toplam istasyon sayısını en küçükleyecek ve gerekli kısıtları sağlayacak şekilde görevlerin ve kullanılan kaynakların istasyonlara atanması ve en uygun proses alternatifinin seçilmesidir. Önerilen formülasyon U-tipi

MHD problemlerine uyarlanacak şekilde değiştirilerek geliştirilmiştir. Önerilen formülasyonlar verilen örnekler üzerinden açıklanarak, doğrulanmışlardır.

DHD literatürü uygulanan yaklaşımlar bakımından incelendiğinde, TB yaklaşımının uygulandığı ilk çalışma Kalayci ve ark.'na (2012)aittir. DTB'ye ilişkin ise henüz çalışmanın yapılmadığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle DTB konusunda daha detaylı bilgi edinilmesi ve yararlanılması amacıyla MHD literatürü incelenmiştir ve iki adet çalışmanın yapıldığı gözlemlenmiştir. İlgili çalışmalar Guden ve Meral'e (2013; 2016) aittir.

Guden ve Meral (2013; 2016) tarafından yapılan çalışmalarda bulaşık makinesi üreticisi bir firma için basit MHD problemi ele alınmıştır. Guden ve Meral'in (2013) çalışmasında çok modellenmiş MHD problemine uyan bulaşık makinesi üreticisi bir firmaya ilişkin problem ele alınmıştır. Çalışmanın amacı model bazında kullanılan istasyon sayılarının en küçüklenmesidir. Buna göre, model sayısı kadar birinci tipte basit MHD vakası üzerinde çalışılmıştır. Problemin bu boyutuyla kesin çözüm yöntemleriyle çözümü mümkün olmadığı için probleme kısa sürelerde iyi çözümler bulmak üzere bir düzeltmeli tavlama benzetimi sezgisel geliştirilmiştir. Sezgisel yöntemin performansı literatürdeki test problemleri üzerinde sınanmış ve algoritmanın performansının çok iyi olduğu görülmüştür. Daha sonra, geliştirilen sezgisel yöntem ele alınan gerçek hayat probleminin çözümünde kullanılmış ve mevcut uygulamadan daha iyi bir çözüm bulunmuştur.

Guden ve Meral (2016) tarafından yapılan çalışmada ise çok amaçlı MHD probleminin çözümüne yönelik DTB yaklaşımı önerilmiştir. Guden ve Meral'in (2013) çalışmasında ele alınan vakaya benzer bir uygulama üzerinde çalışılmıştır. COMSOAL kurucu sezgisel algoritması ile oluşturulan başlangıç çözümü önerilen iki DTB yaklaşımı ile iyileştirilmiştir. İlgili yaklaşımlarla başarılı sonuçlar elde edilmiştir.



### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

Bu bölümde öncelikle, demontaj hattı literatüründe sık kullanılan temel kavramlara yer verilmiş, ardından DHD ve PDHD problemlerinin özellikleri verilerek PDHD\_PA problemi tanımlanmıştır. Daha sonra DTB'nin genel özellikleri detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Son olarak tarafımızca geliştirilen test problemlerinin özellikleri sunulmuştur.

##### 3.1.1. Demontaj hattı dengeleme problemlerinde kullanılan temel kavramlar

Tez çalışması boyunca DHD problemine ilişkin temel kavramlardan yararlanılmıştır. İlgili kavramlar konusunda Gungor ve Gupta (2001) ve Lambert ve Gupta (2005) tarafından yapılan çalışmalar referans alınmıştır.

**Ürün:** Vida, civata, somun, kaynak, yapıştırma vb. bağlantı elemanları ve yöntemleri kullanılarak birleştirilmiş parçalardan oluşan kararlı birimdir. Bu tez çalışması kapsamında kullanılan ürün kavramı, bir geri dönüşüm veya yeniden üretim merkezine gidecek olan “kullanılmış” veya “iade edilmiş” ürünü ifade etmektedir.

**Parça:** Ürünü oluşturan, demontaj işlemi boyunca daha küçük ögelere bölünemeyen, şekli değişmeden kalan bileşendir.

**Alt montaj:** İki veya daha fazla parçanın bir araya gelmesiyle ortaya çıkan yapıdır. Alt montajı oluşturan her parça, alt montajdaki diğer parçalardan en az biri ile bağlantılıdır. Alt montajı oluşturan parçalar pozisyonlarını korudukları ve hareket ettirilmedikleri sürece, ilgili alt montajın dengeli bir yapıda olduğu söylenebilir.

**Bileşen:** Parçalara ve bağlantı elemanlarına verilen ortak isimdir.

**İş Parçası:** Demontaj hattına yerleştirilen, bir istasyondan diğerine hareket ederken şekli ve boyutu değişebilen ürün veya alt montajdır.

**Tehlikeli parça:** Çevreye, organizmalara zarar verebilen veya hava kirliliğine neden olan maddeleri içeren parçalardır. Otomobillerde bulunan akümülatör, hava yastığı, yakıt deposu çevre ve demontaj hattı için tehlikeli olabilecek parçalara örnek olarak verilebilir.

**Demontaj görevi:** Bir demontaj görevi bir demontaj hattında yapılması gereken toplam işin bölünebilen en küçük parçasıdır.

**Demonte etmek:** Bir ya da birden fazla parçanın yada alt montajın üründen çıkarılmasıdır.

**Görev zamanı:** Bir iş istasyonunda bir görevin tamamlanabilmesi için gereken zamandır.

**İş istasyonu:** Demontaj hattında yapılması gereken görevlerin gerçekleştirildiği yerdir.

**İstasyon zamanı:** Demontaj hattındaki bir istasyonda yapılan görevlerin görev zamanlarının toplamıdır.

**Çevrim zamanı:** Demontaj hattındaki bir istasyona, o istasyona atanan görevlerin tamamlanabilmesi için ayrılan zamandır. Bir demontaj hattındaki bütün istasyonların çevrim zamanı birbirine eşittir ve görev zamanlarından en büyüğü, çevrim zamanı için alt sınırdır ( $C_{alt}$ ). Çevrim zamanı üst sınırı ( $C^{üst}$ ) ise demonte edilmesi gereken parçalardan talebi en yüksek olan parçanın talep miktarına göre belirlenmektedir.  $C^{üst}$  (3.1), (3.2) ve (3.3) numaralı denklemlere göre hesaplanmakta olup (Gungor ve Gupta, 2001; 2002), denklemlerde kullanılan kısaltmalar ve açıklamaları Çizelge 3.1’de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Çevrim zamanının alt ve üst sınır hesaplamalarında kullanılan kısaltmalar

Kısaltma	Kısaltmanın Açıklaması
$dv_i$	: $i$ parçasının talep miktarı
$dp_i$	: $i$ parçasının talebinin karşılanması için gereken ürün miktarı
$qv_i$	: Bir adet üründe bulunan $i$ parçasının sayısı
$dp_{max}$	: Demonte edilmesi gereken en yüksek talep miktarı
$L$	: Planlama periyodunun uzunluğu
$NP$	: Parça sayısı

$$dp_i = \frac{dv_i}{qv_i} \quad (3.1)$$

$$dp_{max} = \max_{i=1,2,\dots, NP} \{dp_i\} \quad (3.2)$$

$$C^{üst} = \frac{L}{dp_{max}} \quad (3.3)$$

$C^{üst}$  değerinin hesaplanması bir bilgisayarın demontajına yönelik örnek üzerinden açıklanmıştır. Çizelge 3.2’de ilgili örneğe ait veriler verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** Bilgisayar demontajına ilişkin gerekli veriler (Gungor ve Gupta, 2002)

Görev/ Parça No ( <i>i</i> )	Tanım	$dv_i$	$qv_i$	$dp_i$
1	Bilgisayarın üst kısmının sökülmesi	360	1	360/1=360
2	Flopi diskin sökülmesi	500	1	500/1=500
3	Hard diskin sökülmesi	620	1	620/1=620
4	Arka planın sökülmesi	480	1	480/1=480
5	PCI kartlarının sökülmesi	540	1	540/1=540
6	İki RAM modülünün sökülmesi	750	2	750/2=375
7	Güç biriminin sökülmesi	295	1	295/1=295
8	Ana kartın sökülmesi	720	1	<b>720/1=720</b>

Örneğe göre,  $C^{üst}$  değerinin hesaplanması için öncelikle Denklem (3.1)'e göre  $dp_i$  değerleri hesaplanarak beşinci sütuna kaydedilmişlerdir. İlgili sütundaki değerler Denklem (3.2)'ye göre değerlendirildiğinde en yüksek talep miktarının 720 adet olduğu görülmektedir. Talebin bir iş gününde (8saat) karşılandığı varsayılırsa  $L = 8 \times 60 \times 60 = 28800$  sn'dir. Denklem (3.3)'e göre  $C^{üst} = 28800/720 = 40$  sn olarak hesaplanır. Bu durumda  $C_{alt}$  ve  $C^{üst}$  değerleri  $36 \leq C \leq 40$  olarak belirlenmektedir.

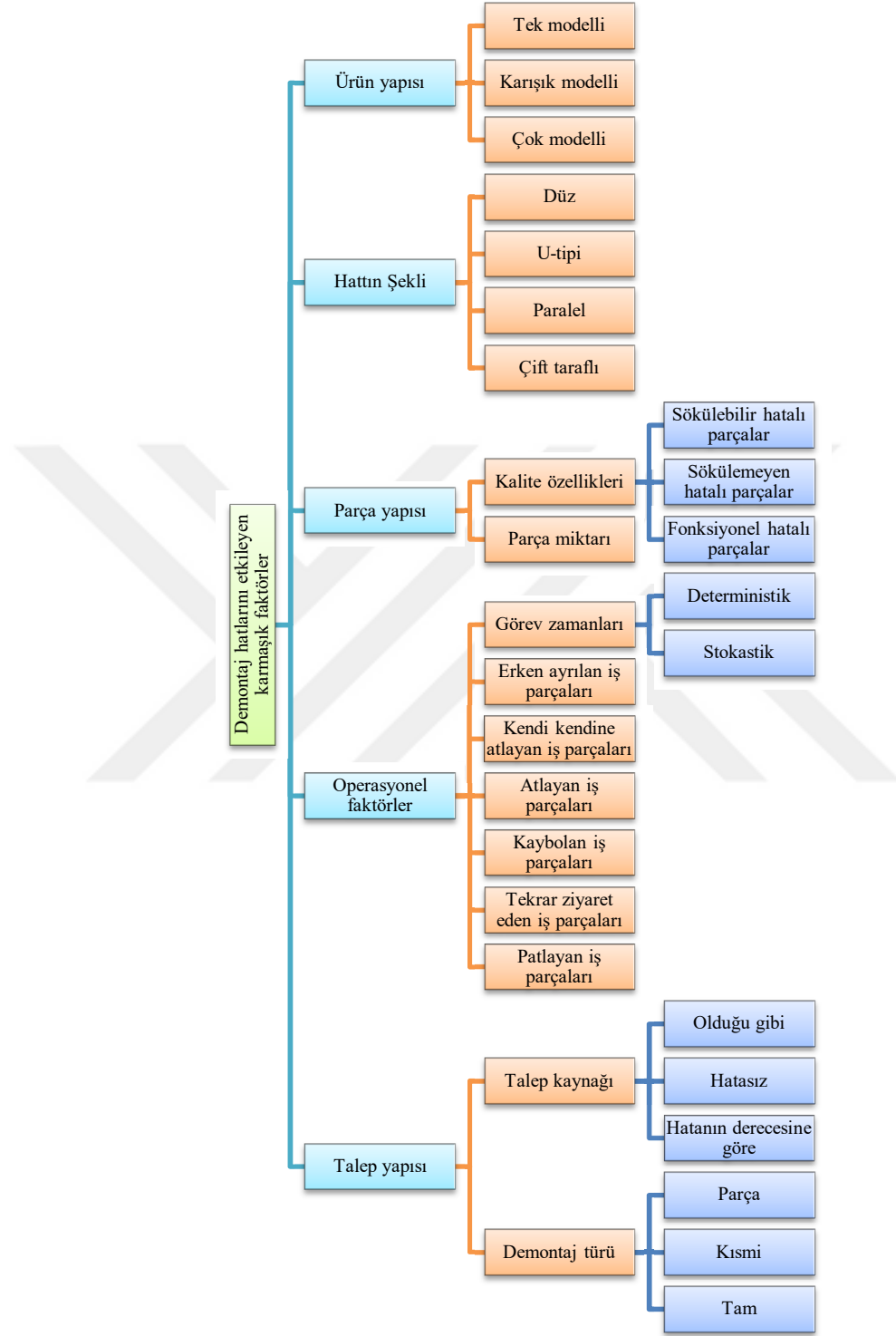
**İstasyon Boş Zamanı:** Demontaj hattındaki bir istasyonun istasyon zamanı ile çevrim zamanı arasındaki farktır.

**Toplam Boş Zaman:** Demontaj hattındaki istasyonların boş zamanlarının toplamı, demontaj hattının toplam boş zamanı olarak ifade edilir.

### 3.1.2. Demontaj hattı dengeleme problemleri

Demontaj maliyeti yüksek bir süreçtir. Bu nedenle sürecin verimli bir şekilde işleyebilmesi için demontaj sistemlerinin etkin bir şekilde tasarlanmaları gerekmektedir. Demontaj sistemlerinin tasarlanma sürecinde ortaya çıkan problemlerden biri DHD problemi (Bentaha ve ark., 2015a). DHD problemi, demontaj hattındaki görevlerin, aralarındaki öncelik ilişkileri dikkate alınarak, belirlenen bir çevrim zamanına göre, geri kazanılan parçalara ilişkin talebi karşılayacak ve belirli bir performans ölçütünü en iyilenecek şekilde sıralı istasyon dizisine atanması olarak tanımlanmaktadır (McGovern ve Gupta, 2007a). İlgili performans ölçütü istasyon sayısının ya da toplam boş zamanın en küçüklenmesi, toplam karın en büyüklenmesi, toplam maliyetin en küçüklenmesi vb. olarak ele alınabilir (Altekin ve ark., 2008). DHD problemlerinin ortaya çıkmasında,

sınıflandırılmasında ve değerlendirilmesinde etkili olan, demontaj sürecine ilişkin önemli faktörler söz konusudur. Şekil 3.1’de bu faktörler kısaca özetlenmiştir.



Şekil 3.1. Demontaj hatlarını etkileyen faktörler

Şekil 3.1’de verilen her faktöre ilişkin detaylı açıklamalar aşağıda verilmiştir (McGovern ve Gupta, 2011).

**a. Ürünün yapısına ilişkin faktörler:** Bir demontaj hattında, tek, karışık yada çok modelli ürünlerin demontajı yapılabilmektedir. Bu durumda hattaki ürün çeşitliliğinin artışına bağlı olarak hattın yapısının karmaşıklığı da artmaktadır.

**b. Hattın şekline ve hızına ilişkin faktörler:** Demontaj hatlarının, düz ve U-tipi hatların yanısıra paralel, çift taraflı vb. olarak tasarlanmaları mümkündür. Hattın şekline bağlı olmaksızın demontaj hatlarının tasarlanmasında verilmesi gereken en önemli kararlardan biri hattın hızıdır. Parçaların düzgün akışını sağlamak amacıyla eşit hıza sahip istasyonların yer aldığı gecikmesiz hatlar tercih edilebileceği gibi, görev zamanlarındaki değişkenliğin gelen ürünün yapısına ve kullanım şekline bağlı olarak fazla olduğu durumları yansıtan gecikmeli hatların kullanılması da tercih edilebilir.

**c. Parçaya ilişkin faktörler:** Bu faktörler gelen ürünün kalitesi ve üründeki parçaların sayısı ile ilgilidirler.

**Ürünün kalitesi:** Bir demontaj hattına gelen ürünün konfigürasyonu müşteri kullanımına bağlı olarak değişkenlik gösterebilmekte ve bu durum önceden bilinmemektedir. Bazı durumlarda ürün hemen hemen yeni gibi iken, bazı durumlarda ise bir yada daha fazla parça eksik ya da parçaların bazıları işlevlerini kaybetmiş durumda olabilmektedirler. Eğer bir parça orijinal halinden farklı özelliklere sahipse yada farklı operasyonel özellikler gerektiriyorsa, ilgili parçanın hatalı olduğu kabul edilir. Fiziksel ve fonksiyonel olmak üzere iki tip hata söz konusudur. Fiziksel hatada, parçanın şekli, boyutu vb. geometrik özellikleri orijinal halinden farklı iken fonksiyonel hatada ise parça işlevselliğini kaybetmiş durumdadır. İlgili hatalar dikkate alındığında, parçalar sökülebilmek durumlarına göre üç şekilde sınıflandırılmaktadırlar:

- **Sökülebilir hatalı parçalar (A-tipi hata):** Bazı ürünler hatalı parçalar içermelerine rağmen demonte edilebilmektedirler. Böyle durumlarda demontaj uzun sürebilmekte fakat hatalı parçalar ürünün demontajı için herhangi bir soruna neden olmamaktadırlar.
- **Sökülemeyen hatalı parçalar (B-tipi hata):** Bazen hata parçanın demontajına izin verilemeyecek kadar büyüktür. Parça diğer parçalara kaynamış ya da parçalarla iç içe geçmiş olabilir. Bu durumda, hattın durması, ürünün demontajının tamamlanamaması gibi olumsuzluklarla karşılaşılmaktadır.
- **Fonksiyonel hatalı parçalar:** Parçada A ve B tipi hatalar yoktur fakat fonksiyonel hata söz konusudur. Böyle bir durumda parça talep edilen diğer

parçaların öncülü değilse, ilgili parçanın demontajı yapılmadan diğer parçaların demontajına devam edilmektedir.

**Ürünlerdeki parçaların sayısı:** Ürünün kullanım durumuna bağlı olarak gelen ürünlerdeki parçaların sayısı orijinal parça sayısı ile aynı olmayabilir. Örneğin orijinalinde 32 mb hafıza modülü olan bir bilgisayarın modülü kullanıcısının ihtiyacına göre 64 mb'teye yükseltilebilir. Bu durumda bilgisayar iki adet 32 mb hafıza modülü içerecek ve hafıza modülünün sayısı orijinal halinden bir fazla olacaktır. Buna benzer durumlar ilgili parçaya ilişkin talep kısıtlarını ve istasyon süresini etkilemektedirler.

**d. Operasyonel faktörler:** Bu faktörler görev zamanlarına ve parçaların hatalı olmalarına bağlı olarak hattın işleyişinde ortaya çıkabilecek komplikasyonlara göre değerlendirilmektedirler.

Demontajda görev zamanları, ürünlerin ve operatörlerin/istasyonların durumuna göre deterministik ve stokastik olarak ikiye ayrılmaktadır. Deterministik görev zamanlı demontaj hatlarında görev zamanlarının belirli olduğu ve değişim göstermediği, stokastik görev zamanlı demontaj hatlarında görev zamanlarının belirli bir olasılık dağılımına uyduğu kabul edilmektedir.

Bir üründe hatalı parçaların olması durumunda bazı görevler başarısızlıkla sonuçlanabilmektedir. Böyle durumlar demontaj hattında çeşitli komplikasyonlara neden olabilmektedir. İlgili komplikasyonlar iş parçasının hattı terketmesi yada atandığı istasyonda tamamlanamayan görevler nedeniyle ilgili istasyonu atlayarak bir sonraki istasyona gitmesi, önceki istasyona tekrar geri dönmesi vb. durumları örnek verilebilir. Bu konuda detaylı bilgi edinmek isteyen araştırmacılar McGovern ve Gupta'nın (2010) çalışmasını inceleyebilirler.

**e. Talep faktörü:** Talep, demontaj sisteminin tasarımında ve optimize edilmesinde dikkat edilmesi gereken en önemli faktörlerden biridir. Çünkü demontaj hattının dengelenmesinde hedeflenen amaçlardan biri parçaların taleplerinin karşılanmasıdır. Talep kaynağının hatalı parçaları kabul etme durumuna göre talepler üç şekilde sınıflandırılmaktadırlar:

- Birinci talep çeşidinde, talep edilen parça “olduğu gibi” yani parça demonte edildiğinde hatalı olup olmadığına bakılmaksızın kabul edilmektedir. Bu parçalar genellikle geri dönüşümde kullanılmaktadırlar.
- İkinci talep çeşidinde, talep kaynağı tarafından parçaların hatasız olması istenmektedir. Bu parçalar yeniden üretimde kullanılmaktadırlar.

- Üçüncü talep çeşidinde ise, hatalı parça hatanın derecesine göre kabul edebilmektedir. Böyle parçalar temizlenerek veya tamir edilerek tekrar kullanılabilirler.

Yukarıda anlatılan faktörler dikkate alındığında DHD problemlerinin genel varsayımları şunlardır (Gungor ve Gupta, 2002):

- Tek modelli ürünlerin demontajı yapılmaktadır.
- Ürünlerin kendilerini oluşturan parçalara ve alt montajlara demonte edilmeleri gecikmesiz hatlarda yapılmaktadır.
- Gelen her ürünün konfigürasyonu aynıdır; yani her ürünlerdeki parçaların sayısı bilinmektedir.
- Görev zamanları deterministiktir ve bilinmektedir.
- Üründe her parçanın bir talebi vardır, bu nedenle tam demontaj hedeflenmektedir.
- Talep miktarları deterministiktir ve bilinmektedir.
- Demonte edilen parçalar, hatalı olup olmadığına bakılmaksızın talep kaynağı tarafından kabul edilmektedirler.
- Görevler arasındaki öncelik ilişkileri bilinmektedir.
- Görevler bölünemezler, yani bir görev iki veya daha fazla istasyon arasında paylaşılamaz.

### 3.1.3. Paralel demontaj hattı dengeleme problemleri

Bir geri kazanım tesisinde demontaj görevleri bir düz demontaj hattında yapılabilecekleri gibi iki farklı durum nedeniyle birbirine paralel olarak konumlandırılmış birden fazla düz demontaj hattı üzerinde de yapılabilirler. İlgili durumlardan birincisi talebin yeterince yüksek olması ve bir hattın kapasitesinin söz konusu talebi karşılamada yetersiz kalması nedeniyle ikinci hattın kurulması ihtiyacıdır. Yani aynı ürünün birden fazla özdeş hatta demonte edilmesidir. İkinci durum ise, aynı, benzer yada farklı ürünlerin parça taleplerinin hat kurmak için yeterli büyüklükte olması ve bu nedenle her ürünün birbirinden ayrı demontaj hatlarında demonte edilmeleridir. Birden fazla paralel düz hat birbirinden bağımsız yada eş zamanlı olarak dengelenebilir. Hatların bağımsız dengelenmeleri ile yetersiz kapasite sorunu ortadan kaldırılmakla birlikte artan kaynak miktarına bağlı olarak hattın maliyeti artmaktadır. Yetersiz kapasite sorununu gidermek aynı zamanda kaynak kullanımını en aza indirmek için izlenecek en iyi yol hatların eş zamanlı olarak dengelenmesidir (Gokcen ve ark., 2006). Paralel hatların eş zamanlı olarak dengelenmesi görevlerin paralel hatlar üzerindeki karşılıklı geçişli istasyonlara atanması kavramına dayanmakta olup ortaya çıkan problem PDHD problemi olarak adlandırılmaktadır (Cercioglu ve ark., 2009). Paralel montaj hatlarının düz montaj hatları ile kıyaslandıklarında ortaya çıkan avantajları paralel demontaj hatları için de geçerlidir. İlgili avantajlar şu şekilde sıralanabilir (Ozcan ve ark., 2010):

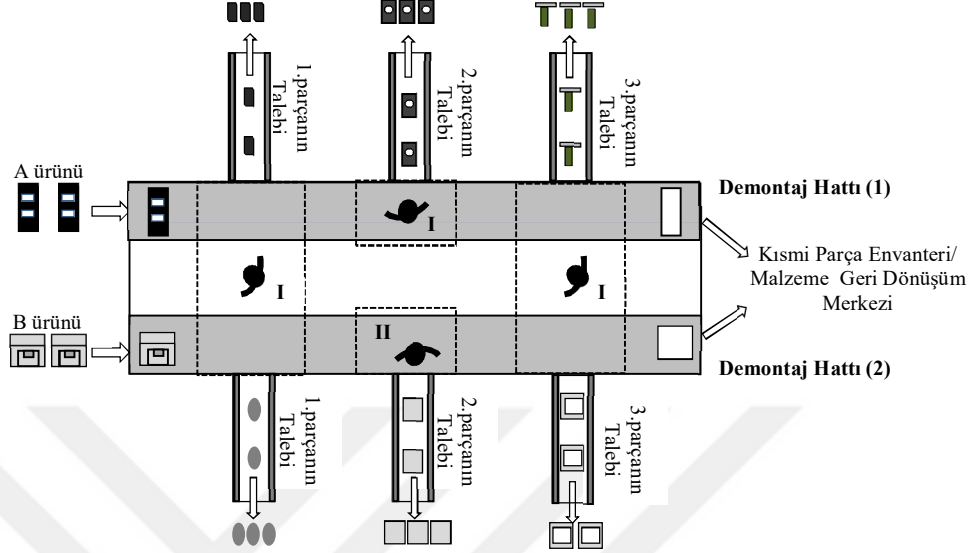
Paralel demontaj hatları ile;

- Aynı yada benzer ürünlerin komşu hatlar üzerinde demonte edilmeleri sağlanır.
- Ortak kaynak kullanımına izin verilmesiyle, kaynak kullanımından tasarruf edilerek istasyon boş süreleri azaltılır.
- Her demontaj hattının farklı çevrim zamanları ile çalışması sağlanır.
- Operatörler arasındaki görünürlük ve iletişim becerileri artar.
- Daha az operatöre ihtiyaç duyulabilir.
- Demontaj sürecine özgü belirsizlikler nedeniyle bir demontaj hattının durması ya da bozulması gibi sorunların ortaya çıktığı durumlarda ürünün demontajına paralel olan diğer hatta devam edilerek her türlü aksaklığın



önüne geçilebilmekte ve talepleri karşılamada istenmeyen durumlarla karşılaşmamaktadır.

İki ürünün demontajına ilişkin örnek bir paralel demontaj hattı Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. İki ürünün demonte edildiği bir paralel demontaj hattının yapısı (Hezer ve Kara, 2015)

Şekil 3.2’de verilen paralel demontaj hattı toplam dört iş istasyonundan oluşmaktadır. Her istasyonda ürünün en az bir parçası çıkarılmakta ve çıkarılan parçalar sınıflandırılarak stok alanına gönderilmektedirler. 2 ve 3 numaralı istasyonlar ortak iş istasyonudur ve bu istasyonlarda çalışan operatörler, öncelikle birinci hattaki görevleri ardından ikinci hattaki görevleri yapmaktadırlar.

#### 3.1.4. Proses alternatifli PDHD problemi

Herhangi bir ürün için demontaj sürecinin her adımında bir veya daha fazla parça çıkarılmaktadır. Her adımda çıkarılan parça/parçalar, iki farklı demontaj eyleminden biri ile gerçekleştirilmektedir (Das ve ark., 2000). İlgili eylemler çözme ve yıkıcı olmak üzere iki şekilde sınıflandırılmaktadır. *Çözme*, montajda gerçekleştirilen bağlama eyleminin tam tersi olan, bağlantı elemanlarının sökülmesi ve bağlantıların koparılmasını sağlayan eylemdir. Bu eylem manuel olarak yada ekipman kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Örneğin bir vidanın tornavida ile sökülmesi bir çözme eylemidir (Das ve Naik, 2002). Çözme eyleminin uygulanması için kullanılacak standart ekipmanların listesi Çizelge 3.3’te verilmiştir.

**Çizelge 3.3.** Çözme eyleminde kullanılabilir standart ekipmanların listesi (Das ve Naik, 2002)

Sıklıkla kullanılan ekipmanlar	
Elektrikli Tornavida	Keski
Manuel Tornavida	Makas Kesici/Makas
Kurbağacık İngiliz Anahtarı	Çekiç
Açık Ağız İngiliz Anahtarı	Manivela
Pense	Çengelli iğneler
Halka Pense	Testere

Yıkıcı eylem ise, ürünün parçalarına ayrılmasını kolaylaştıran ve çözme eylemi dışında kalan bütün eylemlerdir. Örneğin birbirine kaynamış iki parçanın oksijenle kesim yöntemi ile birbirlerinden ayrılmaları yıkıcı eyleme örnek verilebilir.

Çözme eylemi bağlantı elemanına uygulanırken, yıkıcı eylem bağlantı elemanına veya parçaya uygulanabilmektedir. Bu nedenle çözümede bağlantı elemanının; yıkıcı eylemde ise parçanın veya bağlantı elemanının zarar görebilme ihtimali vardır. Bu durumda her iki eylemin performansını etkileyen ve değerlendirilmesi gereken iki önemli özellik söz konusu olup, ilgili özellikler; parçaların birleştirilmesini sağlayan *bağlantı elemanları* ve parçaların arasındaki *bağlantı yapısıdır*.

*Bağlantı elemanları*, parçaların birbirlerine bağlanmasını sağlayan vida, çivi, perçin vb. somut bileşenler; tırnak geçmeli bağlantıda olduğu gibi parçanın kendisi yada kaynak, lehim gibi sanal bileşenlerdir. Bir bağlantı elemanı birçok parçayı birbirine bağlayacağı gibi, iki parça birbirine birden fazla bağlantı elemanı ile de bağlanabilmektedir. Belirli bir amaca yönelik olarak bağlantı elemanlarına çözme ya da yıkıcı eylemlerden biri uygulanabilmektedir. Çözme eylemi uygulandığı takdirde göreceli çözme zorluğu oranı (ÇZO) kavramı ortaya çıkmaktadır. İlgili oran, bir bağlantı elemanının sökülmesi için harcanan zorluk derecesini ifade etmekte olup bağlantı elemanlarının koparılmasını sağlayan görev zamanlarını ve demontaj sürecinin performansını etkilemektedir. Çizelge 3.4'te demontaj süreçlerinde sıklıkla kullanılan bağlantı elemanlarının çeşitleri ve ÇZO değerleri verilmiştir (Das ve Naik, 2002).

**Çizelge 3.4.** Demontaj süreçlerinde sıklıkla kullanılan bağlantı elemanı çeşitleri ve ÇZO değerleri

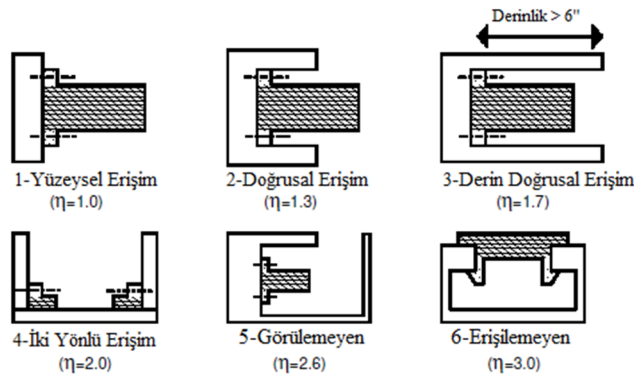
Bağlantı elemanı	ÇZO	Bağlantı elemanı	ÇZO
Başlı çivi (Nail with head)	1.5	Kaynak	4.0
Başsız çivi veya raptiye	1.8	Cırt cırt band/Fermuar	1.0
Vida/cıvata (standart başlı)	1.4	Kelepçe	1.8
Vida/cıvata (özel başlı)	2.2	Silindirik geçme	1.6
Somun ve cıvata	2.1	Katlı geçme	1.3
Perçin/Tel zımba	2.0	Ekyeri /Kıvrıma bağlantısı	1.6
Yaylı segman/Halka segman	2.5	Sıkı geçme	1.8
Şerit	1.7	Tırnaklı geçme	2.2
Yapıştırıcı	2.1	Priz ve fiş	1.2

Bağlantı elemanlarına yada parçalara yıkıcı eylemlerin uygulanması durumunda ise yıkıcı eylemin uygulanması için harcanan efor değeri dikkate alınmaktadır (Das ve Naik, 2002). Çizelge 3.5'te demontajda uygulanan standart yıkıcı eylemler ve her eylemin göreceli demontaj efor değerini (GED) içeren bilgiler verilmiştir. Her yıkıcı eylemin uygulanabilmesi için ekipman yada ekipmanlara ihtiyaç duyulmakta olup bu ekipmanlarla ilgili belirlenmiş bir listenin yapılmadığı gözlemlenmiştir.

**Çizelge 3.5.** Standart yıkıcı eylemler (Das ve Naik, 2002)

Eylem	GED	Eylem	GED
Eksenel çekme	1.0	Ezme ve kırma	3.0
Manivelalı çekme	1.4	Kimyasal çözünme	1.9
Çekiçle dövme	1.6	Parçalama	2.1
Yapıştırıcı ayırma	1.7	Darbeli kırma	2.6
Makasla kesim	1.8	Emme ve drenaj	1.7
Testere ile kesim	1.8	Boya temizleme	2.4
Oksijen ile kesim	2.3	Delme	1.2

Parçaları birleştiren bağlantı elemanları ile parçalar arasındaki *bağlantı yapısı* ise demontajın etkinliğini ve karlılığını etkileyen *erişim zorluğu* ve *erişim uygunluğu* olmak üzere iki önemli parametre ile ifade edilmektedir. Erişim zorluğu, çözme işlemini başlatmak için bağlantı elemanının başlangıç noktasına ulaşabilme derecesidir. İlgili zorluğun tanımlanması ve değerlendirilmesi demontaj esnasında genellikle operatöre bırakılmaktadır. Das ve Naik (2002) tarafından erişim zorluğu için standart bir topoloji geliştirilmiştir. İlgili topolojiye göre, erişim zorluğu; *yüzeysel*, *doğrusal*, *derin doğrusal*, *iki yönlü*, *görülemeyen* ve *erişilemeyen* olmak üzere altı seviyede değerlendirilmektedir. Her demontaj işlemi için bir erişim zorluğu çarpanı ( $\eta$ ) atanır. İlgili çarpan göreceli olup [1-3] değerleri arasında değişmektedir. Belirtilen altı seviye ve her seviye için kullanılan  $\eta$  değerleri Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



**Şekil 3.3.** Bağlantı elemanına erişim topolojisi (Das ve Naik, 2002)

$\eta$  değeri arttıkça bağlantı elemanına ulaşmak zorlaşmaktadır. Buna göre, Şekil 3.3 incelendiğinde bağlantı elemanına en kolay erişilen seviye bağlantı elemanının parçanın yüzeyine monte edildiği yüzeysel erişim seviyesidir. En zor seviye ise altıncı seviyedir ve bu seviyeye sahip bağlantı elemanları için yıkıcı eylem uygulanmak zorundadır. *Erişim uygunluğu* ise, bir parçanın sökülmesinin diğer parçalar ve bağlantı elemanları tarafından sınırlandırılması ile ilgili olup detaylı bilgi edinmek isteyen araştırmacılar Das ve ark. (2000) ve Das ve Naik (2002) tarafından yapılan çalışmaları inceleyebilirler.

Bağlantı elemanlarının ve bağlantı yapısının özelliklerine bağlı olarak bir görev sadece çözme, sadece yıkıcı eylem ya da alternatif olarak her iki eylemden biri ile yapılabilmektedir. Her eylem de kendi içinde ekipman kullanılıp kullanılmamasına, kullanılan ekipman çeşidine göre alternatif seçenekler içermektedir. Örneğin birbirine bir vida ile bağlanmış parçaların, vidanın sökülmesiyle birbirinden ayrılması bir çözme eylemidir. Bu eylem manuel tornavida yada elektrikli tornavida kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bu durumda bu görev için iki alternatif söz konusudur.

Demontaj hattındaki her iş istasyonunda ilgili istasyonlara atanan görevlerin yapılması için bir operatör bulunmaktadır. Fakat bazı görev/görevlerin uygulanabilmesi için birden fazla operatöre ihtiyaç duyulması (çok operatörlü görevler) ya da görev/görevlerin daha kısa sürede yapılmasının istenmesi nedeniyle asistan ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bu durumda, uygulanan eyleme, kullanılan ekipman çeşidine ve asistan ihtiyacına göre hat üzerinde farklı proses alternatifleri (kaynak kombinasyonları) ortaya çıkmaktadır. Birden fazla proses alternatifi olan bir görev için görev zamanı, parçalardan elde edilen gelir miktarı ve ekipman maliyetleri bu alternatiflere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Örneğin, herhangi bir parçaya çözme eylemi uygulandığı zaman yıkıcı eyleme göre daha fazla gelir elde edilmektedir. Bunun nedeni çözme eyleminin parçaya zarar vermemesidir. Her iki eylem görev zamanı bakımından kıyaslandığında ise yıkıcı eylem daha kısa sürmektedir. Bir görev için asistanlı ve asistansız olmak üzere iki alternatif seçenek söz konusuysa, asistanlı görev zamanı asistansız görev zamanından daha az olmaktadır. Ekipman kullanma maliyetleri bakımından ise karşılaştırma yapılması doğru olmamakla birlikte çözme eyleminin uygulanması için gereken ekipman kullanım maliyetinin genelde daha yüksek olduğunu söylemek mümkündür (Das ve ark., 2000). Bu durumda verimli bir demontaj süreci için her göreve ilişkin gelir, zaman ve maliyet parametreleri açısından en iyi ödünleşmeyi sağlayan proses

alternatiflerinin seçilmesi gerekmektedir. Örneğin, bazı durumlarda daha uzun süren fakat geliri daha fazla olan alternatifin seçilmesi, bazen de geliri daha az olmakla birlikte daha kısa sürdüğü için istasyon maliyetinin azalmasına yardımcı olan alternatifin seçilmesi doğru bir karar olmaktadır. En uygun proseslerin seçilmesiyle aynı zamanda demontaj planlama sürecinin çıktısı olan demontaj planına ilişkin veriler elde edilmektedir.

Bu çalışma kapsamında toplam net geri kazanım karını en büyükmek amacıyla görevlerin istasyonlara atanmalarını ve her görev için en uygun proses alternatifinin seçilmesini eş zamanlı olarak ele alan bir problem ortaya koyulmuş, ilgili problem kısmi demontaja izin veren proses alternatifli kar odaklı deterministik görev zamanlı PDHD problemi (PDHD\_PA) olarak tanımlanmıştır.

PDHD\_PA problemi çözülerek hangi istasyonların açılması, hangi görevlerin yapılması buna bağlı olarak hangi parçaların çıkarılması gerektiği, belirlenen görevlerin hangi istasyonlara atanacağı, atanmış her görev için hangi proses alternatifinin (hangi kaynakların) seçileceği dolayısıyla yapılan görevler için hangi eylemlerin uygulanacağı ile ilgili soruların cevapları elde edilmektedir. Aynı zamanda açılacak hat sayısına da karar verilmektedir. Çünkü bazı durumlarda demonte edilecek ürünlerden birinin, birkaçının yada tamamının demontajından kar elde edilmesi mümkün olmayabilir. Bu nedenle bu durumda olan ürün/ürünlerin demonte edilmemesi verilmesi gereken en doğru karardır. PDHD\_PA probleminin varsayımları şunlardır:

- İki yada daha fazla paralel düz hat dengelenmektedir.
- Hat sayısı demonte edilecek ürün sayısına eşittir.
- Hatlarda tek modelli ürünlerin demontajı yapılmaktadır.
- Hatlar gecikmesiz olarak dengelenmektedir.
- Her ürünün tedariki sınırsızdır.
- Gelen her ürünün konfigürasyonu yani ürünü oluşturan parça miktarı bilinmektedir.
- Demontajı yapılacak her ürünün öncelik ilişkileri bilinmektedir.
- Öncelik ilişkileri ve/veya öncelik ilişkileri kullanılarak ifade edilmiştir.
- Her ürüne ilişkin çevrim zamanları belirlidir ve deterministiktir.
- Hatlar aynı çevrim zamanına göre dengelenmektedirler.

- Her görev ile bir parçanın demonte edildiği varsayılmaktadır. Bu nedenle parça sayısı görev sayısına eşittir.
- Bazı görevler belirli ekipman kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bir görevin yapılabilmesi için alternatif ekipman çeşitleri olabilir. Bazı görevler herhangi bir ekipman kullanılarak ya da ekipmansız yapılabilir. Her ekipman çeşidinin belirli bir maliyet değeri vardır.
- Eğer bir istasyona çok operatörlü bir görev atanmışsa bu durum ilgili istasyona bir asistanın atanması anlamına gelmektedir.
- Her ürüne ilişkin görev zamanları deterministik olmakla birlikte kullanılan kaynaklara (ekipman çeşidi ve asistan) bağlı olarak değişmektedirler.
- Görev zamanı ilgili görevin atandığı istasyondan bağımsızdır.
- Çözme ve yıkıcı eylemlerin alternatif olarak uygulandığı herhangi bir görev için görev zamanları “çözme eylemi (manuel) > yıkıcı eylemi (ekipmanlı) > yıkıcı eylem” sıralamasına uymaktadır.
- Bir görevin zamanı asistan yardımıyla azaltılabilir.
- Yeterli miktarda operatör varken, atanacak ekipman ve asistan sayısı sınırlıdır.
- İstasyonlar arasında ara stoklara izin verilmez.
- Görevlerin bölünmesine izin verilmez.
- Her ürünü oluşturan parçaların bir kısmının talebi vardır.
- Talebi olan parçaların geliri pozitifken, talebi olmayan parçaların geliri sıfır olarak alınmıştır.
- Bağlantı elemanının veya parçanın hasar görebileceği fakat parçada oluşan hasarların dikkate alınmayacak derecede küçük olduğu, talep kaynağı tarafından parçanın “olduğu gibi” kabul edildiği varsayılmıştır.
- Her hattın her iş istasyonunda çalışan operatörlerin vasıflı oldukları varsayılmıştır.
- Herhangi bir hattın her iki tarafında da çalışılabilir.
- Yalnızca iki komşu hat arasında ortak istasyonların açılmasına izin verilmektedir.

### 3.1.5. Düzeltmeli tavlama benzetimi algoritması

Tavlama terimi fiziksel olarak, erime noktasına kadar ısıtılan bir katının sıcaklığının kademeli ve kontrollü bir şekilde düşürülmesi işlemidir. Bu işlem katılara istenilen özellikleri kazandırmak amacıyla uygulanmaktadır. Sıvı safhada rassal olarak yerleşen atomlar, sıcaklık düştükçe düzenli bir konuma gelmeye başlamaktadır. Soğutma işlemi ile ısı dengeye ulaşıldığında, katının atomları istenilen düzenli yapıyı sergileyerek daha kararlı bir hale gelmektedirler. Bu durumda katının enerjisi minimumdur. Burada dikkat edilmesi gereken nokta sıcaklığın dikkatli ve sürekli bir şekilde azaltılmasıdır. Aksi takdirde, katı termal denge durumuna ulaşmadan donmuş olacak ve içyapısı birçok bozukluk içerecektir (Van Laarhoven ve Aarts, 1987; Cakir ve ark., 2011).

TB algoritması, katıların fiziksel tavlama sürecinden esinlenilerek geliştirilmiş olan, kombinatoriyel optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan stokastik bir arama yöntemidir. Birçok kombinatoriyel optimizasyon problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılan ve başarılı sonuçların elde edildiği yaklaşımlardan biridir. İlgili yaklaşım Metropolis ve ark.'nın (1953) çalışmasını temel almaktadır. Söz konusu çalışmada katının atomlarının belirli bir sıcaklık değerinde dengeli dağılımları bulunarak, enerji değişimleri taklit edilmektedir. Bu çalışmanın refereans alınmasıyla birlikte TB algoritmasının kombinatoriyel optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanıldığı ilk çalışmalar Kirkpatrick ve ark.'na(1983) ve Cerny'ye (1985) aittir.

TB algoritması, uygun çözümlerin bir komşu çözümden diğerine geçilerek araştırıldığı, komşu çözüm arama yöntemine dayanmaktadır. Mevcut çözümden özel hareketler kullanılarak oluşturulan yeni çözüm komşu çözüm olarak adlandırılmaktadır. Komşu çözüm aramanın basit bir şekli olan yerel arama algoritması (YAA) keyfi olarak seçilen veya belirli bir prosedüre göre oluşturulmuş olan bir başlangıç çözümü ile aramaya başlar. Her iterasyonda mevcut çözümden komşu üretim mekanizmaları kullanılarak komşu çözüm üretilir ve amaç fonksiyonundaki değişim hesaplanır. Eğer komşu çözüm mevcut çözümden daha iyi ise, ilgili komşu çözüm yeni mevcut çözüm olarak kabul edilir, aksi halde mevcut çözüm değişmez. Bu süreç hiçbir komşu çözüm iyileştirme sağlamayınca kadar devam eder ve YAA yerel bir en iyi ile sonlanır. YAA, basit ve hızlı bir yöntem olmasına rağmen yerel en iyilere takılma olasılığının yüksek olması nedeniyle global en iyiden oldukça uzak çözümler üretebilmektedir. Bu olumsuz durumu ortadan

kaldırmak için TB algoritması, çözüm değerinde kötüleşmeye neden olan komşu hareketleri de bazen kabul ederek, yerel en iyi noktalardan kurtulmaya ve global en iyi noktaya ulaşmaya çalışmaktadır (Yigit ve ark., 2006).

TB algoritması, bir başlangıç çözümü ve görel olarak yüksek bir sıcaklık değeri ile başlar. Her iterasyonda mevcut çözümden komşu çözüm üretme mekanizmaları kullanılarak komşu çözüm üretilir ve denklem (3.4)'e göre mevcut çözümlerle karşılaştırılır. İlgili komşu çözüm daha iyi bir çözümse ( $\Delta < 0$ ) kabul edilir. Aksi takdirde ( $\Delta \geq 0$ ) başka bir seçim aşamasına geçilir. Bu aşamada  $[0,1]$  aralığında düzgün dağılıma göre rasgele seçilen bir sayı ( $rd$ ) üretilerek denklem (3.5)'te verilen metropolis kriteri olarak adlandırılan kabul fonksiyonunun değeri ile karşılaştırılır. Eğer bu değer denklem (3.6)'da verildiği gibi rasgele üretilen sayıdan büyük ise çözüm kabul edilir. Aksi durumda seçilen çözüm reddedilir. Burada  $T$  belirli bir kurala göre hesaplanmış mevcut sıcaklığı ifade etmektedir (McMullen ve Frazier, 1998).

$$\Delta = \text{komşu çözüm} - \text{mevcut çözüm} \quad (3.4)$$

$$P(\Delta) = e^{-\Delta/T} \quad (3.5)$$

$$P(\Delta) > rd \quad (3.6)$$

Her iterasyonun sonunda mevcut sıcaklık önceden belirlenen bir kurala göre azaltılır. Algoritmayı durdurma şartı sağlandığında TB algoritması sonlanır.

Yukarıda verilen bilgilere göre fiziksel tavlama süreci ile kombinatoriyel optimizasyon problemleri arasındaki ilişki Çizelge 3.6'da verildiği şekilde özetlenebilir (Güner ve Altıparmak, 2003):

**Çizelge 3.6.** Fiziksel tavlama süreci ile kombinatoriyel optimizasyon problemleri arasındaki ilişki

Fiziksel Tavlama Süreci	Kombinatoriyel Optimizasyon
Sistemin durumları	Uygun Çözümler
Sistemin Enerjisi	Amaç Fonksiyonu
Durumun Değişimi	Komşu Çözüm
Sıcaklık	Kontrol Parametresi

Son sıcaklığın durdurma koşulu olarak alındığı genel bir TB algoritmasında kullanılan kısaltmalar (Kıs.) ve açıklamaları (Kıs.Açık.) Çizelge 3.7'de, algoritmanın adımları ise Çizelge 3.8'de verilmiştir.

**Çizelge 3.7.** TB algoritmasında kullanılan kısaltmalar

Kıs.	Kıs. Açık.	Kıs.	Kıs. Açık.	Kıs.	Kıs. Açık.
$T_b$	Başlangıç sıcaklığı	$\alpha$	Soğutma oranı	$A_0$	Başlangıç çözümü amaç fonksiyonu değeri
$T$	Mevcut sıcaklık	$S_0$	Başlangıç çözümü	$A_b$	En iyi çözümün amaç fonksiyonu değeri
$T_s$	Son sıcaklık	$S_b$	En iyi çözüm	$A_c$	Mevcut çözümün amaç fonksiyon değeri
$iter_{mak}$	İterasyon sayısı	$S_c$	Mevcut çözüm	$A_n$	Komşu çözümün amaç fonksiyon değeri
$k$	İterasyon sayacı	$S_n$	Komşu çözüm		



**Çizelge 3.8.** Genel TB algoritmasının adımları (Ozcan ve ark., 2010)

<p><b>Adım 1:</b> Soğutma planını belirle (<math>T_b, T_s, iter_{mak}, \alpha</math>), <math>k=1</math> olarak ata.</p> <p><b>Adım 2:</b> <math>S_0</math> kümesini oluştur ve <math>A_0</math> değerini hesapla.</p> <p><b>Adım 3:</b> <math>S_c = S_0, S_b = S_0, A_c = A_0, A_b = A_0</math> olarak atama yap.</p> <p><b>Adım 4:</b> <math>S_c</math>'den <math>S_n</math>'i üret ve <math>A_n</math>'i hesapla.</p> <p><b>Adım 5:</b> <math>\Delta = A_n - A_c</math> hesapla.</p> <p><b>Adım 6:</b> Eğer <math>\Delta &gt; 0</math> ise <math>S_n</math>'i kabul et ve <math>S_c = S_n, A_c = A_n</math> atamasını yap ve Adım 8'e git.</p> <p><b>Adım 7:</b> Eğer <math>\Delta \leq 0</math> ise <math>S_n</math>'i <math>e^{\Delta/T}</math> olasılıkla kabul et ve <math>S_c = S_n, A_c = A_n</math> atamasını yap ve adım 9'a git. Diğer durumda <math>S_c</math> ve <math>A_c</math>'yi değiştirme ve Adım 9'a git.</p> <p><b>Adım 8:</b> <math>A_c &gt; A_b</math> ise <math>A_b = A_c</math> ve <math>S_b = S_c</math> yap. Diğer durumda <math>A_b</math> ve <math>S_b</math>'yi değiştirme.</p> <p><b>Adım 9:</b> <math>k = iter_{mak}</math> ise Adım 11'e git, diğer durumda Adım 10'a git.</p> <p><b>Adım 10:</b> <math>k = k + 1</math> yap ve Adım 4'e git.</p> <p><b>Adım 11:</b> Eğer <math>T = T_s</math> ise Adım 13'e git. Diğer durumda Adım 12'ye git.</p> <p><b>Adım 12:</b> <math>T_k = \alpha T_{k-1}</math> olarak hesapla ve Adım 4'e git.</p> <p><b>Adım 13:</b> Dur.</p>
---

Çizelge 3.8'e göre, herhangi bir problemin çözümünde TB algoritmasının uygulanabilmesi için dört temel parametrenin belirlenmesi gerekmektedir. İlgili parametreler:

- Başlangıç sıcaklığı,
- Sıcaklık azaltma fonksiyonu,
- Her sıcaklıkta uygulanacak iterasyon sayısı,
- Algoritmayı durdurma koşuludur.

Yukarıda verilen bu dört temel parametrenin oluşturduğu küme *soğutma planı* veya *tavlama çizelgesi* olarak adlandırılmaktadır. Soğutma planının doğru bir şekilde belirlenmesi algoritmanın performansı açısından oldukça önemlidir. İlgili parametrelere ilişkin daha detaylı bilgiler aşağıda verilmiştir.

**Başlangıç sıcaklığı:** Sıcaklık arama boyunca TB algoritmasının performansını etkileyen ve düşük kalitede çözümlerin kabul edilme olasılığını kontrol etmek için kullanılan bir parametredir. Aramanın başlangıç aşamalarında, mümkün çözümlerin hepsinin değerlendirilebilmesi için başlangıç sıcaklığının mümkün olduğunca yüksek tutulması gerekmektedir. Bu strateji ile aramanın ilk aşamalarında kötü çözümler kabul edilerek arama uzayının çeşitli bölgelerinde arama gerçekleştirilmekte ve global en iyiye doğru arama yapılabilir. Aramanın sonlarına doğru ise sıcaklığın azalmasıyla birlikte amaç fonksiyonunda sadece iyileşme sağlayan çözümler kabul edilmektedir. Buna göre aramanın ilk aşamalarında mevcut sıcaklığa büyük oranda bağlı olan kötü çözümlerin kabul edilme olasılığı aramanın sonlarına doğru sıcaklığa daha az bağımlı hale gelmektedir (Guden ve Meral, 2013; 2016).

**Sıcaklık azaltma fonksiyonu:** Sıcaklığın azaltılması için literatürde önerilen aritmetik, geometrik ve logaritmik gibi farklı sıcaklık azaltma fonksiyonları vardır. Bu

çalışma kapsamında, denklem (3.7)'de verilen geometrik sıcaklık azaltma fonksiyonu kullanılmıştır. Klasik TB algoritmasında durdurma kriterine ulaşıncaya kadar her döngüde sıcaklık bu fonksiyona göre güncellenmektedir. İlgili fonksiyonda, bir sıcaklıktan ( $T_k$ ) diğerine ( $T_{k+1}$ ) geçilirken bir önceki iterasyondaki ( $k$ ) sıcaklık ( $T_k$ ), önceden belirlenmiş bir soğutma oranı ( $\alpha$ ) ile çarpılarak, mevcut iterasyondaki ( $k+1$ ) mevcut sıcaklık ( $T_{k+1}$ ) bulunur.  $\alpha$  değeri soğutma hızını belirleyen ve [0-1] arasında pozitif değer alan bir sayıdır.

$$T_{k+1} = \alpha T_k \quad (3.7)$$

Çözüm alanının detaylı bir şekilde taranabilmesi için sıcaklığın yavaş düşürülmesi gereklidir. Bu durumun sağlanmasında  $\alpha$ 'nın aldığı değer önemli bir rol oynamaktadır. Örneğin,  $\alpha$  sıfıra yakın bir değer alınırsa, soğutma işlemi çok hızlı gerçekleşirken çözümlerin kalitesi gittikçe düşebilir. Diğer taraftan, bire yakın değer alınırsa, soğutma işlemi çok yavaş gerçekleşirken çözümlerin kalitesi gittikçe artabilir ancak bu durumda da algoritmanın çalışma süresi daha uzun olabilir. Buna bağlı olarak, daha önce yapılmış çalışmalar incelendiğinde en uygun  $\alpha$  değerinin 0.80 ile 0.95 arasında değiştiği gözlemlenmiştir.

Sıcaklığın arama boyunca azaltılması, yerel en iyi noktaların başlangıç noktasına yakın olmaları durumunda faydalı olabilmektedir. Fakat bazı yerel en iyi noktalara aramanın sonunda düşük bir sıcaklıkta rastlanırsa, ilgili noktalar kabul edilmeyeceği için optimale yakın çözümden uzaklaşabilmektedir. Bu durumun önüne geçmek amacıyla arama yolunun özelliklerine bağlı olarak sıcaklığın dinamik olarak ayarlandığı stratejiler izlenebilmektedir. İlgili stratejilerin uygulandığı TB algoritması literatürde uyarlanmış yada düzeltmeli TB (DTB) algoritması olarak adlandırılmaktadır. İlgili yaklaşımın belirgin özelliği kabul olasılığı fonksiyonunun önemli bir parçası olan sıcaklık azaltma mekanizmasıdır. Bu yöntemde sıcaklık değeri arama süresince edinilen bilgiler kullanılarak güncellenmektedir. Bu şekilde sıcaklık değerinin klasik TB algoritmasında olduğu gibi zamanla sürekli azalmasının aksine problemin yapısına özgü belirli şartlara göre ihtiyaç duyulduğunda arttırılabilmesi sağlanmaktadır (Guden ve Meral, 2016).

**Her sıcaklıkta uygulanacak iterasyon sayısı:** Bu sayının belirlenmesi için literatürde kullanılan fonksiyonlar olmakla birlikte problemin yapısına uygun olarak özel fonksiyonlar da geliştirilebilmektedir.

**Algoritmayı durdurma koşulu:** Algoritma bir yada birden fazla koşula bağlı olarak sonlanabilmektedir. İlgili koşullar; verilen maksimum iterasyon sayısına, önceden belirlenen son sıcaklık değerine, verilen iterasyon sayısı için kabul edilen çözümlerin sayısına ulaşılması vb. olabilir. Problemin yapısına bağlı olarak farklı koşullar geliştirilebilmektedir.

### 3.1.6. Araştırmada kullanılan test problemleri

PDHD\_PA problemi ilk defa bu tezde ele alındığı için, literatürde bu probleme ait geliştirilmiş test problemleri kümesi bulunmamaktadır. Önerilen 0-1 tamsayılı programlama modelinin, geçerli eşitsizliklerin ve önerilen DTB yaklaşımının etkinliğini belirleyebilmek için test problemlerine ihtiyaç vardır. Bu nedenle önerilen çözüm yaklaşımlarının performanslarının analiz edilmesi ve PDHD\_PA problemi üzerinde çalışmak isteyen araştırmacılara kaynak olması amacıyla test problemleri üretilmiştir. Öncelikle düz hatlar için test problemleri üretilmiş daha sonra belirli kurallara göre ilgili problemler birleştirilerek PDHD\_PA için test problemleri geliştirilmiştir. Düz hatlar için test problemlerin geliştirilmesinde kullanılan varsayımlar şu şekildedir:

- Görev sayısı (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100) olmak üzere 10 seviye olarak belirlenmiştir.
- Her seviye için rassal olarak üç farklı öncelik diyagramı geliştirilmiştir.
- Her öncelik diyagramı için demonte edilecek ürünlerin talepleri [10-150]; [10-200]; [10-300] aralığında düzgün dağılıma uymak üzere üç seviye olarak belirlenmiştir. Bu talep miktarlarına bağlı olarak her öncelik diyagramı için denklem (3.3)'e göre üç farklı çevrim zamanı ( $C$ ) hesaplanmıştır. Buna göre planlama ufku 20 iş günü günde 8 saat çalışma zamanı olmak üzere en yüksek talep miktarı 300 ise  $C = 32$ ; 200 ise  $C = 48$  ve 150 ise  $C = 64$  dk olarak belirlenmiştir.
- Bu durumda 10 ayrı test problemi için üç farklı öncelik diyagramı, her diyagram için üç farklı çevrim zamanı olmak üzere toplam 90 adet test problemi üretilmiştir ( $10 \times 3 \times 3 = 90$ ).
- Ekipman çeşidi ve asistan sayısı görev sayısına göre Çizelge 3.9'da verildiği şekilde belirlenmiştir. Örneğin, görev sayısı 10 olan bir ürünün

demontajında üç çeşit ekipman kullanılmakta olup, atanabilecek maksimum asistan sayısı ise ikidir.

**Çizelge 3.9.** Ekipman çeşidi ve asistan sayısı

Gör.say	Ek.türü	As.say	Gör.say	Ek.türü	As.say
10	3	2	60	18	12
20	6	4	70	21	14
30	9	6	80	24	16
40	12	8	90	27	18
50	15	10	100	30	20

- Bir ekipman çeşidinin kullanılabilir maksimum miktarı [1-3] aralığında düzgün dağılıma uymaktadır.
- Görev zamanları [1-15] aralığında düzgün dağılıma uymaktadırlar. Fakat aşağıda belirtilen koşullara göre bazı görev zamanları güncellenmiştir.
  - Bir görevin asistanlı görev zamanı asistansız görev zamanından daha az olmalıdır.
  - Bir görevin çözme ve yıkıcı olmak üzere farklı alternatifleri olması durumunda, yıkıcı eylem uygulandığında ortaya çıkan görev zamanı çözme eylemi uygulandığında ortaya çıkan görev zamanından daha az olmalıdır. Bir görev için görev zamanları çözme eylemi (manuel için) > çözme eylemi (diğer) >= yıkıcı eylem sıralaması sağlanacak şekilde olmalıdır.
- Bazı parçaların talep miktarının sıfır olduğu varsayılmıştır. Bu parçaların belirlenmesi amacıyla her parça için [0-1] aralığında rassal olarak bir sayı üretilmiş ve bu sayının 0,4'ten küçük veya eşit olması halinde ilgili parçanın talep miktarı sıfır olarak belirlenmiştir.
- Talep miktarı sıfır olan parçaların gelir değerleri de sıfır alınmıştır. Diğer parçaların geliri ise [1-15] aralığında düzgün dağılıma uymakta olup, aynı görev için çözme eylemi sonucu ortaya çıkan gelirin daha fazla olmasına dikkat edilmiştir.
- Çözme eylemleri için kullanılan ekipmanlar ile yıkıcı eylemler için kullanılan ekipmanlar birbirlerinden farklıdır.
- Ekipman kullanım maliyetleri rassal olarak belirlenmiş olup [100-1000] aralığında düzgün dağılıma uymaktadır.
- Düz hatlar için üretilen test problemleri “S\_görevsayısı\_öncelik diyagramı\_çevrimzamanı” şeklinde gösterilmişlerdir. İlgili gösterimde “32, 48, 64 olmak üzere üç seviye olarak hesaplanan çevrim zamanları

sırasıyla 1, 2, 3 rakamları kullanılarak ifade edilmişlerdir. Buna göre örneğin “S10\_1\_1” probleminin görev sayısı 10’dur. Öncelik diyagramı ilgili problem için geliştirilen birinci öncelik diyagramıdır ve çevrim zamanı 32’dir.

PDHD\_PA problemleri için belirlenen varsayımlar şu şekildedir:

- Hat sayısı ürün sayısına eşit olup iki adettir.
- Hatların çevrim zamanları birbirine eşittir.
- Düz hat için üretilen test problemlerinin paralel iki hattı oluşturacak şekilde birleştirilmelerinde iki problem için görev sayıları arasındaki farkın 0 ve 10 olmasına dikkat edilmiştir. Bir diğer ifadeyle görev sayısı 10 olan bir problem 10 görevli ve 20 görevli problemlerle birleştirilmiştir. Problemlerin birleştirilmesinde öncelik diyagramlarının bütün kombinasyonları ele alınırken, çevrim zamanlarının aynı olmasına dikkat edilmiştir. Görev sayısı 100 olan problemler dışında her görev seviyesi için 45 adet, görev sayısı 100 olan problemler için ise 18 adet olmak üzere toplam 423 adet PDHD\_PA test problemi geliştirilmiştir  $((45 \times 9) + 18)$ . İlgili test problemleri “P\_birinci hattın görev sayısı\_ikinci hattın görev sayısı\_birinci hattın öncelik diyagramı\_ikinci hattın öncelik diyagramı\_çevrim zamanı” şeklinde gösterilmişlerdir. Örneğin “P10\_20\_1\_3\_2” problemi 10 ve 20 görevli paralel hatlardan oluşmaktadır. 10 görevli hat için birinci öncelik diyagramı, 20 görevli hat için üçüncü öncelik diyagramı kullanılmıştır. Çevrim zamanı 48’ dir.
- Her ekipman çeşidinin kullanılabilir maksimum sayısı, her hat için değiştirilmeden kullanılmıştır.
- Atanabilir maksimum asistan sayısı, paralel hatları oluşturan iki hattan en büyük asistan sayısının değerine eşit olarak alınmıştır.

Test problemleri görev sayılarına göre üç gruba ayrılmıştır: iki hatta demonte edilen ürünlerin toplam görev sayısı 70 göreve kadar olanlar küçük boyutlu, 120 göreve kadar olanlar orta boyutlu ve 120’den daha fazla görev sayısı olanlar ise büyük boyutlu PDHD\_PA problemi olarak belirtilmiştir.

## 3.2.Yöntem

Bu bölümde, tez çalışması kapsamında önerilen 0-1 tamsayılı doğrusal programlama modeline ilişkin kısaltmalar ve kısıtlar detaylı bir şekilde verildikten sonra problemin daha iyi anlaşılması amacıyla ilgili model açıklayıcı bir örnek üzerinden açıklanmıştır. Daha sonra önerilen modelin çözüm süresini kısaltmak ve elde edilen üst sınırları iyileştirmek amacıyla geçerli eşitsizlikler tanımlanmıştır. Son olarak PDHD\_PA için önerilen DTB yaklaşımı sunulmuştur.

### 3.2.1. Önerilen 0-1 tamsayılı doğrusal programlama modeli

Önerilen matematiksel modelde, Gokcen ve ark.'nın (2006) ve Kara ve ark.'nın (2011) çalışmalarında önerilen matematiksel modeller temel alınmış olup, Çizelge 3.10'da modele ilişkin kullanılan kısaltmalar verilmiştir.

**Çizelge 3.10.** Önerilen 0-1 tamsayılı doğrusal programlama modelinde kullanılan kısaltmalar

Kısaltma	Kısaltma Açıklaması
<i>İndisler:</i>	
$h$	: Hat
$i,l$	: Görev (Parça)
$j,v$	: İstasyon
$e$	: Ekipman
<i>Kümeler:</i>	
$H$	: Hatlar kümesi
$J$	: İstasyonlar kümesi
$I_h$	: $h$ hattının görevleri kümesi
$E$	: Bütün hatlarda kullanılabilir ekipmanların kümesi
$E_{hi}$	: $h$ hattındaki $i$ görevi için kullanılabilir alternatif ekipmanların kümesi
$PA_{hi}$	: $h$ hattındaki demontajı yapılacak $i$ görevinin hemen “ve” öncüllerinin kümesi
$PO_{hi}$	: $h$ hattındaki demontajı yapılacak $i$ görevinin hemen “veya” öncüllerinin kümesi
<i>Parametreler:</i>	
$NH$	: Toplam hat sayısı
$n_h$	: $h$ hattında demontajı yapılan ürünün görev sayısı
$\ S_{hj}\ $	: $h$ hattındaki $j$ istasyonuna atanabilecek görevlerin sayısı
$N_{he}$	: $h$ hattında kullanılabilir $e$ ekipmanının sayısı
$NA$	: İstasyonlara atanabilecek asistan sayısı
$t_{hie0}$	: $h$ hattındaki $i$ görevinin $e$ ekipmanı uygulanarak asistansız yapıldığı süre
$t_{hie1}$	: $h$ hattındaki $i$ görevinin $e$ ekipmanı uygulanarak asistanlı yapıldığı süre
$r_{hie}$	: $h$ hattındaki $i$ görevinin $e$ ekipmanı ile birlikte uygulanmasıyla ortaya çıkan birim gelir miktarı
$d_{hi}$	: $h$ hattındaki $i$ parçasının talep miktarı
$C$	: Çevrim zamanı
$cw$	: Bir iş istasyonunu kullanma maliyeti (operatör maliyeti+sabit maliyet)
$ca$	: Bir asistanı çalıştırma maliyeti
$c_e$	: $e$ ekipmanını kullanma maliyeti
$M$	: Yeterince büyük bir sayı
<i>Karar Değişkenleri:</i>	
$x_{hiej}$	: $h$ hattındaki $i$ görevi $e$ ekipmanı ile birlikte $j$ istasyonuna atanmışsa 1, dd 0.

Çizelge 3.10.(Devam)

Kısaltma	Kısaltma Açıklaması
$p_{hiej}$	: $h$ hattındaki $i$ görevi $e$ ekipmanı ile birlikte $j$ istasyonunda asistansız yapılmışsa 1, dd 0.
$q_{hiej}$	: $h$ hattındaki $i$ görevi $e$ ekipmanı ile birlikte $j$ istasyonunda asistanlı yapılmışsa 1, dd 0.
$z_{hej}$	: $h$ hattındaki $i$ görevi $e$ ekipmanı ile birlikte $j$ istasyonuna atanmışsa 1, dd 0.
$y_{hj}$	: $h$ hattındaki $j$ istasyonuna asistan atanmışsa 1, dd 0.
$w_{ej}$	: $e$ ekipmanı $j$ istasyonuna atanmışsa 1, dd 0.
$a_j$	: $j$ istasyonuna asistan atanmışsa 1, dd 0.
$f_j$	: $j$ istasyonu açılmışsa 1, dd 0.
$U_{hj}$	: $h$ hattında $j$ istasyonu açılmışsa 1, dd 0.

Önerilen 0-1 tamsayılı programlama modeline ilişkin amaç fonksiyonu ve kısıtlar aşağıda verilmiştir.

$$\text{Maximize } \sum_h \sum_{i \in I_h} \sum_{e \in E_{hi}} \sum_j d_{hi} t_{hie} x_{hiej} - \sum_j (c w f_j + c a a_j) - \sum_h \sum_{e \in E} \sum_j c_e z_{hej} \quad (3.8)$$

$$\sum_j \sum_{e \in E_{hi}} x_{hiej} \leq 1 \quad \forall h \in H; \forall i \in I_h \quad (3.9)$$

$$\sum_{e \in E_{hi}} x_{hiej} \leq \sum_{v=1}^j \sum_{e \in E_{hl}} x_{hle v} \quad \forall h \in H; \forall i \in I_h; \forall j \in J; \forall l \in P A_{hi} \quad (3.10)$$

$$\sum_{e \in E_{hi}} x_{hiej} \leq \sum_{v=1}^j \sum_{l \in P O_{hi}} \sum_{e \in E_{hl}} x_{hle v} \quad \forall h \in H; \forall i \in I_h; \forall j \in J \quad (3.11)$$

$$\sum_{e \in E_{hi}} (p_{hiej} + q_{hiej}) = \sum_{e \in E_{hi}} x_{hiej} \quad \forall h \in H; \forall i \in I_h; \forall j \in J \quad (3.12)$$

$$p_{hiej} + q_{hiej} = x_{hiej} \quad \forall e \in E_{hi}; h = 1, \dots, H-1; \forall i \in I_h; \forall j \in J \quad (3.13)$$

$$\sum_{i=1}^{n_h} \sum_{e \in E_{hi}} (t_{hie0} p_{hiej} + t_{hie1} q_{hiej}) + \sum_{i=1}^{n_{(h+1)}} \sum_{e \in E_{(h+1)i}} (t_{(h+1)ie0} p_{(h+1)iej} + t_{(h+1)ie1} q_{(h+1)iej}) \leq C f_j \quad (3.14)$$

$$\forall j \in J; h = 1, \dots, H-1$$

$$\sum_{i \in I_h} (p_{hiej} + q_{hiej}) - M z_{hej} \leq 0 \quad \forall e \in E_{hi}; h = 1, \dots, H; \forall j \in J \quad (3.15)$$

$$\sum_h \sum_{i \in I_h} \sum_{e \in E_{hi}} q_{hiej} - M a_j \leq 0 \quad \forall j \in J \quad (3.16)$$

$$\sum_{j \in J} z_{hej} \leq N_{he} \quad \forall h \in H; \forall e \in E_{hi} \quad (3.17)$$

$$\sum_{j \in J} a_j \leq N A \quad (3.18)$$

$$\sum_{i \in I_h} \sum_{e \in E_{hi}} x_{hiej} - \|S_{hj}\| U_{hj} \leq 0 \quad \forall h \in H; \forall j \in J \quad (3.19)$$

$$\sum_{i \in I_h} \sum_{e \in E_{hi}} x_{hiej} \geq U_{hj} \quad \forall h \in H; \forall j \in J \quad (3.20)$$

$$U_{hj} + U_{(h+b)j} \leq 1 \quad H \geq 3; h = 1, \dots, H-2; b = 2, \dots, H-h; \forall j \quad (3.21)$$

$$x_{hiej}, p_{hiej}, q_{hiej}, z_{hej}, f_j, a_j, U_{hj} \in \{0,1\} \quad \forall h, i, j, k \quad (3.22)$$

(3.8) numaralı denklem matematiksel modelin amaç fonksiyonudur. Toplam net geri kazanım karının en büyüklenmesini ifade etmektedir ve üç kısımdan oluşmaktadır. Fonksiyonun ilk kısmı geliri olan parçaların çıkarılması ile elde edilen toplam gelir miktarını, ikinci kısım toplam istasyon ve asistan maliyetini ve üçüncü kısım ise toplam ekipman maliyetini göstermektedir. (3.9) numaralı kısıt atama kısıtıdır ve bir görevin en fazla bir istasyona atanabileceğini göstermektedir. (3.10) ve (3.11) numaralı kısıtlar öncelik ilişkilerini sağlayan kısıtlardır. (3.10) numaralı kısıt ile  $h$  hattında  $i$  görevinin  $j$  istasyonuna, ancak ve ancak VE öncüllerinin 1'den  $j$  istasyonuna kadar olan istasyonlardan birine atanması şartı ile atanabileceğini, (3.11) numaralı kısıt ile  $h$  hattında  $i$  görevinin  $j$  istasyonuna, VEYA öncüllerinden en az birinin 1'den  $j$  istasyonuna kadar olan istasyonlardan birine atanması şartı ile atanabileceği ifade edilmektedir. (3.12) ve (3.13) numaralı kısıtlar  $h$  hattında bir  $j$  istasyonuna atanan kaynakları (ekipmanları ve asistanları) tanımlamaktadırlar. (3.14) numaralı kısıt çevrim zamanı kısıtıdır ve bir istasyona atanan görev zamanlarının toplamının çevrim zamanını aşmamasını sağlamaktadır. (3.15) numaralı kısıt  $h$  hattında  $e$  ekipmanının  $j$  iş istasyonuna atanıp atanmadığını, (3.16) numaralı kısıt ise  $j$  istasyonuna asistanın atanıp atanmadığını belirlemektedir. (3.17) numaralı kısıt  $h$  hattındaki istasyonlara atanabilecek toplam  $e$  ekipmanı sayısının mevcut  $e$  ekipmanı sayısını, (3.18) numaralı kısıt ise her iki hatta istasyonlara atanabilecek toplam asistan sayısının mevcut asistan sayısını aşmamasını garanti etmektedir. (3.19) ve (3.20) numaralı kısıtlar hatlarda hangi istasyonların açılması gerektiğine karar vermektedir. (3.21) numaralı kısıt ise  $h$  hattının  $j$  istasyonunda çalışan bir operatörünün sadece paralel bitişik hatlardaki görevleri yapabilmesini sağlamaktadır. Örneğin  $h$  hattındaki bir operatör sadece  $h+1$  veya  $h-1$  hatlarındaki görevleri yapabilmektedir. (3.22) numaralı kısıt ise karar değişkenlerinin 0 ya da 1 değerini almalarını garanti etmektedir.

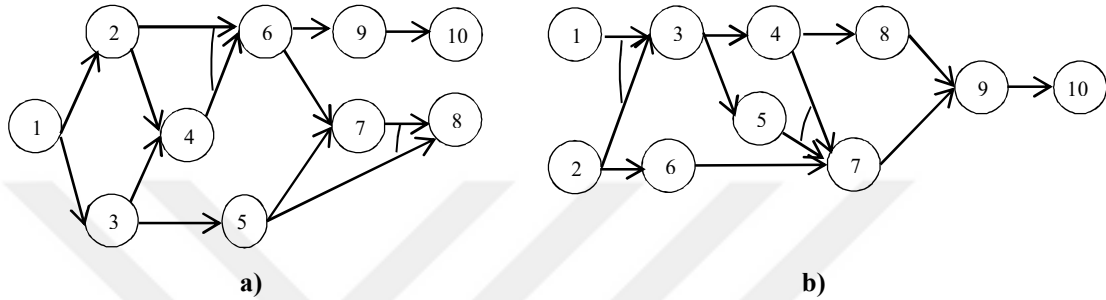
### 3.2.2. Açıklayıcı örnek

Bu bölümde, önerilen matematiksel model örnek bir problem ile açıklanmıştır. İlgili problemde hat sayısı ikidir ve hatların her biri 10'ar görevlidir. Ürünlere ilişkin öncelik diyagramları Şekil 3.4'de verilmiştir. Ürünlerin demontajı için planlama ufku 20 iş günü (bir ay), bir günlük mesai saati sekiz saat olarak kabul edilmiştir. Her iki ürün için de çözme ve yıkıcı eylemler uygulanmaktadır. 0 (manuel) ve 1 numaralı



ekipmanlar çözüme eylemlerinde, 2 ve 3 numaralı ekipmanlar ise yıkıcı eylemlerde kullanılmaktadırlar.

Problemde kullanılan maliyet değerleri  $c_w=2000$  (TL/ay),  $c_a=1200$ (TL/ay),  $c_1=950$ (TL/ay),  $c_2=1050$ (TL/ay),  $c_3=850$ (TL/ay); ekipman miktarları birinci hat için  $N_{11}=2$ ,  $N_{12}=1$ ,  $N_{13}=1$ ; ikinci hat için  $N_{21}=1$ ,  $N_{22}=2$ ,  $N_{23}=1$  olarak belirlenmiştir. Asistan sayısı birinci hat için 1, ikinci hat için 2 olup paralel hatta atanabilecek asistan sayısı  $NA=2$  olarak alınmıştır. Manuel olarak demonte etmenin bir sınırı yoktur ve maliyeti sıfırdır. Ürünlere ilişkin gerekli diğer parametreler Çizelge 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3.4. a) Demonte edilecek birinci ürün b) Demonte edilecek ikinci ürün

Çözüme geçmeden önce, çözüme ve yıkıcı eylemlerin süre ve maliyet bakımından birbirlerine göre durumlarını bu örnek üzerinden inceleyerek önerilen PDHD\_PA probleminin varsayımlarının daha iyi anlaşılması istenmektedir. Birinci hattın 1 numaralı görevi 0 (manuel), 1 ve 3 numaralı ekipmanlar olmak üzere alternatif olarak üç ekipmandan biri ile yapılabilmektedir. Üç alternatif de asistanlı olarak yapılmaktadır. 0 ve 1 numaralı ekipmanların her ikisi de çözüme eylemi için kullanılmalarına rağmen, 1 numaralı görev manuel (0) olarak yapıldığı takdirde ilgili görev daha uzun sürede yapılmaktadır. 3 numaralı ekipman ise yıkıcı eyleme ilişkin bir ekipmandır ve 1 numaralı görev bu ekipmanla yapıldığında görev süresi daha da kısalmaktadır. Görev süresi bakımından yıkıcı eylemler, parçalardan elde edilen gelir ve kullanılan ekipman maliyetleri bakımından çözüme eylemleri daha avantajlıdır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, parçaların zarar görmemesi nedeniyle bir görevin alternatif çözüme eylemleri için parçalardan elde edilen gelirlerin birbirine eşit olmasıdır. 1 numaralı görev 0 ve 1 numaralı ekipmanlar ile yapıldığında parçadan elde edilen gelir değeri aynı iken, 3 numaralı ekipmanla yapıldığında parçanın zarar görmesi nedeniyle elde edilen gelir azalmaktadır. Bir görev için farklı yıkıcı eylem alternatiflerinin olduğu durumda ise parçanın zarar görme derecesi farklı olabileceği için her alternatif ekipmanın uygulanması sonucu elde edilen gelirler farklı olabilmektedir. Örneğin birinci hatta 10 numaralı görev için 2 ve 3 numaralı ekipmanların

kullanılmasıyla elde edilen gelir değerleri birbirlerinden farklıdır. Bir görevin zamanını ve hattın maliyetini etkileyen bir diğer önemli faktör görevin asistanlı olarak yapılmasıdır. Örneğin birinci hatta 4 numaralı görev 2 numaralı ekipman kullanılarak asistanlı ya da asistansız olarak yapılabilmektedir. Asistanlı yapıldığında görev zamanı azalmakla birlikte asistan maliyeti ortaya çıkmaktadır.

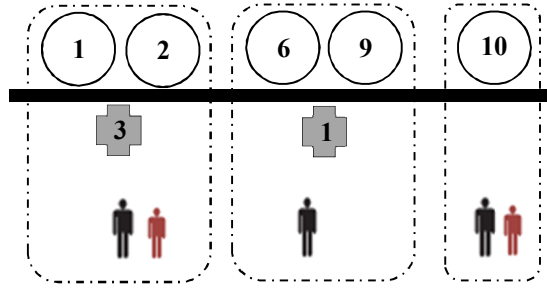
**Çizelge 3.11.** Ürünlere ilişkin parametreler

Birinci hat						İkinci hat									
Görev	Talep	Görev zamanları				Görev	Talep	Görev zamanları							
		Asistan Gelir	Ekipman					Asistan Gelir	Ekipman						
			0	1	2				3	0	1	2	3		
1	160	Evet	15	13	10	1	280	Evet							
		Hayır						Hayır	15			10			
		Gelir	15	15	11			Gelir	20			15			
2	220	Evet				2	0	Evet	12						
		Hayır			10			Hayır							
		Gelir			12			Gelir	0						
3	0	Evet	13	10		3	140	Evet	15	12					
		Hayır		12				Hayır							
		Gelir	0	0				Gelir	12	12					
4	0	Evet			12	4	230	Evet							
		Hayır			14			Hayır						10	
		Gelir			0			Gelir						17	
5	200	Evet		13		5	0	Evet						11	
		Hayır						Hayır						13	
		Gelir		19				Gelir						0	
6	300	Evet				6	300	Evet							
		Hayır		14				Hayır	14	10					
		Gelir		16				Gelir	18	14					
7	0	Evet				7	0	Evet	10						
		Hayır			12			Hayır	12						
		Gelir			0			Gelir	0						
8	230	Evet				8	300	Evet							
		Hayır	13	11				Hayır	15	10					
		Gelir	15	15				Gelir	18	12					
9	0	Evet				9	100	Evet							
		Hayır		12				Hayır	14	12				10	
		Gelir		0	0			Gelir	15	15				12	
10	300	Evet	15		10	10	0	Evet							
		Hayır		13	12			Hayır	12						
		Gelir	20	20	17			Gelir	0						

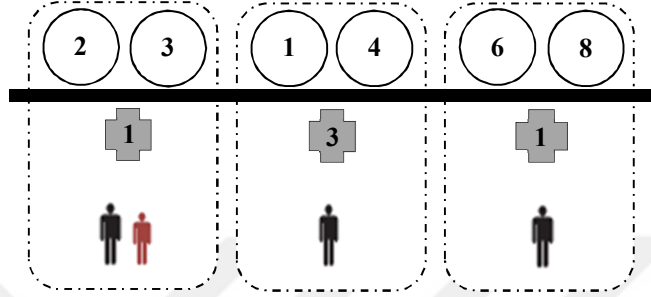
Çizelge 3.11'e göre  $C = 8 \times 20 \times 60/300 = 32$  dk/adet olarak hesaplandıktan sonra hatlar öncelikle bağımsız daha sonra eş zamanlı olarak dengelenerek elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir.

Şekil 3.5 birinci hattın dengelenmesiyle elde edilen sonucu göstermektedir. Buna göre birinci hatta toplam net geri kazanım karı 5640 TL iken çözüme ve yıkıcı eylemlerin her ikisi de uygulanmış olup elde edilen istasyon, asistan, 1 ve 3 numaralı ekipmanların sayıları sırasıyla 3, 2, 1 ve 1'dir. 2 numaralı ekipman kullanılmamıştır.

Şekil 3.6 ise ikinci hattın dengelenmesiyle elde edilen sonucu göstermektedir. Buna göre elde edilen toplam net geri kazanım karı 10640 TL iken elde edilen istasyon, asistan, 1 ve 3 numaralı ekipmanların sayıları sırasıyla 3, 1, 1 ve 1'dir. 2 numaralı ekipman kullanılmamıştır.



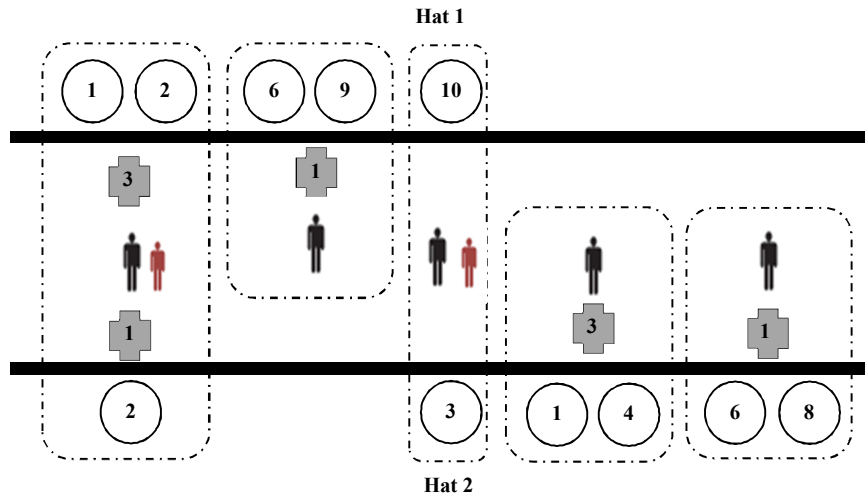
Şekil 3.5. Birinci hattın bağımsız dengelenmesi sonucu elde edilen yerleşim



Şekil 3.6. İkinci hattın bağımsız dengelenmesi sonucu elde edilen yerleşim

Birinci ve ikinci hattın bağımsız olarak dengelendiği bir tesiste toplam net geri kazanım karı 16280 TL iken kullanılan toplam istasyon, asistan, 1 ve 3 numaralı ekipmanların sayıları sırasıyla 6, 3, 3 ve 2'dir. 2 numaralı ekipman kullanılmamıştır.

Şekil 3.7'de ise hatların eşzamanlı dengelenmesiyle elde edilen sonuçlar gösterilmektedir. Bu sonuçlara göre toplam net geri kazanım karı 18840 TL'dir. Kullanılan toplam istasyon, asistan, 1 ve 3 numaralı ekipmanların sayıları sırasıyla 5, 2, 3 ve 2'dir. 2 numaralı ekipman kullanılmamıştır.



3.7. Hatların eş zamanlı olarak dengelenmesi sonuçları

Hatların bağımsız ve eşzamanlı dengelenmeleri sonucunda elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında toplam net geri kazanım karının %13.5 oranında arttığı görülmektedir.

Örnek problemin çözümüyle demontaj planına ışık tutacak bilgiler de elde edilmektedir. Örneğin, birinci hatta 1 ve 2 numaralı görevler için yıkıcı eylem uygulanacak olup, kullanılan ekipman 3 numaralı ekipman olmaktadır. Birinci ve ikinci hattan sırasıyla 1 ve 2 numaralı görevler için asistana ihtiyaç duyulmaktadır.

### 3.2.3. Geçerli eşitsizlikler

Bu bölümde, önerilen matematiksel modele eklenebilecek geçerli eşitsizlikler tanımlanmıştır. Bu eşitsizlikler, çözüm süresini kısaltmak için, matematiksel modeldeki işaret kısıtlarının gevşetilmesi ile elde edilen doğrusal modelin çözümü ile elde edilen çözümü (üst sınır) optimal çözüme yaklaştırmak amacıyla kullanılmaktadır. Normal şartlar altında mevcut matematiksel modelin optimal çözüme ulaşmasında herhangi bir etkisi olmayan bu kısıtlar, doğrusal gevşetme ile anlamlı hale gelmektedir. Geçerli eşitsizlikler, geliştirilen kesin algoritmalarda bazı kesirli ve optimal olmayan çözümlerin çözüm uzayından atılmasında oldukça etkin matematiksel ifadelerdir (Karaoglan ve ark., 2012). Bu bölümde, önerilen matematiksel model için geçerli olan ve çözüm uzayını daraltan polinom büyüklükte beş geçerli eşitsizlik sunulmuştur. İlgili eşitsizliklerde kullanılan kısaltmalar ve kısaltmaların açıklamaları Çizelge 3.12’de verilmiştir.

**Çizelge 3.12.** Geçerli eşitsizliklerde kullanılan kısaltmalar ve açıklamaları

Kısaltma	Kısaltmanın Açıklaması
$EL_{hi}$	$h$ hattında $i$ görevinin atanabileceği en erken istasyon
$LT_{hi}$	$h$ hattında $i$ görevinin atanabileceği en geç istasyon
$ts_{hi}$	$h$ hattında $i$ görevinin belirlenmiş en küçük zaman zamanı
$tm_{hi}$	$h$ hattında $i$ görevinin belirlenmiş en büyük zaman zamanı
$PAL_{hi}$	$h$ hattındaki demontajı yapılacak $i$ görevinin bütün “ve” öncüllerinin kümesi
$POL_{hi}$	$h$ hattındaki demontajı yapılacak $i$ görevinin bütün “veya” öncüllerinin kümesi
$SAL_{hi}$	$h$ hattındaki demontajı yapılacak $i$ görevinin bütün ardıllarının kümesi

İlgili geçerli eşitsizliklerden ilk ikisi aşağı verilmiş olup öncelik ilişkileri ile ilgilidirler. Bu eşitsizliklerin deneysel karşılaştırmalarda birlikte değerlendirilmeleri gerekmektedir.

$$\sum_{j \in J} \sum_{e \in E_{hi}} x_{hie j} \leq \sum_{j \in J} \sum_{e \in E_{hl}} x_{hle j} \quad \forall h \in H; \forall i \in I_h; \forall l \in PA_{hi} \quad (3.23)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{e \in E_{hi}} x_{hie j} \leq \sum_{j \in J} \sum_{l \in PO_{hi}} \sum_{e \in E_{hl}} x_{hle j} \quad \forall h \in H; \forall i \in I_h \quad (3.24)$$

Önerilen matematiksel modelin kısıtlarının gevşetilmesi sonucu görevler istasyonlara kesirli olarak atanmaktadır ve bu nedenle (3.10) ve (3.11) numaralı denklemlerle ifade edilen öncelik ilişkilerinin ihlal edildikleri gözlemlenmiştir. Öncelik ilişkilerinin sağlanması amacıyla Altekin ve ark.'nın (2008) yapmış oldukları çalışma referans alınarak (3.23) ve (3.24) numaralı geçerli eşitsizlikler tanımlanmıştır. Denklem (3.23) ile gösterilen eşitsizlikle “ve” öncelik ilişkilerinin ihlal edilmesinin önüne geçilmeye çalışılmıştır. İlgili eşitsizlikte  $h$  hattında  $i$  görevinin 1’den  $j$  istasyonuna kadar olan kesirli atamalarının toplamının “ve” öncüllerinin 1’den  $j$  istasyonuna kadar kesirli atamalarının toplamlarından küçük veya eşit olması sağlanmaktadır. Denklem (3.24) ile gösterilen eşitsizlikte ise  $h$  hattında  $i$  görevinin 1’den  $j$  istasyonuna kadar olan kesirli atamalarının toplamının “veya” öncüllerinden en az birinin 1’den  $j$  istasyonuna kadar olan kesirli atamalarının toplamlarından küçük veya eşit olması sağlanmaktadır.

Diğer üç geçerli eşitsizlik ise her görevin atanabileceği en erken ve en geç istasyonlara ilişkindir. Bir  $i$  görevi  $[EL_{hi}, LT_{hi}]$  aralığında yer alan istasyonlara atanabilirken, bu aralığın dışında kalan istasyonlara atanamaz. Bu durum (3.25), (3.26) ve (3.27) numaralı eşitsizliklerle ifade edilmiştir.

$$\sum_{j=EL_{hi}}^{LT_{hi}} \sum_{e \in E_{hi}} x_{hie_j} \leq 1 \quad \forall h \in H; \forall i \in I_h \quad (3.25)$$

$$\sum_{j < EL_{hi}} \sum_{e \in E_{hi}} x_{hie_j} = 0 \quad \forall h \in H; \forall i \in I_h \quad (3.26)$$

$$\sum_{j > LT_{hi}} \sum_{e \in E_{hi}} x_{hie_j} = 0 \quad \forall h \in H; \forall i \in I_h \quad (3.27)$$

Önerilen PDHD\_PA probleminde “veya” öncelik ilişki tipinin de kullanılması nedeniyle  $h$  hattında  $i$  görevinin atanabileceği en erken ve en geç istasyonları hesaplama yöntemleri genel izlenen hesaplama yöntemlerinden bazı farklılıklar göstermektedir. İlgili hesaplama yöntemleri aşağıda açıklanmıştır.

En erken istasyon hesaplamalarında Kalaycılar ve ark.'nın (2016) yapmış oldukları çalışma referans alınmıştır. Öncelikle bir görevin proses alternatiflerine bağlı olarak değişen görev zamanlarının olabilmesi nedeniyle her görev için tek bir görev zamanı ( $ts_{hi}$ ) belirlenmektedir. Bunun için proses alternatifi bir adet olan görevler

için görev zamanı doğrudan alınırken, birden fazla proses alternatifi olan görevler için ise en küçük olan görev zamanı seçilmektedir.

Şekil 3.4’da verilmiş olan örnekte birinci hatta bulunan 3 numaralı görev, “manuel olarak ve asistanlı”, “1 numaralı ekipman kullanılarak ve asistansız”, “1 numaralı ekipman kullanılarak ve asistanlı” olmak üzere üç proses alternatifinden biri ile yapılabilmektedir. Her proses alternatifi için oluşan görev zamanları sırasıyla,  $t_{1301} = 13, t_{1310} = 12, t_{1311} = 10$ ’dur. Bu durumda 3 numaralı görev için belirlenen zaman  $ts_{13} = 10$ ’dur. Her iki hat için de belirlenmiş  $ts_{hi}$  değerleri Çizelge 3.13’te verilmiştir.

**Çizelge 3.13.** Şekil 3.4’teki örnek için belirlenmiş  $ts_{hi}$  değerleri

Birinci Hat		İkinci Hat	
$ts_{11} = 10$	$ts_{16} = 14$	$ts_{21} = 10$	$ts_{26} = 10$
$ts_{12} = 10$	$ts_{17} = 12$	$ts_{22} = 12$	$ts_{27} = 10$
$ts_{13} = 10$	$ts_{18} = 11$	$ts_{23} = 12$	$ts_{28} = 10$
$ts_{14} = 12$	$ts_{19} = 10$	$ts_{24} = 10$	$ts_{29} = 10$
$ts_{15} = 13$	$ts_{110} = 10$	$ts_{25} = 11$	$ts_{210} = 12$

$ts_{hi}$  değerleri belirlendikten sonra Denklem (3.28)’e göre her görevin bütün öncüllerinin belirlenmiş görev zamanları ile kendisinin belirlenmiş görev zamanı toplamı  $top_{hi}$  hesaplanır. Burada dikkat edilmesi gereken husus “veya” öncelik ilişkisine sahip görevlerde “veya” öncüllerden en küçük  $top_{hi}$  değerinin hesaplamaya dahil edilmesidir.  $top_{hi}$  değerleri hesaplandıktan sonra Denklem (3.29)’a göre her görevin atanabileceği en erken istasyon belirlenmektedir. Çizelge 3.14’de Şekil 3.4’de verilen örneğe ilişkin  $top_{hi}$  ve  $EL_{hi}$  değerleri verilmiştir.

$$top_{hi} = \sum_{l \in PAL_{hi} \cup POL_{hi}} ts_{hl} + ts_{hi} \quad (3.28)$$

$$EL_{hi} = \lceil top_{hi} / C \rceil \quad (3.29)$$

**Çizelge 3.14.** Şekil 3.4’de verilen örneğe ilişkin  $top_{hi}$  ve  $EL_{hi}$  değerleri

$top_{hi}$	$EL_{hi}$
$top_{11} = ts_{11}=10$	$EL_{11} = 1$
$top_{12} = top_{11} + ts_{12}=10+10=20$	$EL_{12} = 1$
$top_{13} = top_{11} + ts_{13}=10+10=20$	$EL_{13} = 1$
$top_{14} = top_{12} + top_{13} + ts_{14} = 20+20-10+12=42^*$	$EL_{14} = 2$
$top_{15} = top_{13} + ts_{15}=20+13=33$	$EL_{15} = 2$
$top_{16} = \min \{top_{12}, top_{14}\} + ts_{16} = 20 (top_{12})+14 = 34$	$EL_{16} = 2$
$top_{17} = top_{15} + top_{16} + ts_{17} = 33+34-10+12 = 69$	$EL_{17} = 3$
$top_{18} = \min \{top_{15}, top_{17}\} + ts_{18} = 33(top_{15})+11=44$	$EL_{18} = 2$
$top_{19} = top_{16} + ts_{19} = 34+10=44$	$EL_{19} = 2$
$top_{110} = top_{19} + ts_{110} = 44+10=54$	$EL_{110} = 2$
$top_{21} = ts_{21}=10$	$EL_{21} = 1$
$top_{22} = ts_{22}=12$	$EL_{22} = 1$

Çizelge 3.14. (Devam)

$top_{hi}$	$EL_{hi}$
$top_{23} = \min\{top_{21}, top_{22}\} + ts_{23} = 10(top_{21}) + 12 = 22$	$EL_{23} = 1$
$top_{24} = top_{23} + ts_{24} = 22 + 10 = 32$	$EL_{24} = 1$
$top_{25} = top_{23} + ts_{25} = 22 + 11 = 33$	$EL_{25} = 2$
$top_{26} = top_{22} + ts_{26} = 12 + 10 = 22$	$EL_{26} = 1$
$top_{27} = \min\{top_{24}, top_{25}\} + top_{26} + ts_{27} = 32(top_{24}) + 22 + 10 = 64$	$EL_{27} = 2$
$top_{28} = top_{24} + ts_{28} = 32 + 10 = 42$	$EL_{28} = 2$
$top_{29} = top_{27} + top_{28} + ts_{29} = 64 + 42 - 32 + 10 = 84$	$EL_{29} = 3$
$top_{210} = top_{29} + ts_{210} = 84 + 12 = 106$	$EL_{210} = 4$

\*burada  $top_{11}$  iki defa tekrarlandığı için  $top_{11} = ts_{11} = 10$  değeri çıkarılır. Tekrarlanan görevler için bu işlem uygulanır.

Bir görevin atanabileceği en geç istasyon için bu tez çalışması kapsamında bir yöntem önerilmiş olup şu şekildedir:

Öncelikle tam demontajın yapıldığı varsayılarak bütün “veya” öncelik ilişkilerinin “ve” öncelik ilişkisi olduğu kabul edilmiştir. Her görevin sadece bir proses alternatifinin olduğu varsayılarak ilgili alternatifin görev zamanı o görev için kullanılır. Bunun için proses alternatifi bir adet olan görevler için görev zamanı doğrudan alınırken, birden fazla proses alternatifi olan görevler için en büyük görev zamanlı proses alternatifi seçilir. Her görev için belirlenen görev zamanları ( $tm_{hi}$ ) ile gösterilmek üzere Denklem (3.30)’a göre her görevin kendi görev zamanı ( $tm_{hi}$ ) ile bütün ardıllarının toplam görev zamanları ( $topm_{hi}$ ) hesaplandıktan sonra Denklem (3.31)’e göre  $LT_{hi}$  değerleri belirlenmektedir.

Çizelge 3.15’te Şekil 3.4’deki örneğe ilişkin  $tm_{hi}$ , Çizelge 3.16’da ise aynı örneğe ilişkin  $topm_{hi}$  ve  $LT_{hi}$  değerleri verilmiştir.  $NWS_{max}$  her iki hattın görev sayıları toplamına eşit alınmıştır.

$$topm_{hi} = tm_{hi} + \sum_{l \in SAL_{hi}} tm_{hl} \quad (3.30)$$

$$LT_{hi} = NWS_{max} + 1 - [topm_{hi}/C] \quad (3.31)$$

Çizelge 3.15. Şekil 3.4’deki örneğe ilişkin  $tm_{hi}$  değerleri

Birinci Hat		İkinci Hat	
$tm_{11} = 15$	$tm_{16} = 14$	$tm_{21} = 15$	$tm_{26} = 14$
$tm_{12} = 10$	$tm_{17} = 12$	$tm_{22} = 12$	$tm_{27} = 12$
$tm_{13} = 13$	$tm_{18} = 13$	$tm_{23} = 15$	$tm_{28} = 15$
$tm_{14} = 14$	$tm_{19} = 12$	$tm_{24} = 10$	$tm_{29} = 14$
$tm_{15} = 13$	$tm_{110} = 15$	$tm_{25} = 13$	$tm_{210} = 12$

**Çizelge 3.16.** Şekil 3.4'deki örneğe ilişkin  $topm_{hi}$  ve  $LT_{hi}$  değerleri

$topm_{hi}$	$LT_{hi}$
$topm_{11} = tm_{11} + tm_{12} + tm_{13} + tm_{14} + tm_{15} + tm_{16} + tm_{17} + tm_{18} + tm_{19} + tm_{110}$ =15+10+13+14+13+14+12+13+12+15=131	$LT_{11} = 16$
$topm_{12} = tm_{12} + tm_{14} + tm_{16} + tm_{17} + tm_{18} + tm_{19} + tm_{110}$ =10+14+14+12+13+12+15=90	$LT_{12} = 18$
$topm_{13} = tm_{13} + tm_{14} + tm_{15} + tm_{16} + tm_{17} + tm_{18} + tm_{19} + topm_{110}$ =13+14+13+14+12+13+12+15=106	$LT_{13} = 17$
$topm_{14} = tm_{14} + tm_{16} + tm_{17} + tm_{18} + tm_{19} + tm_{110}$ =14+14+12+13+12+15=80	$LT_{14} = 18$
$topm_{15} = tm_{15} + tm_{17} + tm_{18}=13+12+13=38$	$LT_{15} = 19$
$topm_{16} = tm_{16} + tm_{17} + tm_{18} + tm_{19} + tm_{110}=14+12+13+12+15=66$	$LT_{16} = 18$
$topm_{17} = tm_{17} + tm_{18}=12+13=25$	$LT_{17} = 20$
$topm_{18} = tm_{18}=13$	$LT_{18} = 20$
$topm_{19} = tm_{19} + tm_{110}=12+15=27$	$LT_{19} = 20$
$topm_{110} = tm_{110}=15$	$LT_{110} = 16$
$topm_{21} = tm_{21} + tm_{23} + tm_{24} + tm_{25} + tm_{27} + tm_{28} + tm_{29} + ts_{210}$ =15+15+10+13+12+15+14+12=106	$LT_{21} = 17$
$topm_{22} = tm_{22} + tm_{23} + tm_{24} + tm_{25} + tm_{26} + tm_{27} + tm_{28} + tm_{29} + tm_{210}$ =12+15+10+13+14+12+15+14+12=117	$LT_{22} = 17$
$topm_{23} = tm_{23} + tm_{24} + tm_{25} + tm_{27} + tm_{28} + tm_{29} + tm_{210}$ =15+10+13+12+15+14+12=91	$LT_{23} = 18$
$topm_{24} = tm_{24} + tm_{27} + tm_{28} + tm_{29} + tm_{210}=10+12+15+14+12=63$	$LT_{24} = 19$
$topm_{25} = tm_{25} + tm_{27} + tm_{29} + tm_{210}=13+12+14+12=51$	$LT_{25} = 19$
$topm_{26} = tm_{26} + tm_{27} + tm_{29} + tm_{210}=14+12+14+12=52$	$LT_{26} = 19$
$topm_{27} = tm_{27} + tm_{29} + tm_{210}=12+14+12=38$	$LT_{27} = 19$
$topm_{28} = tm_{28} + tm_{29} + tm_{210}=15+14+12=41$	$LT_{28} = 19$
$topm_{29} = tm_{29} + tm_{210}=14+12=26$	$LT_{29} = 20$
$topm_{210} = tm_{210}=12$	$LT_{210} = 20$

### 3.2.4. Önerilen düzeltilmeli tavlama benzetimi algoritması

Bir başlangıç çözümüyle başlayan DTB iki iç döngü ve bir dış döngü seviyesinden oluşmaktadır. Dış döngünün her adımında sıcaklık belirli kurala göre güncellenir ve belirlenen özel şartlara göre her iç döngü boyunca komşu çözüm elde edilme süreci tekrarlanır. Dış döngünün tamamlanması için belirlenen şartlar sağlandığında DTB sonlanır. DTB'nin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için bazı önemli kararların verilmesi ve parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir. Söz konusu kararlar, çözüm kodlama metodu, başlangıç çözümünün ve komşu üretim mekanizmalarının seçimi, komşu çözümlerin kabul kriteri, durdurma koşulunun belirlenmesidir. Parametreler ise daha önce belirtildiği gibi soğutma planını belirleyen, başlangıç sıcaklığı, sıcaklık azaltma fonksiyonu, her sıcaklıkta uygulanacak iterasyon sayısı ve durdurma kriteridir. Bu bölümde ilgili kararlar, parametreler ve önerilen



DTB'nin uygulama adımları detaylı bir şekilde verilmiştir. Önerilen DTB'ye ilişkin kısaltmalar Çizelge 3.17'de sunulmuştur.

**Çizelge 3.17.** Önerilen DTB'ye ilişkin kullanılan kısaltmalar ve açıklamaları

Kıs.	Kısaltmanın Açıklaması	Kıs.	Kısaltmanın Açıklaması
<i>ST</i>	KDG(ÖM_GE) çözümüyle elde edilmiş görevlerin kümesi	$t_{ic1}$	Birinci iç döngünün iterasyon sayacı
<i>SAT</i>	Seçilebilir görevler kümesi	$t_{ic2}$	İkinci iç döngünün iterasyon sayacı
<i>SCT</i>	Bir çözüme ait görevler kümesi	<i>gko</i>	Genel kabul oranı
<i>SST</i>	Seçilen görevlerin kümesi	$S_0$	Başlangıç çözümü
<i>SIT</i>	Eklenebilir görevler kümesi	$S_b$	En iyi çözüm
$T_b$	Başlangıç sıcaklığı	$S_c$	Mevcut çözüm
$T$	Mevcut sıcaklık	$S_n$	Komşu çözüm
$T_s$	Son sıcaklık	$A_0$	Başlangıç çözümü amaç fonksiyonu değeri
<i>iter</i> <sub>dış</sub>	Dış döngü iterasyon sayısı	$A_b$	En iyi çözümün amaç fonksiyonu değeri
<i>iter</i> <sub>iç</sub>	İç döngü iterasyon sayısı	$A_c$	Mevcut çözümün amaç fonksiyon değeri
<i>k</i>	Dış döngü iterasyon sayacı	$A_n$	Komşu çözümün amaç fonksiyon değeri

**Çözüm kodlama metodu:** Çözümün problemin yapısına uygun olarak kodlanması son derece önemlidir. Etkin olmayan bir kodlama metodu algoritmanın performansının düşmesine ve hantallaşmasına neden olabilir (Kesen ve ark., 2010). Bu nedenlere bağlı olarak oluşturulan çözüm vektörü üç kısımdan meydana gelmektedir. Birinci çözüm vektörü görevleri, ikinci vektör görevlere atanan ekipmanları ve üçüncü vektör görevlerin asistan durumunu göstermektedir. Her vektörün uzunluğu birbirine eşit olup, uygulanan prosedüre göre hatların toplam görev sayısına eşit ya da bu sayıdan küçük olmaktadır. Görevlerin dizilimi öncelik ilişkileri dikkate alınarak oluşturulmaktadır. Şekil 3.8'de her biri sekiz görevden oluşan iki hatta ilişkin bir problemin örnek çözüm gösterimi verilmiştir.

Hatlar	1	2	2	1	1	2	1	2	2	2	1	2	2	1	1	2
Görevler	1	3	2	5	6	1	2	5	6	4	7	4	7	8	3	8
Ekipmanlar	0	2	2	1	0	1	2	1	1	3	0	1	0	3	1	0
Asistanlar	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0

**Şekil 3.8.** Örnek çözüm gösterimi

**Başlangıç çözümü:** Daha önce de açıklandığı gibi ürünü oluşturan bütün parçaların çıkarılması ile kar elde edilmesi genellikle mümkün değildir. Bunun nedeni bazı parçaların talebinin yada gelirinin olmamasıdır. Bu nedenle öncelik ilişkileri sağlandığı sürece mümkün olduğunca geliri olmayan parçaların çıkarılmaması gerekmektedir. Bu durumu sağlamak amacıyla Altekin ve ark.'nın (2008) yapmış oldukları çalışmadan yola çıkarak başlangıç çözümüne bütün görevlerle başlamak yerine bölüm 4.1'de anlatılmış olan KDG(ÖM\_GE) modelinin çözülmesiyle elde edilen sonuçlardan yararlanılmıştır. Bunun nedeni KDG(ÖM\_GE) modelinin çözümünün önerilen matematiksel modelin optimal çözümüne ilişkin bazı verileri

içermesidir. Öncelikle ilgili modelin çözümü sonucu atanmış olan pozitif kesirli tüm görevlerin ve kaynakların (ekipman ve asistan) 'seçilmiş' olduğu varsayılmaktadır. Daha sonra ilgili görevler ve kaynaklar dikkate alınarak iki aşamadan oluşan başlangıç çözümüne geçilir. Birinci aşama öncelik ilişkilerini sağlamak şartıyla, görevlerin rassal olarak sıralanması, ikinci aşama ise bu sıradaki görevlerin istasyona yönelik atama prosedürü kullanılarak istasyonlara atanmalarınıdır. Başlangıç çözümüne ilişkin uygulama adımları Çizelge 3.18'de verilmiştir.

**Çizelge 3.18.** Başlangıç çözümüne ilişkin uygulama adımları

<b>Adım1:</b> KDG(ÖM_GE) ile elde edilen görevleri ve kaynakları dikkate alarak <i>SCT</i> kümesini oluştur.
<b>Adım2:</b> <i>SCT</i> kümesindeki görevlerden öncülü olmayan görevleri kaynaklarıyla birlikte <i>SAT</i> kümesine ekle.
<b>Adım 3:</b> <i>SCT</i> kümesini güncelle.
<b>Adım 4:</b> <i>SAT</i> kümesinden rassal olarak bir görev seç.
<b>Adım 5:</b> Seçilen görevi <i>SST</i> kümesine ekle, <i>SAT</i> 'ı güncelle.
<b>Adım 6:</b> <i>SCT</i> = $\emptyset$ ve <i>SAT</i> = $\emptyset$ ise Adım 7'ye git. Diğer durumda Adım 2'ye dön.
<b>Adım 7:</b> <i>SST</i> kümesindeki bütün görevleri kaynaklarıyla birlikte istasyona yönelik atama prosedürünü uygulayarak istasyonlara ata ve Adım 8'e git.
<b>Adım 8:</b> $A_0$ 'ı hesapla ve $S_c = S_0$ , $S_b = S_0$ , $A_c = A_0$ , $A_b = A_0$ atamasını yap ve adım 9'a git.
<b>Adım 9:</b> Dur.

İstasyona yönelik atama prosedürü ilk istasyon ile başlamakta ve sıradaki istasyonlarla devam etmektedir. Görevlerin istasyonlara atanmaları çevrim zamanı kısıtına göre gerçekleştirilmektedir. İlk istasyon mümkün olduğunca dolduğunda kapatılır ve bir sonraki istasyon açılır. Bütün görevler atandıktan sonra amaç fonksiyonu değeri hesaplanır ve mevcut çözüm olarak güncellenerek, başlangıç çözümü elde edilir.

Şekil 3.4'de verilen örneğe ilişkin KDG(ÖM\_GE) ile elde edilen veriler, "hat.görev.ekipman.asistan" şeklinde sunulmuş olup, ilgili küme;

$$SCT = \{1.1.0.1, 1.2.3.0, 1.3.1.1, 1.5.1.1, 1.6.1.0, 1.8.0.0, 1.9.3.0, 1.10.1.0, \\ \{ 2.1.1.0, 2.2.1.1, 2.3.1.1, 2.4.3.0, 2.6.1.0, 2.7.0.1, 2.8.1.0, 2.9.0.0 \} \}$$

olmak üzere, birinci hattan 4 ve 7 numaralı, ikinci hattan 5 ve 10 numaralı görevler çözümde yer almamaktadır. Bu verilere göre elde edilen başlangıç çözümü Şekil 3.9'da verilmiş olup,  $A_c = A_b = A_0 = 15630$  TL/ay olarak hesaplanmıştır.

Hatlar	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	1	2	2
Görevler	1	2	2	6	3	3	1	6	5	4	8	8	9	10	7	9
Ekipmanlar	0	1	3	1	1	1	1	1	1	3	0	1	3	1	0	0
Asistanlar	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
İstasyonlar	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8

**Şekil 3.9.** Şekil 3.4'te verilen örnek probleme ilişkin başlangıç çözümü

**Komşu çözümün kabul edilmesi:** DTB konusunda yapılan ilk çalışmalar minimizasyon problemlerinin çözümüne yöneliktir. Bu nedenle genel bir TB algoritmasının yapısı minimizasyon problemleri dikkate alınarak oluşturulmuştur. Literatürde maksimizasyon problemleri konusunda TB'nin uygulandığı çalışmalar da söz konusudur. Etgar ve ark. (1997), Attiya ve Hamam (2006), Gharan ve Vondrak (2011), Jiang ve ark. (2011) tarafından yapılmış olan çalışmalar dikkate alındığında metropolis kriteri konusunda bir takım değişikliklerin yapılması gerekmektedir. Her iterasyonda üretilen komşu çözüm, mevcut çözüm ile denklem (3.4)'e göre karşılaştırıldıktan sonra komşu çözüm, minimizasyon problemlerindeki ( $\Delta < 0$ ) durumun aksine ( $\Delta > 0$ ) olduğunda kabul edilir. Dolayısıyla ( $\Delta \leq 0$ ) olduğunda ise diğer bir seçim aşamasına geçilir. Bu aşamada  $[0,1]$  aralığında düzgün dağılıma göre rasgele seçilen sayı, denklem (3.5) yerine denklem (3.32) ile karşılaştırılmaktadır. Sonraki adımda ise denklem (3.33) şartı sağlanırsa çözüm kabul edilir. Aksi durumda seçilen çözüm reddedilir.

$$P = e^{\Delta/T} \quad (3.32)$$

$$\min\{1, P\} > \text{rassal}[0,1] \quad (3.33)$$

**Komşu çözüm hareket mekanizmaları:** Komşu çözümler elde edilirken literatürde yaygın olarak kullanılan *ekleme (insert)* ve *değiştirme (swap)* hareket mekanizmalarının yanısıra problemin yapısına özgün olarak üç adet daha hareket mekanizması geliştirilmiştir. *Ekleme* hareket mekanizmasında, rassal olarak seçilen bir görev, öncelik ilişkileri, çevrim süresi ve özel kısıtlar dikkate alınarak en küçük istasyon zamanına sahip bir iş istasyonuna atanmaktadır. *Değiştirme* hareket mekanizmasında ise rassal olarak seçilen farklı istasyonlardaki iki görevin atandıkları istasyonlar öncelik ilişkileri, çevrim süresi ve özel kısıtlar dikkate alınarak karşılıklı olarak değiştirilmektedir. Her iki durumda da yeni komşu çözümler elde edilir. Bu çözümler daha iyi çözümlerse, mevcut çözüm olarak güncellenirler, diğer durumda ise metropolis kriterine göre değerlendirilirler. Probleme özgü geliştirilen mekanizmalar ise bir görevin çözüm sırasından çıkarıldığı *görev silme*, bir görevin çözüm sırasına eklendiği *görev yerleştirme* ve kaynakların rassal olarak değiştirildiği *kaynak değiştirme* mekanizmalarıdır. *Görev silme*, görevlerin belirli bir prosedüre göre çözüm sırasından çıkarılmasıdır. Bu prosedür, iç döngünün her iterasyonunda bir çözüm sırasını oluşturan görev sayısı kadar tekrar edilir. İlgili mekanizmanın uygulama adımları Çizelge 3.19'da verilmiştir.

**Çizelge 3.19. Görev silme hareket mekanizmasının adımları**

Bir iterasyon adımı için aşağıdaki adımları uygula:
<b>Adım 1:</b> $S_c$ 'deki ilk görevi seç.
<b>Adım 2:</b> İlgili görevi ve varsa ardıl/ardıllarını $S_c$ 'den geçici olarak sil.
<b>Adım 3:</b> Görev/görevlerin $S_c$ 'den silinmesi sonucu elde edilen çözümü geçici çözüm olarak ata.
<b>Adım 4:</b> Geçici çözümün amaç fonksiyonunu hesapla ve ileride değerlendirilmek üzere kaydet.
<b>Adım 5:</b> İlgili görevi ve ardıl/ardıllarını tekrar $S_c$ kümesine ekle.
<b>Adım 6:</b> Yukarıdaki ilk dört adımı $S_c$ 'deki bütün görevler için tekrarlandıktan sonra Adım 7'ye git.
<b>Adım 7:</b> İlk altı adım tamamlandığında $S_c$ kümesini oluşturan her görev için hesaplanmış olan amaç fonksiyonu değerleri arasından en iyisini seç.
<b>Adım 8:</b> Seçilen görevin ve varsa ardıl/ardıllarının silinmeleri durumunda ortaya çıkan $S_n$ kümesini oluştur, $A_n$ değerini hesapla.
<b>Adım 9:</b> $\Delta = A_n - A_c$ değerini hesapla.
<b>Adım 10:</b> $\Delta > 0$ ise, $S_c = S_n$ , $A_c = A_n$ olarak güncelle ve Adım 12'ye git.
<b>Adım 11:</b> $\Delta \leq 0$ ise, $S_n$ 'yi $e^{\Delta/T}$ olasılıkla kabul et ve $S_c = S_n$ , $A_c = A_n$ olarak güncelle. Diğer durumda $S_c$ ve $A_c$ 'yi değiştirme ve Adım 13'e git.
<b>Adım 12:</b> $A_c > A_b$ ise, $A_b = A_c$ ve $S_b = S_c$ olarak güncelle, diğer durumda $A_b$ ve $S_b$ 'yi değiştirme. Adım 13'e git.
<b>Adım 13:</b> Dur.

Çizelge 3.19'da verilen adımlar mevcut çözümün görev sırasına göre uygulanmaktadır. Her görev mevcut çözüm ve amaç fonksiyonu değeri üzerinden değerlendirilir. Örnek problem için başlangıç çözümüne göre görev silme hareket mekanizması uygulanacak olursa, öncelikle birinci hattın 1 numaralı görevi ile başlanmaktadır. İlgili görevin çözümden silinmesi durumunda, “ve” öncülü olduğu görevlerin de silinmeleri gerekmektedir. Buna göre 1 numaralı görevle birlikte Şekil 3.10'da sarı renkle gösterilen birinci hattın bütün görevlerinin çözümden silinmesi gerekmektedir. Bu durumda ortaya çıkacak olan geçici çözüm Şekil 3.11'de sunulmuştur.

Hatlar	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	1	2	2
Görevler	1	2	2	6	3	3	1	6	5	4	8	8	9	10	7	9
Ekipmanlar	0	1	3	1	0	1	1	1	1	3	0	1	3	1	0	0
Asistanlar	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
İstasyonlar	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8

**Şekil 3.10.** 1 numaralı görevle birlikte silinen görevler

Hatlar	2	2	2	2	2	2	2	2
Görevler	2	3	1	6	4	8	7	9
Ekipmanlar	1	0	1	1	3	1	0	0
Asistanlar	1	1	0	0	0	0	1	0
İstasyonlar	1	2	3	3	4	5	6	6

**Şekil 3.11.** 1 numaralı görevin silinmesi sonucu elde edilen geçici çözüm

1 numaralı görevin silinmesi durumunda ortaya çıkan amaç fonksiyonu hesaplandıktan sonra silinen görevler yeniden çözüme eklenirler ve sıradaki görev olan ikinci hattın 2 numaralı görevi için ilk altı adım uygulanır. Görevlerin silinmesi konusunda dikkat edilmesi gereken nokta “veya” öncelik ilişkisine sahip görevlerin değerlendirme kriteridir. “veya” öncül olan bir görevin silinmesi durumunda öncülü olduğu görev/görevlerin silinmesi diğer “veya” öncüllerinin durumuna göre belirlenmektedir. Örneğin 2 numaralı görevin silinmesi durumunda silinecek görevler ikinci hattan 3, 6, 7 ve 9 numaralı görevlerdir. 2 numaralı görev 3 numaralı görevin “veya” öncüllerinden biridir. Diğer “veya” öncül ise 1 numaralı görevdir. Eğer 1 numaralı görev 3 numaralı görevin atandığı istasyona ya da bu istasyondan önce atanmış olsaydı, 3 numaralı görevin silinmemesi gerekirdi. Fakat bu örnekte 1 numaralı görev 3 numaralı görevden sonra atandığı için 2 numaralı görev 3 numaralı görevin “ve” öncülü durumuna gelir. Bu nedenle 2 numaralı görev silindiği zaman 3 numaralı görev de silinmek zorundadır.

Başlangıç çözümünde yer alan bütün görevler için ilk altı adım uygulandıktan sonra elde edilen geçici amaç fonksiyonu değerleri Çizelge 3.20’de verilmiştir. Yedinci adıma göre en büyük amaç fonksiyonu değeri ikinci hattan 7 ve ardılı 9 numaralı görevin silinmesi ile elde edilmektedir. İlgili kısım Çizelge 3.20’de koyu renkle gösterilmektedir. İlgili amaç fonksiyonu için 8.-12. Adımlar arası işletildiği zaman;  $A_n - A_c = 17330 - 15630 > 0$  olmak üzere ikinci hattan 7 ve 9 numaralı görevler çözümden kalıcı olarak silinir ve  $A_c = 17330$  olarak güncellenir. Güncellenen mevcut çözüm Şekil 3.12’de sunulmuştur.

**Çizelge 3.20.** Örnek probleme ilk altı adımın uygulanması ile elde edilen sonuçlar

Hat	Silinen Görev	Silinen ardıl Görevler	Amaç Fonksiyonu
1	1	2,3,5,6,8,9,10	3280
2	2	3,6, 7, 9	5590
1	2	6,9,10	9790
1	6	9,10	9580
2	3	4, 7, 8, 9	10290
1	3	5,8	9090
2	1	-	10030
2	6	7, 9	11930
1	5	8	10530
2	4	7, 8, 9	9820
1	8	-	12180
2	8	9	9680
1	9	10	13430
1	10	-	10580
2	7	9	<b>17330</b>
2	9	-	14130

Hatlar	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	1
Görevler	1	2	2	6	3	3	1	6	5	4	8	8	9	10
Ekipmanlar	0	1	3	1	1	1	1	1	1	3	0	1	3	1
Asistanlar	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
İstasyonlar	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7

**Şekil 3.12.** Güncellenen mevcut çözüm

*Görev yerleştirme* hareket mekanizması görevlerin yine belirli bir prosedüre göre çözüm sırasına eklenmesidir. Eklenecek olan görevler başlangıç çözümünde hiç yer almamış ve görev silme hareket mekanizmasından daha önce kalıcı olarak silinmiş olan görevler arasından seçilmekte olup uygulama adımları Çizelge 3.21’de verilmiştir.

**Çizelge 3.21.** Görev yerleştirme hareket mekanizmasının adımları

<p><b>Adım 1:</b> Mevcut çözümde olmayan bütün görevleri dikkate alarak SIT kümesini oluştur.</p> <p><b>Adım 2:</b> İlgili kümedeki her görev için aşağıdaki prosedürü uygulayarak <i>SAT</i> kümesini oluştur.</p> <p><b>Adım 2.1:</b> <i>SIT</i> kümesinden alınan görevi öncelik ilişkilerine göre mevcut çözümdeki görevlerle karşılaştır.</p> <p><b>Adım 2.2:</b> Eğer bu görevin öncül/öncülleri <math>S_c</math> kümesinde yer alıyorsa bu görevi <i>SAT</i> kümesine ekle.</p> <p><b>Adım 2.3:</b> <i>SIT</i> kümesindeki bütün görevler için Adım 2.1 ve Adım 2.2’yi uygula.</p> <p><b>Adım 2.4:</b> Bütün görevler değerlendirildiğinde, Adım 3’e geç.</p> <p><b>Adım 3:</b> <i>SAT</i> kümesindeki her görev için aşağıdaki prosedürü uygula:</p> <p><b>Adım 3.1:</b> Ele alınan görevi <math>S_c</math> kümesine geçici olarak ekle. Bu durumda ortaya çıkan amaç fonksiyonu değerini hesapla ve kaydet.</p> <p><b>Adım 3.2:</b> İlgili görevi <math>S_c</math> kümesinden sil ve <i>SAT</i> kümesinin görev sırasının en sonuna ekle.</p> <p><b>Adım 3.3:</b> <i>SAT</i> kümesindeki bütün görevler için Adım 3.1 ve 3.2 tekrar edildiğinde, dur ve Adım 4’e geç.</p> <p><b>Adım 4:</b> <i>SAT</i> kümesindeki her görev için hesaplanmış olan amaç fonksiyonu değerlerinden en iyi olanı seç.</p> <p><b>Adım 5:</b> Seçilen görevi <i>SAT</i> kümesinden geçici olarak çıkar, <math>S_c</math> kümesine geçici olarak ekleyerek <math>S_n</math> kümesini oluştur, <math>A_n</math> değerini hesapla.</p> <p><b>Adım 6:</b> <math>\Delta = A_n - A_c</math> değerini hesapla.</p> <p><b>Adım 7:</b> <math>\Delta &gt; 0</math> ise, <math>S_c = S_n</math>, <math>A_c = A_n</math> olarak güncelle ve Adım 9’a git.</p> <p><b>Adım 8:</b> <math>\Delta \leq 0</math> ise, <math>S_n</math>’yi <math>e^{\Delta/T}</math> olasılıkla kabul et ve <math>S_c = S_n</math>, <math>A_c = A_n</math> olarak güncelle. Diğer durumda <math>S_c</math> ve <math>A_c</math>’yi değiştirme ve Adım 10’a git.</p> <p><b>Adım 9:</b> <math>A_c &gt; A_b</math> ise, <math>A_b = A_c</math> ve <math>S_b = S_c</math> olarak güncelle, diğer durumda <math>A_b</math> ve <math>S_b</math>’yi değiştirme ve Adım 10’a git.</p> <p><b>Adım 10:</b> Dur.</p>
---

*Kaynak değiştirme* ise herhangi bir göreve ilişkin farklı alternatif kaynakların değerlendirilebilmesi için geliştirilmiştir. İlgili mekanizmanın uygulama adımları Çizelge 3.22’de verilmiştir.

**Tamir prosedürü:** Bazı çözümlerde elde edilen ekipman ve asistan sayısı kullanılması gereken ekipman ve asistan sayısından fazla olabilmektedir. Bu durumun önüne geçebilmek amacıyla, tamir prosedürü uygulanmaktadır. İlgili prosedüre göre, sayı bakımından olması gerekenden daha fazla olan kaynağın (ekipmanın, asistan)

atandığı görevler, kapsadıkları diğer alternatif kaynaklara göre yeniden değerlendirilmektedirler.

**Çizelge 3.22.** Kaynak değiştirme hareket mekanizmasının uygulama adımları

<p><b>Adım 1:</b> İşlemden olan görevin alternatif ekipmanları arasından rassal olarak bir ekipman seç.</p> <p><b>Adım 2:</b> İlgili ekipman için eğer asistansız ve asistanlı olmak üzere iki alternatif varsa bu iki alternatiften birini rassal olarak seç.</p> <p><b>Adım 3:</b> Seçilen kaynaklarla birlikte amaç fonksiyonunu hesapla ve komşu çözüm <math>S_n</math>'i oluştur ve <math>A_n</math> değerini hesapla.</p> <p><b>Adım 4:</b> <math>\Delta = A_n - A_c</math> değerini hesapla.</p> <p><b>Adım 5:</b> <math>\Delta &gt; 0</math> ise, <math>S_c = S_n</math>, <math>A_c = A_n</math> olarak güncelle ve Adım 7'ye git.</p> <p><b>Adım 6:</b> <math>\Delta \leq 0</math> ise, <math>S_n</math>'yi <math>e^{\Delta/T}</math> olasılıkla kabul et ve <math>S_c = S_n</math>, <math>A_c = A_n</math> olarak güncelle, diğer durumda <math>S_c</math> ve <math>A_c</math>'yi değiştirme ve Adım 8'e git.</p> <p><b>Adım 7:</b> <math>A_c &gt; A_b</math> ise, <math>A_b = A_c</math> ve <math>S_b = S_c</math> olarak güncelle, diğer durumda <math>A_b</math> ve <math>S_b</math>'yi değiştirme ve Adım 8'e git.</p> <p><b>Adım 8:</b> <math>S_c</math> kümesindeki bütün görevler için Adım1'den Adım 11'e kadar olan adımlar uygulandıysa Adım 9'a, aksi takdirde Adım 1'e git.</p> <p><b>Adım 9:</b> Dur.</p>
--

**Soğutma planı:** Sıcaklık azaltma mekanizmasında izlenecek yol Guden ve Meral'in (2016) çalışması referans alınarak oluşturulmuştur. Buna göre her iterasyonun sonunda elde edilen sonuçlar gözden geçirilerek üretilen mevcut çözümlerin, mevcut çözümlerden kötü olan komşu çözümlerin ve ilgili kötü çözümlerden kabul edilen çözümlerin sayısı değerlendirilerek sıcaklık değeri güncellenmektedir. Mevcut çözümlerin sayısı  $MM\ÇS$ , mevcut çözümlerden kötü olan komşu çözümlerin sayısı  $KK\ÇS$  ve kabul edilen kötü çözümlerin sayısı  $KE\ÇS$  olmak üzere sıcaklığın güncellenmesinde Denklem (3.34)'te verilen hesaplama yöntemi kullanılmaktadır.

$$T_{k+1} = \begin{cases} T_k/1, & KK\ÇS/MM\ÇS \geq 0,8 \text{ ve } KE\ÇS/KK\ÇS \leq 0,1 \text{ ise} \\ \alpha_1 T_k, & 0,5 \leq KK\ÇS/MM\ÇS < 0,8 \text{ ve } KE\ÇS/KK\ÇS \leq 0,1 \text{ ise} \\ \alpha_2 T_k, & KK\ÇS/MM\ÇS < 0,5 \text{ ise} \end{cases} \quad (3.34)$$

Denklem (3.34)'e göre üç koşuldan birincisi için ( $KK\ÇS/MM\ÇS$  oranının 0,8'den büyük ya da eşit olması), yerel bir en iyi bölgesinde bulunduğu,  $KE\ÇS/KK\ÇS$  oranının 0,1'den küçük ya da eşit olması bu bölgeden çıkılmadığını ifade etmektedir. Bu bölgeden çıkılması ve kabul edilen kötü çözümlerin sayısının artırılarak daha geniş bir alanda tarama yapılmasını sağlamak amacıyla sıcaklığın düşürülmesi yerine sabit tutulmasına yönelik bir güncelleme yöntemi geliştirilmiştir. Diğer iki koşulda ise kötü çözümlerin kabul edilme şansı azalmakla birlikte devam etmektedir ve sıcaklık ikinci koşuldan üçüncü koşula geçildiğinde daha hızlı düşürülmektedir.

**Durdurma koşulu:** Önerilen DTB,

- Mevcut sıcaklığın önceden belirlenmiş minimum sıcaklık değerinin altına düşmesi,
- Verilen maksimum iterasyon sayısına ulaşılması(dış döngü için)
- Belirlenen bir genel kabul oranından ( $gko$ =kabul edilen komşu çözümlerin sayısı / denenen komşuluk çözümlerinin sayısı) daha düşük bir orana ulaşılması

koşullarından en az birinin gerçekleşmesi durumunda sonlanmaktadır. Önerilen DTB'nin genel adımları Çizelge 3.23'te verilmiştir:

**Çizelge 3.23.** Önerilen DTB'nin genel adımları

<p><b>Adım 0:</b> <math>T_b, T_s, iter_{dış}, iter_{iç1}, iter_{iç2}, gko, a_1, a_2</math> değerlerini belirleyerek ve <math>k = 1, t_{iç1} = 0, t_{iç2} = 0</math> atamalarını yaparak başla.</p> <p><b>Adım 1:</b> <math>S_c</math> ve <math>A_c</math> olmak üzere başlangıç çözümünü oluştur.</p> <p><b>Adım 2:</b> <math>t_{iç1} = t_{iç1} + 1</math> atamasını yap.</p> <p><b>Adım 2.1:</b> Görev silme hareket mekanizmasını uygula.</p> <p><b>Adım 2.2:</b> Ekleme hareket mekanizmasını uygula.</p> <p><b>Adım 2.3:</b> Değiştirme hareket mekanizmasını uygula.</p> <p><b>Adım 2.4:</b> Kaynak değiştirme hareket mekanizmasını uygula.</p> <p><b>Adım 5:</b> eğer <math>t_{iç1} = iter_{iç1}</math> ya da <math>S_c</math> 'nin elaman sayısı bir ise Adım 7'ye git, diğer durumda Adım 6'ya git.</p> <p><b>Adım 6:</b> <math>t_{iç1} = t_{iç1} + 1</math> yap ve Adım 2'ye dön.</p> <p><b>Adım 7:</b> <math>S_c = S_b</math> ve <math>A_c = A_b</math> olarak ata ve Adım 8'e git.</p> <p><b>Adım 8:</b> <math>t_{iç2} = t_{iç2} + 1</math> atamasını yap.</p> <p><b>Adım 8.1:</b> Görev yerleştirme hareket mekanizmasını uygula.</p> <p><b>Adım 8.2:</b> Ekleme hareket mekanizmasını uygula.</p> <p><b>Adım 8.3:</b> Değiştirme hareket mekanizmasını uygula.</p> <p><b>Adım 8.4:</b> Kaynak değiştirme hareket mekanizmasını uygula.</p> <p><b>Adım 9:</b> eğer <math>t_{iç2} = iter_{iç2}</math> ise Adım 11'e git, diğer durumda Adım 10'a git.</p> <p><b>Adım 10:</b> <math>t_{iç2} = t_{iç2} + 1</math> yap ve Adım 8'e dön.</p> <p><b>Adım 11 :</b> Tamir prosedürünü uygula ve Adım 12'ye git.</p> <p><b>Adım 12:</b> <math>S_c = S_b</math> ve <math>A_c = A_b</math> olarak ata.</p> <p><b>Adım 13:</b> Eğer <math>k = iter_{dış}</math> yada <math>T = T_s</math> yada <math>gko \leq 0,2</math> ise Adım 15'e, diğer durumda Adım 14'e git.</p> <p><b>Adım 14:</b> <math>k = k + 1</math> olarak ata ve <math>T_k</math>'yi Denklem (3.37)'ye göre güncelle, <math>t_{iç1} = 0, t_{iç2} = 0</math> olarak ata ve Adım 2'ye dön.</p> <p><b>Adım 15:</b> Dur.</p>
---



## 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Tezin bu bölümünde, performans kriteri olarak kullanılan gevşetme tiplerinden bahsedildikten sonra PDHD\_PA için önerilen matematiksel modelin ve önerilen DTB'nin performansını test etmek amacıyla gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ve sonuçları sunulmuştur. Son olarak paralel hatların birbirinden bağımsız dengelenmesinin yerine eş zamanlı olarak dengelenmesinin toplam net geri kazanım kararı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Sonuçların gösterilmesinde kolaylık olması bakımından önerilen 0-1 tamsayılı doğrusal programlama modeli “ÖM” simgesi ile ifade edilmiştir.

### 4.1. Matematiksel model gevşetme tipleri

PDHD\_PA problemi için önerilen matematiksel modelin performansını test etmek amacıyla kullanılan gevşetme tipleri şu şekildedir.

1. Doğrusal Gevşetme: Önerilen matematiksel modelin (ÖM) doğrusal gevşetmesi (DG(ÖM)) matematiksel modeldeki (3.22) numaralı kısıtta verilmiş olan karar değişkenlerinin gevşetilmesi (“0” ile “1” arasında reel sayı olarak kabul edilmesi) ile elde edilmektedir.
2. Kuvvetlendirilmiş Doğrusal Gevşetme: Daha iyi üst sınırlar elde etmek amacıyla, ÖM, (3.23), (3.24), (3.25), (3.26) ve (3.27) numaralı geçerli eşitsizlik eklemeleri ile (ÖM\_GE) kuvvetlendirilebilir. Kuvvetlendirilmiş doğrusal gevşetme ise ÖM\_GE modelindeki (3.22) numaralı işaret kısıtında verilmiş olan karar değişkenlerinin gevşetilmesi ile elde edilmektedir DG(ÖM\_GE).
3. Kısmi Doğrusal Gevşetme: Geliştirilen matematiksel modeldeki elde edilen gevşetme sonuçları, bütün 0-1 karar değişkenleri yerine bir kısmının gevşetilmesi ile optimal çözümlere daha da yaklaştırılabilir. Yapılan ön denemeler sonucunda, istasyon açılması ( $f_j$ ) ve asistan ataması ( $a_j$ ) ile ilgili 0-1 karar değişkenlerinin tamsayı olarak kabul edilip diğer 0-1 karar değişkenlerinin gevşetilmesi ile kısa sürelerde oldukça iyi üst sınırlar elde edildiği tespit edilmiştir. Bu nedenle, kuvvetlendirilmiş modeldeki

(ÖM\_GE)  $x_{hiej}$ ,  $p_{hiej}$ ,  $q_{hiej}$ ,  $z_{hej}$ ,  $U_{hj}$  karar değişkenleri gevşetilerek kısmi doğrusal gevşetme değeri elde edilmiştir (KDG(ÖM\_GE)).

Genellikle, kuvvetlendirilmiş matematiksel modellerde optimal çözümlere diğerlerine nazaran daha kısa sürede ulaşılmaktadır. Bu nedenle, karşılaştırmalarda kullanılmak üzere alt ve üst sınırların elde edilmesi amacıyla ÖM\_GE modelinin çözümleri kullanılmıştır.

## 4.2. Deneysel karşılaştırmalar

### 4.2.1. Önerilen 0-1 tamsayılı doğrusal programlama modeli sonuçları

Çalışma kapsamında önerilen matematiksel model ve gevşetme tipleri GAMS ara yüzünde kodlanmış ve matematiksel model çözücüsü olarak CPLEX 10.2 kullanılmıştır. Bütün koşumlarda çözücünün varsayılan parametre seviyeleri kullanılmıştır. Her bir koşul Intel(R) XEON(R) 8 Duo E31245 3,30 GHz işlemci, 8 Gb RAM'e sahip bir iş istasyonunda çözülmüştür. Bütün koşullar 2 saat ( $2*60*60=7200$  saniye) ile sınırlandırılmıştır. 2 saat içerisinde optimal çözüm bulunmadığı takdirde o ana kadar bulunmuş tamsayılı çözüm (alt sınır) karşılaştırma olarak verilmiştir.

ÖM'yi ve gevşetme tiplerinin eklenmesiyle elde edilmiş olan modelleri analiz etmek amacıyla aşağıdaki performans kriterleri kullanılmıştır.

1. Optimal çözüme ulaşılan problem sayısı (OÇUPS): Çözüm süresi sınırları içerisinde matematiksel modeller tarafından optimal çözüme ulaşılan problem sayısıdır.
2. Ortalama çözüm süresi (OÇS): Matematiksel modellerin her problem seti için ortalama koşul süresidir.
3. Sapma: İki farklı sapma değeri kullanılmıştır. Bunlar;
  - Gevşetilmiş yüzde sapma değeri (GYSD): İlgilenilen gevşetme yöntemi ile elde edilen çözümün ( $Z^G$ ) ÖM'nin tamsayılı koşumu sonucunda elde edilen en iyi çözümden (alt sınır) ( $Z^{AS}$ ) sapma değeridir. Bu değer aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$GYSD = 100 \times \frac{Z^G - Z^{AS}}{Z^G} \quad (4.1)$$

- Yüzde sapma değeri (*YSD*): ÖM'nin CPLEX çözücüsü ile iki saat tamsayılı koşumu sonucunda elde edilen üst sınır ( $Z^{ÜS}$ ) ile alt sınır ( $Z^{AS}$ ) arasındaki sapma değeridir. Bu değer aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$YSD = 100 \times \frac{Z^{ÜS} - Z^{AS}}{Z^{ÜS}} \quad (4.2)$$

İlk olarak, geçerli eşitsizliklerin matematiksel model üzerindeki etkisi geliştirilen test problemleri kullanılarak test edilmiştir. Çizelge 4.1, Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'te sırasıyla küçük, orta ve büyük boyutlu problemlerin çözümüyle elde edilen sonuçlar verilmiştir. İlgili çizelgelerde ilk sütun görev setlerini göstermektedir. Her görev seti paralel hatların görev sayılarını ( $n_1, n_2$ ) ifade etmektedir. Görev sayılarının yanında parantezle belirtilen sayılar her setin kaç problemde oluştuğunu göstermektedir. Örneğin "10\_20 (27)" gösterimi ile paralel hatlardan birinci hattın görev sayısının 10, ikinci hattın görev sayısının 20 olduğu, ilgili görevlerin öncelik ilişkileri ve çevrim zamanı parametrelerine göre toplam 27 kombinasyon (problem) oluşturduğu ifade edilmektedir. Takip eden her iki sütunda ise geçerli eşitsizlik kombinasyonları için sırasıyla ortalama gevşetilmiş yüzde sapma değerleri (GYSD) ve ortalama çözüm süreleri (OÇS) bulunmaktadır. Her satır, problem setlerine ilişkin ortalama değerleri göstermektedir. 423 test probleminin her birine ilişkin detaylı analizler EK-2, EK-3 ve EK-4'te verilmiştir.

İlgili çizelgelerden elde edilen genel sonuçlara göre eklenen bütün geçerli eşitsizliklerin matematiksel modellerden elde edilen üst sınırların iyileştirilmesinde oldukça etkin eşitsizlikler oldukları görülmektedir. İyileşme oranı;

- (3.23) ve (3.24) numaralı eşitsizlikler eklendiğinde küçük, orta ve büyük boyutlu problemler için sırasıyla (%12,99), (%18,19) ve (%12,95)'tir.
- Bu eşitsizliklerin yanısıra (3.25), (3.26) ve (3.27) numaralı eşitsizliklerin eklenmesi ile elde edilen iyileşme oranı ise küçük, orta ve büyük boyutlu problemler için sırasıyla (%14,08), (%17,38) ve (%11,09)'dur.
- En iyi üst sınır değerlerine (3.23)-(3.27) eşitsizliklerinin eklenerek modelin kısmi doğrusal gevşetilmesi ile ulaşılmıştır. Buna göre hesaplanan iyileşme oranları küçük, orta ve büyük boyutlu problemler için sırasıyla (%9,96), (%6,38) ve (%2,88)'dir.

Bu sonuçlar, önerilen matematiksel modelin (ÖM) geçerli eşitsizliklerden yüksek seviyede etkilendiğini göstermektedir.

**Çizelge 4.1.** Geçerli eşitsizliklerin küçük boyutlu problemler üzerindeki etkisi

$n_1-n_2$	DG(ÖM)		DG(ÖM) <sup>1</sup>		DG(ÖM_GE)		KDG(ÖM_GE)	
	GYSD	OÇS	GYSD	OÇS	GYSD	OÇS	GYSD	OÇS
10_10 (18)	60,95	0,02	55,62	0,02	49,9	0,02	38,28	0,34
10_20 (27)	66,69	0,02	54,82	0,02	40,79	0,03	25,84	0,15
20_20 (18)	70,85	0,02	57,76	0,04	41,95	0,03	28,95	0,24
20_30 (27)	68,07	0,03	55,74	0,07	42,59	0,07	36,67	0,78
30_30 (18)	65,54	0,05	49,58	0,21	32,26	0,12	25,37	1,3
30_40 (27)	72,22	0,06	54,42	0,28	37,11	0,24	29,13	6,47
<b>Ortalama</b>	<b>67,71</b>	<b>0,04</b>	<b>54,72</b>	<b>0,11</b>	<b>40,64</b>	<b>0,09</b>	<b>30,68</b>	<b>1,73</b>

<sup>1</sup>: Önerilen matematiksel modele (3.23) ve (3.24) numaralı eşitsizliklerin eklenmesi ile elde edilmiştir.

**Çizelge 4.2.** Geçerli eşitsizliklerin orta boyutlu problemler üzerindeki etkisi

$n_1-n_2$	DG(ÖM)		DG(ÖM) <sup>1</sup>		DG(ÖM_GE)		KDG(ÖM_GE)	
	GYSD	OÇS	GYSD	OÇS	GYSD	OÇS	GYSD	OÇS
40_40 (18)	78,38	0,08	59,2	0,37	41,04	0,43	32,64	13
40_50 (27)	69,76	0,09	50,05	0,47	31,7	0,34	24,47	16,33
50_50 (18)	64,04	0,12	45,24	0,66	26,93	0,4	22,33	21
50_60 (27)	73,64	0,1	55,31	1,01	37,64	0,43	31,61	33,23
60_60 (18)	82,32	0,11	68,24	1,71	54,43	0,41	49,09	28,41
<b>Ortalama</b>	<b>73,31</b>	<b>0,1</b>	<b>55,12</b>	<b>0,83</b>	<b>37,74</b>	<b>0,4</b>	<b>31,36</b>	<b>22,79</b>

**Çizelge 4.3.** Geçerli eşitsizliklerin büyük boyutlu problemler üzerindeki etkisi

$n_1-n_2$	DG(ÖM)		DG(ÖM) <sup>1</sup>		DG(ÖM_GE)		KDG(ÖM_GE)	
	GYSD	OÇS	GYSD	OÇS	GYSD	OÇS	GYSD	OÇS
60_70 (27)	75,92	0,15	58,54	2,5	46,41	0,46	42,17	56,14
70_70 (18)	70,49	0,21	52,54	3,28	39,81	0,48	35,51	53,97
70_80 (27)	78,47	0,19	64,08	5,6	51,35	0,52	48,5	74,03
80_80 (18)	85,78	0,2	75,79	11,45	65,95	0,6	63,92	68,97
80_90 (27)	87,14	0,2	76,8	13,95	66,06	0,69	63,82	63,24
90_90 (18)	88,61	0,21	78,29	20,63	67,08	0,79	63,73	53,49
90_100 (27)	88,68	0,24	77,19	20,46	66,66	0,99	64,22	59,88
100_100 (18)	89,15	0,26	78,25	27,94	70,31	1,12	68,88	40,22
<b>Ortalama</b>	<b>82,93</b>	<b>0,2</b>	<b>69,98</b>	<b>12,71</b>	<b>58,89</b>	<b>0,7</b>	<b>56,01</b>	<b>59,66</b>

Bu bölümde yapılan son deneysel karşılaştırma ise önerilen matematiksel modelin sonuçları (ÖM) ile ilgili modele geçerli eşitsizliklerin eklenip 2 saat süre sınırı dahilinde tamsayıyla çözülmesiyle (ÖM\_GE) elde edilen sonuçların karşılaştırılmasına ilişkindir. PDHD\_PA, NP-zor sınıfında bir problem olduğu için orta ve büyük boyutlu problemlerde matematiksel modeller ile elde edilen alt ve üst sınırlar optimal çözümlerden oldukça uzak olmakta, dolayısıyla yansız bir karşılaştırma yapmak zorlaşmaktadır. Bu nedenle, deneysel karşılaştırmada kullanmak amacıyla, küçük boyutlu test problemleri dikkate alınmış olup sonuçlar Çizelge 4.4'te verilmiştir. İlgili çizelgede ilk sütun problemlerin görev sayılarını, takip eden üç

sütunda ise ÖM ve ÖM\_GE modelleri için ortalama YSD, OÇS ve OÇUPS değerleri verilmiştir. 423 test probleminin her birine ilişkin detaylı analiz küçük, orta ve büyük boyutlu problemler için sırasıyla EK-5, EK-6 ve EK-7’de verilmiştir.

**Çizelge 4.4.** Küçük boyutlu problemler için deneysel sonuçlar

$n_1-n_2$	YSD		OÇS		OÇUPS	
	ÖM	ÖM_GE	ÖM	ÖM_GE	ÖM	ÖM_GE
<b>10_10 (18)</b>	0	0	0,47	0,23	18(18)	18(18)
<b>10_20 (27)</b>	0	0	2,38	2,51	27(27)	27(27)
<b>20_20 (18)</b>	0	0	64,52	181,18	18(18)	18(18)
<b>20_30 (27)</b>	0	0	275,5	188,12	27(27)	27(27)
<b>30_30 (18)</b>	3,48	0	1901,96	487,31	15(18)	18(18)
<b>30_40 (27)</b>	16,88	2,15	3461,21	1797,47	16(27)	24(27)
<b>Ortalama</b>	<b>3,84</b>	<b>0,43</b>	<b>1010,08</b>	<b>486,78</b>	<b>121(135)</b>	<b>132(135)</b>

Çizelge 4.4’e göre 135 küçük boyutlu test probleminde;

- ÖM ile 121’inde (%89,63) optimal çözümlere ortalama 1010,08 sn’de ulaşılrken, 13 problemde uygun çözümler elde edilmiş olup, optimal çözümlerden sapma 135 problem için ortalama %3,84; 13 problem için %39,88’dir.
- ÖM\_GE ile 132’sinde (%97,78) optimal çözümlere ortalama 486,78 sn’de ulaşılrken, 3 problem için uygun çözümler elde edilmiştir. Optimal çözümlerden sapma 135 problem için ortalama %0,43, 3 problem için %19,35’dir.
- ÖM\_GE ile optimal çözümlerin sayısı %9,09 oranında artmış, sapma değerleri %3,41 oranında iyileşmiştir.

Elde edilen bu sonuçlar geçerli eşitsizliklerin küçük boyutlu problemlerin tamsayılı çözümlerinde (ÖM\_GE) oldukça etkili olduğunu göstermektedir. Bu nedenle geliştirilen orta ve büyük boyutlu problemlerin tamamı 2 saat süre sınırı dahilinde ÖM\_GE modeli kullanılarak çözülmüşlerdir. Buna göre orta boyutlu test problemleri için elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5’te; büyük boyutlu test problemleri için Çizelge 4.6’da verilmiştir.

**Çizelge 4.5.** Orta boyutlu problemler için deneysel sonuçlar

$n_1-n_2$	YSD	OÇS	OÇUPS
<b>40_40 (18)</b>	15,34	2894,1	12(18)
<b>40_50 (27)</b>	20,96	5010,24	11(27)
<b>50_50 (18)</b>	27,17	6717,28	3(18)
<b>50_60 (27)</b>	32,29	7041,31	3(27)
<b>60_60 (18)</b>	37,22	6664,73	4(18)
<b>Ortalama</b>	<b>26,6</b>	<b>5725,57</b>	<b>32(108)</b>

**Çizelge 4.6.** Büyük boyutlu problemler için deneysel sonuçlar

$n_1$ - $n_2$	YSD	OÇS
60_70 (27)	26,01	7200
70_70 (18)	29,42	7200
70_80 (27)	42,54	7200
80_80 (18)	62,59	7200
80_90 (27)	55,68	7200
90_90 (18)	52,82	7200
90_100 (27)	59,78	7200
100_100 (18)	66,35	7200
<b>Ortalama</b>	<b>46,93</b>	<b>7200</b>

Çizelge 4.5'e göre 108 problemin 32'sinde (%29,63) optimal çözümlere ortalama 5725,57 sn'de ulaşılrken, 76 problem için uygun çözüm elde edilmiştir. Optimal çözümlerden sapma 108 problem için %26,6, 76 problem için ortalama %37,80'dir.

Çizelge 4.6'ya göre 180 büyük boyutlu test probleminde optimal çözümlerden ortalama sapma %46,93'tür.

#### 4.2.2. Önerilen düzeltmeli tavlama benzetimi yaklaşımı sonuçları

Önerilen DTB yaklaşımı Visual Basic 6.0 programlama dilinde kodlanmış ve bütün test problemleri Intel(R) XEON(R) 8 Duo E31245 3,30 GHz işlemci, 8 Gb RAM'e sahip bir iş istasyonunda çözülmüştür. Tutarlı sonuçlar elde etmek için her bir problem 5 kez çalıştırılmıştır.

Çalışma kapsamında geliştirilen test problemlerinin önerilen DTB yaklaşımı ile çözümünde kullanılan parametreler Çizelge 4.7'de verilmiştir.

**Çizelge 4.7.** Önerilen DTB yaklaşımında kullanılan parametreler

Parametre	Kısaltma	Parametre Değeri
Başlangıç sıcaklığı	$T_b$	$(emo + cw + ca) \times tgs$
Son sıcaklık	$T_s$	$(T_b \times 2)/(tgs)$
Dış döngü iterasyon sayısı	$iter_{dış}$	$2 \times tgs$
Birinci iç döngü iterasyon sayısı	$iter_{iç1}$	$tgs / 2$
İkinci iç döngü iterasyon sayısı	$iter_{iç2}$	$tgs / 2$
alfa değerinin birinci değeri	$a_1$	0,9
alfa değerinin ikinci değeri	$a_2$	0,8
Genel kabul oranı	$gko$	0,2

**emo:** ilgili problemde kullanılan ekipman maliyetlerinin toplamının ortalaması

**tgs:** ilgili problemdeki iki hattın görev sayılarının toplamı

Başlangıç sıcaklığı ve son sıcaklık değerlerinin belirlenmesi için kullanılan hesaplama fonksiyonu Jayaswal ve Agarwal'in (2014) çalışmasından referans alınarak oluşturulmuştur. Çizelge 4.7'de verilmiş olan bütün parametre değerleri yapılan ön analizler sonucu belirlenmişlerdir. Her test problemi ilgili analizler sonucunda  $T_b, T_s, iter_{dış}, iter_{iç1}, iter_{iç2}$  parametrelerinin görev sayısına bağlı olarak seçilmesine karar verilmiştir.

Önerilen DTB'nin sonuçları önerilen matematiksel modelin geçerli eşitsizlikler eklenip tamsayıli çözüümüyle elde edilen sonuçlarla (ÖM\_GE) karşılaştırılmıştır. Yaklaşımın etkinliğini analiz etmek amacıyla aşağıdaki performans kriterleri kullanılmıştır.

1. Optimal çözüme ulaşılan problem sayısı (OÇUPS): Önerilen ÖM\_GE ve DTB için optimal çözüme ulaşılan problem sayısıdır.
2. Ortalama çözüm süresi (OÇS): Önerilen ÖM\_GE için her problem setinin önerilen DTB için ise yaklaşımın beş defa çalıştırılması sonucu elde edilen ortalama çözüm süresidir.
3. Sapma: Dört farklı sapma değeri kullanılmıştır. İlgili sapma değerleri aşağıda tanımlanmıştır.
  - Ortalama değerlerin alt sınır değerlerine göre yüzde sapma değeri ( $YSDA^{ORT}$ ): Önerilen ÖM\_GE modelinin tamsayıli koşumu ile elde edilen en iyi çözüm (alt sınır) ( $Z^{AS}$ ) ile önerilen DTB yaklaşımının 5 defa çalıştırılması sonucu elde edilen amaç fonksiyonlarının ortalamasının ( $Z^{AF(ORT)}$ ) arasındaki farkın % cinsinden değerini ifade etmektedir. Bu değer aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$YSDA^{ORT} = 100 \times \frac{Z^{AS} - Z^{AF(ORT)}}{Z^{AS}} \quad (4.3)$$

- En büyük değerlerin alt sınır değerlerine göre yüzde sapma değeri ( $YSDA^{ENB}$ ): ÖM\_GE modelinin tamsayıli koşumu ile elde edilen en iyi çözüm ( $Z^{AS}$ ) ile önerilen DTB yaklaşımının beş defa çalıştırılması sonucu elde edilen en büyük amaç fonksiyonu ( $Z^{AF(ENB)}$ ) arasındaki farkın % cinsinden değerini ifade etmektedir.

$$YSDA^{ENB} = 100 \times \frac{Z^{AS} - Z^{AF(ENB)}}{Z^{AS}} \quad (4.4)$$

- Ortalama değerlerin üst sınır değerlerine göre yüzde sapma değeri ( $YSD\ddot{U}^{ORT}$ ): Önerilen ÖM\_GE modelinin tamsayıli koşumu ile elde edilen üst sınır değerleri ( $Z^{\ddot{U}S}$ ) ile önerilen DTB yaklaşımının 5 defa çalıştırılması sonucu elde edilen amaç fonksiyonlarının ortalamasının ( $Z^{AF(ORT)}$ ) arasındaki farkın % cinsinden değerini ifade etmektedir. Bu değer aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$YSD\ddot{U}^{ORT} = 100 \times \frac{Z^{\ddot{U}S} - Z^{AF(ORT)}}{Z^{\ddot{U}S}} \quad (4.5)$$

- En büyük değerlerin üst sınır değerlerine göre yüzde sapma değeri ( $YSD\ddot{U}^{ENB}$ ): ÖM\_GE modelinin tamsayıli koşumu ile elde edilen üst sınır değerlerinin ( $Z^{\ddot{U}S}$ ) önerilen DTB yaklaşımının 5 defa çalıştırılması sonucu elde edilen en büyük amaç fonksiyonu ( $Z^{AF(ENB)}$ ) arasındaki farkın % cinsinden değerini ifade etmektedir.

$$YSD\ddot{U}^{ENB} = 100 \times \frac{Z^{\ddot{U}S} - Z^{AF(ENB)}}{Z^{\ddot{U}S}} \quad (4.6)$$

Çizelge 4.7’de verilen parametreler kullanılarak önerilen DTB’nin çözümü ile elde edilen sonuçlar küçük boyutlu problemler için Çizelge 4.8’de, orta boyutlu problemler için Çizelge 4.9’da ve büyük boyutlu problemler için Çizelge 4.10’da verilmiştir. İlgili çizelgelerde ilk sütun problemlerin görev sayılarını, ikinci ve üçüncü sütunlar  $YSDA^{ORT}$ ,  $YSDA^{ENB}$ , dördüncü sütun OÇUPS, takip eden üç sütun YSD,  $YSD\ddot{U}^{ORT}$ ,  $YSD\ddot{U}^{ENB}$  değerlerini ve son iki sütun ise ÖM\_GE ve DTB’nin ortalama çözüm sürelerini göstermektedir. 423 problemin her birine dair detaylı analizler ise EK-8, EK-9 ve EK-10’da verilmiştir.

**Çizelge 4.8.** Küçük boyutlu problemlerin önerilen DTB yaklaşımı ile çözüm sonuçları

$n_1$ - $n_2$	$YSDA^{ORT}$	$YSDA^{ENB}$	OÇUPS			YSD	$YSD\ddot{U}^{ORT}$	$YSD\ddot{U}^{ENB}$	OÇS	
			ÖM_GE	ORT	ENB				ÖM_GE	DTB
<b>10_10 (18)</b>	0,17	0	18(18)	15(18)	18(18)	0	0,52	0	0,23	0,07
<b>10_20 (27)</b>	0,44	0,08	27(27)	17(27)	24(27)	0	0,44	0,08	2,51	0,27
<b>20_20 (18)</b>	0,8	0,61	18(18)	9(18)	11(18)	0	0,8	0,61	181,18	0,33
<b>20_30 (27)</b>	0,41	0,16	27(27)	15(27)	23(27)	0	0,41	0,16	188,12	0,46
<b>30_30 (18)</b>	0,77	0,43	18(18)	7(18)	12(18)	0	0,77	0,43	487,31	0,83
<b>30_40 (27)</b>	-0,14	-0,67	24(27)	10(27)	17(27)	2,15	2,23	1,71	1797,47	1,93
<b>Ortalama</b>	<b>0,37</b>	<b>0,05</b>	<b>132(135)</b>	<b>73 (135)</b>	<b>105 (135)</b>	<b>0,43</b>	<b>0,85</b>	<b>0,53</b>	<b>486,78</b>	<b>0,7</b>

Çizelge 4.8’e göre ortalama çözüm süresi 0,7 sn olup ulaşılan sonuçlara ilişkin değerlendirmeler şu şekildedir:



- ÖM\_GE'nin alt sınır değerleri ile DTB'nin sonuçları karşılaştırıldığında,
  - Ortalama değerlere göre 135 problemin 73'ünde (%54,07) optimal sonuçlara ulaşılırken, 62 problemde uygun çözümler elde edilmiştir. Optimal çözümlerden ortalama sapma değeri 135 problem için %0,37; 62 problem için ortalama %0,82'dir.
  - En büyük değerlere göre 135 problemin 105'inde (%77,78) optimal sonuçlara ulaşılırken, 20 problemde uygun çözümler elde edilmiştir. Optimal çözümlerden sapma 135 problem için ortalama %0,05, 20 problem için ortalama %0,35'tir.
- ÖM\_GE'nin üst sınır değerleri ile DTB'nin sonuçları karşılaştırıldığında sapma değeri, ortalama değerlere göre %0,83, en büyük değerlere göre ise %0,53'tür.

Yukarıda verilen sonuçlara DTB ile önemli oranlarda optimal çözümlere ulaşılmış, optimal çözümlerin bulunamadığı problemlerde ise optimale oldukça yakın sonuçlar elde edilmiştir. Dolayısıyla DTB'nin çözüm kalitesi ve süresi bakımından performansının oldukça başarılı olduğu görülmektedir.

**Çizelge 4.9.** Orta boyutlu problemlerin önerilen DTB yaklaşımı ile çözüm sonuçları

$n_1 - n_2$	YSDA <sup>ORT</sup>	YSDA <sup>ENB</sup>	OÇUPS			YSD	YSDÜ <sup>ORT</sup>	YSDÜ <sup>ENB</sup>	OÇS	
			ÖM_GE	ORT	ENB				ÖM_GE	DTB
40_40 (18)	-3,79	-4,69	12(18)	10(18)	10(18)	15,34	14,06	13,42	2894,1	3,84
40_50 (27)	-7,39	-9,22	11(27)	7(27)	9 (27)	20,96	17,35	16,19	5010,24	6,62
50_50 (18)	-4,81	-11,91	3(18)	0(18)	2(18)	27,17	24,63	19,92	6717,28	14,04
50_60 (27)	-7,09	-15,08	3(27)	1 (27)	2(27)	32,29	28,45	24,25	7041,31	19,41
60_60 (18)	-15,59	-17,83	4(18)	2(27)	4(18)	37,22	29,63	28,43	6664,73	28,88
<b>Ortalama</b>	<b>-7,65</b>	<b>-11,81</b>	<b>32(108)</b>	<b>22(108)</b>	<b>27(108)</b>	<b>26,6</b>	<b>22,84</b>	<b>20,41</b>	<b>5725,57</b>	<b>14,3</b>

Çizelge 4.9'a göre ortalama çözüm süresi 14,3 sn olup ulaşılan sonuçlara ilişkin değerlendirmeler şu şekildedir:

- ÖM\_GE'nin alt sınır değerleri ile DTB'nin sonuçları karşılaştırıldığında,
  - Ortalama değerlere göre 108 problemin 22'sinde (%20,37) optimal sonuçlara ulaşılırken, 86 problemde uygun çözümler elde edilmiştir. Optimal çözümlerden ortalama sapma değeri 135 problem için %-7,65; 86 problem için ortalama %-9,61'dir.
  - En büyük değerlere göre 108 problemin 27'sinde(%25) optimal sonuçlara ulaşılırken, 83 problemde uygun çözümler elde edilmiştir. Optimal çözümlerden sapma 108 problem için ortalama %-11,82, 83

problem için ortalama %-15,37'dir. Sapma değerlerinin eksi (-) ile ifade edilmesi önerilen DTB'nin, ÖM\_GE'ye göre daha iyi çözümler (alt sınırlar) elde ettiği anlamına gelmektedir.

- ÖM\_GE'nin üst sınır değerleri ile DTB'nin sonuçları karşılaştırıldığında sapma değeri, ortalama değerlere göre %22,84, en büyük değerlere göre ise %20,41'dir.

**Çizelge 4.10.** Büyük boyutlu problemlerin önerilen DTB yaklaşımı ile çözüm sonuçları

$n_1 - n_2$	YSDA <sup>ORT</sup>	YSDA <sup>ENB</sup>	YSD	YSDÜ <sup>ORT</sup>	YSDÜ <sup>ENB</sup>	OÇS	
						ÖM_GE	DTB
60-70 (27)	-12,31	-15,26	25,39	19,02	17,33	7200	31,63
70-70 (18)	-10,99	-12,14	26,59	21,19	20,51	7200	64,01
70-80 (27)	-7,16	-8,51	40,45	36,45	35,65	7200	80,94
80-80 (18)	-5,77	-8,06	60,16	58,37	57,49	7200	97,98
80-90 (27)	-9,88	-12,99	53,99	50,33	48,91	7200	99,22
90-90 (18)	-8,94	-10,97	52,17	49,78	48,81	7200	101,15
90-100 (27)	-9,27	-11,71	57,89	54,53	53,89	7200	103,06
100-100 (18)	-10,52	-13,49	63,77	62,48	61,55	7200	111,55
<b>Ortalama</b>	<b>-9,42</b>	<b>-11,74</b>	<b>46,93</b>	<b>43,23</b>	<b>42,2</b>	<b>7200</b>	<b>84,7</b>

Çizelge 4.10'a göre ortalama çözüm süresi 84,7 sn olup, 180 problemin tamamı için uygun çözümler elde edilmiştir. Ulaşılan sonuçlara ilişkin değerlendirmeler şu şekildedir:

- ÖM\_GE'nin alt sınır değerleri ile DTB'nin sonuçları karşılaştırıldığında,
  - Ortalama değerlere göre optimal çözümlerden ortalama sapma değeri % -9,42'dir.
  - En büyük değerlere göre ortalama sapma değeri %-11,74'tür.
- ÖM\_GE'nin üst sınır değerleri ile DTB'nin sonuçları karşılaştırıldığında sapma değeri, ortalama değerlere göre %43,23, en büyük değerlere göre ise %42,2'dir.

Yapılan analizlere göre, önerilen DTB yaklaşımı ile kısa sürelerde oldukça etkin sonuçlara ulaşıldığı, çözüm kalitesinin problem boyutu büyüdükçe arttığı görülmektedir.

Çizelge 4.8, Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10'da verilmiş olan sonuçların yanısıra bahsedilmesi gereken bazı önemli hususlar söz konusu olup, ilgili hususlar aşağıda maddelenmiştir:

- EK-8 ve EK-9 incelendiğinde küçük ve orta boyutlu problemlerde bazı optimal çözümlerin değerinin sıfır olduğu görülmektedir. Optimal sonucun

sıfır çıkması, ürünlerin demontajının hiçbir şekilde kar getirmediği ve bu nedenle ürünlerin demontajını yapmamanın en doğru karar olduğu anlamına gelmektedir. Buna bağlı olarak böyle problemler için verilecek karar bölüm 4.2.3'te belirtildiği gibi hatların açılmaması yönünde olmaktadır.

- EK-9 ve EK-10 incelendiğinde, ÖM\_GE ile optimal çözümlerin bulunamadığı beş problemde alt sınır değerlerinin sıfır olduğu görülmüştür. İlgili problemler için alt sınır değerlerinin geliştirilemediği düşünülmüş, fakat önerilen DTB yaklaşımı ile de aynı sonuçların elde edilmesi nedeniyle ilgili problemler için alt sınır değerleri sıfır olarak kabul edilmiştir.

#### 4.2.3. Paralel hatların toplam net geri kazanım karı üzerindeki etkisinin araştırılması

Bu bölümde proses alternatifleri içeren paralel hatların birbirinden bağımsız dengelenmesinin yerine eş zamanlı olarak dengelenmesinin toplam net geri kazanım karı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, hatların birbirinden bağımsız dengelenmesiyle ulaşılan sonuçlar PDHD\_PA'nın sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Performans kriteri olarak performans iyileştirme oranı ( $PİO$ ) kullanılmış ve Denklem (4.7)'ye göre hesaplanmıştır.  $PİO$ , paralel hatların eş zamanlı olarak dengelenmesi ile elde edilen optimal çözümün ( $Z_{par}$ ) hatların bağımsız dengelenmelerinde elde edilen çözümden ( $Z_{bağ}$ ) sapma değeridir.

$$PİO = 100 \times \frac{(Z_{par} - Z_{bağ})}{Z_{bağ}} \quad (4.7)$$

Optimal sonucun elde edildiği 132 küçük boyutlu problem üzerinde gerekli analizler yapılarak elde edilen sonuçlar Çizelge 4.11'de verilmiştir. İlgili çizelgede birinci, üçüncü ve beşinci sütunlar test problemlerini, ikinci, dördüncü ve altıncı sütunlar  $PİO$  değerlerini göstermektedir. Ondokuzuncu ve yirmisekizinci satırlarda yer alan ortalama değerleri her problem setinin ortalama  $PİO$  değerini, son satırda bulunan ortalama değeri ise 132 problem için ortalama  $PİO$  değerini göstermektedir.

Çizelge 4.11. Hatların bağımsız ve eş zamanlı dengelenmesinin toplam net geri kazanım kar üzerindeki etkisi

Test Problemleri	PİO	Test Problemleri	PİO	Test Problemleri	PİO
P10_10_1_1_1	0	P20_20_1_1_1	35,63	P30_30_1_1_1	0
P10_10_1_1_2	17,45	P20_20_1_1_2	0	P30_30_1_1_2	55,45
P10_10_1_1_3	100	P20_20_1_1_3	259,95	P30_30_1_1_3	13,41
P10_10_1_2_1	15,03	P20_20_1_2_1	38,85	P30_30_1_2_1	0
P10_10_1_2_2	4,78	P20_20_1_2_2	104,67	P30_30_1_2_2	51,49
P10_10_1_2_3	0	P20_20_1_2_3	78,82	P30_30_1_2_3	28,99
P10_10_1_3_1	12,08	P20_20_1_3_1	21,04	P30_30_1_3_1	0
P10_10_1_3_2	19,75	P20_20_1_3_2	33,57	P30_30_1_3_2	16,38
P10_10_1_3_3	100	P20_20_1_3_3	219,7	P30_30_1_3_3	13,92
P10_10_2_2_1	0	P20_20_2_2_1	29,23	P30_30_2_2_1	12,32
P10_10_2_2_2	0	P20_20_2_2_2	222,71	P30_30_2_2_2	41,22
P10_10_2_2_3	0	P20_20_2_2_3	14,38	P30_30_2_2_3	100
P10_10_2_3_1	8,74	P20_20_2_3_1	16,56	P30_30_2_3_1	15,14
P10_10_2_3_2	16,21	P20_20_2_3_2	124,03	P30_30_2_3_2	17,11
P10_10_2_3_3	0	P20_20_2_3_3	40,25	P30_30_2_3_3	42,65
P10_10_3_3_1	13,42	P20_20_3_3_1	8,74	P30_30_3_3_1	23,31
P10_10_3_3_2	43,09	P20_20_3_3_2	43,62	P30_30_3_3_2	9,53
P10_10_3_3_3	100	P20_20_3_3_3	32,2	P30_30_3_3_3	24,95
<b>Ortalama</b>	<b>25,03</b>	<b>Ortalama</b>	<b>73,55</b>	<b>Ortalama</b>	<b>25,88</b>
P10_20_1_1_1	17,79	P20_30_1_1_1	0	P30_40_1_1_1	0
P10_20_1_1_2	11,43	P20_30_1_1_2	8,5	P30_40_1_1_2	72,84
P10_20_1_1_3	271,4	P20_30_1_1_3	39,28	P30_40_1_1_3	9,55
P10_20_1_2_1	14,48	P20_30_1_2_1	20,52	P30_40_1_2_1	0
P10_20_1_2_2	29,78	P20_30_1_2_2	5,92	P30_40_1_2_2	91,84
P10_20_1_2_3	24,46	P20_30_1_2_3	346,89	P30_40_1_2_3	0
P10_20_1_3_1	7,5	P20_30_1_3_1	29,44	P30_40_1_3_1	0
P10_20_1_3_2	17,25	P20_30_1_3_2	3,02	P30_40_1_3_2	44,58
P10_20_1_3_3	72,09	P20_30_1_3_3	80,01	P30_40_1_3_3	15,5
P10_20_2_1_1	28,35	P20_30_2_1_1	0	P30_40_2_1_1	32,3
P10_20_2_1_2	0	P20_30_2_1_2	88,35	P30_40_2_1_2	65,13
P10_20_2_1_3	1,78	P20_30_2_1_3	19,88	P30_40_2_1_3	17,68
P10_20_2_2_1	38,31	P20_30_2_2_1	11,24	P30_40_2_2_2	65,75
P10_20_2_2_2	96,26	P20_30_2_2_2	80,75	P30_40_2_2_3	0
P10_20_2_2_3	0,74	P20_30_2_2_3	45	P30_40_2_3_2	38,1
P10_20_2_3_1	17,39	P20_30_2_3_1	33,54	P30_40_2_3_3	28,69
P10_20_2_3_2	0	P20_30_2_3_2	22,93	P30_40_3_1_1	46,26
P10_20_2_3_3	0	P20_30_2_3_3	29,51	P30_40_3_1_2	19,11
P10_20_3_1_1	16,13	P20_30_3_1_1	0	P30_40_3_1_3	18,94
P10_20_3_1_2	21,17	P20_30_3_1_2	54,76	P30_40_3_2_1	27,51
P10_20_3_1_3	458,08	P20_30_3_1_3	23,5	P30_40_3_2_2	23,11
P10_20_3_2_1	16,69	P20_30_3_2_1	11,78	P30_40_3_2_3	0
P10_20_3_2_2	89,93	P20_30_3_2_2	37,92	P30_40_3_3_2	13,08
P10_20_3_2_3	56,86	P20_30_3_2_3	117,35	P30_40_3_3_3	14,41
P10_20_3_3_1	14,68	P20_30_3_3_1	14,84		
P10_20_3_3_2	49	P20_30_3_3_2	12,71		
P10_20_3_3_3	235,6	P20_30_3_3_3	29,07		
<b>Ortalama</b>	<b>59,52</b>	<b>Ortalama</b>	<b>43,21</b>	<b>Ortalama</b>	<b>26,85</b>
<b>ORTALAMA</b>					<b>42,87</b>

Çizelge 4.11'e göre hatların eş zamanlı dengelenmesi durumunda elde edilen toplam net geri kazanım karının, hatların bağımsız dengelenmesi durumunda elde edilen toplam net geri kazanım karından fazla veya eşit olduğu görülmektedir. Buna göre, optimal çözümlerin elde edildiği 132 adet test probleminden 21 tanesinde eş zamanlı dengeleme ile bağımsız dengelenme sonuçları birbirine eşitken, 101 tanesinde hatların eş zamanlı dengelenmesiyle daha iyi sonuçların elde edildiği görülmektedir.

İyileştirmenin gözlemlendiği problemlerin *PİO* değerlerinin ortalaması yaklaşık %56,03 olarak hesaplanmıştır. İlgili oran bütün problemler için

değerlendirildiğinde ise %42,87 olarak bulunmaktadır. Hesaplanan ilgili oranlara göre paralel hatların eş zamanlı dengelenmesinin sistemin verimliliğini arttırdığı ve toplam net geri kazanım karı üzerinde oldukça etkin olduğu açıkça görülmektedir.



## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

Özellikle büyük boyutlu ürünlerin demontajının gerçekleştirilmesinde asistanların yardımına ve çeşitli ekipmanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bazı demontaj görevlerinin gerçekleştirilebilmesi için birden fazla alternatif seçenek (proses alternatifi) ortaya çıkabilmektedir. Bu durumda görevlerin yanısıra kaynakların da istasyonlara atanmaları problemlerinin eş zamanlı olarak ele alınması gerekmektedir. Demontaj sürecinde kullanılan kaynaklar demontaja özgü olan çözme ve yıkıcı eylemlere göre belirlenmektedirler. DHD problemine ilişkin literatür incelendiğinde proses alternatiflerinin, ilgili eylemlere ve bu eylemlere bağlı olarak ortaya çıkan ekipman ve asistan gereksinimine göre belirlendiği herhangi bir çalışmanın yapılmadığı gözlemlenmiştir. Literatürde eksik kalan bu konuya ve bu konuda çalışma yapmak isteyen araştırmacılara katkıda bulunmak amacıyla, bu çalışmada demontaj sürecinin planlanmasında ve işleyişinde oldukça etkin olan ve literatürde ilk kez ele alınan, tek modelli, deterministik görev zamanlı, kısmi demontaja izin veren Proses Alternatifli Paralel Demontaj Hattı Dengeleme (PDHD\_PA) Problemi dikkate alınmıştır.

Önerilen PDHD\_PA probleminin varsayımları ve kısıtları tanımlanarak 0-1 tamsayılı doğrusal programlama modeli önerilmiştir. İlgili problemin çözümüyle gerçekleştirilecek görevlerin ve kullanılacak kaynakların belirlenmelerinin yanısıra hangi demontaj eyleminin de yapılacağına karar verilmektedir. Bu şekilde etkili bir demontaj planı için gerekli olan önemli veriler elde edilmiş olmaktadır.

Önerilen matematiksel modelin 7200 sn süre sınırı içinde çözümü ile geliştirilen 423 adet test problemi için optimal çözümler aranmıştır. Belirlenen süre sınırları içerisinde optimal çözümün bulunamadığı problemlerin çözüm süresini kısaltmak ve elde edilen üst sınırları iyileştirmek amacıyla geçerli eşitsizlikler tanımlanmış ve daha iyi alt sınır değerlerine ulaşmak için DHD literatüründe ilk kez ele alınan DTB yaklaşımı önerilmiştir.

Kullanılan geçerli eşitsizliklerin matematiksel model üzerindeki etkisi gevşetilmiş yüzde sapma değeri ve ortalama çözüm süreleri bakımından analiz edilmiştir. İlgili analizlere göre geçerli eşitsizliklerin, yüzde sapma değerlerinin iyileştirilmesinde oldukça etkin oldukları görülmüştür.

Küçük boyutlu problemler kullanılarak önerilen matematiksel modelin sonuçları (ÖM) ile ilgili modele geçerli eşitsizliklerin eklenip 2 saat süre sınırı dahilinde tamsayılı çözülmesiyle (ÖM\_GE) elde edilen sonuçlar yüzde sapma değeri, ortalama çözüm süresi ve optimal çözüme ulaşılan problem sayısı bakımından karşılaştırılmışlardır. Küçük boyutlu test problemlerinde elde edilen optimal çözümlerin sayısı artarken, orta ve büyük boyutlu problemlerde oldukça iyi üst sınırlar elde edilmiştir.

Önerilen 0-1 tamsayılı matematiksel model ile 423 problemin 164'ünde (%38,77), önerilen DTB yaklaşımıyla oldukça kısa sürelerde YSD(ORT)'a göre 95(%22,46), YSD(ENB)'ye göre 132 (%31,21) problemde optimal sonuçlara ulaşılmıştır. Uygun çözümlerin bulunduğu problemler için ise önerilen DTB'nin çözümü ile ulaşılan çözümlerin önerilen matematiksel modelin sonuçlarından genel olarak daha yüksek olduğu kullanılan performans ölçütleriyle gösterilmiştir. Sonuç olarak çok kısa süreler içerisinde probleme iyi çözümler veren DTB'nin, PDHD\_PA'nın çözümünde etkin bir şekilde kullanılabilceği görülmüştür.

Çalışmada ayrıca optimal çözümlerin elde edildiği 132 küçük boyutlu problem çözülerek, hatların eş zamanlı dengelenmesinin bağımsız dengelemeye göre toplam net geri kazanım karı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Yapılan araştırma sonucunda paralel hatların eş zamanlı dengelenmesiyle toplam net geri kazanım karı üzerinde ortalama %42,87 iyileşme olduğu ortaya koyulmuştur. Buna göre birden fazla demontaj hattının yerleştirildiği ve aynı anda kullanıldığı geri kazanım tesislerinde kaynak kullanımından tasarruf edilerek sistem verimliliğinden en yüksek oranlarda yararlanabilmek için ilgili hatların eş zamanlı olarak dengelenmeleri gerektiği açıkça görülmektedir.

## 5.2. Öneriler

Yapılan tez çalışmasının gelecekte yapılacak çalışmalar için gelişmeye açık bazı noktaları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Demontaj sürecinin en karakteristik özelliklerinden birinin belirsizlik olması nedeniyle, bu durumu yansıtmak amacıyla görev zamanı, talep, gelir gibi problem parametrelerinin olasılıklı olduğu durumlar incelenebilir.

- Daha iyi üst sınırlar elde edebilmek amacıyla geçerli eşitsizlikler geliştirilebilir.
- Daha sıkı alt sınırlar elde edebilmek amacıyla önerilen DTB farklı metasezgisel yaklaşımlarla birleştirilerek uygulanabilir.
- Gerçek hayatta bu tür problemler için birden fazla çelişen amaç söz konusu olabilir. Bu durumda çok amaçlı PDHD\_PA dikkate alınabilir.
- Demontaj özgü eylemlerin ve proses alternatiflerinin değerlendirilmesi literatürde henüz çalışılmamış olan çift taraflı DHD problemleri için ele alınabilir.





## KAYNAKLAR

- Agrawal, S. ve Tiwari, M. K., 2008, A collaborative ant colony algorithm to stochastic mixed-model U-shaped disassembly line balancing and sequencing problem, *International Journal of Production Research*, 46 (6), 1405-1429.
- Altekin, F. T., Kandiller, L. ve Ozdemirel, N. E., 2008, Profit-oriented disassembly-line balancing, *International Journal of Production Research*, 46 (10), 2675-2693.
- Altekin, F. T. ve Akkan, C., 2012, Task-failure-driven rebalancing of disassembly lines, *International Journal of Production Research*, 50 (18), 4955-4976.
- Altekin, F. T., Bayindir, Z. P. ve Gumuskaya, V., 2016, Remedial actions for disassembly lines with stochastic task times, *Computers & Industrial Engineering*, 99, 78-96.
- Attiya, G. ve Hamam, Y., 2006, Task allocation for maximizing reliability of distributed systems: A simulated annealing approach, *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 66 (10), 1259-1266.
- Avikal, S., Jain, R. ve Mishra, P. K., 2013, A heuristic for U-shaped disassembly line balancing problems, *International Journal of Mechanical Engineering*, 3 (1), 51-56.
- Avikal, S., Jain, R. ve Mishra, P. K., 2014a, A Kano model, AHP and M-TOPSIS method-based technique for disassembly line balancing under fuzzy environment, *Applied Soft Computing*, 25, 519-529.
- Avikal, S., Mishra, P. K. ve Jain, R., 2014b, A Fuzzy AHP and PROMETHEE method-based heuristic for disassembly line balancing problems, *International Journal of Production Research*, 52 (5), 1306-1317.
- Aydemir-Karadag, A. ve Turkbey, O., 2013, Multi-objective optimization of stochastic disassembly line balancing with station paralleling, *Computers & Industrial Engineering*, 65 (3), 413-425.
- Baykasoglu, A., Ozbakir, L., Gorkemli, L. ve Gorkemli, B., 2009, Balancing Parallel Assembly Lines via Ant Colony Optimization, *Cie: 2009 International Conference on Computers and Industrial Engineering, Vols 1-3*, 506-+.
- Baykasoglu, A., Ozbakir, L., Gorkemli, L. ve Gorkemli, B., 2012, Multi-colony ant algorithm for parallel assembly line balancing with fuzzy parameters, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 23 (6), 283-295.
- Bentaha, M. L., Battaia, O. ve Dolgui, A., 2014, A sample average approximation method for disassembly line balancing problem under uncertainty, *Computers & Operations Research*, 51, 111-122.

- Bentaha, M. L., Battaia, O. ve Dolgui, A., 2015a, An exact solution approach for disassembly line balancing problem under uncertainty of the task processing times, *International Journal of Production Research*, 53 (6), 1807-1818.
- Bentaha, M. L., Battaia, O., Dolgui, A. ve Hu, S. J., 2015b, Second order conic approximation for disassembly line design with joint probabilistic constraints, *European Journal of Operational Research*, 247 (3), 957-067.
- Bentaha, M. L., Dolgui, A. ve Battaia, O., 2015c, A bibliographic review of production line design and balancing under uncertainty, *Ifac Papersonline*, 48 (3), 70-75.
- Benzer, R., Gokcen, H., Cetinyokus, T. ve Cercioğlu, H., 2007, A network model for parallel line balancing problem, *Mathematical Problems in Engineering*.
- Brennan, L., Gupta, S. M. ve Taleb, K. N., 1994, Operations Planning Issues in an Assembly Disassembly Environment, *International Journal of Operations & Production Management*, 14 (9), 57-67.
- Cakir, B., Altıparmak, F. ve Dengiz, B., 2011, Multi-objective optimization of a stochastic assembly line balancing: A hybrid simulated annealing algorithm, *Computers & Industrial Engineering*, 60 (3), 376-384.
- Cercioğlu, H., Özcan, U., Gokcen, H. ve Toklu, B., 2009, A Simulated Annealing Approach for Parallel Assembly Line Balancing Problem, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 24 (2), 331-341.
- Cerny, V., 1985, Thermodynamical Approach to the Traveling Salesman Problem - an Efficient Simulation Algorithm, *Journal of Optimization Theory and Applications*, 45 (1), 41-51.
- Colledani, M. ve Battaia, O., 2016, A decision support system to manage the quality of End-of-Life products in disassembly systems, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 65 (1), 41-44.
- Das, S. K., Yedlarajiah, P. ve Narendra, R., 2000, An approach for estimating the end-of-life product disassembly effort and cost, *International Journal of Production Research*, 38 (3), 657-673.
- Das, S. K. ve Naik, S., 2002, Process planning for product disassembly, *International Journal of Production Research*, 40 (6), 1335-1355.
- Ding, L. P., Feng, Y. X., Tan, J. R. ve Gao, Y. C., 2010, A new multi-objective ant colony algorithm for solving the disassembly line balancing problem, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 48 (5-8), 761-771.
- Duta, L., Filip, F. G. ve Henrioud, J. M., 2005, Applying equal piles approach to disassembly line balancing problem International Federation of Automatic Control Conference. 38: 152-157.

- Etgar, R., Shtub, A. ve LeBlanc, L. J., 1997, Scheduling projects to maximize net present value - The case of time-dependent, contingent cash flows, *European Journal of Operational Research*, 96 (1), 90-96.
- Ghandi, S. ve Masehian, E., 2015, Review and taxonomies of assembly and disassembly path planning problems and approaches, *Computer-Aided Design*, 67-68, 58-86.
- Gharan, S. O. ve Vondrak, J., 2011, Submodular Maximization by Simulated Annealing, *Proceedings of the Twenty-Second Annual Acm-Siam Symposium on Discrete Algorithms*, 1098-1116.
- Gokcen, H., Agpak, K. ve Benzer, R., 2006, Balancing of parallel assembly lines, *International Journal of Production Economics*, 103 (2), 600-609.
- Guden, H. ve Meral, S., 2013, An Adaptive Simulated Annealing Method for Type-One Simple Assembly Line Balancing: A Real Life Case Study, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28 (4), 897-908.
- Guden, H. ve Meral, S., 2016, An adaptive simulated annealing algorithm-based approach for assembly line balancing and a real-life case study, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 84 (5-8), 1539-1559.
- Gungor, A. ve Gupta, S. M., 1999, Issues in environmentally conscious manufacturing and product recovery: a survey, *Computers & Industrial Engineering*, 36 (4), 811-853.
- Gungor, A. ve Gupta, S. M., 2001, A solution approach to the disassembly line balancing problem in the presence of task failures, *International Journal of Production Research*, 39 (7), 1427-1467.
- Gungor, A. ve Gupta, S. M., 2002, Disassembly line in product recovery, *International Journal of Production Research*, 40 (11), 2569-2589.
- Gungor, A., 2006, Evaluation of connection types in design for disassembly (DFD) using analytic network process, *Computers & Industrial Engineering*, 50 (1-2), 35-54.
- Gupta, S. M. ve Taleb, K. N., 1994, Scheduling Disassembly, *International Journal of Production Research*, 32 (8), 1857-1866.
- Güner, E. ve Altıparmak, F., 2003, İki Ölçütlü Tek Makinalı Çizelgeleme Problemi İçin Sezgisel Bir Yaklaşım *Journal of Faculty Engineering Architecture Gazi University*, 18 (3), 27-42.
- Hazır, Ö., Delorme, X. ve Dolgui, A., 2015, A review of cost and profit oriented line design and balancing problems and solution approaches, *Annual Reviews in Control*, 40, 14-24.

- Hezer, S. ve Kara, Y., 2015, A network-based shortest route model for parallel disassembly line balancing problem, *International Journal of Production Research*, 53 (6), 1849-1865.
- Ilgın, M. A. ve Gupta, S. M., 2010, Environmentally conscious manufacturing and product recovery (ECMPRO): A review of the state of the art, *J Environ Manage*, 91 (3), 563-591.
- Jayaswal, S. ve Agarwal, P., 2014, Balancing U-shaped assembly lines with resource dependent task times: A Simulated Annealing approach, *Journal of Manufacturing Systems*, 33 (4), 522-534.
- Jiang, Q., Song, G., Cong, G., Wang, Y., Si, W. ve Xie, K., 2011, Simulated Annealing Based Influence Maximization in Social Networks. AAAI'11 Proceedings of the Twenty-Fifth AAAI Conference on Artificial Intelligence. San Francisco, California: 127-132.
- Kalayci, C. B., Gupta, S. M. ve Nakashima, K., 2012, A Simulated Annealing Algorithm for Balancing a Disassembly Line, In: Design for Innovative Value Towards a Sustainable Society, Eds: Matsumoto M, U. Y., Masui K, Fukushige Springer Netherlands, p. 714-719.
- Kalayci, C. B. ve Gupta, S. M., 2013a, Ant colony optimization for sequence-dependent disassembly line balancing problem *International Journal of Agile Management Systems merged into Integrated Manufacturing Systems*, 24 (3), 413-427.
- Kalayci, C. B. ve Gupta, S. M., 2013b, Artificial bee colony algorithm for solving sequence-dependent disassembly line balancing problem, *Expert Systems with Applications*, 40 (18), 7231-7241.
- Kalayci, C. B. ve Gupta, S. M., 2013c, A particle swarm optimization algorithm with neighborhood-based mutation for sequence-dependent disassembly line balancing problem, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 69 (1), 197-209.
- Kalayci, C. B. ve Gupta, S. M., 2013d, A tabu search algorithm for balancing a sequence-dependent disassembly line, *Production Planning & Control*, 25 (2), 149-160.
- Kalayci, C. B., Polat, O. ve Gupta, S. M., 2015a, A variable neighbourhood search algorithm for disassembly lines, *Journal of Manufacturing Technology Management*, 26 (2), 182-194.
- Kalayci, C. B., Hancilar, A., Gungor, A. ve Gupta, S. M., 2015b, Multi-objective fuzzy disassembly line balancing using a hybrid discrete artificial bee colony algorithm, *Journal of Manufacturing Systems*, 37, 672-682.

- Kalayci, C. B., Polat, O. ve Gupta, S. M., 2016, A hybrid genetic algorithm for sequence-dependent disassembly line balancing problem, *Annals of Operations Research*, 242 (2), 321-354.
- Kalaycilar, E. G., Azizoglu, M. ve Yeralan, S., 2016, A disassembly line balancing problem with fixed number of workstations, *European Journal of Operational Research*, 249 (2), 592-604.
- Kara, Y., Gokcen, H. ve Atasagun, Y., 2010, Balancing parallel assembly lines with precise and fuzzy goals, *International Journal of Production Research*, 48 (6), 1685-1703.
- Kara, Y., Özgüven, C., Yalçın, N. ve Atasagun, Y., 2011, Balancing straight and U-shaped assembly lines with resource dependent task times, *International Journal of Production Research*, 49 (21), 6387-6405.
- Karaoglan, I., Altıparmak, F., Kara, I. ve Dengiz, B., 2012, The location-routing problem with simultaneous pickup and delivery: Formulations and a heuristic approach, *Omega-International Journal of Management Science*, 40 (4), 465-477.
- Kesen, S. E., Das, S. K. ve Gungor, Z., 2010, A genetic algorithm based heuristic for scheduling of virtual manufacturing cells (VMCs), *Computers & Operations Research*, 37 (6), 1148-1156.
- Kim, H. J., Lee, D. H. ve Xirouchakis, P., 2007, Disassembly scheduling: literature review and future research directions, *International Journal of Production Research*, 45 (18-19), 4465-4484.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D. ve Vecchi, M. P., 1983, Optimization by Simulated Annealing, *Science*, 220 (4598), 671-680.
- Koc, A., Sabuncuoglu, I. ve Erel, E., 2009, Two exact formulations for disassembly line balancing problems with task precedence diagram construction using an AND/OR graph, *Iie Transactions*, 41 (10), 866-881.
- Lambert, A. J. D., 1997, Optimal disassembly of complex products, *International Journal of Production Research*, 35 (9), 2509-2523.
- Lambert, A. J. D., 2003, Disassembly sequencing: a survey, *International Journal of Production Research*, 41 (16), 3721-3759.
- Lambert, A. J. D. ve Gupta, S. M., 2005, Disassembly modeling for assembly, maintenance, reuse, and recycling *London*, CRC Press, p. 419.
- Lusa, A., 2008, A survey of the literature on the multiple or parallel assembly line balancing problem, *European Journal of Industrial Engineering*, 2 (1), 50-72.

- McGovern, S. M. ve Gupta, S. M., 2004, 2-opt heuristic for the disassembly line balancing problem, *Environmentally Conscious Manufacturing Iii*, 5262, 71-84.
- McGovern, S. M. ve Gupta, S. M., 2006, Deterministic hybrid and stochastic combinatorial optimization treatments of an electronic product disassembly line, In: Applications of Management Science: In Productivity, Finance, and Operations Eds: Kenneth D. Lawrence, R. K. K.: Emerald Group Publishing Limited, p. 175-197.
- McGovern, S. M. ve Gupta, S. M., 2007a, A balancing method and genetic algorithm for disassembly line balancing, *European Journal of Operational Research*, 179 (3), 692-708.
- McGovern, S. M. ve Gupta, S. M., 2007b, Combinatorial optimization analysis of the unary NP-complete disassembly line balancing problem, *International Journal of Production Research*, 45 (18-19), 4485-4511.
- McGovern, S. M. ve Gupta, S. M., 2011, *The Disassembly Line: Balancing and Modeling*, New York: McGraw Hill, p.
- McMullen, P. R. ve Frazier, G. V., 1998, Using simulated annealing to solve a multiobjective assembly line balancing problem with parallel workstations, *International Journal of Production Research*, 36 (10), 2717-2741.
- Mete, S., Cil, Z. A., Agpak, K., Ozceylan, E. ve Dolgui, A., 2016, A solution approach based on beam search algorithm for disassembly line balancing problem, *Journal of Manufacturing Systems*, 41, 188-200.
- Metropolis, N., Rosenbluth, A. W., N., R. M. ve Teller, A. H., 1953, Equation of State Calculations by Fast Computing Machines *The Journal Of Chemical Physics*, 21 (6), 1087-1092.
- Ozbakir, L., Baykasoglu, A., Gorkemli, B. ve Gorkemli, L., 2011, Multiple-colony ant algorithm for parallel assembly line balancing problem, *Applied Soft Computing*, 11 (3), 3186-3198.
- Ozcan, U., Cercioglu, H., Gokcen, H. ve Toklu, B., 2009, A Tabu Search Algorithm for the Parallel Assembly Line Balancing Problem *Gazi University Journal of Science*, 22 (4), 313-323.
- Ozcan, U., Cercioglu, H., Gokcen, H. ve Toklu, B., 2010, Balancing and sequencing of parallel mixed-model assembly lines, *International Journal of Production Research*, 48 (17), 5089-5113.
- Paksoy, T., Gungor, A., Ozceylan, E. ve Hancilar, A., 2013, Mixed model disassembly line balancing problem with fuzzy goals, *International Journal of Production Research*, 51 (20), 6082-6096.

- Riggs, R. J., Battaia, O. ve Hu, S. J., 2015, Disassembly line balancing under high variety of end of life states using a joint precedence graph approach, *Journal of Manufacturing Systems*, 37, 638-648.
- Scholl, A. ve Boysen, N., 2009, Designing parallel assembly lines with split workplaces: Model and optimization procedure, *International Journal of Production Economics*, 119 (1), 90-100.
- Tuncel, E., Zeid, A. ve Kamarthi, S., 2014, Solving large scale disassembly line balancing problem with uncertainty using reinforcement learning, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 25 (4), 647-659.
- Ullerich, C., 2014, Advanced Disassembly Planning, Gabler Verlag, p. 391.
- Van Laarhoven, P. J. ve Aarts, E. H. L., 1987, Simulated Annealing: Theory and Applications, *Amsterdam*, Reidel Publishers, p. 2.
- Yigit, V., Aydin, M. E. ve Turkbey, O., 2006, Solving large-scale uncapacitated facility location problems with evolutionary simulated annealing, *International Journal of Production Research*, 44 (22), 4773-4791.



**EKLER**



## EK-1. Demontaj hattı dengeleme problemlerinin sınıflandırılması-2

Kaynaklar	Amaç/Amaçlar	Çözüm Yöntemi
Gungor ve Gupta (2001)	Hattın işleyişinde karşılaşılabilecek görev hatalarının etkilerini en küçükleyecek şekilde görevlerin istasyonlara atanmasıdır.	Sezgisel
Gungor ve Gupta (2002)	<ul style="list-style-type: none"> <li>İstasyon sayısının en küçüklenmesi,</li> <li>Tehlikeli parçaların mümkün olabildiğince ilk istasyonlara atanması</li> <li>Talebi yüksek olan parçaların mümkün olabildiğince ilk istasyonlara atanması</li> <li>Aynı demontaj hareket yönüne sahip parçaların birlikte çıkarılmasıdır.</li> </ul>	Sezgisel
McGovern ve Gupta (2004)	<ul style="list-style-type: none"> <li>İstasyon sayısının en küçüklenmesi,</li> <li>İstasyonların iş yüklerinin dengelenmesi,</li> <li>Tehlikeli parçaların olabildiğince erken demonte edilmesi,</li> <li>Talebi yüksek olan parçaların olabildiğince erken demonte edilmesidir.</li> </ul>	AG/2-opt
Duta ve ark. (2005)	<ul style="list-style-type: none"> <li>İstasyonların iş yüklerinin dengelenmesidir.</li> </ul>	EY
McGovern ve Gupta (2006)	<ul style="list-style-type: none"> <li>İstasyon sayısının en küçüklenmesi,</li> <li>İstasyonların iş yüklerinin dengelenmesi,</li> <li>Tehlikeli parçaların mümkün olabildiğince ilk istasyonlara atanması</li> <li>Talebi yüksek olan parçaların mümkün olabildiğince ilk istasyonlara atanması</li> <li>Aynı demontaj hareket yönüne sahip parçaların birlikte çıkarılmasıdır.</li> </ul>	KKO
McGovern ve Gupta (2007a)	<ul style="list-style-type: none"> <li>İstasyon sayısının en küçüklenmesi,</li> <li>İstasyonların iş yüklerinin dengelenmesi,</li> <li>Tehlikeli parçaların mümkün olabildiğince ilk istasyonlara atanması</li> <li>Talebi yüksek olan parçaların mümkün olabildiğince ilk istasyonlara atanması</li> <li>Aynı demontaj hareket yönüne sahip parçaların birlikte çıkarılmasıdır.</li> </ul>	GA
Megovern ve Gupta (2007b)	<ul style="list-style-type: none"> <li>İstasyon sayısının en küçüklenmesi,</li> <li>İstasyonların iş yüklerinin dengelenmesi,</li> <li>Tehlikeli parçaların mümkün olabildiğince ilk istasyonlara atanması,</li> <li>Talebi yüksek olan parçaların mümkün olabildiğince ilk istasyonlara atanması,</li> <li>Aynı demontaj hareket yönüne sahip parçaların birlikte çıkarılmasıdır.</li> </ul>	TM, GA, KKO AG, AG/TT, AG/2-opt
Agrawal ve Tiwari (2008)	<ul style="list-style-type: none"> <li>İstasyon boş zamanlarının ve sayısının en küçüklenmesi,</li> <li>Hattın etkinliğini en büyükmek amacıyla hattın durma olasılığının en küçüklenmesidir.</li> </ul>	İKKO
Altekin ve ark. (2008)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Toplam net karın en büyükmesidir.</li> </ul>	KTP, üst ve alt sınır planları
Koc ve ark. (2009)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Toplam istasyon sayısının en küçüklenmesidir.</li> </ul>	TDP ve DP
Ding ve ark. (2010)	<ul style="list-style-type: none"> <li>İstasyon sayısının en küçüklenmesi,</li> <li>İstasyonların iş yüklerinin dengelenmesi,</li> <li>Talebi yüksek olan parçaların olabildiğince erken demonte edilmesidir.</li> </ul>	ÇAKKO
Altekin ve Akkan (2012)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verilen istasyon sayısı için birim ürtün başına düşen karın en büyükmesidir</li> </ul>	KTP, ÖRY
Kalayci ve ark. (2012)	<ul style="list-style-type: none"> <li>İstasyon sayısının en küçüklenmesi,</li> <li>İstasyon iş yüklerinin dengelenmesi,</li> <li>Tehlikeli parçaların mümkün olabildiğince ilk istasyonlara atanması</li> <li>Talebi yüksek olan parçaların mümkün olabildiğince ilk istasyonlara atanmasıdır.</li> </ul>	TB
Aydemir-Karadag ve Turkbey (2013)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Denge ölçütünün ve paralel istasyon/istasyonların eklenmesi durumunda ortaya çıkan ilave ekipman ve işgücü maliyetinden oluşan hattın tasarım maliyetinin en küçüklenmesidir.</li> </ul>	TDP, GA, HP
Paksoy ve ark. (2013)	<ul style="list-style-type: none"> <li>İstasyon sayısının en küçüklenmesi</li> <li>Çevrim zamanının en küçüklenmesi</li> <li>İstasyon yüklerinin dengelenmesidir.</li> </ul>	BHP, BÇAP
Avikal ve ark. (2013)	<ul style="list-style-type: none"> <li>İstasyon sayısının ve boş zamanın en küçüklenmesi</li> </ul>	U-tipi sezgisel yaklaşım
Kalayci ve Gupta (2013a)	<ul style="list-style-type: none"> <li>İstasyon sayısının en küçüklenmesi,</li> <li>İstasyon iş yüklerinin dengelenmesi,</li> <li>Tehlikeli parçaların mümkün olabildiğince ilk istasyonlara atanması</li> <li>Talebi yüksek olan parçaların mümkün olabildiğince ilk istasyonlara atanmasıdır.</li> </ul>	KKO
Kalayci ve Gupta (2013b)	<ul style="list-style-type: none"> <li>İstasyon sayısının en küçüklenmesi,</li> <li>İstasyon iş yüklerinin dengelenmesi,</li> <li>Tehlikeli parçaların mümkün olabildiğince ilk istasyonlara atanması</li> <li>Talebi yüksek olan parçaların mümkün olabildiğince ilk istasyonlara atanmasıdır.</li> </ul>	YAK
Kalayci ve Gupta (2013c)	<ul style="list-style-type: none"> <li>İstasyon sayısının en küçüklenmesi,</li> <li>İstasyon iş yüklerinin dengelenmesi,</li> <li>Tehlikeli parçaların mümkün olabildiğince ilk istasyonlara atanması</li> <li>Talebi yüksek olan parçaların mümkün olabildiğince ilk istasyonlara atanmasıdır.</li> </ul>	PSO
Kalayci ve Gupta (2013d)	<ul style="list-style-type: none"> <li>İstasyon sayısının en küçüklenmesi,</li> <li>İstasyon iş yüklerinin dengelenmesi,</li> <li>Tehlikeli parçaların mümkün olabildiğince ilk istasyonlara atanması</li> <li>Talebi yüksek olan parçaların mümkün olabildiğince ilk istasyonlara atanmasıdır.</li> </ul>	TA
Tuncel ve ark. (2014)	<ul style="list-style-type: none"> <li>İstasyon sayısının en küçüklenmesi,</li> <li>İstasyon iş yüklerinin dengelenmesi,</li> <li>Tehlikeli parçaların mümkün olabildiğince ilk istasyonlara atanması</li> <li>Talebi yüksek olan parçaların mümkün olabildiğince ilk istasyonlara atanmasıdır.</li> </ul>	PÖT
Avikal ve ark. (2014a)	<ul style="list-style-type: none"> <li>İstasyon sayısının en küçüklenmesi</li> </ul>	Kano modeli, BAHP ve M- TOPSIS tabanlı bir yaklaşım

**EK-1.(Devam)**

<b>Kaynaklar</b>	<b>Amaç/Amaçlar</b>	<b>Çözüm Yöntemi</b>
Avikal ve ark. (2014b)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Verilen çevrim zamanı için boş zamanın en küçüklenmesidir.</li></ul>	BAHP, PROMETHEE
Bentaha ve ark. (2014)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Görev maliyetlerinden ve çevrim zamanının aşılması durumunda ortaya çıkan ceza maliyetinden oluşan hattın maliyetinin en küçüklenmesidir.</li></ul>	Monte Carlo öğrenme tekniği ile L-Şekilli algoritmanın birleştirildiği bir yaklaşım
Kalayci ve ark. (2015a)	<ul style="list-style-type: none"><li>• İstasyon sayısının ve boş zamanın en küçüklenmesi,</li><li>• Tehlikeli parçaların mümkün olduğunca ilk istasyonlara atanması</li><li>• Talebi yüksek olan parçaların mümkün olduğunca ilk istasyonlara atanmasıdır.</li></ul>	DKA
Kalayci ve ark. (2015b)	<ul style="list-style-type: none"><li>• İstasyon sayısının ve boş zamanın en küçüklenmesi,</li><li>• Tehlikeli parçaların mümkün olduğunca ilk istasyonlara atanması</li><li>• Talebi yüksek olan parçaların mümkün olduğunca ilk istasyonlara atanmasıdır.</li></ul>	HYAK
Riggs ve ark. (2015)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Toplam iş istasyon süreleri arasındaki maksimum farkın en küçüklenmesidir.</li></ul>	KTP
Bentaha ve ark. (2015a)	<ul style="list-style-type: none"><li>• İstasyon işletme maliyetlerinden ve tehlikeli parçaların demontajına bağlı ortaya çıkan ek maliyetlerden oluşan hattın maliyetinin en küçüklenmesidir.</li></ul>	KTP
Bentaha ve ark. (2015b)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Toplam net karın en büyüklenmesidir.</li></ul>	KTP
Hezer ve Kara (2015)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Toplam istasyon sayısının en küçüklenmesidir.</li></ul>	EKY tabanlı ağ modeli
Kalaycılar ve ark. (2016)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Toplam net gelirin en büyüklenmesidir.</li></ul>	KTP, üst ve alt sınır planları
Kalayci ve ark. (2016)	<ul style="list-style-type: none"><li>• İstasyon sayısının ve boş zamanın en küçüklenmesi,</li><li>• Tehlikeli parçaların mümkün olduğunca ilk istasyonlara atanması</li><li>• Talebi yüksek olan parçaların mümkün olduğunca ilk istasyonlara atanmasıdır.</li></ul>	HGA
Colledani ve Battaia (2016)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Toplam net karın en büyüklenmesidir.</li></ul>	KDS
Mete ve ark. (2016)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Toplam istasyon sayısının en küçüklenmesidir.</li></ul>	IA
Altekin ve ark. (2016)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Beklenen karın en büyüklenmesidir.</li></ul>	MIP

**EK-2. Geçerli eşitsizliklerin küçük boyutlu problemlerin her birinin üzerindeki etkisi**

Test Problemleri	GYSD				CPU			
	DG(ÖM)	DG(ÖM) <sup>1</sup>	DG(ÖM_GE)	KDG(ÖM_GE)	DG(ÖM)	DG(ÖM) <sup>1</sup>	DG(ÖM_GE)	KDG(ÖM_GE)
P10_10_1_1_1	20,15	20,15	11,58	7,28	0,02	0,02	0,02	0,75
P10_10_1_1_2	13,03	13,03	7,81	5,62	0	0,02	0,02	0,7
P10_10_1_1_3	98,24	97,4	94,55	57,28	0,02	0,02	0,02	0,75
P10_10_1_2_1	35,24	21,43	9,83	7,9	0,02	0,02	0,02	0,76
P10_10_1_2_2	42,41	32,55	21,48	4,3	0,02	0,02	0,03	0,76
P10_10_1_2_3	100	100	100	100	0,02	0,02	0,02	0,7
P10_10_1_3_1	14,95	10,01	4,62	3,9	0	0,02	0	0,75
P10_10_1_3_2	36,74	32,18	24,28	9,92	0,05	0,05	0,03	0,2
P10_10_1_3_3	79,1	71,69	56,39	5,32	0,02	0,02	0,02	0,08
P10_10_2_2_1	100	100	100	100	0,02	0,02	0,02	0,08
P10_10_2_2_2	100	100	100	100	0	0,02	0,02	0,05
P10_10_2_2_3	100	100	100	100	0,02	0,02	0,02	0,03
P10_10_2_3_1	48,86	28,7	24,1	22,43	0,02	0,02	0,02	0,05
P10_10_2_3_2	65,63	56,11	44,83	28,11	0,02	0,02	0,02	0,14
P10_10_2_3_3	100	100	100	100	0	0,02	0,02	0,06
P10_10_3_3_1	19,41	8,25	8,18	5,23	0,02	0,02	0,02	0,05
P10_10_3_3_2	46,34	39,32	29,17	16,9	0,02	0,02	0,02	0,09
P10_10_3_3_3	76,97	70,32	61,34	14,87	0	0,02	0	0,06
P10_20_1_1_1	45,92	32,11	18,34	15,69	0,02	0,03	0,02	0,13
P10_20_1_1_2	58,96	41,39	20,45	13,37	0,02	0,02	0,03	0,14
P10_20_1_1_3	79,01	71,25	55,69	41,76	0,02	0,02	0,03	0,13
P10_20_1_2_1	49,42	32,46	18,4	18,05	0,02	0,03	0,02	0,13
P10_20_1_2_2	48,35	44,16	32,41	15,47	0,02	0,02	0,02	0,12
P10_20_1_2_3	77,61	65,81	54,26	17,51	0,02	0,02	0,02	0,22
P10_20_1_3_1	27,97	17,99	6,14	4,69	0,02	0,02	0,02	0,08
P10_20_1_3_2	56,74	36,11	20,1	9,62	0,02	0,02	0,03	0,13
P10_20_1_3_3	86,7	80,19	57,23	23,45	0,02	0,02	0,02	0,11
P10_20_2_1_1	75,14	59,38	46,03	43,11	0,02	0,02	0,02	0,11
P10_20_2_1_2	100	100	100	100	0,02	0,02	0,05	0,11
P10_20_2_1_3	93,4	90,72	85,24	67,15	0,02	0,02	0,03	0,06
P10_20_2_2_1	75,95	56,78	40,8	38,24	0,02	0,02	0,02	0,09
P10_20_2_2_2	83,43	78,23	67,19	50,01	0,02	0,02	0,02	0,14
P10_20_2_2_3	78,2	64,35	52,04	21,59	0,02	0,02	0,03	0,06
P10_20_2_3_1	38,92	19,68	4,88	3,4	0,02	0,02	0,03	0,13
P10_20_2_3_2	90,72	79,47	62,16	18,24	0,02	0,02	0,03	0,17
P10_20_2_3_3	90,66	85,26	61,3	17,05	0,02	0,02	0,02	0,06
P10_20_3_1_1	53,05	36,58	26,18	22,86	0,02	0,03	0,02	0,22
P10_20_3_1_2	74,06	61,8	45,65	23,61	0,03	0,02	0,03	0,37
P10_20_3_1_3	69,66	60,13	44,54	32,01	0,02	0,02	0,02	0,13
P10_20_3_2_1	54,92	34,63	23,69	21,8	0,02	0,02	0,02	0,12
P10_20_3_2_2	52,18	45,43	31,1	18,95	0,02	0,02	0,02	0,17
P10_20_3_2_3	73,22	61,65	54,16	27,32	0,02	0,02	0,03	0,16
P10_20_3_3_1	26,67	12,61	2,58	1,78	0,02	0,02	0,03	0,14
P10_20_3_3_2	64,39	46,17	29,41	14,08	0,02	0,03	0,03	0,39
P10_20_3_3_3	75,48	65,67	41,28	16,95	0,02	0,02	0,02	0,11
P20_20_1_1_1	66,73	50,23	34,83	33,74	0,03	0,05	0,05	0,16
P20_20_1_1_2	100	100	100	100	0,02	0,03	0,03	0,16
P20_20_1_1_3	72,93	63,81	47,81	35,92	0,02	0,02	0,03	0,11
P20_20_1_2_1	67,93	49,74	33,16	30,71	0,03	0,05	0,05	0,33
P20_20_1_2_2	87,78	81,13	67,2	47,92	0,02	0,03	0,05	0,37
P20_20_1_2_3	72,57	61,31	49,1	38,16	0,03	0,02	0,03	0,42
P20_20_1_3_1	43,8	26,15	10,46	9,99	0,03	0,08	0,05	0,33
P20_20_1_3_2	90,82	78,72	52,98	11,01	0,02	0,02	0,03	0,44
P20_20_1_3_3	71,09	59,46	33,07	14,23	0,02	0,02	0,03	0,2
P20_20_2_2_1	71,4	51,9	35,77	27,84	0,02	0,05	0,03	0,09

EK-2. (Devam)

Test Problemleri	GYSD				CPU			
	DG(ÖM)	DG(ÖM) <sup>1</sup>	DG(ÖM_GE)	KDG(ÖM_GE)	DG(ÖM)	DG(ÖM) <sup>1</sup>	DG(ÖM_GE)	KDG(ÖM_GE)
P20_20_2_2_2	64,46	58,46	41,66	25,54	0,02	0,03	0,02	0,13
P20_20_2_2_3	68,89	52,34	45,55	20,57	0,02	0,03	0,03	0,13
P20_20_2_3_1	47,57	28,32	13,19	11,47	0,02	0,05	0,03	0,44
P20_20_2_3_2	74,56	59,91	39,48	21,95	0,03	0,03	0,03	0,27
P20_20_2_3_3	72,97	58,74	37,92	14,84	0,02	0,02	0,02	0,22
P20_20_3_3_1	33,31	19,05	5,72	4,98	0,02	0,05	0,02	0,19
P20_20_3_3_2	83,36	63,31	37,48	8,28	0,02	0,03	0,05	0,19
P20_20_3_3_3	85,07	77,02	69,77	63,87	0,02	0,03	0,03	0,11
P20_30_1_1_1	89,35	75,91	64,26	62,36	0,03	0,17	0,08	0,61
P20_30_1_1_2	87	77,54	66,91	62,56	0,02	0,06	0,05	0,67
P20_30_1_1_3	68,11	63,75	59,16	55,12	0,02	0,06	0,05	0,31
P20_30_1_2_1	51,33	30,31	12,75	12,37	0,05	0,06	0,06	1,17
P20_30_1_2_2	78	66,94	44,21	31,6	0,03	0,05	0,09	1,47
P20_30_1_2_3	78,35	77,27	75,25	74,85	0,03	0,03	0,05	0,52
P20_30_1_3_1	61,95	37,12	20,23	18,7	0,03	0,09	0,09	0,76
P20_30_1_3_2	56,49	43,03	25,11	16,84	0,05	0,05	0,06	0,92
P20_30_1_3_3	68,3	57,7	37,57	21,96	0,02	0,05	0,08	0,62
P20_30_2_1_1	90,32	76,43	64,21	55,01	0,03	0,14	0,06	0,55
P20_30_2_1_2	72,9	60,78	47,49	39,65	0,02	0,06	0,05	0,66
P20_30_2_1_3	61,66	59,01	54,42	50,41	0,03	0,06	0,05	0,44
P20_30_2_2_1	56,69	35,2	19,19	16,11	0,05	0,09	0,09	1,22
P20_30_2_2_2	56,91	47,85	25,13	14,63	0,03	0,03	0,09	0,76
P20_30_2_2_3	86,11	85,41	83,86	82,98	0,05	0,08	0,05	0,34
P20_30_2_3_1	62,09	34,53	17,17	12,87	0,03	0,08	0,09	0,98
P20_30_2_3_2	47,01	38,07	23,06	13,49	0,03	0,05	0,05	1,03
P20_30_2_3_3	65,98	60,32	57,77	55,06	0,02	0,05	0,06	1,17
P20_30_3_1_1	67,51	42,23	25,83	25,2	0,03	0,14	0,09	0,48
P20_30_3_1_2	77,81	61,58	46,75	42,24	0,05	0,05	0,08	1
P20_30_3_1_3	81,73	79,47	76,78	74,78	0,02	0,05	0,03	0,34
P20_30_3_2_1	36,5	27,53	19,48	7,36	0,05	0,17	0,08	0,62
P20_30_3_2_2	68,32	51,5	26,12	14,34	0,05	0,06	0,11	0,73
P20_30_3_2_3	94,76	94,05	93,52	93,04	0,03	0,05	0,05	0,5
P20_30_3_3_1	46,41	22,45	7,37	6,3	0,03	0,11	0,08	1,05
P20_30_3_3_2	52,98	36,62	19,62	12,54	0,03	0,06	0,06	0,86
P20_30_3_3_3	73,3	62,39	36,68	17,8	0,03	0,05	0,06	1,19
P30_30_1_1_1	100	100	100	100	0,05	0,75	0,2	0,52
P30_30_1_1_2	75,89	61,77	49,92	43,8	0,03	0,23	0,14	1,51
P30_30_1_1_3	61,04	42,29	17,81	16,49	0,03	0,09	0,09	0,19
P30_30_1_2_1	73,45	46,75	27,91	25,2	0,06	0,41	0,14	2,11
P30_30_1_2_2	67,59	53,36	36,2	30,95	0,08	0,11	0,11	2,06
P30_30_1_2_3	68,72	50,35	26,46	19,72	0,06	0,08	0,08	0,59
P30_30_1_3_1	82,45	58,89	42,85	39,71	0,05	0,53	0,14	2,28
P30_30_1_3_2	58,93	45,61	32,77	24,99	0,05	0,14	0,08	2,64
P30_30_1_3_3	65,64	51,63	29,19	16,03	0,05	0,09	0,09	2,54
P30_30_2_2_1	41,62	18,9	1,41	0,81	0,05	0,25	0,13	0,67
P30_30_2_2_2	55,37	44,51	19,16	9,18	0,09	0,14	0,17	0,83
P30_30_2_2_3	89,49	79,87	65,93	58,46	0,06	0,05	0,08	0,2
P30_30_2_3_1	51,95	24,6	7,54	6,84	0,05	0,22	0,16	0,9
P30_30_2_3_2	45,7	35,65	18,26	9,96	0,08	0,09	0,14	2,89
P30_30_2_3_3	74,69	62,69	42,35	26,63	0,03	0,05	0,08	1,17
P30_30_3_3_1	59,82	28,72	11,71	9,91	0,05	0,31	0,2	0,67
P30_30_3_3_2	39,67	30,12	16,54	6,82	0,05	0,13	0,09	0,78
P30_30_3_3_3	67,7	56,74	34,61	11,14	0,03	0,05	0,08	0,81
P30_40_1_1_1	98,65	95,48	93,01	89,23	0,08	0,83	0,23	3,34
P30_40_1_1_2	78,19	54,47	43	29,85	0,03	0,19	0,12	2,45
P30_40_1_1_3	54,87	41,65	19,03	14,65	0,08	0,17	0,14	0,92

**EK-2. (Devam)**

Test Problemleri	GYSD				CPU			
	DG(ÖM)	DG(ÖM) <sup>1</sup>	DG(ÖM_GE)	KDG(ÖM_GE)	DG(ÖM)	DG(ÖM) <sup>1</sup>	DG(ÖM_GE)	KDG(ÖM_GE)
P30_40_1_2_1	97,08	90,45	84,18	79,78	0,05	0,5	0,45	4,79
P30_40_1_2_2	74,08	55,15	38,94	27,78	0,05	0,34	0,12	5,29
P30_40_1_2_3	76,64	56,37	27,54	24,17	0,03	0,14	0,06	0,44
P30_40_1_3_1	94,97	88,2	82,53	75,53	0,05	0,78	0,44	40,12
P30_40_1_3_2	67,58	50,73	34,47	30,16	0,05	0,22	0,13	2,82
P30_40_1_3_3	66,14	43,37	10,84	8,98	0,06	0,16	0,13	0,64
P30_40_2_1_1	62,03	29,28	12,37	8,08	0,06	0,42	0,3	3,85
P30_40_2_1_2	70,24	40,72	21,92	10,8	0,22	0,13	0,13	2,4
P30_40_2_1_3	58,44	46,03	23,87	20,97	0,06	0,08	0,11	1,09
P30_40_2_2_1	72,56	46,2	29,79	28,15	0,06	0,33	0,36	3,81
P30_40_2_2_2	68,86	50,3	28,35	20,98	0,08	0,19	0,13	5,23
P30_40_2_2_3	100	100	100	100	0,02	0,09	0,06	1
P30_40_2_3_1	69,9	52,07	39,25	30,91	0,08	0,5	0,44	35,57
P30_40_2_3_2	56,26	40,7	16,71	8,89	0,08	0,19	0,16	2,5
P30_40_2_3_3	80,43	62,27	31,2	21,98	0,06	0,11	0,16	0,98
P30_40_3_1_1	71,74	38,73	22,94	16,09	0,06	0,44	0,23	4,77
P30_40_3_1_2	60,16	33,92	22,08	12,75	0,08	0,27	0,11	3,32
P30_40_3_1_3	55	44,22	20,99	12,83	0,06	0,14	0,14	3,32
P30_40_3_2_1	76,58	47,48	30,18	26,31	0,05	0,25	0,33	6,44
P30_40_3_2_2	58,98	41,3	25,44	17,92	0,06	0,23	0,09	7,24
P30_40_3_2_3	83,04	70,78	49,37	9,28	0,03	0,06	0,08	1,39
P30_40_3_3_1	76,77	58,44	46,64	39,01	0,06	0,56	1,55	25,97
P30_40_3_3_2	48,81	35,1	18,81	11,75	0,06	0,19	0,22	2,15
P30_40_3_3_3	72,05	56,02	28,44	9,7	0,05	0,08	0,14	2,75
<b>ORTALAMA</b>	<b>67,71</b>	<b>54,72</b>	<b>40,64</b>	<b>30,68</b>	<b>0,04</b>	<b>0,11</b>	<b>0,09</b>	<b>1,73</b>

**EK-3. Geçerli eşitsizliklerin orta boyutlu problemlerin her birinin üzerindeki etkisi**

Test Problemleri	GYSD				CPU			
	DG(ÖM)	DG(ÖM) <sup>1</sup>	DG(ÖM_GE)	KDG(ÖM_GE)	DG(ÖM)	DG(ÖM) <sup>1</sup>	DG(ÖM_GE)	KDG(ÖM_GE)
P40_40_1_1_1	85,92	57,86	45,24	34,45	0,08	0,48	0,56	1,65
P40_40_1_1_2	78,48	30,45	20,89	1,22	0,06	0,44	0,16	0,8
P40_40_1_1_3	49,09	39,95	17,92	13,15	0,11	0,3	0,39	1,4
P40_40_1_2_1	90,8	72,58	61,39	48,55	0,09	0,41	0,83	24,12
P40_40_1_2_2	79,51	51,59	36,44	20,44	0,05	0,3	0,2	2,45
P40_40_1_2_3	65,81	50,44	25,66	18,92	0,03	0,14	0,19	1,53
P40_40_1_3_1	90,53	79,43	72,67	63,04	0,09	0,53	1,09	60,28
P40_40_1_3_2	70,13	37,42	20,26	8,4	0,05	0,22	0,19	5,15
P40_40_1_3_3	59,42	43,51	16,56	10,46	0,14	0,27	0,3	2,5
P40_40_2_2_1	92,68	78,28	67,44	61,53	0,09	0,48	0,83	3,82
P40_40_2_2_2	77,25	56,67	38,1	28,67	0,06	0,45	0,16	0,92
P40_40_2_2_3	100	100	100	100	0,03	0,19	0,09	0,14
P40_40_2_3_1	91,01	80,07	71,97	63,62	0,09	0,61	0,81	73,21
P40_40_2_3_2	70,34	50,02	30,3	25,75	0,05	0,67	0,17	4,98
P40_40_2_3_3	85,35	64,07	13,19	9,1	0,05	0,17	0,14	1,01
P40_40_3_3_1	90,37	82,48	76,34	66,42	0,11	0,76	1,01	48,49
P40_40_3_3_2	59,1	39,95	17,91	11,02	0,08	0,14	0,28	0,98
P40_40_3_3_3	75,13	50,89	6,36	2,85	0,12	0,14	0,28	0,56
P40_50_1_1_1	68,44	38,23	21,52	15,35	0,09	0,48	0,55	14,62
P40_50_1_1_2	64,34	37,28	21,22	17,55	0,11	0,3	0,19	3,62
P40_50_1_1_3	60,88	48,23	23,54	19,36	0,09	0,38	0,42	10,66
P40_50_1_2_1	77,61	44,22	37,47	35,43	0,16	0,62	0,27	9,97
P40_50_1_2_2	67,33	36,2	20,28	4,52	0,08	0,36	0,44	4,93
P40_50_1_2_3	61,74	47,6	22,21	18,25	0,08	0,19	0,25	3,37
P40_50_1_3_1	52,8	28,16	16,68	12,13	0,09	0,48	0,33	23,04
P40_50_1_3_2	87,74	70,21	51,63	46,87	0,09	0,66	0,34	6,35
P40_50_1_3_3	51,31	41,07	18,65	9	0,09	0,2	0,22	8,41
P40_50_2_1_1	71,11	42,53	23,77	19,79	0,09	0,69	0,42	24,91
P40_50_2_1_2	62,86	42,27	23,23	17,53	0,08	0,44	0,22	27,68
P40_50_2_1_3	82,88	70,53	48,29	36,44	0,06	0,25	0,16	4,32
P40_50_2_2_1	81,67	53,65	45,08	41,62	0,09	0,61	0,31	68,81
P40_50_2_2_2	71,03	52,48	35,84	25,11	0,08	0,52	0,42	12,53
P40_50_2_2_3	92,59	85,41	71,78	62,94	0,05	0,22	0,17	2,64
P40_50_2_3_1	57,48	32,8	19,48	15,99	0,09	1,22	0,73	31,73
P40_50_2_3_2	87,47	75,67	58,73	53,83	0,06	0,5	0,3	33,46
P40_50_2_3_3	69,09	53,06	27,73	6,6	0,08	0,17	0,34	3
P40_50_3_1_1	70,94	49,58	34,88	26,85	0,11	0,84	0,27	24,36
P40_50_3_1_2	55,59	37,03	17,33	14,33	0,06	0,28	0,25	8,44
P40_50_3_1_3	74,22	58,44	30,22	22,35	0,06	0,33	0,25	6,54
P40_50_3_2_1	79,01	57,16	49,49	41,88	0,11	0,81	0,58	45,8
P40_50_3_2_2	57,37	37,8	17,42	11,35	0,06	0,31	0,42	3,57
P40_50_3_2_3	77,55	60,36	30,1	23,3	0,05	0,28	0,22	2,12
P40_50_3_3_1	57,69	39,85	28,25	21,26	0,12	0,89	0,37	39,19
P40_50_3_3_2	80,03	65,33	42,22	36,02	0,06	0,53	0,47	11,53
P40_50_3_3_3	62,72	46,15	18,95	4,93	0,14	0,17	0,27	5,43
P50_50_1_1_1	58,09	28,22	8,86	7,28	0,13	0,91	0,19	2,71
P50_50_1_1_2	51,76	32,68	13,15	8,8	0,11	0,33	0,34	6,4
P50_50_1_1_3	71,69	58,08	32,02	30,21	0,06	0,69	0,34	2,61
P50_50_1_2_1	66,54	36,37	25,05	20,81	0,11	1,36	0,36	70,43
P50_50_1_2_2	56,66	38,58	20,5	16,62	0,11	0,34	0,38	9,08
P50_50_1_2_3	74,73	60,66	34,85	29,64	0,09	0,56	0,37	17,83
P50_50_1_3_1	49	26,15	12,12	9,91	0,13	0,97	0,33	34,23
P50_50_1_3_2	69,71	52,01	29,42	25,61	0,11	0,38	0,28	41,53
P50_50_1_3_3	63,64	50,96	27,25	20,72	0,09	0,3	0,51	19,5
P50_50_2_2_1	70,39	32,27	28,08	24,42	0,11	1,01	0,25	77,66

EK-3. (Devam)

Test Problemleri	GYSD				CPU			
	DG(ÖM)	DG(ÖM) <sup>1</sup>	DG(ÖM_GE)	KDG(ÖM_GE)	DG(ÖM)	DG(ÖM) <sup>1</sup>	DG(ÖM_GE)	KDG(ÖM_GE)
P50_50_2_2_2	59,33	40,99	23,22	15,65	0,09	0,19	0,61	1,92
P50_50_2_2_3	78,01	63,49	37,71	35,15	0,06	0,52	0,41	1,31
P50_50_2_3_1	55,35	30,15	22,23	19,21	0,17	1,15	0,3	44,69
P50_50_2_3_2	74,27	56,75	32,8	26,38	0,09	0,28	0,52	13,24
P50_50_2_3_3	65,65	51,68	27,42	16,56	0,14	0,2	0,3	12,11
P50_50_3_3_1	38,19	22,05	11,18	8,08	0,19	1,01	0,45	10,27
P50_50_3_3_2	94,49	89	76,65	73,43	0,13	1,48	0,61	10,22
P50_50_3_3_3	55,24	44,3	22,2	13,4	0,16	0,14	0,67	2,28
P50_60_1_1_1	68,08	47,47	36,63	32,48	0,16	1,9	0,31	59,24
P50_60_1_1_2	80,59	64,95	43,67	37,34	0,09	0,59	0,28	38,1
P50_60_1_1_3	87,94	80,03	62,2	58,97	0,06	0,78	0,3	18,72
P50_60_1_2_1	75,42	37,69	15,45	9,19	0,11	1,53	0,23	6,63
P50_60_1_2_2	65,01	46,72	28,84	21,36	0,08	0,58	0,37	58,95
P50_60_1_2_3	75,49	61,42	35,91	30,45	0,06	0,78	0,25	27,47
P50_60_1_3_1	60,44	30,59	15,94	9,59	0,13	1,37	0,2	63,15
P50_60_1_3_2	60,96	42,78	20,07	16,49	0,08	0,36	0,73	43,54
P50_60_1_3_3	76,14	62,41	36,68	30,17	0,06	0,58	0,33	19,27
P50_60_2_1_1	67,92	41,47	33,05	29,9	0,11	1,75	0,39	30,28
P50_60_2_1_2	86,41	73,09	52,58	43,35	0,08	0,72	0,73	19,97
P50_60_2_1_3	90,63	83,33	66,33	59,86	0,08	0,69	0,2	15,57
P50_60_2_2_1	86,92	54,72	46,97	40,98	0,09	1,26	0,27	11,3
P50_60_2_2_2	68,3	49,88	32,26	21,96	0,09	0,44	0,84	21,45
P50_60_2_2_3	80,1	66,79	43,12	39,78	0,06	0,41	0,22	5,8
P50_60_2_3_1	69,06	38,52	31,43	24,49	0,14	1,81	0,33	72,71
P50_60_2_3_2	64,46	46,51	23,42	18,79	0,09	0,41	0,23	20,11
P50_60_2_3_3	82,41	70,39	48	44,09	0,08	0,86	0,28	6,9
P50_60_3_1_1	52,19	31,15	20,38	16,05	0,14	3,14	0,38	25,69
P50_60_3_1_2	100	100	100	100	0,08	0,8	0,36	75,49
P50_60_3_1_3	80	69,68	48,42	37,2	0,08	0,73	0,36	20,11
P50_60_3_2_1	61,25	26,72	12,53	8,6	0,14	1,56	0,37	8,27
P50_60_3_2_2	81,45	67,21	48,65	39,8	0,09	0,47	1,08	91,67
P50_60_3_2_3	68,97	55,01	31,06	20,99	0,13	1,15	0,61	18,77
P50_60_3_3_1	50,72	26,94	16,25	11,02	0,14	1,73	0,36	39,67
P50_60_3_3_2	76,67	60,37	32,62	26,57	0,09	0,47	1,15	60,33
P50_60_3_3_3	70,71	57,46	33,8	24,06	0,11	0,41	0,56	18,1
P60_60_1_1_1	66,98	46,28	36,45	32,82	0,16	7,22	0,45	16,63
P60_60_1_1_2	100	100	100	100	0,09	1,98	0,27	13,14
P60_60_1_1_3	100	100	100	100	0,06	0,5	0,3	6,8
P60_60_1_2_1	78,84	53,44	42,89	37,31	0,12	4,2	0,31	30,64
P60_60_1_2_2	88,05	75,9	58,15	47,79	0,08	0,97	0,66	114,61
P60_60_1_2_3	92,52	86,68	73,42	69	0,08	0,61	0,41	22,51
P60_60_1_3_1	68,39	46,54	37,62	31,48	0,14	3,45	0,38	69,27
P60_60_1_3_2	85,73	72,4	47,85	39,58	0,09	1,15	0,55	10,28
P60_60_1_3_3	95,15	91,29	81,99	78,48	0,08	0,34	0,3	17,08
P60_60_2_2_1	100	100	100	100	0,19	2,45	0,28	0,58
P60_60_2_2_2	70,63	50,89	31,75	18,37	0,09	0,95	0,5	23,84
P60_60_2_2_3	82,65	70,75	49,49	46,59	0,11	0,31	0,23	1,67
P60_60_2_3_1	81,09	48,72	36,41	26,4	0,19	1,47	0,28	15,57
P60_60_2_3_2	69,3	50,79	28,23	19,77	0,08	1,36	0,87	62,49
P60_60_2_3_3	83,86	72,6	51,65	48,09	0,08	0,34	0,34	10,2
P60_60_3_3_1	65,71	37,67	27,89	19,02	0,14	1,78	0,33	82,56
P60_60_3_3_2	67,19	48,83	20,76	18,17	0,11	0,86	0,56	10,83
P60_60_3_3_3	85,73	75,48	55,24	50,78	0,06	0,87	0,28	2,7
<b>ORTALAMA</b>	<b>73,31</b>	<b>55,12</b>	<b>37,74</b>	<b>31,36</b>	<b>0,1</b>	<b>0,83</b>	<b>0,4</b>	<b>22,79</b>

**EK-4. Geçerli eşitsizliklerin büyük boyutlu problemlerin her birinin üzerindeki etkisi**

Test Problemleri	GYSD				CPU			
	DG(ÖM)	DG(ÖM) <sup>1</sup>	DG(ÖM_GE)	KDG(ÖM_GE)	DG(ÖM)	DG(ÖM) <sup>1</sup>	DG(ÖM_GE)	KDG(ÖM_GE)
P60_70_1_1_1	81,18	66,72	61,9	59,42	0,19	7,97	0,59	37,39
P60_70_1_1_2	93,99	87,13	77	76,31	0,09	1,05	0,22	21,14
P60_70_1_1_3	79,39	67,65	48,76	47,91	0,08	0,62	0,41	46,49
P60_70_1_2_1	65,77	45,91	35,35	31,65	0,23	8,21	0,62	90,38
P60_70_1_2_2	84,49	71,17	53,84	49,12	0,11	1,51	0,47	98,97
P60_70_1_2_3	75,89	62,47	55,19	42,6	0,09	0,33	0,37	10,44
P60_70_1_3_1	63,13	40,99	33,57	31	0,2	8,38	0,64	56,88
P60_70_1_3_2	84,17	64,93	42,79	40,68	0,09	0,98	0,25	53,82
P60_70_1_3_3	97,05	94,2	86,78	86,48	0,11	0,91	1,37	43,6
P60_70_2_1_1	88,6	65,77	59,42	57,03	0,22	3,98	0,3	36,75
P60_70_2_1_2	79,87	65,04	51,46	48,55	0,09	0,86	0,23	84,85
P60_70_2_1_3	69,35	53,6	38,68	32,37	0,09	0,64	0,39	23,84
P60_70_2_2_1	78,58	50,57	35,21	27,3	0,27	3,95	0,45	70,06
P60_70_2_2_2	70,12	52,4	35,57	29,12	0,13	0,95	0,34	106,96
P60_70_2_2_3	65,84	49,11	39,17	29,49	0,19	0,3	0,47	8,77
P60_70_2_3_1	66,91	33,27	24,62	23,49	0,22	4,95	0,45	108,76
P60_70_2_3_2	68,62	44,75	28,33	24,69	0,14	0,8	0,25	54,58
P60_70_2_3_3	89,7	81,04	70,95	65,28	0,14	0,7	0,75	19,33
P60_70_3_1_1	76,82	55,41	49,69	45,7	0,2	2,34	0,39	103,29
P60_70_3_1_2	79,41	65,44	54,53	50,04	0,11	0,97	0,23	96,88
P60_70_3_1_3	71,59	57,07	36,66	35,57	0,08	0,48	0,34	18
P60_70_3_2_1	64,13	40,2	28,45	23,88	0,23	3,95	0,5	78,28
P60_70_3_2_2	71,2	55,42	36,94	34,9	0,12	1,86	0,41	67,47
P60_70_3_2_3	67,25	51,21	38,39	32,03	0,17	0,36	0,44	4,59
P60_70_3_3_1	58,24	30,57	22,73	19,4	0,2	9,47	0,55	99,42
P60_70_3_3_2	66,8	43,9	31,04	23,46	0,11	0,58	0,36	54,88
P60_70_3_3_3	91,77	84,62	76,07	71,02	0,08	0,36	0,7	20,03
P70_70_1_1_1	86,96	73,42	69,63	67	0,25	4,31	0,45	90,46
P70_70_1_1_2	86,64	75,46	69,56	63,9	0,11	1,45	0,25	8,64
P70_70_1_1_3	63,17	47,79	26,34	26,09	0,09	0,8	0,16	12,79
P70_70_1_2_1	73,28	52,99	42,89	38,98	0,25	4,51	0,61	100,41
P70_70_1_2_2	78,03	63,51	48,31	46,73	0,23	1,58	0,52	117,57
P70_70_1_2_3	56,39	39,86	30,82	19,44	0,11	0,48	0,17	13,12
P70_70_1_3_1	67,59	44,18	37,46	34,7	0,53	7,13	0,78	89,99
P70_70_1_3_2	77,87	58,82	52,56	45,58	0,14	0,91	0,27	19,84
P70_70_1_3_3	76,1	61,64	38,05	37,82	0,09	0,55	0,36	59,08
P70_70_2_2_1	62,61	41,82	25,79	20,36	0,31	9,03	0,86	78,36
P70_70_2_2_2	71,61	55,97	39,12	35,04	0,17	1,5	0,59	45,77
P70_70_2_2_3	48,92	32,28	19,28	11,46	0,27	0,27	0,17	1,9
P70_70_2_3_1	57,81	34,02	23,15	19,91	0,33	11,59	0,97	110,8
P70_70_2_3_2	66,58	44,21	25,32	23,17	0,17	0,97	0,45	95,52
P70_70_2_3_3	72,94	56,7	48,07	32,4	0,16	0,42	0,31	19,52
P70_70_3_3_1	62,99	41,05	34,47	32,64	0,27	11,12	1,01	91,06
P70_70_3_3_2	65,55	34,91	17,75	16,02	0,17	0,73	0,34	7,08
P70_70_3_3_3	93,72	87,08	68,09	68,01	0,14	1,7	0,45	9,52
P70_80_1_1_1	87,12	76,08	69,83	66,75	0,27	12,4	0,77	93,05
P70_80_1_1_2	92,86	85,77	78,65	78,48	0,13	3,7	0,3	83,86
P70_80_1_1_3	80,21	67,11	42	41,05	0,09	1,12	0,3	77,72
P70_80_1_2_1	75,26	54,67	46,95	43,98	0,27	11,26	0,75	78,63
P70_80_1_2_2	91,19	84,53	77,11	76,88	0,14	2,65	0,41	98,01
P70_80_1_2_3	72,59	61,85	42,63	39,45	0,09	1,17	0,23	96,27
P70_80_1_3_1	74,45	52,15	42,69	37,64	0,2	10,22	0,61	101,35
P70_80_1_3_2	85,33	75,1	65,55	64,75	0,14	2,79	0,33	99,73
P70_80_1_3_3	75,65	62,45	44,53	43,21	0,09	1,11	0,23	85,6
P70_80_2_1_1	77,31	62,39	51,02	45,9	0,3	12,46	0,91	75,99
P70_80_2_1_2	87,5	77,62	67,83	65,94	0,16	5,12	0,48	97,92



EK-4. (Devam)

Test Problemleri	GYSD				CPU			
	DG(ÖM)	DG(ÖM) <sup>1</sup>	DG(ÖM_GE)	KDG(ÖM_GE)	DG(ÖM)	DG(ÖM) <sup>1</sup>	DG(ÖM_GE)	KDG(ÖM_GE)
P70_80_2_1_3	78,27	63,46	47,35	36,87	0,11	1,26	0,28	19
P70_80_2_2_1	66,59	44,52	32,31	30,2	0,31	12,04	1	96,66
P70_80_2_2_2	80,76	68,95	55,72	53,42	0,17	2,86	0,7	79,6
P70_80_2_2_3	69,25	58,13	37,79	35,9	0,14	0,7	0,22	25,09
P70_80_2_3_1	68,2	46,88	33,36	28,15	0,38	11,7	0,77	65,47
P70_80_2_3_2	75,92	61,78	48,07	45,95	0,22	3,21	0,55	61,77
P70_80_2_3_3	74,14	60,4	48,55	42,97	0,14	0,73	0,22	38,36
P70_80_3_1_1	73,26	55,47	46,62	43,41	0,27	15,69	0,89	59,33
P70_80_3_1_2	79,22	57,86	41,06	40,02	0,16	2,18	0,36	78,62
P70_80_3_1_3	96,49	92,68	86,17	79,35	0,13	1,3	0,38	87,56
P70_80_3_2_1	63,54	40,19	31,61	28,82	0,3	16,21	1,01	72,01
P70_80_3_2_2	78,8	62,43	47,89	46,95	0,16	2,09	0,56	33,74
P70_80_3_2_3	84,74	76,06	57,22	54,67	0,13	1,01	0,36	44,17
P70_80_3_3_1	66,28	44,52	35,81	32,35	0,25	13,4	0,8	87,59
P70_80_3_3_2	73,86	55,38	41,41	41,09	0,28	1,42	0,37	68,6
P70_80_3_3_3	89,97	81,62	66,69	65,33	0,09	1,34	0,31	93,16
P80_80_1_1_1	88,63	79,99	73,27	70,16	0,3	32,59	1,14	93,08
P80_80_1_1_2	92,11	83,16	74,31	73,16	0,14	6,49	0,36	86,13
P80_80_1_1_3	100	100	100	100	0,11	2,08	0,36	9,89
P80_80_1_2_1	76,89	60,01	50,08	45,85	0,33	35,19	1,14	83,81
P80_80_1_2_2	89,82	80,67	70,94	69,64	0,14	5,37	0,42	86,78
P80_80_1_2_3	88,72	81,54	63,92	62,33	0,11	1,7	0,42	58,34
P80_80_1_3_1	88,98	80,74	75,3	72,43	0,25	20,83	0,84	38,83
P80_80_1_3_2	86,03	74,64	64,4	63,25	0,22	5,13	0,39	79,39
P80_80_1_3_3	93,36	87,53	74,9	72,88	0,11	1,64	0,33	54,32
P80_80_2_2_1	68,35	45,19	35,07	33,33	0,41	30,33	1,23	51,06
P80_80_2_2_2	91,89	86,17	79,35	78,69	0,19	5,01	0,66	98,9
P80_80_2_2_3	79,4	71,52	53,96	50,51	0,11	1,17	0,34	90,43
P80_80_2_3_1	71,09	49,45	38,99	36,29	0,27	26,57	0,98	80,55
P80_80_2_3_2	84,86	75,02	65,15	63,96	0,19	6,71	0,56	76,67
P80_80_2_3_3	83,2	74,52	59,2	56,39	0,11	2,4	0,25	92,59
P80_80_3_3_1	91,75	85,4	81,95	80,25	0,23	13,59	0,58	67,81
P80_80_3_3_2	80,77	68,86	58,32	54,77	0,25	7,18	0,42	73,25
P80_80_3_3_3	88,21	79,78	67,92	66,6	0,11	2,11	0,36	19,69
P80_90_1_1_1	82,65	67,94	58,99	56,59	0,34	41,25	1,59	56,55
P80_90_1_1_2	91,42	82,79	72,91	71,98	0,19	5,79	0,42	53,05
P80_90_1_1_3	96,86	93,06	88,28	81,12	0,14	1,86	0,64	69,69
P80_90_1_2_1	88,01	79,42	74,15	72,9	0,36	42,59	1,23	42,51
P80_90_1_2_2	89,27	79,41	65,99	63,56	0,16	6,37	0,44	44,44
P80_90_1_2_3	100	100	100	100	0,11	2,57	0,41	17,93
P80_90_1_3_1	87,39	76,01	66,31	62,94	0,28	31,31	0,95	31,17
P80_90_1_3_2	87,51	73,07	57,36	56,62	0,2	5,76	0,45	45,38
P80_90_1_3_3	90,96	81,86	61,79	54,75	0,11	1,76	0,36	35,58
P80_90_2_1_1	77,73	59,54	51,49	49,98	0,36	41,86	1,4	87,56
P80_90_2_1_2	92,76	87,05	79,96	79,27	0,19	8,38	0,7	98,79
P80_90_2_1_3	84,9	74,92	55,54	52,53	0,11	0,97	0,52	39,64
P80_90_2_2_1	80,02	66,13	59,63	58,54	0,25	38,02	1,09	61,69
P80_90_2_2_2	91,2	84,79	75,35	73,64	0,17	9,11	0,51	67,47
P80_90_2_2_3	83,69	76,24	60,79	58,03	0,12	3,29	0,37	59,75
P80_90_2_3_1	74,8	52,11	37,92	36,94	0,28	21,33	1,14	89,7
P80_90_2_3_2	90,45	81,99	72,06	71,57	0,22	6,65	0,87	54,11
P80_90_2_3_3	82,72	72,5	49,91	47,81	0,13	2,15	0,31	104,38
P80_90_3_1_1	86,99	75,98	70,56	69,05	0,25	22,76	0,98	90,7
P80_90_3_1_2	85,53	74,99	64,01	62,89	0,2	7,11	0,48	54,7
P80_90_3_1_3	90,79	82,21	68,2	66,38	0,13	2,07	0,42	92,18
P80_90_3_2_1	86,4	76,8	71,87	70,69	0,23	27,89	1	49,08

EK-4. (Devam)

Test Problemleri	GYSD				CPU			
	DG(ÖM)	DG(ÖM) <sup>1</sup>	DG(ÖM_GE)	KDG(ÖM_GE)	DG(ÖM)	DG(ÖM) <sup>1</sup>	DG(ÖM_GE)	KDG(ÖM_GE)
P80_90_3_2_2	83,95	73,07	59,68	57,33	0,17	7,1	0,45	73,36
P80_90_3_2_3	94,92	91,84	86,54	85,79	0,11	2,54	0,38	86,87
P80_90_3_3_1	79,98	60,91	46,99	44,59	0,23	26,18	0,75	80,49
P80_90_3_3_2	84,64	72,4	60,63	60,36	0,22	8,07	0,55	71,86
P80_90_3_3_3	87,13	76,68	66,68	57,32	0,11	1,97	0,33	48,75
P90_90_1_1_1	77,05	54,52	48,32	45,11	0,41	55,4	2	64,22
P90_90_1_1_2	91,27	83,5	73,26	72,03	0,22	14,56	0,66	74,39
P90_90_1_1_3	93,38	84,34	62,91	62,71	0,14	1,86	0,56	9,3
P90_90_1_2_1	85,13	73,4	67,84	67,44	0,3	50,61	1,36	67,61
P90_90_1_2_2	87,26	76,79	60,71	58,54	0,19	8,97	0,59	46,26
P90_90_1_2_3	98,3	97,03	94,59	94,24	0,14	3,76	0,5	60,13
P90_90_1_3_1	79,18	57,61	43,44	42,04	0,31	49,41	1,36	49,99
P90_90_1_3_2	88,67	77,23	62,67	62,41	0,2	6,46	0,62	89,99
P90_90_1_3_3	89,31	77,7	58,61	49,72	0,16	1,81	0,52	43,9
P90_90_2_2_1	89,15	81,75	78,09	77,8	0,28	60,62	0,92	22,02
P90_90_2_2_2	85,45	74,22	54,47	50,6	0,17	10,48	0,53	64,94
P90_90_2_2_3	88,45	82,32	70,04	67,36	0,11	2,28	0,36	81,73
P90_90_2_3_1	93,19	87,54	83,93	83,61	0,25	48,72	1,15	61,36
P90_90_2_3_2	89,65	80,21	65,9	64,34	0,2	12,5	0,55	42,83
P90_90_2_3_3	88,97	81,49	65,27	64,7	0,13	4,54	0,45	77,67
P90_90_3_3_1	98,19	95,95	94,19	93,6	0,28	28,99	1,19	69,79
P90_90_3_3_2	88,18	74,17	69,92	57,38	0,23	7,3	0,61	32,01
P90_90_3_3_3	84,23	69,49	53,26	33,44	0,12	3,01	0,28	4,74
P90_100_1_1_1	84,34	68,96	59,55	58,23	0,34	43,79	1,89	82,86
P90_100_1_1_2	92,82	88,35	82,03	80,5	0,22	11,73	0,73	61,06
P90_100_1_1_3	82,14	61,64	38,57	36,89	0,14	4,07	0,39	45,12
P90_100_1_2_1	79,62	60,2	51,23	50	0,34	63,37	1,62	71,56
P90_100_1_2_2	96,18	93,49	89,63	88,43	0,2	10,64	0,83	91,17
P90_100_1_2_3	88,7	67,89	55,38	44,48	0,12	3,92	0,56	40,97
P90_100_1_3_1	88,32	67,48	58,46	58,23	0,38	38,05	2,36	41,69
P90_100_1_3_2	89,48	80,99	72,48	71,6	0,23	16,13	0,97	65,28
P90_100_1_3_3	98,12	96,17	92,52	91,87	0,19	2,54	0,67	66,99
P90_100_2_1_1	84,92	72,48	64,91	63,83	0,36	60	1,5	62,65
P90_100_2_1_2	92,67	88,36	81,51	79,17	0,19	14,37	0,59	30,66
P90_100_2_1_3	84,41	73,18	58,7	55,78	0,13	3,46	0,47	73,12
P90_100_2_2_1	87,35	77,13	72,24	71,65	0,34	56,71	1,45	81,92
P90_100_2_2_2	91,58	86,05	76,97	74,36	0,22	20,98	0,78	70,92
P90_100_2_2_3	87,3	74,88	60,1	58,83	0,13	5,2	0,41	59,2
P90_100_2_3_1	93,13	84,04	80,17	79,96	0,36	36,69	2,4	76,74
P90_100_2_3_2	86,52	76,41	64,55	61,81	0,23	17,75	0,72	43,05
P90_100_2_3_3	91,07	85,09	74,02	72,33	0,17	6,93	0,55	34,97
P90_100_3_1_1	88,3	75,93	65,5	62,76	0,3	36,05	1,58	71,14
P90_100_3_1_2	91,3	85,49	77,59	75,69	0,23	8,22	0,81	69,56
P90_100_3_1_3	79,94	60,29	44,71	33,28	0,16	3,32	0,34	37,5
P90_100_3_2_1	88,55	76,72	69,05	67,98	0,28	33,63	1,34	67,8
P90_100_3_2_2	93,01	87,67	80,21	79,02	0,23	15,44	0,8	35,52
P90_100_3_2_3	83,77	60,53	40,06	29,09	0,14	3,29	0,39	23,04
P90_100_3_3_1	93,22	77,15	63,58	63,03	0,36	19,27	1,54	44,09
P90_100_3_3_2	89,37	79,95	71,2	70,54	0,25	13,17	0,72	70,72
P90_100_3_3_3	88,32	77,73	54,9	54,52	0,19	3,79	0,44	97,45
P100_100_1_1_1	90,59	81,05	73,75	72,17	0,42	60,64	1,9	54,1
P100_100_1_1_2	92,73	89,2	83,76	81,64	0,22	12,93	0,69	61,33
P100_100_1_1_3	80,17	59,72	45,77	43,83	0,2	2,29	0,36	5,74
P100_100_1_2_1	80,75	61,82	50,39	47,96	0,39	95,85	1,89	53,06
P100_100_1_2_2	95,76	93,5	90,01	88,81	0,22	13,1	0,92	34,94
P100_100_1_2_3	77,58	44,05	25,4	24,7	0,16	2,11	0,36	23,48

**EK-4. (Devam)**

Test Problemleri	GYSD				CPU			
	DG(ÖM)	DG(ÖM) <sup>1</sup>	DG(ÖM_GE)	KDG(ÖM_GE)	DG(ÖM)	DG(ÖM) <sup>1</sup>	DG(ÖM_GE)	KDG(ÖM_GE)
P100_100_1_3_1	93,48	82,03	74,54	73,31	0,34	59,28	2,48	26,81
P100_100_1_3_2	90,87	85,36	79,02	77,1	0,25	20,45	0,87	45,92
P100_100_1_3_3	87,51	75,58	61,75	61,51	0,17	2,98	0,56	32,65
P100_100_2_2_1	73,69	48,51	36,7	33,4	0,36	85,55	1,62	30,38
P100_100_2_2_2	98,06	96,93	95,15	94,1	0,28	22,89	1,25	33,06
P100_100_2_2_3	84,86	80,65	78,76	76,25	0,14	4,01	0,37	9,11
P100_100_2_3_1	89,33	71,66	63,85	61,94	0,31	39,78	1,93	16,46
P100_100_2_3_2	93,65	89,41	84,53	83,35	0,3	30,95	0,97	54,75
P100_100_2_3_3	86,86	69,03	49,56	47,73	0,19	4,99	0,56	87,03
P100_100_3_3_1	100	100	100	100	0,3	12,31	2,23	49,47
P100_100_3_3_2	88,76	79,99	72,72	72,1	0,25	26,32	0,69	40,84
P100_100_3_3_3	100	100	100	100	0,19	6,54	0,5	64,91
<b>Ortalama</b>	<b>82,93</b>	<b>69,98</b>	<b>58,89</b>	<b>56,01</b>	<b>0,2</b>	<b>12,71</b>	<b>0,7</b>	<b>59,66</b>

EK-5. Küçük boyutlu problemlerin her biri için deneysel sonuçlar

Test Problemleri	YSD		CPU		Test Problemleri	YSD		CPU	
	ÖM	ÖM_GE	ÖM	ÖM_GE		ÖM	ÖM_GE	ÖM	ÖM_GE
P10_10_1_1_1	0	0	0,42	0,13	P20_20_2_2_2	0	0	1,58	0,67
P10_10_1_1_2	0	0	0,48	0,16	P20_20_2_2_3	0	0	2,2	0,89
P10_10_1_1_3	0	0	1,4	0,31	P20_20_2_3_1	0	0	42,64	1722,16
P10_10_1_2_1	0	0	0,42	0,16	P20_20_2_3_2	0	0	11,03	1,08
P10_10_1_2_2	0	0	0,3	0,13	P20_20_2_3_3	0	0	1,58	0,3
P10_10_1_2_3	0	0	0,22	0,09	P20_20_3_3_1	0	0	699,9	164,77
P10_10_1_3_1	0	0	0,22	0,17	P20_20_3_3_2	0	0	14,42	0,56
P10_10_1_3_2	0	0	0,3	0,28	P20_20_3_3_3	0	0	1,31	0,45
P10_10_1_3_3	0	0	0,42	0,17	P20_30_1_1_1	0	0	178,26	146,32
P10_10_2_2_1	0	0	1,3	0,33	P20_30_1_1_2	0	0	433,17	50,76
P10_10_2_2_2	0	0	0,11	0,09	P20_30_1_1_3	0	0	32,45	2,34
P10_10_2_2_3	0	0	0,11	0,08	P20_30_1_2_1	0	0	1914,07	119,47
P10_10_2_3_1	0	0	0,58	0,37	P20_30_1_2_2	0	0	104,02	30,59
P10_10_2_3_2	0	0	0,56	0,34	P20_30_1_2_3	0	0	7,93	6,18
P10_10_2_3_3	0	0	0,17	0,11	P20_30_1_3_1	0	0	733,3	1090,07
P10_10_3_3_1	0	0	0,17	0,22	P20_30_1_3_2	0	0	17,19	20,2
P10_10_3_3_2	0	0	1,01	0,8	P20_30_1_3_3	0	0	20,95	6,57
P10_10_3_3_3	0	0	0,31	0,16	P20_30_2_1_1	0	0	48,64	38,7
P10_20_1_1_1	0	0	2,98	1,65	P20_30_2_1_2	0	0	129,82	57,99
P10_20_1_1_2	0	0	0,75	0,27	P20_30_2_1_3	0	0	18,63	1,5
P10_20_1_1_3	0	0	1,75	0,91	P20_30_2_2_1	0	0	1656,97	1810,48
P10_20_1_2_1	0	0	0,78	1,06	P20_30_2_2_2	0	0	35,16	10,44
P10_20_1_2_2	0	0	1,03	0,37	P20_30_2_2_3	0	0	4,59	0,83
P10_20_1_2_3	0	0	1,01	0,47	P20_30_2_3_1	0	0	101,46	495,15
P10_20_1_3_1	0	0	1,55	2,25	P20_30_2_3_2	0	0	23,35	8,03
P10_20_1_3_2	0	0	1,76	0,72	P20_30_2_3_3	0	0	12,2	3,31
P10_20_1_3_3	0	0	1,17	0,67	P20_30_3_1_1	0	0	236,28	200,51
P10_20_2_1_1	0	0	12,53	5,68	P20_30_3_1_2	0	0	244,38	89,9
P10_20_2_1_2	0	0	0,52	0,19	P20_30_3_1_3	0	0	6,63	0,78
P10_20_2_1_3	0	0	2,54	0,37	P20_30_3_2_1	0	0	1060,95	57,69
P10_20_2_2_1	0	0	3,84	12,73	P20_30_3_2_2	0	0	70,23	22,65
P10_20_2_2_2	0	0	0,83	0,22	P20_30_3_2_3	0	0	5,1	0,94
P10_20_2_2_3	0	0	0,59	0,27	P20_30_3_3_1	0	0	269,38	778,71
P10_20_2_3_1	0	0	2,67	8,28	P20_30_3_3_2	0	0	56,13	17,11
P10_20_2_3_2	0	0	1,87	0,33	P20_30_3_3_3	0	0	17,27	12
P10_20_2_3_3	0	0	0,22	0,14	P30_30_1_1_1	0	0	1068	924,24
P10_20_3_1_1	0	0	11,14	5,63	P30_30_1_1_2	28,54	0	7200	1338,47
P10_20_3_1_2	0	0	1,61	0,95	P30_30_1_1_3	0	0	51,73	13,82
P10_20_3_1_3	0	0	2,39	0,37	P30_30_1_2_1	0	0	169,92	120,94
P10_20_3_2_1	0	0	3,68	19,44	P30_30_1_2_2	0	0	1560,38	120,59
P10_20_3_2_2	0	0	1,67	0,53	P30_30_1_2_3	0	0	12,06	2,37
P10_20_3_2_3	0	0	1,26	0,5	P30_30_1_3_1	0	0	151,62	90,65
P10_20_3_3_1	0	0	0,44	2,67	P30_30_1_3_2	0	0	1523,93	616,52
P10_20_3_3_2	0	0	3,07	0,87	P30_30_1_3_3	0	0	108,58	14,65
P10_20_3_3_3	0	0	0,56	0,17	P30_30_2_2_1	0	0	6895,51	135,11
P20_20_1_1_1	0	0	217,61	48	P30_30_2_2_2	0	0	179,79	113,52
P20_20_1_1_2	0	0	3,68	0,59	P30_30_2_2_3	0	0	6,74	2,87
P20_20_1_1_3	0	0	30,28	3,71	P30_30_2_3_1	7,68	0	7200	3924,27
P20_20_1_2_1	0	0	44,54	748,37	P30_30_2_3_2	0	0	401,59	55,91
P20_20_1_2_2	0	0	2,39	1,44	P30_30_2_3_3	0	0	34,85	11,68
P20_20_1_2_3	0	0	5,02	1,37	P30_30_3_3_1	26,36	0	7200	743,83
P20_20_1_3_1	0	0	28,74	185,16	P30_30_3_3_2	0	0	414,04	449,25
P20_20_1_3_2	0	0	5,09	0,59	P30_30_3_3_3	0	0	56,47	92,81
P20_20_1_3_3	0	0	1,83	0,51	P30_40_1_1_1	92,41	0	7200	61,71
P20_20_2_2_1	0	0	47,49	380,53	P30_40_1_1_2	0	0	370,03	604,66

**EK-5. (Devam)**

Test Problemleri	YSD		CPU	
	ÖM	ÖM_GE	ÖM	ÖM_GE
P30_40_1_1_3	0	0	2842,07	285,01
P30_40_1_2_1	72,13	0	7200	328,9
P30_40_1_2_2	46,67	0	7200	4134,12
P30_40_1_2_3	0	0	9,22	1,94
P30_40_1_3_1	0	0	6567,02	6802,05
P30_40_1_3_2	0	0	975,16	85,22
P30_40_1_3_3	0	0	15,23	1,93
P30_40_2_1_1	22,66	0	7200	412,73
P30_40_2_1_2	0	0	48,91	22,03
P30_40_2_1_3	0	0	489,88	29,67
P30_40_2_2_1	31,62	6,96	7200	7200
P30_40_2_2_2	13,73	0	7200	2755,15
P30_40_2_2_3	0	0	8,81	1,84
P30_40_2_3_1	27,26	26,45	7200	7200
P30_40_2_3_2	0	0	261,29	55,8
P30_40_2_3_3	0	0	12,76	4,93
P30_40_3_1_1	40,58	0	7200	615,22
P30_40_3_1_2	0	0	33,98	28,17
P30_40_3_1_3	0	0	2188,79	137,7
P30_40_3_2_1	44,79	0	7200	4347,09
P30_40_3_2_2	15,2	0	7200	6105,83
P30_40_3_2_3	0	0	53,93	6,02
P30_40_3_3_1	48,83	24,63	7200	7200
P30_40_3_3_2	0	0	321,74	84,05
P30_40_3_3_3	0	0	53,74	19,81
<b>ORTALAMA</b>	<b>3,84</b>	<b>0,43</b>	<b>1010,08</b>	<b>486,78</b>

**EK-6. Orta boyutlu problemlerin her biri için deneysel sonuçlar**

Test Problemleri	YSD	CPU	Test Problemleri	YSD	CPU
P40_40_1_1_1	0	1056,55	P50_50_2_2_1	55,15	7200
P40_40_1_1_2	0	0,78	P50_50_2_2_2	0	1505,83
P40_40_1_1_3	0	3368,3	P50_50_2_2_3	24,62	7200
P40_40_1_2_1	0	3451,46	P50_50_2_3_1	32,67	7200
P40_40_1_2_2	0	527,61	P50_50_2_3_2	31,78	7200
P40_40_1_2_3	0	45,37	P50_50_2_3_3	0	6425,82
P40_40_1_3_1	60,47	7200	P50_50_3_3_1	18,35	7200
P40_40_1_3_2	0	8,14	P50_50_3_3_2	81,62	7200
P40_40_1_3_3	0	114,96	P50_50_3_3_3	0	4979,47
P40_40_2_2_1	42,6	7200	P50_60_1_1_1	47,49	7200
P40_40_2_2_2	18,77	7200	P50_60_1_1_2	59,83	7200
P40_40_2_2_3	0	0,39	P50_60_1_1_3	35,75	7200
P40_40_2_3_1	62,18	7200	P50_60_1_2_1	30,23	7200
P40_40_2_3_2	19,59	7200	P50_60_1_2_2	35,15	7200
P40_40_2_3_3	0	0,95	P50_60_1_2_3	37,46	7200
P40_40_3_3_1	72,55	7200	P50_60_1_3_1	30,3	7200
P40_40_3_3_2	0	316,54	P50_60_1_3_2	12,87	7200
P40_40_3_3_3	0	2,67	P50_60_1_3_3	18,57	7200
P40_50_1_1_1	42,92	7200	P50_60_2_1_1	51,15	7200
P40_50_1_1_2	0	3048,77	P50_60_2_1_2	63,49	7200
P40_50_1_1_3	19,11	7200	P50_60_2_1_3	0	4323,22
P40_50_1_2_1	55,57	7200	P50_60_2_2_1	54,44	7200
P40_50_1_2_2	0	95,25	P50_60_2_2_2	28,91	7200
P40_50_1_2_3	4,92	7200	P50_60_2_2_3	32,8	7200
P40_50_1_3_1	25,39	7200	P50_60_2_3_1	41,74	7200
P40_50_1_3_2	0	901,89	P50_60_2_3_2	1,37	7200
P40_50_1_3_3	0	1714,36	P50_60_2_3_3	38,33	7200
P40_50_2_1_1	45,6	7200	P50_60_3_1_1	33,98	7200
P40_50_2_1_2	27,77	7200	P50_60_3_1_2	100	7200
P40_50_2_1_3	0	3973,6	P50_60_3_1_3	0	6902,67
P40_50_2_2_1	62,69	7200	P50_60_3_2_1	5,05	7200
P40_50_2_2_2	25,37	7200	P50_60_3_2_2	57,35	7200
P40_50_2_2_3	0	1444,26	P50_60_3_2_3	4,15	7200
P40_50_2_3_1	24,12	7200	P50_60_3_3_1	24,13	7200
P40_50_2_3_2	64,46	7200	P50_60_3_3_2	27,17	7200
P40_50_2_3_3	0	97,59	P50_60_3_3_3	0	6089,48
P40_50_3_1_1	51,72	7200	P60_60_1_1_1	49,59	7200
P40_50_3_1_2	7,11	7200	P60_60_1_1_2	100	7200
P40_50_3_1_3	0	6361,58	P60_60_1_1_3	0	6247,43
P40_50_3_2_1	58,49	7200	P60_60_1_2_1	45,65	7200
P40_50_3_2_2	0	950,17	P60_60_1_2_2	69,66	7200
P40_50_3_2_3	0	1333,29	P60_60_1_2_3	0	6301,34
P40_50_3_3_1	33,46	7200	P60_60_1_3_1	47,42	7200
P40_50_3_3_2	17,15	7200	P60_60_1_3_2	25,45	7200
P40_50_3_3_3	0	155,69	P60_60_1_3_3	0	6235,3
P50_50_1_1_1	34,1	7200	P60_60_2_2_1	0	381,03
P50_50_1_1_2	18,47	7200	P60_60_2_2_2	32,34	7200
P50_50_1_1_3	40,86	7200	P60_60_2_2_3	49,04	7200
P50_50_1_2_1	43,76	7200	P60_60_2_3_1	50,98	7200
P50_50_1_2_2	11,18	7200	P60_60_2_3_2	28,54	7200
P50_50_1_2_3	29,77	7200	P60_60_2_3_3	54,46	7200
P50_50_1_3_1	17,67	7200	P60_60_3_3_1	57,39	7200
P50_50_1_3_2	35,87	7200	P60_60_3_3_2	10,28	7200
P50_50_1_3_3	13,23	7200	P60_60_3_3_3	49,14	7200
<b>Ortalama</b>	<b>26,6</b>	<b>5725,57</b>			

**EK-7. Büyük boyutlu problemlerin her biri için deneysel sonuçlar**

Test Problemleri	YSD	CPU	Test Problemleri	YSD	CPU
P60_70_1_1_1	58,72	7200	P70_80_2_2_1	27,39	7200
P60_70_1_1_2	64,24	7200	P70_80_2_2_2	50,27	7200
P60_70_1_1_3	27,56	7200	P70_80_2_2_3	19,72	7200
P60_70_1_2_1	31,32	7200	P70_80_2_3_1	27,74	7200
P60_70_1_2_2	46,18	7200	P70_80_2_3_2	48,58	7200
P60_70_1_2_3	17,58	7200	P70_80_2_3_3	26,61	7200
P60_70_1_3_1	30,02	7200	P70_80_3_1_1	41,33	7200
P60_70_1_3_2	5,05	7200	P70_80_3_1_2	19,01	7200
P60_70_1_3_3	74,96	7200	P70_80_3_1_3	55,73	7200
P60_70_2_1_1	29,62	7200	P70_80_3_2_1	25,37	7200
P60_70_2_1_2	35,74	7200	P70_80_3_2_2	39,88	7200
P60_70_2_1_3	8,06	7200	P70_80_3_2_3	38,78	7200
P60_70_2_2_1	14,25	7200	P70_80_3_3_1	31,62	7200
P60_70_2_2_2	21,47	7200	P70_80_3_3_2	32,45	7200
P60_70_2_2_3	1,35	7200	P70_80_3_3_3	43,69	7200
P60_70_2_3_1	21,83	7200	P80_80_1_1_1	68,38	7200
P60_70_2_3_2	0,3	7200	P80_80_1_1_2	70,43	7200
P60_70_2_3_3	7,76	7200	P80_80_1_1_3	100	7200
P60_70_3_1_1	44,98	7200	P80_80_1_2_1	45,05	7200
P60_70_3_1_2	38,25	7200	P80_80_1_2_2	66,44	7200
P60_70_3_1_3	14,34	7200	P80_80_1_2_3	49,36	7200
P60_70_3_2_1	16,4	7200	P80_80_1_3_1	70,6	7200
P60_70_3_2_2	33,97	7200	P80_80_1_3_2	60,99	7200
P60_70_3_2_3	4,79	7200	P80_80_1_3_3	67,41	7200
P60_70_3_3_1	12,23	7200	P80_80_2_2_1	28,16	7200
P60_70_3_3_2	5,11	7200	P80_80_2_2_2	75,28	7200
P60_70_3_3_3	19,51	7200	P80_80_2_2_3	42,04	7200
P70_70_1_1_1	63,85	7200	P80_80_2_3_1	35,92	7200
P70_70_1_1_2	58,16	7200	P80_80_2_3_2	62,75	7200
P70_70_1_1_3	9,99	7200	P80_80_2_3_3	51,83	7200
P70_70_1_2_1	36,96	7200	P80_80_3_3_1	78,47	7200
P70_70_1_2_2	46,15	7200	P80_80_3_3_2	52,78	7200
P70_70_1_2_3	10,12	7200	P80_80_3_3_3	56,91	7200
P70_70_1_3_1	32,67	7200	P80_90_1_1_1	54,87	7200
P70_70_1_3_2	25,95	7200	P80_90_1_1_2	59,39	7200
P70_70_1_3_3	2,32	7200	P80_90_1_1_3	35,66	7200
P70_70_2_2_1	15,52	7200	P80_90_1_2_1	71,48	7200
P70_70_2_2_2	32,66	7200	P80_90_1_2_2	59,98	7200
P70_70_2_2_3	3,21	7200	P80_90_1_2_3	100	7200
P70_70_2_3_1	18,06	7200	P80_90_1_3_1	56,8	7200
P70_70_2_3_2	17,77	7200	P80_90_1_3_2	37,98	7200
P70_70_2_3_3	4,71	7200	P80_90_1_3_3	4,36	7200
P70_70_3_3_1	31,76	7200	P80_90_2_1_1	47,52	7200
P70_70_3_3_2	2,41	7200	P80_90_2_1_2	74,27	7200
P70_70_3_3_3	66,36	7200	P80_90_2_1_3	29,71	7200
P70_80_1_1_1	72,07	7200	P80_90_2_2_1	57,1	7200
P70_80_1_1_2	74,51	7200	P80_90_2_2_2	73,55	7200
P70_80_1_1_3	28,52	7200	P80_90_2_2_3	56,36	7200
P70_80_1_2_1	42,35	7200	P80_90_2_3_1	33,34	7200
P70_80_1_2_2	75,32	7200	P80_90_2_3_2	68,76	7200
P70_80_1_2_3	25,63	7200	P80_90_2_3_3	35,2	7200
P70_80_1_3_1	33,65	7200	P80_90_3_1_1	68,2	7200
P70_80_1_3_2	62,72	7200	P80_90_3_1_2	53,67	7200
P70_80_1_3_3	33,86	7200	P80_90_3_1_3	47,78	7200
P70_80_2_1_1	44,07	7200	P80_90_3_2_1	68,63	7200
P70_80_2_1_2	64,13	7200	P80_90_3_2_2	56,7	7200
P70_80_2_1_3	7,02	7200	P80_90_3_2_3	83,97	7200

**EK-7. (Devam)**

<b>Test Problemleri</b>	<b>YSD</b>	<b>CPU</b>	<b>Test Problemleri</b>	<b>YSD</b>	<b>CPU</b>
P80_90_3_3_1	39,57	7200	P90_100_2_2_1	71,24	7200
P80_90_3_3_2	54,46	7200	P90_100_2_2_2	71,81	7200
P80_90_3_3_3	28,39	7200	P90_100_2_2_3	42,57	7200
P90_90_1_1_1	43,22	7200	P90_100_2_3_1	79,83	7200
P90_90_1_1_2	47,26	7200	P90_100_2_3_2	59,79	7200
P90_90_1_1_3	26,6	7200	P90_100_2_3_3	69,09	7200
P90_90_1_2_1	65,97	7200	P90_100_3_1_1	61,69	7200
P90_90_1_2_2	47,99	7200	P90_100_3_1_2	74,12	7200
P90_90_1_2_3	92,08	7200	P90_100_3_1_3	16,55	7200
P90_90_1_3_1	41,67	7200	P90_100_3_2_1	67,12	7200
P90_90_1_3_2	45,4	7200	P90_100_3_2_2	78,51	7200
P90_90_1_3_3	21,44	7200	P90_100_3_2_3	2,74	7200
P90_90_2_2_1	77,42	7200	P90_100_3_3_1	50,58	7200
P90_90_2_2_2	50,46	7200	P90_100_3_3_2	68,85	7200
P90_90_2_2_3	63,65	7200	P90_100_3_3_3	45,98	7200
P90_90_2_3_1	83,33	7200	P100_100_1_1_1	70,75	7200
P90_90_2_3_2	54,29	7200	P100_100_1_1_2	80,52	7200
P90_90_2_3_3	50,29	7200	P100_100_1_1_3	20,4	7200
P90_90_3_3_1	91,02	7200	P100_100_1_2_1	46,51	7200
P90_90_3_3_2	31,09	7200	P100_100_1_2_2	88,03	7200
P90_90_3_3_3	5,95	7200	P100_100_1_2_3	4,76	7200
P90_100_1_1_1	56,29	7200	P100_100_1_3_1	71,09	7200
P90_100_1_1_2	80,4	7200	P100_100_1_3_2	76,84	7200
P90_100_1_1_3	15,45	7200	P100_100_1_3_3	53,07	7200
P90_100_1_2_1	47,81	7200	P100_100_2_2_1	31,12	7200
P90_100_1_2_2	87,69	7200	P100_100_2_2_2	93,72	7200
P90_100_1_2_3	16,87	7200	P100_100_2_2_3	72,33	7200
P90_100_1_3_1	57,75	7200	P100_100_2_3_1	60,73	7200
P90_100_1_3_2	69,1	7200	P100_100_2_3_2	82,59	7200
P90_100_1_3_3	90,11	7200	P100_100_2_3_3	24,31	7200
P90_100_2_1_1	60,67	7200	P100_100_3_3_1	100	7200
P90_100_2_1_2	78,76	7200	P100_100_3_3_2	71,09	7200
P90_100_2_1_3	41,53	7200	P100_100_3_3_3	100	7200
<b>Ortalama</b>				<b>46,93</b>	<b>7200</b>



**EK-8. Küçük boyutlu problemlerin her biri için önerilen DTB yaklaşımından elde edilen sonuçlar**

Test Problemleri	Alt Sınır	YSDALT(ORT)	YSDALT(ENB)	YSD	YSDÜST(ORT)	YSDÜST(ENB)	CPU	
							ÖM_GE	DTB
P10_10_1_1_1	10364	0	0	0	0	0	0,13	0,07
P10_10_1_1_2	7026	0	0	0	0	0	0,16	0,07
P10_10_1_1_3	83	0	0	0	0	0	0,31	0,08
P10_10_1_2_1	5961	0	0	0	0	0	0,16	0,05
P10_10_1_2_2	3134	0	0	0	0	0	0,13	0,08
P10_10_1_2_3	0	0	0	0	0	0	0,09	0,07
P10_10_1_3_1	10066	0	0	0	0	0	0,17	0,05
P10_10_1_3_2	6093	0,93	0	0	0,93	0	0,28	0,08
P10_10_1_3_3	1077	0	0	0	0	0	0,17	0,06
P10_10_2_2_1	0	0	0	0	0	0	0,33	0,04
P10_10_2_2_2	0	0	0	0	0	0	0,09	0,06
P10_10_2_2_3	0	0	0	0	0	0	0,08	0,08
P10_10_2_3_1	4131	0	0	0	0	0	0,37	0,08
P10_10_2_3_2	2437	1,18	0	0	1,18	0	0,34	0,07
P10_10_2_3_3	0	0	0	0	0	0	0,11	0,08
P10_10_3_3_1	8618	0,94	0	0	0,94	0	0,22	0,07
P10_10_3_3_2	6001	0	0	0	0	0	0,8	0,09
P10_10_3_3_3	1274	0	0	0	0	0	0,16	0,08
P10_20_1_1_1	9079	1,57	0	0	1,57	0	1,65	0,2
P10_20_1_1_2	3333	0	0	0	0	0	0,27	0,19
P10_20_1_1_3	2091	0	0	0	0	0	0,91	0,17
P10_20_1_2_1	8580	1,51	0	0	1,51	0	1,06	0,83
P10_20_1_2_2	4576	1,36	0	0	1,36	0	0,37	0,2
P10_20_1_2_3	1679	0	0	0	0	0	0,47	0,18
P10_20_1_3_1	15554	1,04	0	0	1,04	0	2,25	0,21
P10_20_1_3_2	4324	0	0	0	0	0	0,72	0,94
P10_20_1_3_3	962	0	0	0	0	0	0,67	0,2
P10_20_2_1_1	3242	0	0	0	0	0	5,68	0,2
P10_20_2_1_2	0	0	0	0	0	0	0,19	0,15
P10_20_2_1_3	573	0	0	0	0	0	0,37	0,12
P10_20_2_2_1	3199	0	0	0	0	0	12,73	0,17
P10_20_2_2_2	1050	0	0	0	0	0	0,22	0,12
P10_20_2_2_3	1359	1,68	0,74	0	1,68	0,74	0,27	0,14
P10_20_2_3_1	10902	0	0	0	0	0	8,28	0,19
P10_20_2_3_2	697	0	0	0	0	0	0,33	0,15
P10_20_2_3_3	559	0	0	0	0	0	0,14	0,19
P10_20_3_1_1	7345	0,2	0	0	0,2	0	5,63	0,16
P10_20_3_1_2	2541	0	0	0	0	0	0,95	0,17
P10_20_3_1_3	3142	1,39	1,24	0	1,39	1,24	0,37	0,93
P10_20_3_2_1	7132	0	0	0	0	0	19,44	0,2
P10_20_3_2_2	4999	1,27	0	0	1,27	0	0,53	0,2
P10_20_3_2_3	2116	0	0	0	0	0	0,5	0,16
P10_20_3_3_1	15007	0,16	0,09	0	0,16	0,09	2,67	0,2
P10_20_3_3_2	4163	0	0	0	0	0	0,87	0,19
P10_20_3_3_3	1876	1,81	0	0	1,81	0	0,17	0,9
P20_20_1_1_1	6852	1,47	1,47	0	1,47	1,47	48	0,24
P20_20_1_1_2	0	0	0	0	0	0	0,59	0,22
P20_20_1_1_3	4053	0,29	0	0	0,29	0	3,71	0,42
P20_20_1_2_1	6719	0	0	0	0	0	748,37	0,26
P20_20_1_2_2	1095	1,42	0	0	1,42	0	1,44	0,22
P20_20_1_2_3	3419	0	0	0	0	0	1,37	0,43
P20_20_1_3_1	14298	1,78	1,28	0	1,78	1,28	185,16	0,24
P20_20_1_3_2	931	0	0	0	0	0	0,59	0,24
P20_20_1_3_3	3587	1,81	1,81	0	1,81	1,81	0,51	0,42
P20_20_2_2_1	5978	0	0	0	0	0	380,53	0,41

EK-8. (Devam)

Test Problemleri	Alt Sınır	YSDALT(ORT)	YSDALT(ENB)	YSD	YSDÜST(ORT)	YSDÜST(ENB)	CPU	
							ÖM_GE	DTB
P20_20_2_2_2	3453	0	0	0	0	0	0,67	0,35
P20_20_2_2_3	3086	2,85	2,85	0	2,85	2,85	0,89	0,28
P20_20_2_3_1	13521	1,98	1,15	0	1,98	1,15	1722,16	0,42
P20_20_2_3_2	2760	0	0	0	0	0	1,08	0,27
P20_20_2_3_3	2676	0	0	0	0	0	0,3	0,33
P20_20_3_3_1	20198	0,57	0,52	0	0,57	0,52	164,77	0,4
P20_20_3_3_2	2002	0	0	0	0	0	0,56	0,32
P20_20_3_3_3	1478	2,26	1,83	0	2,26	1,83	0,45	0,41
P20_30_1_1_1	2526	1,11	0	0	1,11	0	146,32	0,57
P20_30_1_1_2	2335	0	0	0	0	0	50,76	0,53
P20_30_1_1_3	5560	2,03	2,03	0	2,03	2,03	2,34	0,45
P20_30_1_2_1	11847	2,08	0	0	2,08	0	119,47	0,6
P20_30_1_2_2	2647	0	0	0	0	0	30,59	0,53
P20_30_1_2_3	2516	0	0	0	0	0	6,18	0,46
P20_30_1_3_1	9901	0	0	0	0	0	1090,07	0,56
P20_30_1_3_2	8004	0,02	0	0	0,02	0	20,2	0,63
P20_30_1_3_3	5314	1,54	1,54	0	1,54	1,54	6,57	0,5
P20_30_2_1_1	2313	0	0	0	0	0	38,7	0,5
P20_30_2_1_2	5061	0,36	0	0	0,36	0	57,99	0,41
P20_30_2_1_3	5728	0,96	0	0	0,96	0	1,5	0,31
P20_30_2_2_1	10698	0	0	0	0	0	1810,48	0,51
P20_30_2_2_2	5484	0	0	0	0	0	10,44	0,29
P20_30_2_2_3	1956	0,09	0	0	0,09	0	0,83	0,38
P20_30_2_3_1	9930	0	0	0	0	0	495,15	0,49
P20_30_2_3_2	10208	0	0	0	0	0	8,03	0,35
P20_30_2_3_3	4841	0,19	0,19	0	0,19	0,19	3,31	0,48
P20_30_3_1_1	9287	0	0	0	0	0	200,51	0,38
P20_30_3_1_2	4409	0	0	0	0	0	89,9	0,51
P20_30_3_1_3	4925	0	0	0	0	0	0,78	0,32
P20_30_3_2_1	18546	0	0	0	0	0	57,69	0,61
P20_30_3_2_2	4408	0,89	0,54	0	0,89	0,54	22,65	0,59
P20_30_3_2_3	1215	0	0	0	0	0	0,94	0,55
P20_30_3_3_1	16549	1,5	0	0	1,5	0	778,71	0,3
P20_30_3_3_2	9542	0	0	0	0	0	17,11	0,28
P20_30_3_3_3	3805	0,28	0	0	0,28	0	12	0,44
P30_30_1_1_1	0	0	0	0	0	0	924,24	0,67
P30_30_1_1_2	6689	1,64	1,64	0	1,64	1,64	1338,47	0,88
P30_30_1_1_3	7778	0,55	0	0	0,55	0	13,82	0,5
P30_30_1_2_1	7304	1,61	0,77	0	1,61	0,77	120,94	0,73
P30_30_1_2_2	7046	0	0	0	0	0	120,59	0,61
P30_30_1_2_3	4423	2,44	2,01	0	2,44	2,01	2,37	0,14
P30_30_1_3_1	5123	0	0	0	0	0	90,65	0,5
P30_30_1_3_2	11546	2,47	1,99	0	2,47	1,99	616,52	1,1
P30_30_1_3_3	6628	0	0	0	0	0	14,65	0,15
P30_30_2_2_1	16408	0,22	0	0	0,22	0	135,11	1,71
P30_30_2_2_2	7058	2,81	0,89	0	2,81	0,89	113,52	1,15
P30_30_2_2_3	874	0	0	0	0	0	2,87	1,02
P30_30_2_3_1	14309	0,56	0,39	0	0,56	0,39	3924,27	1,12
P30_30_2_3_2	12025	0	0	0	0	0	55,91	0,99
P30_30_2_3_3	3408	0,44	0	0	0,44	0	11,68	1,22
P30_30_3_3_1	12634	0,18	0	0	0,18	0	743,83	1,68
P30_30_3_3_2	17019	0	0	0	0	0	449,25	0,137
P30_30_3_3_3	5970	0,96	0	0	0,96	0	92,81	0,67
P30_40_1_1_1	353	0	0	0	0	0	61,71	1,14
P30_40_1_1_2	5740	1,94	1,85	0	1,94	1,85	604,66	0,146

**EK-8. (Devam)**

Test Problemleri	Alt Smr	YSDALT(ORT)	YSDALT(ENB)	YSD	YSDÜST(ORT)	YSDÜST(ENB)	CPU	
							ÖM_GE	DTB
P30_40_1_1_3	10516	0	0	0	0	0	285,01	1,87
P30_40_1_2_1	892	0	0	0	0	0	328,9	1,72
P30_40_1_2_2	7215	2,52	2,05	0	2,52	2,05	4134,12	1,69
P30_40_1_2_3	3429	2,98	0,93	0	2,98	0,93	1,94	0,61
P30_40_1_3_1	1552	0	0	0	0	0	6802,05	0,14
P30_40_1_3_2	7842	0	0	0	0	0	85,22	2,8
P30_40_1_3_3	6131	1,02	0	0	1,02	0	1,93	2,13
P30_40_2_1_1	10130	2,23	1,63	0	2,23	1,63	412,73	2,21
P30_40_2_1_2	6057	0	0	0	0	0	22,03	2,33
P30_40_2_1_3	7261	0,69	0	0	0,69	0	29,67	1,33
P30_40_2_2_1	8532	-4,41	-5,08	6,96	2,86	2,24	7200	2,24
P30_40_2_2_2	6809	2,18	0,32	0	2,18	0,32	2755,15	2,24
P30_40_2_2_3	0	0	0	0	0	0	1,84	2,63
P30_40_2_3_1	9512	-10,75	-11,05	26,45	18,55	18,32	7200	1,13
P30_40_2_3_2	7970	0	0	0	0	0	55,8	2,03
P30_40_2_3_3	2418	1,94	1,57	0	1,94	1,57	4,93	2,93
P30_40_3_1_1	8009	0,13	0	0	0,13	0	615,22	2,83
P30_40_3_1_2	10646	0	0	0	0	0	28,17	2,53
P30_40_3_1_3	10180	0,12	0	0	0,12	0	137,7	2,43
P30_40_3_2_1	7670	2,67	1,58	0	2,67	1,58	4347,09	1,02
P30_40_3_2_2	11545	0,53	0	0	0,53	0	6105,83	2,13
P30_40_3_2_3	2389	0	0	0	0	0	6,02	2,93
P30_40_3_3_1	7689	-11,55	-11,84	24,63	15,92	15,7	7200	2,43
P30_40_3_3_2	12485	0,31	0	0	0,31	0	84,05	2,13
P30_40_3_3_3	4883	3,6	0	0	3,6	0	19,81	2,23
<b>Ortalama</b>	<b>5822,99</b>	<b>0,37</b>	<b>0,05</b>	<b>0,43</b>	<b>0,85</b>	<b>0,53</b>	<b>486,78</b>	<b>0,7</b>

**EK-9. Orta boyutlu problemlerin her biri için önerilen DTB yaklaşımından elde edilen sonuçlar**

Test Problemleri	Alt Sımr	YSDALT(ORT)	YSDALT(ENB)	YSD	YSDÜST(ORT)	YSDÜST(ENB)	CPU	
							ÖM_GE	DTB
P40_40_1_1_2	5366	0	0	0	0	0	0,78	3,31
P40_40_1_1_3	13552	1,93	0	0	1,93	0	3368,3	3,37
P40_40_1_2_1	2729	0	0	0	0	0	3451,46	3,35
P40_40_1_2_2	5421	1,45	0,41	0	1,45	0,41	527,61	3,35
P40_40_1_2_3	6170	0	0	0	0	0	45,37	3,68
P40_40_1_3_1	2867	-27,99	-31,98	60,47	49,41	47,83	7200	4,44
P40_40_1_3_2	6819	0	0	0	0	0	8,14	3,83
P40_40_1_3_3	8698	0	0	0	0	0	114,96	4,46
P40_40_2_2_1	2494	-3,1	-3,41	42,6	40,82	40,64	7200	4,36
P40_40_2_2_2	6360	-2,55	-3,58	18,77	16,7	15,86	7200	3,34
P40_40_2_2_3	0	0	0	0	0	0	0,39	3,95
P40_40_2_3_1	3094	0	0	62,18	62,18	62,18	7200	3,38
P40_40_2_3_2	7208	-2,13	-9,1	19,59	17,88	12,27	7200	3,36
P40_40_2_3_3	1879	0	0	0	0	0	0,95	4,33
P40_40_3_3_1	3347	-35,84	-36,81	72,55	62,71	62,45	7200	4,43
P40_40_3_3_2	8402	0	0	0	0	0	316,54	4,53
P40_40_3_3_3	4016	0	0	0	0	0	2,67	4,34
P40_50_1_1_1	13492	-22,54	-23,41	42,92	30,05	29,56	7200	5,74
P40_50_1_1_2	12257	0,83	0,2	0	0,83	0,2	3048,77	6,17
P40_50_1_1_3	11121	0,17	0	19,11	19,25	19,11	7200	5,34
P40_50_1_2_1	8148	-26,93	-26,93	55,57	43,61	43,61	7200	5,59
P40_50_1_2_2	8765	0	0	0	0	0	95,25	4,84
P40_50_1_2_3	9820	1,12	0	4,92	5,99	4,92	7200	4,33
P40_50_1_3_1	20233	-7,38	-8,57	25,39	19,88	18,99	7200	4,61
P40_50_1_3_2	3284	0	0	0	0	0	901,89	4,78
P40_50_1_3_3	13136	4,05	1,3	0	4,05	1,3	1714,36	4,51
P40_50_2_1_1	13499	-15,81	-16,1	45,6	37,01	36,84	7200	4,31
P40_50_2_1_2	13317	-3,43	-9,12	27,77	25,29	21,18	7200	5,69
P40_50_2_1_3	3428	0	0	0	0	0	3973,6	7,1
P40_50_2_2_1	7481	-2,67	-6,67	62,69	61,69	60,2	7200	6,33
P40_50_2_2_2	8203	-14,16	-14,46	25,37	14,81	14,59	7200	6,65
P40_50_2_2_3	1271	0	0	0	0	0	1444,26	7,14
P40_50_2_3_1	19993	-7,66	-8,95	24,12	18,3	17,33	7200	6,67
P40_50_2_3_2	3540	-60,28	-68,56	64,46	43,04	40,09	7200	7,62
P40_50_2_3_3	5672	0,68	0	0	0,68	0	97,59	8,01
P40_50_3_1_1	13751	-1,4	-2,98	51,72	51,04	50,28	7200	6,61
P40_50_3_1_2	14254	0,32	0	7,11	7,41	7,11	7200	7,05
P40_50_3_1_3	6011	0	0	0	0	0	6361,58	6,49
P40_50_3_2_1	8700	-29,54	-34,45	58,49	46,23	44,19	7200	6,41
P40_50_3_2_2	10470	1,37	0	0	1,37	0	950,17	7,88
P40_50_3_2_3	4605	0	0	0	0	0	1333,29	10,33
P40_50_3_3_1	20046	-3,75	-11,75	33,46	30,97	25,64	7200	9,16
P40_50_3_3_2	4895	-12,42	-18,37	17,15	6,87	1,94	7200	9,38
P40_50_3_3_3	8115	0	0	0	0	0	155,69	9,96
P50_50_1_1_1	24886	8,31	0,21	34,1	39,58	34,24	7200	9,3
P50_50_1_1_2	21059	-1,48	-7,46	18,47	17,26	12,39	7200	11,73
P50_50_1_1_3	8551	8,23	8,13	40,86	45,72	45,66	7200	10,91
P50_50_1_2_1	18058	-4,3	-21,9	43,76	41,34	31,44	7200	13,16
P50_50_1_2_2	15650	-1,9	-13,26	11,18	9,49	-0,6	7200	15,4
P50_50_1_2_3	6944	-5,63	-37,99	29,77	25,81	3,09	7200	19,9
P50_50_1_3_1	30493	-1,32	-7,08	17,67	16,59	11,84	7200	18,18
P50_50_1_3_2	10925	-3,72	-22,23	35,87	33,48	21,61	7200	14,34
P50_50_1_3_3	10532	-8,82	-9,88	13,23	5,57	4,65	7200	14,08
P50_50_2_2_1	14084	-4,39	-22,4	55,15	53,18	45,1	7200	13,87
P50_50_2_2_2	11610	0,78	0	0	0,78	0	1505,83	10,26

EK-9. (Devam)

Test Problemleri	Alt Smr	YSDALT(ORT)	YSDALT(ENB)	YSD	YSDÜST(ORT)	YSDÜST(ENB)	CPU	
							ÖM_GE	DTB
P50_50_2_2_3	5443	-14,61	-15,6	24,62	13,61	12,87	7200	19,11
P50_50_2_3_1	24122	-17,6	-17,88	32,67	20,82	20,63	7200	14,33
P50_50_2_3_2	7335	-7,69	-8,23	31,78	26,54	26,17	7200	17,66
P50_50_2_3_3	8965	2,76	0,1	0	2,76	0,1	6425,82	14,15
P50_50_3_3_1	37065	-4,25	-5,51	18,35	14,88	13,85	7200	12,67
P50_50_3_3_2	1567	-31,05	-33,31	81,62	75,92	75,5	7200	11,62
P50_50_3_3_3	12212	0,04	0	0	0,04	0	4979,47	12,01
P50_60_1_1_1	22308	2,04	0	47,49	48,56	47,49	7200	13,28
P50_60_1_1_2	8284	-8,79	-47,4	59,83	56,3	40,79	7200	13,71
P50_60_1_1_3	3706	0,22	0	35,75	35,89	35,75	7200	12,88
P50_60_1_2_1	11543	-0,08	-0,93	30,23	30,17	29,58	7200	16,13
P50_60_1_2_2	16054	-4,09	-21,71	35,15	32,5	21,07	7200	10,38
P50_60_1_2_3	7798	-5,63	-32,91	37,46	33,93	16,88	7200	14,87
P50_60_1_3_1	23159	-0,22	-7,79	30,3	30,15	24,87	7200	14,15
P50_60_1_3_2	16847	-1,36	-9,32	12,87	11,68	4,75	7200	19,32
P50_60_1_3_3	7141	-1,99	-11,09	18,57	16,94	9,53	7200	19,05
P50_60_2_1_1	20379	-5,66	-32,98	51,15	48,38	35,04	7200	18,85
P50_60_2_1_2	4764	-12,37	-67,93	63,49	58,98	38,7	7200	21,57
P50_60_2_1_3	2619	0	0	0	0	0	4323,22	23,08
P50_60_2_2_1	5383	-35,57	-40,8	54,44	38,24	35,86	7200	19,3
P50_60_2_2_2	12127	-3,49	-5,57	28,91	26,42	24,95	7200	11,63
P50_60_2_2_3	5769	-29,68	-33,07	32,8	12,86	10,58	7200	19,12
P50_60_2_3_1	16284	-1,14	-2,01	41,74	41,08	40,57	7200	27,65
P50_60_2_3_2	12646	0,64	0	1,37	2	1,37	7200	16,6
P50_60_2_3_3	4760	-25,42	-27,61	38,33	22,66	21,31	7200	26,99
P50_60_3_1_1	33463	-8,22	-9,28	33,98	28,55	27,85	7200	18,58
P50_60_3_1_2	0	0	0	100	100	100	7200	27,33
P50_60_3_1_3	5841	1,1	0,1	0	1,1	0,1	6902,67	11,77
P50_60_3_2_1	18251	0,63	0	5,05	5,65	5,05	7200	35,69
P50_60_3_2_2	7107	-37,08	-38,5	57,35	41,54	40,93	7200	34,16
P50_60_3_2_3	9400	0,16	0	4,15	4,3	4,15	7200	30,51
P50_60_3_3_1	28862	-3,82	-5,99	24,13	21,23	19,58	7200	11,44
P50_60_3_3_2	8293	-12,3	-12,47	27,17	18,21	18,09	7200	13,66
P50_60_3_3_3	8273	0,72	0	0	0,72	0	6089,48	22,24
P60_60_1_1_1	26241	-15,07	-15,24	49,59	42	41,91	7200	11,64
P60_60_1_1_2	0	0	0	100	100	100	7200	40,07
P60_60_1_1_3	0	0	0	0	0	0	6247,43	33,25
P60_60_1_2_1	12086	3,1	0,96	45,65	47,34	46,17	7200	14,5
P60_60_1_2_2	5341	-46,9	-47,52	69,66	55,43	55,24	7200	39,74
P60_60_1_2_3	2401	0,15	0	0	0,15	0	6301,34	34,24
P60_60_1_3_1	21684	-9,1	-14,17	47,42	42,63	39,97	7200	11,52
P60_60_1_3_2	6007	2,79	-0,1	25,45	27,54	25,38	7200	17,68
P60_60_1_3_3	1463	0,71	0	0	0,71	0	6235,3	38,42
P60_60_2_2_1	0	0	0	0	0	0	381,03	38,21
P60_60_2_2_2	14072	-18,31	-19,49	32,34	19,95	19,15	7200	30,6
P60_60_2_2_3	5756	-11,79	-19,11	49,04	43,03	39,3	7200	22,44
P60_60_2_3_1	8646	5,37	0	50,98	53,61	50,98	7200	38,67
P60_60_2_3_2	13906	-15,29	-16,09	28,54	17,62	17,05	7200	20,99
P60_60_2_3_3	5046	-78,23	-78,46	54,46	18,83	18,73	7200	28,49
P60_60_3_3_1	19610	-11,44	-14,99	57,39	52,52	51,01	7200	37,01
P60_60_3_3_2	13952	-8,74	-8,77	10,28	2,44	2,41	7200	25,96
P60_60_3_3_3	4162	-77,88	-87,99	49,14	9,53	4,39	7200	36,35
<b>Ortalama</b>	<b>10281,58</b>	<b>-7,65</b>	<b>-11,81</b>	<b>26,6</b>	<b>22,84</b>	<b>20,41</b>	<b>5725,57</b>	<b>14,3</b>

**EK-10. Büyük boyutlu problemlerin her biri için önerilen DTB yaklaşımından elde edilen sonuçlar**

Test Problemleri	Alt Sınır	YSDA <sup>ORT</sup>	YSDA <sup>ENB</sup>	YSD	YSD <sup>ORT</sup>	YSD <sup>ENB</sup>	CPU	
							ÖM_GE	DTB
P60_70_1_1_1	13010	-34,24	-35,02	58,72	44,59	44,26	7200	29,65
P60_70_1_1_2	2550	-16,6	-17,1	64,24	58,31	58,13	7200	26,26
P60_70_1_1_3	8030	0,06	0	27,56	27,61	27,56	7200	17,23
P60_70_1_2_1	24038	-9,5	-11,42	31,32	24,79	23,48	7200	33,43
P60_70_1_2_2	7725	-2,33	-5,83	46,18	44,93	43,05	7200	25,82
P60_70_1_2_3	7564	0,38	-3	17,58	17,89	15,1	7200	18,54
P60_70_1_3_1	35330	-30,05	-32,67	30,02	8,99	7,16	7200	29,49
P60_70_1_3_2	6328	4,26	3,48	5,05	9,1	8,35	7200	37,64
P60_70_1_3_3	890	-86,04	-111,8	74,96	53,41	46,96	7200	24,07
P60_70_2_1_1	5270	-36,61	-37,95	29,62	3,85	2,91	7200	23,8
P60_70_2_1_2	9194	-45,88	-55,38	35,74	6,26	0,15	7200	54,72
P60_70_2_1_3	12285	0,8	0	8,06	8,8	8,06	7200	43,94
P60_70_2_2_1	10130	-10,62	-14,23	14,25	5,14	2,06	7200	24,4
P60_70_2_2_2	15845	-19,76	-25,02	21,47	5,96	1,82	7200	52,91
P60_70_2_2_3	11098	0,04	0	1,35	1,39	1,35	7200	21,82
P60_70_2_3_1	24136	-13,72	-15,96	21,83	11,11	9,36	7200	33,1
P60_70_2_3_2	13558	2,66	2,25	0,3	2,95	2,55	7200	18,48
P60_70_2_3_3	3222	0	0	7,76	7,76	7,76	7200	32,22
P60_70_3_1_1	13375	-21,51	-21,84	44,98	33,15	32,96	7200	21,11
P60_70_3_1_2	8832	-16,96	-21,85	38,25	27,77	24,75	7200	24,34
P60_70_3_1_3	10853	2,72	0	14,34	16,67	14,34	7200	22,31
P60_70_3_2_1	21129	0,3	0,13	16,4	16,65	16,51	7200	53,95
P60_70_3_2_2	14490	-3,43	-8,58	33,97	31,71	28,31	7200	51,92
P60_70_3_2_3	9990	1,68	0,38	4,79	6,39	5,15	7200	47,11
P60_70_3_3_1	35251	-2,86	-4,63	12,23	9,72	8,17	7200	20,56
P60_70_3_3_2	13400	0,8	0	5,11	5,86	5,11	7200	18,2
P60_70_3_3_3	2413	3,95	3,9	19,51	22,69	22,65	7200	47,05
P70_70_1_1_1	7583	-38,7	-43,73	63,85	49,86	48,04	7200	54,13
P70_70_1_1_2	5766	-16,49	-21,21	58,16	51,26	49,29	7200	41,74
P70_70_1_1_3	17163	1,13	0	9,99	11,01	9,99	7200	82,71
P70_70_1_2_1	15945	-8,89	-10,03	36,96	31,36	30,63	7200	57,91
P70_70_1_2_2	11112	-38,23	-39,21	46,15	25,56	25,03	7200	51,3
P70_70_1_2_3	17068	1,56	0,35	10,12	11,53	10,43	7200	84,02
P70_70_1_3_1	27521	-3,33	-4,39	32,67	30,43	29,71	7200	64,97
P70_70_1_3_2	8990	-3,82	-5,15	25,95	23,13	22,14	7200	62,12
P70_70_1_3_3	9126	3,66	3,06	2,32	5,89	5,3	7200	39,55
P70_70_2_2_1	22463	-14,71	-14,71	15,52	3,09	3,09	7200	49,28
P70_70_2_2_2	16467	0,42	0,02	32,66	32,95	32,68	7200	79,2
P70_70_2_2_3	16176	0,22	0	3,21	3,42	3,21	7200	68,42
P70_70_2_3_1	36256	-10,01	-10,08	18,06	9,86	9,8	7200	69,88
P70_70_2_3_2	16058	-10,79	-11,88	17,77	8,89	7,99	7200	66,5
P70_70_2_3_3	8278	0,76	0	4,71	5,44	4,71	7200	76,41
P70_70_3_3_1	41311	-8,27	-8,9	31,76	26,11	25,68	7200	67,69
P70_70_3_3_2	13124	0,82	0,64	2,41	3,21	3,03	7200	73,07
P70_70_3_3_3	1848	-53,12	-53,35	66,36	48,49	48,41	7200	63,19
P70_80_1_1_1	9806	-12,25	-17,39	72,07	68,65	67,21	7200	86,1
P70_80_1_1_2	3524	3,94	1,76	74,51	75,52	74,96	7200	81,88
P70_80_1_1_3	8787	-18,17	-20,2	28,52	15,53	14,08	7200	91,64
P70_80_1_2_1	19491	-8,77	-9,47	42,35	37,29	36,89	7200	84,34
P70_80_1_2_2	4134	2,01	1,91	75,32	75,82	75,79	7200	94,88
P70_80_1_2_3	13471	-13,19	-13,31	25,63	15,82	15,73	7200	85,82
P70_80_1_3_1	17596	-9,49	-12,08	33,65	27,35	25,63	7200	79,44
P70_80_1_3_2	8204	-19,23	-19,71	62,72	55,55	55,37	7200	73,58
P70_80_1_3_3	11262	-0,47	-0,47	33,86	33,55	33,55	7200	92,7
P70_80_2_1_1	17585	-9,94	-10,17	44,07	38,51	38,38	7200	92,36
P70_80_2_1_2	7096	-33,8	-34,58	64,13	52	51,72	7200	79,83

EK-10. (Devam)

Test Problemleri	Alt Sınır	YSDA <sup>ORT</sup>	YSDA <sup>ENB</sup>	YSD	YSDÜ <sup>ORT</sup>	YSDÜ <sup>ENB</sup>	CPU	
							ÖM_GE	DTB
P70_80_2_1_3	7962	1,2	0,99	7,02	8,13	7,94	7200	87,42
P70_80_2_2_1	26458	-6,11	-12,16	27,39	22,95	18,56	7200	73,11
P70_80_2_2_2	10455	-12,64	-14,73	50,27	43,99	42,95	7200	55,03
P70_80_2_2_3	12724	-4,55	-8,46	19,72	16,07	12,92	7200	76,35
P70_80_2_3_1	22027	-8,84	-11,38	27,74	21,35	19,52	7200	60,39
P70_80_2_3_2	15249	3,96	2,85	48,58	50,62	50,04	7200	83,2
P70_80_2_3_3	9972	0,1	-0,3	26,61	26,68	26,39	7200	89,3
P70_80_3_1_1	27511	-9,15	-9,51	41,33	35,96	35,75	7200	75,47
P70_80_3_1_2	9731	0,99	0,69	19,01	19,81	19,57	7200	79,49
P70_80_3_1_3	1246	2,12	1,93	55,73	56,67	56,59	7200	89,89
P70_80_3_2_1	38294	-5,77	-6,76	25,37	21,06	20,32	7200	78,24
P70_80_3_2_2	9413	-7,15	-7,95	39,88	35,57	35,1	7200	75,72
P70_80_3_2_3	6135	1,26	0,77	38,78	39,55	39,25	7200	69,73
P70_80_3_3_1	32069	2,24	1,28	31,62	33,16	32,49	7200	87,71
P70_80_3_3_2	13955	-11,02	-12,47	32,45	25	24,02	7200	95,15
P70_80_3_3_3	3748	-20,62	-20,97	43,69	32,08	31,89	7200	66,48
P80_80_1_1_1	10702	0,56	-0,12	68,38	68,56	68,34	7200	97,96
P80_80_1_1_2	4382	1,65	-6,05	70,43	70,91	68,64	7200	92,07
P80_80_1_1_3	0	0	0	100	100	100	7200	76,43
P80_80_1_2_1	22327	0,6	0,58	45,05	45,38	45,37	7200	104,49
P80_80_1_2_2	5409	-7,33	-8,62	66,44	63,98	63,55	7200	91,31
P80_80_1_2_3	5200	1,12	1	49,36	49,92	49,86	7200	78,71
P80_80_1_3_1	9555	-22,78	-25,97	70,6	63,9	62,97	7200	97,67
P80_80_1_3_2	8675	1,6	1,51	60,99	61,62	61,58	7200	111,79
P80_80_1_3_3	2883	3,17	2,98	67,41	68,44	68,38	7200	88,28
P80_80_2_2_1	31110	-7,98	-8,81	28,16	22,42	21,82	7200	87,81
P80_80_2_2_2	4095	-12,13	-14,85	75,28	72,29	71,61	7200	70,37
P80_80_2_2_3	10472	-7,12	-13,5	42,04	37,92	34,22	7200	122,69
P80_80_2_3_1	25549	5,58	5,41	35,92	39,49	39,38	7200	88,85
P80_80_2_3_2	9034	2,09	0,76	62,75	63,53	63,04	7200	119,37
P80_80_2_3_3	8085	-2,11	-5,69	51,83	50,81	49,09	7200	136,53
P80_80_3_3_1	6470	-47,26	-53,06	78,47	68,29	67,04	7200	85,06
P80_80_3_3_2	13203	-15,53	-21,09	52,78	45,45	42,83	7200	130,75
P80_80_3_3_3	5336	1,95	0,37	56,91	57,75	57,07	7200	83,55
P80_90_1_1_1	16146	-20,8	-23,18	54,87	45,49	44,41	7200	102,58
P80_90_1_1_2	4701	5,91	1,08	59,39	61,79	59,83	7200	94,21
P80_90_1_1_3	1202	-0,75	-15,31	35,66	35,18	25,81	7200	112,97
P80_90_1_2_1	12665	-23,33	-26,07	71,48	64,83	64,05	7200	111,88
P80_90_1_2_2	6281	-31,3	-42,88	59,98	47,45	42,82	7200	93,13
P80_90_1_2_3	0	0	0	100	100	100	7200	112,56
P80_90_1_3_1	9998	-19,62	-23,27	56,8	48,32	46,74	7200	100,53
P80_90_1_3_2	6100	2,84	1,95	37,98	39,75	39,19	7200	100,61
P80_90_1_3_3	3923	0,86	0	4,36	5,19	4,36	7200	87,17
P80_90_2_1_1	21246	-10,59	-11,2	47,52	41,97	41,65	7200	86,5
P80_90_2_1_2	3790	3,59	2,48	74,27	75,19	74,91	7200	102,69
P80_90_2_1_3	6495	1,91	1,49	29,71	31,06	30,76	7200	106,13
P80_90_2_2_1	21559	-14,52	-14,67	57,1	50,88	50,81	7200	87,99
P80_90_2_2_2	4935	-22,6	-23,67	73,55	67,57	67,29	7200	111,4
P80_90_2_2_3	9021	-13,94	-16,9	56,36	50,28	48,99	7200	105,81
P80_90_2_3_1	20402	7,92	5,29	33,34	38,62	36,86	7200	82,59
P80_90_2_3_2	4431	-45,41	-57,71	68,76	54,58	50,73	7200	97,59
P80_90_2_3_3	8314	2,3	1,91	35,2	36,69	36,44	7200	80,44
P80_90_3_1_1	11118	1,16	1,14	68,2	68,57	68,56	7200	94,06
P80_90_3_1_2	8877	-20,3	-23,34	53,67	44,27	42,86	7200	92,02
P80_90_3_1_3	3713	0,76	0,57	47,78	48,17	48,07	7200	111,31

EK-10. (Devam)

Test Problemleri	Alt Sınır	YSDA <sup>ORT</sup>	YSDA <sup>ENB</sup>	YSD	YSD <sup>ÜORT</sup>	YSD <sup>ÜENB</sup>	CPU	
							ÖM_GE	DTB
P80_90_3_2_1	13325	-18,19	-19,98	68,63	62,93	62,36	7200	88,25
P80_90_3_2_2	10450	-10,42	-18,12	56,7	52,19	48,85	7200	83,26
P80_90_3_2_3	2668	-17,22	-17,77	83,97	81,21	81,12	7200	102,4
P80_90_3_3_1	14223	0,85	0,75	39,57	40,08	40,02	7200	107
P80_90_3_3_2	8509	-9,32	-15,95	54,46	50,21	47,2	7200	105,37
P80_90_3_3_3	5829	-16,52	-17,38	28,39	16,56	15,94	7200	118,6
P90_90_1_1_1	20950	-5,84	-6,84	43,22	39,91	39,34	7200	105,95
P90_90_1_1_2	4720	1,59	0,36	47,26	48,09	47,45	7200	107,58
P90_90_1_1_3	2319	6,92	4,96	26,6	31,68	30,24	7200	96,33
P90_90_1_2_1	15545	-19,3	-21,47	65,97	59,41	58,67	7200	95,25
P90_90_1_2_2	7375	-30,12	-33,94	47,99	32,32	30,34	7200	106,5
P90_90_1_2_3	805	1,42	1,12	92,08	92,19	92,17	7200	89,57
P90_90_1_3_1	16261	-7,7	-8,24	41,67	37,18	36,87	7200	115,54
P90_90_1_3_2	5450	3,01	1,85	45,4	47,04	46,41	7200	105,63
P90_90_1_3_3	4302	1	0,33	21,44	22,22	21,69	7200	102,18
P90_90_2_2_1	12700	-27,04	-27,16	77,42	71,32	71,29	7200	101,51
P90_90_2_2_2	8932	-4,45	-12,98	50,46	48,26	44,04	7200	107,7
P90_90_2_2_3	6891	-12,89	-16,28	63,65	58,97	57,73	7200	91,14
P90_90_2_3_1	6166	3,35	2,74	83,33	83,89	83,79	7200	103
P90_90_2_3_2	5368	2,09	0	54,29	55,25	54,29	7200	96,41
P90_90_2_3_3	5792	-16,16	-19,87	50,29	42,26	40,41	7200	100,82
P90_90_3_3_1	1152	-61,53	-64,24	91,02	85,49	85,25	7200	97,61
P90_90_3_3_2	4978	4	1,93	31,09	33,84	32,41	7200	102,6
P90_90_3_3_3	7118	0,74	0,24	5,95	6,64	6,18	7200	95,45
P90_100_1_1_1	15661	-11,52	-13,74	56,29	51,25	50,28	7200	105,3
P90_100_1_1_2	4863	7,28	0,58	80,4	81,82	80,51	7200	99,75
P90_100_1_1_3	7474	4,61	2,45	15,45	19,35	17,52	7200	83,04
P90_100_1_2_1	21051	-9,63	-9,75	47,81	42,78	42,72	7200	105,2
P90_100_1_2_2	2425	6,83	0,33	87,69	88,53	87,73	7200	107,21
P90_100_1_2_3	4286	4,37	3,66	16,87	20,51	19,92	7200	102,17
P90_100_1_3_1	9468	1,51	1,47	57,75	58,39	58,37	7200	107,79
P90_100_1_3_2	6823	-30,92	-31,67	69,1	59,54	59,31	7200	109,42
P90_100_1_3_3	805	4,77	3,23	90,11	90,58	90,43	7200	84,53
P90_100_2_1_1	16962	-16,57	-17,66	60,67	54,15	53,73	7200	108,71
P90_100_2_1_2	5249	6,6	1,7	78,76	80,16	79,12	7200	102,17
P90_100_2_1_3	8446	-16,71	-17,61	41,53	31,76	31,24	7200	98,27
P90_100_2_2_1	14652	1,62	0,16	71,24	71,71	71,28	7200	96,97
P90_100_2_2_2	5677	-33,36	-35,92	71,81	62,4	61,68	7200	109,37
P90_100_2_2_3	6365	1,34	1,12	42,57	43,34	43,21	7200	93,18
P90_100_2_3_1	6429	-33,2	-35,54	79,83	73,14	72,66	7200	112,76
P90_100_2_3_2	9267	-24,59	-24,69	59,79	49,9	49,86	7200	105,04
P90_100_2_3_3	4897	0	-15,87	69,09	64,85	64,19	7200	106,16
P90_100_3_1_1	10071	-30,59	-31,54	61,69	49,97	49,61	7200	93,31
P90_100_3_1_2	5379	3,67	2,45	74,12	75,07	74,76	7200	111,35
P90_100_3_1_3	9416	4,9	4,73	16,55	20,64	20,49	7200	96,23
P90_100_3_2_1	10221	-10,69	-12,35	67,12	63,61	63,07	7200	106,56
P90_100_3_2_2	4022	-44,54	-47,27	78,51	68,93	68,35	7200	108,07
P90_100_3_2_3	6969	1,7	0	2,74	4,39	2,74	7200	114,07
P90_100_3_3_1	4541	-19,31	-22,46	50,58	41,04	39,48	7200	104,55
P90_100_3_3_2	6262	3,55	0,93	68,85	69,96	69,14	7200	103,1
P90_100_3_3_3	5549	-21,42	-22,91	45,98	34,41	33,61	7200	108,45
P100_100_1_1_1	10164	0,79	-2,52	70,75	70,98	70,01	7200	112,92
P100_100_1_1_2	5923	-32,36	-34,27	80,52	74,21	73,84	7200	108,57
P100_100_1_1_3	9643	3,74	-1,31	20,4	23,37	19,36	7200	111,86
P100_100_1_2_1	21415	-0,09	-0,65	46,51	46,46	46,16	7200	114,02



**EK-10. (Devam)**

Test Poblemleri	Alt Sınır	YSDA <sup>ORT</sup>	YSDA <sup>ENB</sup>	YSD	YSDÜ <sup>ORT</sup>	YSDÜ <sup>ENB</sup>	CPU	
							ÖM_GE	DTB
P100_100_1_2_2	3275	-31,81	-38,63	88,03	84,22	83,41	7200	115,03
P100_100_1_2_3	9996	3,95	3,72	4,76	8,53	8,31	7200	110,99
P100_100_1_3_1	5805	2,16	0	71,09	71,72	71,09	7200	116,61
P100_100_1_3_2	7177	-48,27	-52,99	76,84	65,65	64,56	7200	108,24
P100_100_1_3_3	6141	9,11	0,86	53,07	57,35	53,48	7200	103,35
P100_100_2_2_1	30140	-7,3	-8,21	31,12	26,09	25,47	7200	107,53
P100_100_2_2_2	1412	-61,44	-68,06	93,72	89,87	89,45	7200	106,99
P100_100_2_2_3	6138	-44,11	-45,85	72,33	60,12	59,64	7200	117,09
P100_100_2_3_1	9851	4,29	0	60,73	62,42	60,73	7200	115,79
P100_100_2_3_2	4722	3,86	-1,93	82,59	83,26	82,25	7200	108,19
P100_100_2_3_3	5949	5,67	5,66	24,31	28,6	28,6	7200	110,12
P100_100_3_3_1	0	0	0	100	100	100	7200	111,58
P100_100_3_3_2	8452	2,52	1,42	71,09	71,82	71,5	7200	113,86
P100_100_3_3_3	0	0	0	100	100	100	7200	115,12
<b>Ortalama</b>	<b>10659,78</b>	<b>-9,42</b>	<b>-11,74</b>	<b>46,93</b>	<b>43,23</b>	<b>42,2</b>	<b>7200</b>	<b>84,7</b>

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Seda HEZER  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Elbistan-28.04.1984  
**Telefon** : 0332 223 20 98  
**e-mail** : sedahezer@selcuk.edu.tr

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Elbistan Anadolu Lisesi, Elbistan, K.Maraş	2002
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Selçuklu, Konya	2007
Yüksek Lisans	: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Selçuklu, Konya	2010
Doktora	: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Selçuklu, Konya	2017

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2008-2015	Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri	Araştırma Görevlisi
2015-	Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı	Araştırma Görevlisi

### UZMANLIK ALANI

Demontaj Hattı Dengeleme, Matematiksel Modelleme, Metasezgisel Yöntemler

### YABANCI DİLLER

İngilizce (ÜDS-77,50, KPDS-75)

### YAYINLAR

#### Uluslararası Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler

[1] Hezer, S., Kara, Y., 2013, “Eşzamanlı Dağıtım Ve Toplamalı Araç Rotalama Problemlerinin Çözümü İçin Bakteriyel Besin Arama Optimizasyonu Tabanlı Bir Algoritma”, *Journal Of The Faculty Of Engineering And Architecture Of Gazi University*, 28(2), 373-382 (Yüksek Lisans tezinden yararlanılarak yapılmıştır).

[2] Kara, Y., Atasagun, Y., Gökçen, H., Hezer, S., Demirel, N., 2014, An integrated model to incorporate ergonomics and resource restrictions into assembly line balancing, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, DOI: 10.1080/0951192X.2013.874575.

[3] Hezer, S., Kara, Y., 2015, “A network based shortest route model for parallel disassembly line balancing problem”, *International Journal of Production Research* 53(6),1849-1865.

### **Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan Bildiriler**

[1] Hezer, S., Kara, Y., 2011, “Solving Vehicle Routing Problem With Simultaneous Delivery And Pick-up Using Bacterial Foraging Optimization Algorithm”, *41<sup>st</sup> International Conference on Computers & Industrial Engineering*, 23-26 October, Los Angeles, USA, 380-385 (Yüksek Lisans tezinden yararlanılarak yapılmıştır).

[2] Hezer, S., Kara, Y., 2012, “Two Sided Disassembly Line Balancing Problem”, *25<sup>th</sup> European Conference on Operational Conference*, 8-11 July, Vilnius, Lithuania, 132.

[3] Hezer, S., Kara, Y., 2014, “Fuzzy Goal Programming Approach For Parallel Disassembly Line Balancing”, *9<sup>th</sup> International Statistics Day Symposium*, 10-15 May, Side, Turkey, 20.

[4] Hezer, S., Kara, Y., 2014, “Disassembly line balancing problems with resource dependent task times”, *20<sup>th</sup> Conference of The International Federation of Operational Research Societies(IFORS 2014)*,13-18 July, Barcelona, Spain, 210.

### **Ulusal Bilimsel Toplantılarda Sunulan Bildiriler**

[1] Hezer, S., Kara, Y., Atasagun, Y., 2009, Tersine Lojistikte Dağıtım ve Toplamalı Araç Rotalama Problemleri: Literatür İncelemesi ve Araştırma Önerileri, *29. YA/EM Kongresi*, Ankara, 326.

[2] Atasagun, Y., Kara, Y., Hezer, S., 2009, Çok Sayıda U-Tipi Üretim Hattının Bütünleşik Olarak Dengelenmesi: Literatür İncelemesi ve Araştırma Önerileri, *29. YA/EM Kongresi*, Ankara, 320.

[3] Hezer, S., Kara, Y., 2010, Eş Zamanlı Dağıtım ve Toplamalı Araç Rotalama Problemlerinin Bakteriyel Besin Arama Algoritması ile Çözümü, *30. YA/EM Kongresi*, İstanbul, 439.

[4] Kara, Y., Karaoğlan, i., Atasagun, Y., 2011, Hezer, S., Montaj Hatlarının Yeniden Dengelenmesi Ve Yapılandırılması İçin Bir Model Ve Karınca Kolonisi Optimizasyon Algoritması”, *31. YA/EM Kongresi*, Sakarya, 127.

[5] Hezer, S., Kara, Y., 2012, “Paralel Demontaj Hattı Dengeleme Probleminin Çözümü İçin Genetik Algoritma Yaklaşımı”, *32. YA/EM Kongresi*, İstanbul, 130.

[6] Hezer, S., Kara, Y., 2012, “Paralel demontaj hattı dengeleme problemi”, *Ulusal lojistik ve tedarik zinciri kongresi*, Konya, 484-492.