

**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORİTMASI İLE BULANIK ORTAMDA  
DEMONTAJ HAT DENGELEME**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Arif HANCILAR**

**Anabilim Dalı: Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Aşkner GÜNGÖR**

**Haziran 2013**

## YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 0091261018 nolu öğrencisi Arif HANCILAR tarafından hazırlanan “YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORİTMASI İLE BULANIK ORTAMDA DEMONTAJ HATTI DENGELEME” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Aşkner GÜNGÖR (PAÜ)

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Turan PAKSOY (SÜ)


Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Leyla DEMİR (PAÜ)

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 12.07.2013... tarih ve .../2013/2... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü  
Prof. Dr. Nuri KOLSUZ

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

İmza

: 

Öğrenci Adı Soyadı : Arif HANCILAR

## ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince bilgi, tecrübe ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam sayın Prof. Dr. Aşkîner Güngör'e saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tezimi hazırlamamda ve bilimsel araştırmalarımda sürekli yanımda olan, çalışmam boyunca bilimsel katkılarıyla beni aydınlatan, çalışmalarım sırasında bana yardımlarını ve bilgisini esirgemeyen sayın Dr. Can Berk Kalaycı'ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

Endüstri Mühendisliği Anabilim dalı öğretim üyeleri Prof.Dr. Osman Kulak, Yrd.Doç.Dr. Özcan Mutlu, Yrd.Doç.Dr. Semih Coşkun, Yrd.Doç.Dr. Aliye Ayça Supçiller, Yrd.Doç.Dr. Hacer Güner Gören ve anabilim dalı dışından Doç.Dr. Ramazan Baştürk, Yrd.Doç.Dr. Emre Çomak ve Dr. Eren Özceylan'a sağladıkları katkılar ve manevi destekler için ve tez jürisi öğretim üyeleri sayın Doç.Dr. Turan Paksoy ve Yrd.Doç.Dr. Leyla Demir'e titiz değerlendirmeleri ve katkıları için teşekkür ederim.

Tez süresi boyunca, her aşamada teze olan destekleri nedeniyle BAP'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her anında ve çalışmalarım esnasında manevi desteklerini hissettiğim aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2013

Arif Hancılar

Endüstri Mühendisi

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	<b>x</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xi</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Temel Terminoloji.....	4
1.2. Tezin Organizasyonu.....	6
<b>2. DEMONTAJ</b> .....	<b>7</b>
2.1. Demontaj .....	7
2.2. Demontaj Hatlarına İlişkin Literatür Araştırması.....	9
<b>3. PROBLEMİN TANIMI, AMAÇLAR VE METODOLOJİ</b> .....	<b>20</b>
3.1. Problemin Tanımı ve Varsayımlar .....	20
3.2. Amaçlar ve Literatüre Katkısı .....	21
3.3. Metodoloji .....	23
3.4. Yapay Arı Kolonisi Algoritması .....	24
3.5. Bulanık Mantık.....	26
3.5.1. Bulanık mantık kavramı .....	26
3.5.2. Bulanık sayıların gösterimi .....	27
3.5.3. Bulanık sayıların aritmetiği .....	27
3.5.4. Bulanık sayıların durulaştırılması.....	28
<b>4. ARI KOLONİSİ ALGORİTMASI İLE ÇOK AMAÇLI BULANIK DEMONTAJ HAT DENGELEME</b> .....	<b>29</b>
4.1. Problemin Yapısı ve Formülasyonu .....	29
4.2. Matematiksel Model.....	31
4.2.1. Deterministik matematiksel model.....	31
4.2.2. Bulanık matematiksel model .....	33
4.3. Önerilen Çözüm Yöntemi .....	34
4.3.1. İlk popülasyonun oluşturulması .....	35
4.3.2. Komşuluk yapıları .....	36
4.3.3. Değerlendirme fonksiyonu .....	38
4.3.4. Pareto optimal çözüm .....	39
4.4. Bulanık Yapay Arı Kolonisi Çözüm Algoritması .....	40
4.5. Sayısal Sonuçlar .....	44
4.5.1. Deterministik sayısal sonuçlar.....	44
4.5.2. Bulanık sayısal sonuçlar .....	48
<b>5. SONUÇ</b> .....	<b>70</b>
<b>KAYNAKÇA</b> .....	<b>72</b>
<b>EKLER</b> .....	<b>77</b>

## **KISALTMALAR**

<b>AEHC</b>	:Adjacent Element Hill Climbing
<b>DHD</b>	:Demontaj Hattı Dengeleme
<b>DHDP</b>	:Demontaj Hattı Dengeleme Problemi
<b>H-K</b>	:Hunter - Killer
<b>MHDP</b>	:Montaj Hattı Dengeleme Problemi
<b>YAK</b>	:Yapay Arı Kolonisi

## ŞEKİL LİSTESİ

### Şekiller

<b>1.1:</b> Ürün yaşam süreci. ....	2
<b>3.1:</b> Bulanık üyelik fonksiyonu ve klasik üyelik fonksiyonu. ....	26
<b>3.2:</b> Bulanık üyelik fonksiyonu. ....	27
<b>4.1:</b> Swap operatörü. ....	36
<b>4.2:</b> Insert operatörü. ....	37
<b>4.3:</b> 2-opt operatörü. ....	37
<b>4.4:</b> Bulanık ortamda uygulanan YAK çözüm algoritmasına ait akış diyagramı. ....	43
<b>4.5:</b> Cep telefonu örneğine ilişkin öncelik ilişkileri. ....	46
<b>4.6:</b> Deterministik YAK algoritmasının leksikografik yöntemine ait sıralaması. ....	47
<b>4.7:</b> Deterministik YAK algoritmasının sabit ağırlıklandırma metoduna ait sıralaması. ....	48
<b>4.8:</b> Bilgisayar problemi için öncelik ilişkileri. ....	49
<b>4.9:</b> Dizüstü bilgisayarın demontajı. ....	50
<b>4.10:</b> Dizüstü bilgisayar örneğine ilişkin öncelik ilişkileri. ....	51
<b>4.11:</b> Cep telefonu örneğinin iterasyon limitleri için çözüm zamanları. ....	67
<b>4.12:</b> Dizüstü bilgisayar örneğinin iterasyon limitleri için çözüm zamanları. ....	67

## TABLO LİSTESİ

### Tablolar

<b>2.1:</b> DHDP ile ilgili literatürde yer alan çalışmaların özü. ....	17
<b>3.1:</b> YAK algoritmasının ana adımları. ....	25
<b>4.1:</b> Cep telefonu örneği için veri tabanı ve deterministik demontaj süreleri. ....	45
<b>4.2:</b> Deterministik YAK algoritmasına ait sonuçlar. ....	47
<b>4.3:</b> Bilgisayar problemi için veri tabanı ve bulanık demontaj süreleri. ....	49
<b>4.4:</b> Cep telefonu örneği için veri tabanı ve deterministik demontaj süreleri. ....	50
<b>4.5:</b> Dizüstü bilgisayar demontajına ait bulanık süreler ve veri tabanı. ....	52
<b>4.6:</b> Cep telefonu örneğinde leksikografik yöntem ile elde edilen deney sonuçlarına ilişkin amaç fonksiyonu ortalama ve standart sapma değerleri. ....	57
<b>4.7:</b> Cep telefonu örneğinde sabit ağırlıklandırma yöntemi ile elde edilen deney sonuçlarına ilişkin amaç fonksiyonu ortalama ve standart sapma değerleri. ....	57
<b>4.8:</b> Dizüstü bilgisayar örneğinde leksikografik yöntem ile elde edilen deney sonuçlarına ilişkin amaç fonksiyonu ortalama ve standart sapma değerleri. ....	58
<b>4.9:</b> Dizüstü bilgisayar örneğinde sabit ağırlıklandırma yöntemi ile elde edilen deney sonuçlarına ilişkin amaç fonksiyonu ortalama ve standart sapma değerleri. ....	58
<b>4.10:</b> Sayısal sonuçlara ait en iyi amaç fonksiyonu değerleri. ....	62
<b>4.11:</b> Sayısal sonuçlara ait en iyi çözüme ait dengeleme boşluğu, düzgünlük indeksi ve hat etkinliği değerleri. ....	62
<b>4.12:</b> Bilgisayar problemi için oluşan sıralama ve boş süreler. ....	63
<b>4.13:</b> Cep telefonu örneği için leksikografik ve sabit ağırlıklı yöntem ile oluşan sıralama ve boş süreler. ....	64
<b>4.14:</b> Dizüstü bilgisayar örneği için leksikografik ve sabit ağırlıklı yöntem ile oluşan sıralama ve boş süreler. ....	65
<b>4.15:</b> Cep telefonu örneğinin leksikografik yöntemi için pareto optimal sonuçları. .	68
<b>4.16:</b> Cep telefonu örneğinin sabit ağırlıklandırma yöntemi için pareto optimal sonuçları. ....	68
<b>4.17:</b> Dizüstü bilgisayar örneğinin leksikografik yöntemi için pareto optimal sonuçları. ....	68
<b>4.18:</b> Dizüstü bilgisayar örneğinin sabit ağırlıklandırma yöntemi için Pareto optimal sonuçları. ....	68
<b>A.1:</b> 25 parçadan oluşan cep telefonu örneğinin bulanık matematiksel modelinin leksikografik yöntem için yapılan deney sonuçlarındaki dengeleme boşluğu ve düzgünlük indeksi değerleri ....	77
<b>A.2:</b> 25 parçadan oluşan cep telefonu örneği için yapılan bulanık matematiksel modelinin leksikografik deneyinde amaç fonksiyonu ve hat etkinliği sonuçları .....	88
<b>A.3:</b> 25 parçadan oluşan cep telefonu örneğinin bulanık matematiksel modelinin sabit ağırlıklandırma yöntemi için yapılan deney sonuçlarındaki dengeleme boşluğu ve düzgünlük indeksi değerleri ....	99
<b>A.4:</b> 25 parçadan oluşan cep telefonu örneği için yapılan bulanık matematiksel modelinin sabit ağırlıklı metot deneyinde amaç fonksiyonu ve hat etkinliği sonuçları .....	109



<b>A.5:</b> 47 parçadan oluşan dizüstü bilgisayar örneğinin bulanık matematiksel modelinin leksikografik yöntem için yapılan deney sonuçlarındaki dengeleme boşluğu ve düzgünlük indeksi değerleri.....	119
<b>A.6:</b> 47 parçadan oluşan dizüstü bilgisayar örneği için yapılan bulanık matematiksel modelinin leksikografik deneyinde amaç fonksiyonu ve hat etkinliği sonuçları .....	123
<b>A.7:</b> 47 parçadan oluşan dizüstü bilgisayar örneğinin bulanık matematiksel modelinin sabit ağırlıklandırma yöntemi için yapılan deney sonuçlarındaki dengeleme boşluğu ve düzgünlük indeksi değerleri .....	127
<b>A.8:</b> 47 parçadan oluşan dizüstü bilgisayar örneği için yapılan bulanık matematiksel modelinin sabit ağırlıklı metot deneyinde amaç fonksiyonu ve hat etkinliği sonuçları .....	131

## SEMBOLLER

$\mu_n(x)$	Üyelik Fonksiyonu
$\tilde{BE}$	Bulanık hat etkinliği
$\tilde{c}$	Bulanık çevrim zamanı
$\tilde{PRT}_k$	Bulanık demontaj görev süresi
$\tilde{ST}_j$	Bulanık istasyon zamanı

## ÖZET

Ekonomik ve çevresel faktörler dikkate alındığında, kullanılmış ürünlerin geri kazanımının önemi günden güne artmaktadır. Ürün yaşam sürecinin son safhasına gelmiş olan ürünlerin, ya tamamen ya da kısmen geri kazanılabilirliği söz konusudur. Ürünlerin geri kazanılabilir parçalarına ulaşabilmek için üründe bir dizi demontaj işleminin uygulanması gerekir. Demontaj, ürün geri kazanımı, geri dönüşümü ve bertaraf işlemleri gibi ürün yaşam süreci sonunda kullanılan kritik bir süreçtir. Demontaj aktivitesi, demonte edilecek ürün çeşitliliğine bağlı olarak bir demontaj hücresinde yapılabileceği gibi bir demontaj hattı boyunca da gerçekleştirilebilir. Demontaj için getirilen ürünlerin sahip olduğu yapısal belirsizlikler, hem parçaların demontaj sürelerinin öngörülmesinde hem de demonte edilebilirlikleri ile ilgili belirsizlikler ortaya çıkarmaktadır. Özellikle bu belirsizlikler, demontaj hat dengeleme problemini daha karmaşık hale getirmektedir.

Bu tezde, güncel problemlerden birisi olan, demontaj hatlarının dengelenmesi üzerinde durulmaktadır. Çalışmada, demonte edilecek üründe olabilecek yapısal belirsizlikleri demontaj hat dengeleme probleminde sürece dahil eden bulanık tabanlı bir sezgisel yaklaşım geliştirilmiştir. Söz konusu bulanıklaştırma işlemi demontaj görev sürelerine uygulanmaktadır. Önerilen sezgisel yaklaşım, sürü zekasına dayalı bir algoritma olan yapay arı kolonisi algoritmasıdır. Yapay arı kolonisi algoritması bu çalışmada bulanık tabanlı olarak ele alınmaktadır. Sonuç olarak, bulanık ortamda demontaj hatlarının dengelenmesine yönelik geliştirilen yapay arı kolonisi algoritması ile literatüre katkı sağlanmaktadır. Önerilen yöntemin sayısal sonuçları, literatürde yer alan bilgisayar ve cep telefonu örneklerinin yanı sıra tez kapsamında demonte edilen dizüstü bilgisayar üzerinde gösterilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Ürün Geri Kazanımı, Demontaj, Bulanık Mantık, Yapay Arı Kolonisi

## **ABSTRACT**

The importance of recovery of used product increases day by day when economical and environmental factors are taken into account. Products which are at the end of their product life cycle can be recovered either completely or partially. In order to reach recoverable parts of products, disassembly operation should be applied to products. Disassembly is a critical process which is used at the end of the product life cycle as a key process of remanufacturing, recycling and/or disposal. Disassembly activities are performed in a disassembly cell depending on the variety of disassembled products. These activities can also be performed along the disassembly line. The structural uncertainties of delivered products may create other uncertainties, such as both estimation of disassembly task time of parts and availability of disassembly of the product. Especially, these uncertainties complicate disassembly line balancing problem.

This thesis focuses on disassembly line balancing problem which is one of the most studied problems in the literature. In this study, fuzzy based heuristic approach is developed which includes the structural uncertainties of delivered products in disassembly line balancing process. Fuzzification process is applied to disassembly task times. Proposed heuristic approach is artificial bees colony algorithm which depends on swarm intelligence. Artificial bees colony algorithm is considered fuzzy based in this study. In conclusion, the study contributes the related literature by presenting artificial bees colony algorithm for disassembly line balancing on fuzzy environment. Numerical results of the proposed method are shown using the example of computer and cellular phone from the literature. In addition, the numerical result is presented for laptop example for the first time in the literature.

**Key Words:** Product Recovery, Disassembly, Fuzzy Logic, Artificial Bees Colony

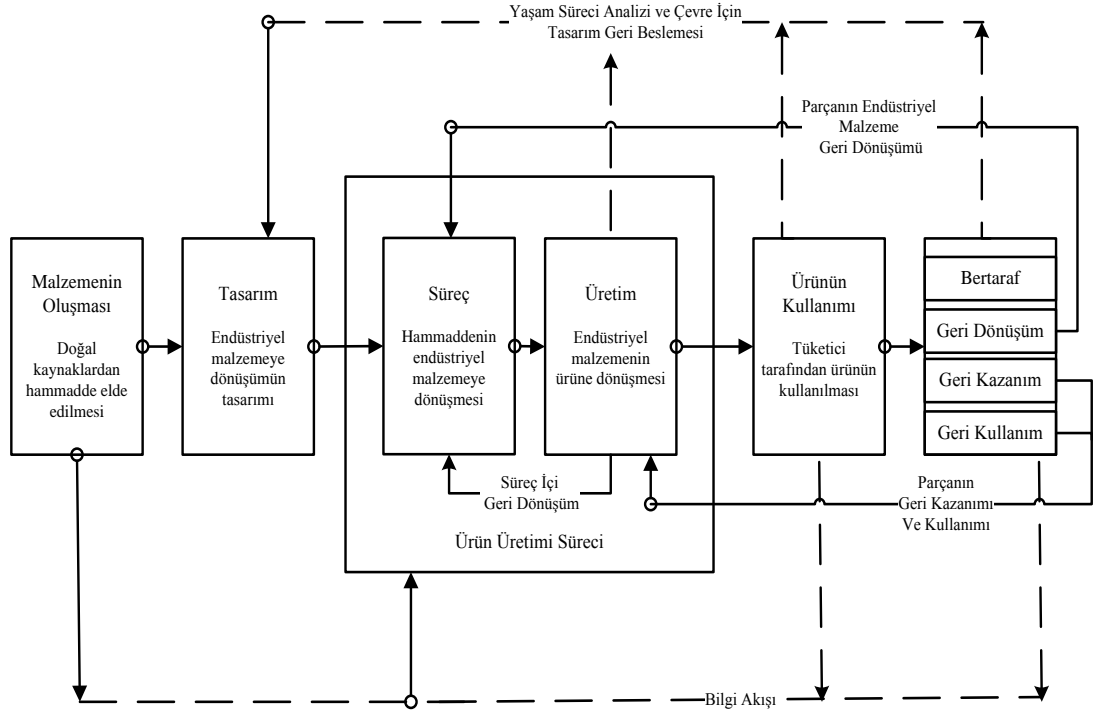
## 1. GİRİŞ

Ekonomik ve ekolojik kaynakların hızla tükendiği bir dönemde, ürün ve malzeme geri kazanımı çok önem kazanmaktadır. Özellikle çevreye duyarlı üretim ve ürün geri kazanımı günümüzde karşımıza çıkan en önemli kavramlardır. Geri kazanım, atık alanlarına gönderilen ürünlerin ve malzemelerin yeniden kullanılmasıyla ilgili tüm aktivitelerin yürütülmesi ve organizasyonudur. (Gungor ve Gupta, 2002). Son zamanlarda, çevresel konularla ilgili müşterilerin bakış açısının değişmesi ve yasal düzenlemelerin yapılmasıyla birlikte çevreye duyarlı üretim ve geri kazanım desteklenir hale gelmiştir (Gungor ve Gupta, 1999).

Gungor ve Gupta (1999), çevreye duyarlı üretim konusunda en önemli iki noktayı şu şekilde tanımlamışlardır.

- Ürün yaşam sürecini ve ürün yaşam sürecindeki her aşamada ürünün çevreye olan etkileri anlaşılmalı ve
- Ürünün tasarımı ve üretimi boyunca daha iyi kararlar alınmalıdır. Böylece ürün ve üretim sürecinin çevresel özellikleri arzu edilen bir seviyede tutulabilir (Gungor ve Gupta, 1999).

Gungor ve Gupta (1999)'nın, değindiği konulara bakıldığında çevreye duyarlı bir üretim gerçekleştirebilmek için ürün yaşam sürecinin anlaşılması önem kazanmaktadır. Ürün yaşam süreci çeşitli aşamalardan oluşmaktadır. Johnson ve Wang (1995)'in yaptığı çalışma sonucu ortaya koydukları süreçte tasarım aşaması, Gungor ve Gupta (1999)'nın oluşturduğu süreçte doğal kaynaklardan hammadde elde edilmesi ve üretim sürecinde oluşan firelerin geri dönüşümü, Veerakamolmal ve Gupta (2000)'nin meydana getirdiği ürün yaşam sürecinde, hammaddeden endüstriyel parça üretimi ve süreç içinde yer alan geri dönüşümü eksiklikleri Şekil 1.1'de gösterilen ürün yaşam sürecinde giderilerek, yeni bir ürün yaşam süreci tasarlanmıştır.



Şekil 1.1: Ürün yaşam süreci.

Dufloy ve diğ. (2008), ürün yaşam süreci sonunda temel geri kazanım stratejilerini, direkt kullanım, küçük revizyon ve onarım işlemleri sonrası kullanım, ürün geri kazanımı ve malzeme geri kazanımı olarak tanımlamışlardır. (Dufloy ve diğ., 2008). Ürün yaşam süreci sonunda ürün, ürün geri kazanımı, geri dönüşüm veya bertaraf adı verilen ürün sonlandırma yaklaşımlarından birine maruz kalmaktadır.

Ürün sonlandırma yaklaşımlarından olan ürün geri kazanım süreci, geri kazanım sürecine girmiş olan ürün veya parçanın, ürün yapısı ve parça kimliği korunarak ürünün üzerinde yapılacak bir düzeltme işlemine tabi tutulmasına denilmektedir. Fleischmann ve diğ. (1997), ürün geri kazanım sürecini, ürünün uygun şartlara getirilmesi için yapılan demontaj, yenileme ve onarım gibi gerekli faaliyetlerin gerçekleştirildiği süreç olarak tanımlamışlardır. Gungor ve Gupta (1999) ise, ürün geri kazanım sürecinin demontaj, temizleme, sınıflandırma, problemli parçaların onarılması veya değiştirilmesi, yenileme, test etme, tekrar montajını gerçekleştirme ve kontrol etme adımlarını içerdiğini belirtmişlerdir. Ürün geri kazanım sürecinin etkin bir şekilde gerçekleştirilmesi, bu sürecin düzgün bir şekilde yürütülmesinden geçmektedir. Altekin (2008), ürün geri kazanım yönetimini bir üretim şirketi sorumluluğu altında atılan ve geri dönen ürünlerin, parçaların ve malzemelerin idaresini kapsamak şeklinde tanımlamaktadır. Amaç mümkün olduğu kadar ekolojik

ve ekonomik değerlerin kurtarılmasıdır. Bu durum, atık alanlarına gönderilen atık miktarlarının minimizasyonu ve enerji kazanımı şeklinde olmaktadır. Sonuçta amaç, kapalı tedarik zincirinde kullanılan malzeme döngüsünü yeniden şekillendirmektir (Altekin, 2008).

Bir diğer ürün sonlandırma yaklaşımı olan geri dönüşüm ise, ürünün veya parçanın fonksiyonel özelliğini tamamen kaybedip, hammadde fazına döndürülerek malzeme içeriğinin geri kazanılmasına yönelik bir süreçtir. Malzeme geri kazanımının en basit örneği günümüzde, plastik, metal ve kağıt endüstrilerinde karşımıza çıkmaktadır. Geri dönüşüme tabi tutulacak olan ürünler, ürün grubuna (plastik, metal, kağıt vb) göre sınıflandırıldıktan sonra uygun geri dönüşüm işlemine yönlendirilirler. Burada parça veya ürün işlevselliğini kaybetmekle birlikte, geri dönüşüm sürecinden sonra artık yepyeni veya bambaşka bir işlevi olan bir parça veya ürün olarak karşımıza çıkabilmektedir. Dufloy ve diğ. (2008), geri dönüşüm sürecinin kirliliğın azaltılmasına, atık alanlarının kullanılışlılığının sürdürülmesine, doğal kaynakların korunmasına yardımcı olduğunu belirtmektedirler.

Hem ürün geri kazanımı hem de geri dönüşüm işlemlerinin gerçekleştirilmesi için en önemli adımlardan biri demontaj işlemidir. Özellikle günümüzde yüksek üretkenlikten dolayı, oluşan atık miktarını düşündüğümüzde ürünlerin geri kazanılması adına en iyi çözümlerden biri demontaj hatlarının kurulmasıdır. Gungor ve Gupta (2002) çalışmalarında, ürünün geri kazanılması için kullanılan, demontaj hatlarının önemi üzerinde durmuşlardır. Söz konusu çalışmada, geri kazanımı sağlanacak parçalara olan talep karşılanırken, kaynaklardan mümkün olduğu kadar etkin olarak faydalanmak demontaj hatlarının amacı olarak belirtilmektedir (Gungor ve Gupta, 2002). Ancak söz konusu demontaj hatlarının etkin ve verimli bir şekilde çalıştırılması demontaj hatlarının dengelenmesinden geçmektedir.

Gungor ve Gupta (1999b), temel demontaj hattı dengeleme problemini ilk defa tanımlamışlar ve problemin formülasyonunu, ürünün parçaları arasındaki öncelik ilişkilerini dikkate alarak  $n$  sayıdaki işin  $m$  adet makineye atanması şeklinde tarif etmişlerdir. Ayrıca demontaj hattı dengelemeyi (DHD), demontaj operasyonlarını sıralı bir istasyon dizisine atarken, demontaj operasyonlarında verilen kısıtları sağlayıp bir veya birden fazla performans ölçütünü eniyilemeyi amaçlamak olarak da tanımlayabiliriz. Özellikle, günümüzde maliyetlerin azaltılması yanında, taleplerin

hızlı bir şekilde ve eksiksiz karşılanması ve çevresel etkilerin ortadan kaldırılması gibi birçok performans ölçütü birlikte değerlendirilmektedir. Söz konusu durumdan dolayı problemler çok amaçlı bir niteliğe bürünmektedir. Demontaj hatlarının dengelenmesindeki amaçlardan başlıcaları, istasyon sayısının, çevrim süresinin ve istasyonlardaki boş zamanların minimizasyonu; tehlikeli parçaların hattan öncelikle uzaklaştırılması, değerli parça ve alt montaj parçalarına olan taleplerin öncelikle karşılanması ve atık alanlarına gönderilen atık miktarının azaltılmasıdır.

Ancak demontaj hatlarının dengelenmesi kolay bir problem değildir. Çünkü demontaja konu olan ürün son kullanıcıdan gelmiş olabilir ve ürünün üzerinde herhangi bir değişikliğin yapıp yapılmadığı belli değildir. Bu yüzden demontaj için getirilen ürünlerin sahip olduğu yapısal belirsizlikler, hem parçaların demontaj sürelerinin öngörülmesin hem de demonte edilebilirlikleri ile ilgili belirsizlikleri ortaya çıkarmaktadır.

Bu tezde, yukarıda da belirtildiği üzere demontajda söz konusu olan ürünün yapısından kaynaklanan belirsizlik dikkate alınmaktadır. Söz konusu belirsizlik, parçaların demontaj sürelerinin bulanık olarak ifade edilmesiyle demontaj hattı dengeleme sürecine dahil edilmektedir. Bir başka deyişle, demontaj hattı dengeleme problemine bulanık mantık tabanlı bir yaklaşım getirilmekte olup, problem çok amaçlı bir yapıya dönüştürülmekte ve bir sezgisel süreç ile çözüme kavuşturulmaktadır. Problemin çözümünde sezgisel yaklaşım olarak yapay arı kolonisi algoritması kullanılmaktadır.

### **1.1. Temel Terminoloji**

Aşağıda tezde sıklıkla kullanılan kavramların isimleri Türkçe ve İngilizce olarak verilmekte ve tanımları bulunmaktadır:

**Parça (*Part*):** Parça veya komponent, demontaj süreci boyunca bağlantı elemanları ve tekniklerinin ortadan kaldırılmasıyla elde edilen en küçük yapıdır. Parçanın veya komponentin yapısında demonte edilecek bir bağlantı elemanı veya ortadan kaldırılabilir bağlantı tekniği bulunmamaktadır. Çünkü bağlantı elemanları da ayrı birer parça olarak kabul edilmektedir.



Ürün (*Product*): Birden fazla parçanın çeşitli bağlantı elemanları ve teknikleri yardımıyla birbirine bağlanarak oluşturduğu yapıdır.

Alt montaj parçası (*Subassembly*): En az iki parçanın birleşmesiyle oluşan ve ürünü oluşturması için en az bir parçanın daha söz konusu yapıya çeşitli bağlantı elemanları ve teknikleri kullanarak bağlandığı yapıdır. İki alt montaj parçasının montajı yapılarak da ürün oluşturulabilmektedir.

Demontaj (*Disassembly*): Demontaj, ürünü parçalara, alt montaj parçalarına ve diğer gruplara ayıran sistematik süreçtir (Gungor ve Gupta, 2001a).

İş parçası (*Workpiece*): Demontaj istasyonuna girmiş ve bir istasyondan diğer istasyona hareket ederken yapılan demontaj işlemi sonucu şeklinde ve boyutunda değişim olan ürün veya alt montaj parçasıdır.

Ürün yaşam süreci (*Product life cycle*): Ürünün hammadde aşamasından başlayarak, ürün veya malzeme geri kazanımı aşamasına kadar maruz kaldığı süreçtir. Bu süreçte, ürünün tasarımı, üretimi ve kullanılması bu sürece dahildir.

Ürün geri kazanımı (*Remanufacturing*): Ürün yaşam sürecinin sonuna gelmiş ürünün, parça yapısı ve kimliği korunarak, üzerinde yapılacak düzeltme veya revizyon işlemiyle tekrar kazanılmasıdır.

Malzeme geri kazanımı (*Recycling*): Ürün yaşam sürecinin sonuna gelmiş ürünün alt montaj parçasının veya parçanın hammadde fazına dönüştürülerek malzeme içeriğinin yeniden kazanılmasıdır.

Görev (*Task*): Bir ürünü parçalara veya alt montaj parçalarına ayrılması için yapılacak demontaj işlemine görev denilmektedir. Bir başka deyişle, üründen bir parçayı elde etmek için yapılacak işlemdir.

Görev süresi (*Task time*): Bir görevin gerçekleşmesi için gereken ve genelde deterministik olarak kabul edilen süredir.

Bulanık Görev süresi (*Fuzzy task time*): Görev süresinin bulanıklaştırılmış haline verilen isimdir. Bulanık mantık tabanlı geliştirilen algoritmada bulanık görev süreleri kullanılmaktadır.

Çevrim zamanı (*Cycle time*): İş istasyonlarına atanan görevlerin tamamlanması için gerekli olan süredir. Her iş istasyonu için aynı olmaktadır.

Bulanık çevrim zamanı (*Fuzzy cycle time*): Çevrim zamanının bulanıklaştırılmış haline verilen isimdir. Bulanık mantık tabanlı geliştirilen algoritmada bulanık çevrim zamanı kullanılmaktadır.

## **1.2. Tezin Organizasyonu**

Tezin giriş niteliği taşıyan bu bölümün ardından, ikinci bölümde, demontaj kavramı üzerinde durulmaktadır. Ayrıca demontaj kavramı ile ilgili olarak demontaj hatları ve demontaj hatlarının dengelenmesine yönelik literatürde yer alan çalışmalardan bahsedilmektedir.

Üçüncü bölümde, bu tezde ele alınan problemin tanımı yapılmaktadır. Öte yandan, tezin amacı ve tezde kullanılan metodoloji anlatılmaktadır. Ayrıca yapay arı kolonisi algoritması üzerinde durulmaktadır. Bu bölümde algoritmada yer alan kavramlardan bahsedilmekte ve algoritmanın adımları açıklanmaktadır.

Dördüncü bölümde çalışmamızda kullandığımız bulanık mantık tabanlı bulanık yapay arı kolonisi algoritmasına ait uygulamalar yer almaktadır. Algoritma 8, 25 ve 47 parçadan oluşan üç ürün için uygulanmış ve deneysel sonuçlar sunulmuştur. Beşinci bölümde ise sonuçlar yorumlanmış, geleceğe yönelik yapılabilecek çalışmalar ve önerilere yer verilmiştir.

## 2. DEMONTAJ

Tezin bu bölümünde demontaj kavramına ve demontaj hattı dengeleme üzerinde literatürde yapılan çalışmalara daha yakından bakılarak önerilen çalışmanın literatüre katkısı ortaya konulmaktadır.

### 2.1. Demontaj

Parça ve malzemeler ürün yaşam süreci sonunda, ürün geri kazanım işlemlerine maruz kalıncaya kadar çeşitli adımlardan geçmektedirler. Ürün yaşam süreci sonundaki adımları Gungor ve Gupta (2002), temizleme, demontaj ve sınıflandırma olarak belirtirken, Duflou ve diğ. (2008) temizleme, demontaj, parçalama, sınıflandırma ve kontrol olarak belirtmişlerdir. Yaşam süreci sonundaki söz konusu adımlar, ürün geri kazanım, geri dönüşüm ve bertaraf işlemleri içindir. McGovern ve Gupta (2004), ürün geri kazanımında en önemli adımın demontaj işlemi olduğunu belirtmişlerdir. Demontaj işlemi, daha önce sadece bakım onarım faaliyetlerinde kullanılmakta iken, günümüzde ürün geri kazanımı ve malzeme geri dönüşüm sürecinde önemli bir rol oynamaktadır.

“Demontaj bir dizi operasyon doğrultusunda son kullanılmış üründen değerli parçaların ve alt montaj parçalarının metodolojik olarak çıkartılmasıdır. Demontajdan sonra, yeniden kullanabilecek parçalar temizlenir, yenilenir, test edilir ve ürün geri kazanım operasyonu için malzeme veya alt montaj envanterine yönlendirilir. Geri dönüşüm operasyonunda kullanılacak olan malzemeler hammadde tedarikçilerine satılır ve artıklar ise bertaraf edilir” (Mc Govern ve Gupta, 2004). Demontaj işlemi, bir demontaj istasyonunda, bir demontaj hücreinde veya bir demontaj hattı boyunca gerçekleştirilebilir. Gungor ve Gupta (2002) yaptıkları çalışmada, değerli parça ve alt montaj parçalarının geri kazanılabileceğini, üretilmeyen bazı parçalara gelebilecek ani taleplerin karşılanabileceğini, atık alanlarına gönderilen atık miktarlarının azaltılabileceğini, son kullanma ömrü kalan ürünlerden çıkarılabilecek bazı parçaların gelecekte kullanılabilmesi için envantere

gönderilebileceğini, çevreye duyarlı üretim standartlarının oluşturulabileceğini demontajın amaçları arasında belirtmişlerdir. Demontaj işleminin gerçekleştirilebilmesi için en iyi seçenek demontaj hatlarıdır. Demontaj hatlarının en büyük avantajının yüksek verimlilik oranı sağlaması olduğu belirtilmektedir. Demontaj hattı kurulması büyük ürünlerin demontajı veya büyük miktarlarda küçük ürünlerin demontajı için çok uygun bir seçenektir (Gungor ve Gupta, 2002). Demontaj hatlarının tasarlanması ve dengelenmesi, bu hatların mümkün olduğunca etkin ve verimli çalıştırılması açısından önemlidir. Ancak demontaj hatları ne kadar etkin ve verimli çalıştırılmaya uğraşılsa da demontaj alanında çeşitli problemlerle karşılaşabilmektedir. Brennan ve diğ. (1994) demontaj alanında meydana gelen problemleri teknik ve operasyonel problemler olarak iki kategoriye ayırmaktadırlar ve yapılan çalışmada, demontaj sistemi içinde yer alan ciddi envanter problemlerinden, akış sürecinin karmaşıklığından, ürün yapısındaki yüksek belirsizlik derecesinden, ürünün kalitesinden ve iş istasyonunun belirsizliğinden söz etmektedirler.

Demontaj işlemi yüksek belirsizlik içeren işlemlerdir. Ürün yaşam sürecinin son safhasına gelmiş ürünlerdeki parçaların içerdiği belirsizlik, hat dengeleme problemlerinde de belirsizliklere yol açmaktadır. Özellikle parçaların kalitesi ve tehlikeli madde içerip içermemesi de birtakım belirsizliklere neden olmaktadır. İş parçasının bazı kısımlarının hatalı olması, bazı demontaj işlemlerinin yapılamamasına neden olabilmektedir. Gungor ve Gupta (2001a)'nın yaptığı çalışmada, demontaj işleminde bulunan hatalı parçaların varlığının, demontaj hatlarında birtakım komplikasyonlara yol açabileceği belirtilmektedir.

Parçaların yapısal belirsizliği ve komplikasyonlara ek olarak Gungor ve Gupta (2001b) demontaj görev sürelerindeki değişkenliği, demontaj hatlarına gelen ürünün durumuna, demontaj iş istasyonlarına veya demontaj hattında bulunan çalışanlara bağlı olduğunu belirtmektedirler. Ayrıca demontaj görev zamanlarının sistematik bir şekilde azalmasını sağlayan dinamik öğrenme sürecinin olabileceği üzerinde durmaktadırlar.

## 2.2. Demontaj Hatlarına İlişkin Literatür Araştırması

Ferrer (1997) çalışmasında kişisel bilgisayarların geri kazanılması işleminin ekonomik öneminden bahsetmiştir. Yaptığı çalışma geri kazanım prosesinin zorluklarını ve kişisel bilgisayar üretiminin karmaşıklığını işaret etmektedir. Ayrıca çalışmada, geri kazanım prosesi önerilmiş ve proses ilgili hesaplamalar yapılmıştır. Çalışmada geri kazanılmış bilgisayarların ve tamamı yeni bilgisayarların olduğu iki pazarın bir arada olduğu bir durum incelenmiştir.

Çevre bilinçli üretim ve ürün geri kazanımının en kapsamlı görüşleri Gungor ve Gupta (1999a) tarafından ortaya konmuştur. Gungor ve Gupta (1999b) temel demontaj hattı dengeleme problemini ilk defa tanımlamışlar ve problemin formülasyonunu ürünün parçaları arasındaki öncelik ilişkilerini dikkate alarak  $n$  sayıdaki işin  $m$  adet makineye atanması şeklinde ifade etmişlerdir. Bu yaklaşım, deterministik operasyon zamanlarında kullanılmaktadır.

Gungor ve Gupta (1998) demontaj sıralama planlamasında belirsizliklerle ilgili zorluklara dikkat çekmişlerdir. Bu çalışmayla demontaj sıralama planlamasında belirsizliklerin kaynaklarını tartışmaya başlamışlardır. Ayrıca, demontaj planlamasındaki belirsizlikle ilgili etkin bir yaklaşım tespit etmişler ve demontaj işlemi boyunca oluşan belirsizlikleri çözmek için bir metodoloji geliştirmişlerdir.

Moore ve diğ. (1998) geometrik tabanlı öncelik matrisinden, demontaj Petri ağını otomatik olarak oluşturan bir algoritma önermişlerdir.

Gungor ve Gupta (1999c), talebi karşılarken demontaj hatlarından mümkün olduğu kadar etkin olarak faydalanmayı, temel DHDP olarak tanımlamışlardır ve temel DHDP'nin çözümü için sistematik bir yaklaşım sunmuşlardır. Çalışmada talep miktarları ve görev süreleri deterministiktir ve bilinmektedir. Önerilen yaklaşımın sayısal sonuçları, 7 parçadan oluşan örnek bir parça üzerinde gösterilmiştir.

Moore ve diğ. (2001) çalışmasında ürün ve malzeme geri kazanımı için demontaj süreç planlamayı otomatik oluşturan, Petri ağı tabanlı bir yaklaşım sunmuşlardır. Burada CAD çizimi yapılan ürünün geometrik tabanlı demontaj öncelik matrisini oluşturan algoritma tanımlanmıştır. Daha sonra demontaj öncelik matrisinden, demontaj Petri ağını otomatik oluşturan algoritma tanımlanmıştır. Bu çalışmada

kullanılan yaklaşım VE, VEYA ve karmaşık VE/VEYA ilişkilerini içeren ürün içinde kullanılabilir.

Gungor ve Gupta (2001a), hatalı görevlerin olması durumunda demontaj hatlarının nasıl dengeleneceği üzerinde tartışmışlardır. Eğer bir görev, parçada bulunan bazı hatalardan dolayı gerçekleştirilemiyorsa, görevler arasındaki öncelik ilişkilerinden dolayı, geriye kalan görevlerden bazılarının veya tamamının yapılamayabileceği üzerinde durmuşlardır. Gungor ve Gupta (2001a)'nın yaptığı bu çalışmada komplikasyonlar anlatılmış ve demontaj hatlarına etkileri gösterilmiştir. Sonuç olarak da hatalı görevlerin olması ile ilgili bir çözüm önerisi sunulmuştur.

Gungor ve Gupta (2001b) demontaj hat dengeleme problemleri üzerinde durduğu çalışmada, meydana gelen zorluklar ve çözümlerini belirtmişlerdir.

Kongar ve Gupta (2001) demontaj süreç planlaması için bir genetik algoritma geliştirmişlerdir. Algoritma çok kısa işlem zamanında optimal demontaj sıralamasını sağlamaktadır. Algoritma kullanım kolaylığından kaynaklanan pratikliği, ürün yapısındaki öncelik ilişkileri ve ek kısıtları düşünmekte ve çok amaçlı problemlere uygulanmaktadır.

Gungor ve Gupta (2002) ürünün geri kazanılması sürecinde yer alan demontaj hatlarının önemi üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmada, geri kazanımı sağlanacak parçalara olan talep karşılanırken, kaynaklardan mümkün olduğu kadar etkin olarak faydalanmak demontaj hatlarının amacı olarak belirtilmiştir. Diğer taraftan, etkin demontaj hatlarının oluşmasını engelleyen komplikasyon durumlarından da bahsedilmiştir. Ayrıca çalışmanın diğer bir amacının ise, komplikasyonların ve bu komplikasyonların demontaj hatlarına olan etkilerinin daha iyi anlaşılmasını sağlamak olduğu belirtilmektedir.

McGovern ve Gupta (2003) çalışmasında demontaj hat dengeleme probleminde optimal ve optimale yakın çözüm veren greedy algoritmasını önermişlerdir. Algoritma tehlikeli ve yüksek talepli parçalara hitap ederken iş istasyon sayısını minimize etmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca 2-opt algoritması ile parçaların uzaklaştırılma sırasının dengelenmesi ve toplam iş istasyon sayısını azaltılması amaçlanmaktadır. Sonuçlar, uygulamanın kolaylığı ve pratikliği, tekniğin hızı,

önceliklerin korunabilirliği açısından değerlendirilmekte, optimal ve optimale yakın sonuçları içermektedir.

McGovern ve Gupta (2004a), DHDP için meta sezgiselleri uygulamışlar ve bu meta sezgisellerden türetilen sonuçları grafiksel ve sayısal olarak yorumlamışlardır. Söz konusu çalışmada kullanılan meta sezgiseller greedy, 2-opt ve Adjacent Element Hill Climbing algoritmalarıdır.

McGovern ve Gupta (2004b) NP-tam sınıfına ait olduğu belirtilen demontaj hat dengeleme probleminin çözülmesini sağlayan kombinatoriyel optimizasyon metotlarını önermişlerdir. Karınca kolonisi optimizasyonu, genetik algoritma ve H-K metasezgiselini sunmuşlar ve greedy-hill sezgiseli ile karşılaştırmışlardır. Sonuçlar, uygulamanın kolaylığı ve pratikliği, tekniğin hızı, önceliklerin korunabilirliği açısından değerlendirilmekte, optimal ve optimale yakın sonuçlar içermektedir.

Duta ve diğ. (2005) demontaj süreci boyunca meydana gelen belirsizliğin problemi zorlaştırdığı vurgusunda bulunmuşlardır ve demontaj hat dengeleme problemi ile ilgili olarak eşit çubuklar yaklaşımına dayanan yeni bir yöntem önermişlerdir.

Kızılkaya ve Gupta (2005) yaptıkları çalışmada dinamik kanban sisteminin farklı demontaj hat dengeleme algoritmaları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Burada dinamik kanban sisteminin greedy, Adjacent Element Hill Climbing(AEHC) ve 2-opt algoritmaları üzerindeki etkileri incelemişlerdir. En iyi sonucu greedy algoritmasının verdiğini tespit etmişlerdir.

McGovern ve Gupta (2005), NP-zor sınıfına ait olduğunu belirttikleri ve kanıtladıkları DHDP için, kombinatoriyel optimizasyon tekniklerini kullanıldığı bir çözüm yöntemi önermişlerdir. Söz konusu çalışmada kombinatoriyel optimizasyon tekniklerinden karınca kolonisi algoritması ve Hunter-Killer (H-K) meta sezgiselini kullanmışlar ve bu iki algoritmanın performansını karşılaştırmışlardır. Önerilen çözüm yaklaşımı için kurulan modelde çok amaçlı bir yapı mevcuttur. Önerilen H-K meta sezgiselinin ve karınca kolonisi algoritmasının performansı 25 parçadan oluşan bir cep telefonu örneği üzerinde karşılaştırılmıştır.

Demontaj hatlarında kaynakların düzenlenmesinin ve kullanılmasının optimize edilmesi ile ilgili araştırmalar olmasına rağmen, çok az çaba demontaj hat dengelemede belirsizlik yönetimi üzerine odaklanmıştır. Turowski ve diğ. (2005)

çalışmasında bu noktaya dikkat çekmişlerdir. Demontajda belirsizlik faktörlerinin etkisini tanımlayan bulanık renkli Petri ağı modeli önermişlerdir.

McGovern ve Gupta (2007a) yaptığı çalışmada demontaj hat dengeleme problemini matematiksel olarak tanımlamışlar ve NP-tam olduğunu kanıtlamışlardır. Ayrıca, dengeleme seviyesinin belirlenmesi için yeni bir formulasyon önermişlerdir. Son olarak, demontaj hat dengeleme problemleri için optimal ve optimale yakın sonuçları gösteren genetik algoritmaya dayalı sezgisel bir yöntem sunmuşlardır. Geliştirilen yöntem ile de çalışmanın sonunda birtakım performans analizleri yapmışlardır. Performans analizlerinin, sayısal sonuçlarını 8 parçadan oluşan bilgisayar örneği üzerinde göstermişlerdir.

McGovern ve Gupta (2007b) çok amaçlı deterministik demontaj hattı dengeleme problemine exhaustive search, greedy, karınca kolonisi, genetik algoritma, greedy/hill climbing ve greedy/2-opt algoritmalarını uygulamışlardır. Ayrıca DHDP'ni NP-tam sınıfına ait olduğunu kanıtlamışlardır.

Altekin ve diğ. (2008) kâr amaçlı kısmi demontaj hatlarının dengelenmesi problemini incelemiştir. Altekin ve diğ. (2008)'nin çalışmasında seçilen demontaj operasyonları sıralı istasyon dizisine atanırken, operasyonların öncelik ilişkileri sağlanıp kâr en büyüklenmektedir.

Hui ve diğ. (2008) demontaj sıralama planlaması problemini çözmek için yeni bir metot önermişlerdir. Öncelikle, ürün demontaj sıralaması ve operasyon bilgisini tanımlayan demontaj olabilirlik bilgi grafiği (DFIG) sunulmuştur. Sonra, demontaj sıralama planlaması problemi, optimal yolu bulma probleminde olduğu gibi DFIG üzerine eşleştirilmiştir. Bu fikre dayanarak, genetik algoritma etkin, olurlu ve optimal demontaj çözümlerini bulmayı sağlamaktadır.

Agrawal ve Tiwari (2008) stokastik işlem zamanlı karışık modellenmiş U-tipi DHDP için karınca kolonisi algoritmasını kullanmıştır. Problemden amaç, iş istasyonları sayısının en küçüklenmesidir.

Koç ve diğ. (2009), kullanılmış olan ürünün tamamen demonte edildiğini varsayan ve bu üründen kullanılacak olan parçaları elde ederken maliyeti göz önünde bulduran DHDP üzerinde çalışmışlardır. Söz konusu çalışmada DHDP için dinamik programlama ve tam sayılı programlamanın yer aldığı ve optimal sonuç



veren iki formülasyon geliştirmişler, çalışmalarında ve/veya diyagramlarını temel girdi olarak kabul etmiş olup, geliştirdikleri formülasyonda ve/veya diyagramlarından faydalanmışlardır.

Ding ve diğ. (2010a) DHDP'ni çok amaçlı bir yapıda ele almışlar, amaç fonksiyonları olarak hattın boşluk oranı, iş yükü düzgünlüğü ve demontaj maliyetini ele almışlardır ve çözüm yöntemi olarak çok amaçlı karınca kolonisi algoritmasını önermişlerdir. Önerilen yöntemin performansı 26 parçadan oluşan bir dikiş makinesi örneği üzerinde test edilmiş olup sayısal sonuçları ve pareto optimal çözümleri gösterilmiştir.

Ding ve diğ. (2010b) DHD problemini çok amaçlı bir yapıda ele almışlar ve çözüm yöntemi olarak karınca kolonisi tabanlı sezgisel bir yöntem önermişlerdir. Çalışmada önerilen yöntemle ilişkin pareto optimal çözümler de ele alınmıştır. Önerilen yöntemin etkinliği 25 parçadan oluşan bir cep telefonu örneği üzerinde test edilmiş olup sayısal sonuçları ve pareto optimal çözümleri gösterilmiştir.

Wang ve diğ. (2011), DHD probleminin çözümü için bağışıklık algoritmasını önermişlerdir. Sunulan çalışmada söz konusu algoritmanın MHD problemlerinde kullanıldığı ancak demontaj alanında daha önce uygulanmadığını belirtmişlerdir. Söz konusu algoritma çok amaçlı DHD problemine uygulanmış ve sayısal sonuçları 8 parçadan oluşan bilgisayar örneği üzerinde gösterilmiştir.

Kalaycı ve diğ. (2011), DHD probleminin çözümü için yapay arı kolonisi (YAK) algoritmasını önermişlerdir. Kullanılan algoritmada komşuluk yapıları *SWAP* ve *INSERT* operatörlerinin eşit olasılıklı kullanılmasıyla elde edilmektedir. Sunulan çözüm yönteminin etkinliği 25 parçadan oluşan bir cep telefonu örneği üzerinde test edilmiştir.

Kalaycı ve Gupta (2011), çok amaçlı demontaj hattı dengeleme problemini ele almışlardır. Yaptıkları çalışmada, istasyon sayısının minimizasyonunu, istasyonlardaki boş zamanların en küçüklenmesini, tehlikeli içerik bulunan parçaların daha önce demontajının yapılmasını, talebi daha yüksek olan parçaların daha önce demontajının yapılmasını amaçlamaktadırlar. Çok amaçlı demontaj hattı dengeleme probleminin çözümünde tabu arama algoritmasını önermişlerdir. Söz konusu algoritmada komşuluk yapılarından *SWAP* ve *INSERT* operatörleri kullanılmıştır.

Önerilen algoritmanın sayısal sonuçları 10 parçadan oluşan bir bilgisayar demontajı üzerinde gösterilmiştir.

Altekin ve Akkan (2012) görev hatası temelli DHD problemini ele almışlar, hatalı görevleri önceden tahmin ederek düzeltici faaliyetler ile hattı yeniden dengeleyecek karma tam sayılı matematiksel bir model önermişlerdir. Sunulan çözüm yöntemi 10 parçadan oluşan ve içinde VE/VEYA ilişkileri barındıran bir radyo demontajı örneği üzerine uygulanmış ve sayısal sonuçları gösterilmiştir.

Kalayci ve diğ. (2012) tavlama benzetimi yöntemini kullanarak demontaj hatlarının dengelenmesine yönelik bir algoritma sunmuşlar, önerdikleri çözüm yöntemi 25 parçadan oluşan bir cep telefonu örneği üzerinde test etmişlerdir.

Tuncel ve diğ. (2012) büyük ölçekli demontaj hatlarının dengelenmesi için reinforcement learning yönteminin kullanıldığı bir çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmada stokastik koşullar altında demontaj hatlarının dengelenmesine yönelik çok amaçlı bir model oluşturulmuştur. Oluşturulan modelde sadece talepteki belirsizlik olduğu ele alınmıştır. Önerilen modelin etkinliği 25 parçadan oluşan bir cep telefonu örneği üzerinde test edilmiş ve sayısal sonuçları gösterilmiştir.

Karadağ ve Türkbey (2013) paralel istasyonların yer aldığı çok amaçlı stokastik demontaj hattı dengeleme problemi için 0-1 doğrusal olmayan tamsayı matematiksel model sunmuşlardır. Problemin çözümünde genetik algoritmayı kullanmışlardır. Önerilen genetik algoritma pareto optimal sonuçları da oluşturmaktadır.

Tablo 2.1.'de yeniden özetlenen literatür analizinde görüldüğü üzere, DHDP'nin çözümü üzerine birçok çalışma mevcuttur; ancak, demontaj işleminde yer alan belirsizlikten bahseden sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Öte yandan söz konusu belirsizliğin çözümünde hiçbir çalışma, bulanık mantık kavramını sürece dahil ederek herhangi bir çözüm yöntemi önermemiştir. Bu tez literatürde yer alan diğer çalışmalardan farklı olarak, demontaj hatlarına gelen ürünlerde yer alan yapısal belirsizlikten kaynaklı demontaj görev sürelerinin öngörülmesinde oluşan zorlukların ve belirsizliklerin DHD sürecine bulanık mantık yolu ile dahil etmektedir.

Demontaj hatları ile benzerlik gösteren montaj hatlarına yönelik ise bulanık mantık tabanlı dengeleme yöntemleri literatürde sınırlı sayıda olsa da mevcuttur. Konuya yakınlık göstermesi bakımından söz konusu çalışmalara da kısaca vurgu yapılmıştır.

Tsujimura ve diğ. (1995), montaj görev sürelerinin bulanık olarak ele alındığı montaj hattı dengeleme problemine bulanık bir yaklaşım getirmişlerdir. Çalışmada yer alan görev süreleri üçgensel bulanık sayılarla ifade edilmiştir. Kurulan matematiksel model, tek ürünün yer aldığı ve tek amacın bulunduğu montaj hattı dengeleme problemini içermektedir. Çözüm yaklaşımı olarak genetik algoritma kullanılmıştır. Oluşturulan çözüm yönteminin etkinliği 80 parçadan oluşan montaj parçasında değerlendirilmiştir.

Gen ve diğ. (1996), montaj görev sürelerinin üçgensel bulanık sayı olarak ifade edildiği montaj hattı dengeleme problemi (MHDP) üzerinde çalışmışlardır. Çalışmada çözüm yaklaşımı olarak genetik algoritma kullanılmıştır. Oluşturulan çözüm yönteminin etkinliği 80 parçadan oluşan montaj parçasında değerlendirilmiştir. Sonuç olarak Tsujimura ve diğ. (1995) ile Gen ve diğ. (1996) MHDP'ne genetik algoritmanın kullanıldığı benzer bir çözüm yaklaşımı getirmişlerdir.

Hop (2006), bulanık işlem süresine sahip karışık modelli montaj hatlarının dengelenmesine yönelik bir çözüm yaklaşımı getirmiştir. Söz konusu çalışmada, işlem süreleri üçgensel bulanık sayılarla ifade edilmektedir. Kurulan matematiksel model, çevrim zamanı, öncelik ilişkileri ve atama kısıtı altında istasyon sayısını en küçükmeyi amaçlayan karışık modelli montaj hattı dengeleme probleminin çözümü üzerinedir. Söz konusu matematiksel modelin çözüm yöntemi olarak, öncelikle karışık modelli problemi tek modelli montaj hattı dengeleme modeline çeviren ve söz konusu modeli çözen sezgisel bir yöntem kullanılmıştır.

Xu ve Xiao (2008), bulanık işlem sürelerinin ve akış operasyonun ele alındığı karışık modelli montaj hattı dengeleme problemini ele almışlardır. Bu çalışmada işlem süreleri üçgensel bulanık sayılarla ifade edilmiş olup, çözüm yaklaşımı olarak bulanık benzetimin genetik algoritmaya entegre edildiği melez bir sezgisel yöntem tasarlanmıştır.

Mutlu ve Özgörmüş (2012), iş ile ilgili sakatlık risklerini azaltmak için, öncelik ilişkileri, işlem süreleri ile birlikte fiziksel iş yüklerini hesaba katan yeni bir MHDP sunmuşlardır. Söz konusu çalışmada, bulanık düşünce ile görevlerin fiziksel iş yükü düşünülmüş ve bulanık doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Önerilen model, Bellman ve Zadeh yöntemi ile çözüme kavuşturulmuştur. Önerilen yöntemin performansı bir tekstil işletmesinde, 60 görevden oluşan bir montaj işleminde test edilmiştir.

Zacharia (2012), bulanık işlem süreli temel montaj hat dengeleme problemi tip 2'nin çözümünde genetik algoritmayı kullanmışlardır. Çalışmada işlem süreleri üçgensel bulanık sayı şeklinde ifade edilmiştir. Önerilen yöntemin değerlendirme fonksiyonunda ilk olarak bulanık çevrim zamanının ve bulanık düzgünlük indeksinin en küçüklemesi istenirken diğer değerlendirme fonksiyonunda bulanık çevrim süresi ve bulanık dengeleme boşluğunun en küçüklemesi istenmektedir. Önerilen algoritmanın etkinliği, literatürde yer alan veri setleri ile test edilmektedir.

Görüldüğü üzere literatürde montaj hatlarının bulanık ortamda modellendiği çeşitli çalışmalar yer almaktadır. Ancak DHDP, MHDP'ne benzemesine rağmen montaj ve demontaj sürecinde önemli farklılıklar mevcuttur (Brennan ve diğ.,1994; Gungor ve Gupta, 2001a) ve bu nedenle önerilen tezde gerçekleştirilen bulanık DHD çalışması ile literatüre önemli bir katkı sağlanacağı düşünülmektedir.

Tablo 2.1: DHDP ile ilgili literatürde yer alan çalışmaların özeti.

Yazarlar	Problemin Tanımı	Kullanılan çözüm yöntemi
Gungor ve Gupta, 1999c	Parçaların demontaj yönünü dikkate alarak, talebi karşılarken demontaj istasyonundaki boş sürelerin en küçüklenmesi	Temel DHD problemi çözümü için sistematik bir çözüm yaklaşımı getiren algoritma tasarlanmıştır.
Gungor ve Gupta, 2001a	DHDP’de görevlerin iş istasyonuna atanması esnasında demontaj hatlarında yer alan hatalı parçaların etkisini en küçüklemektir	Hatalı parçaların etkisini azaltmak için sistematik bir çözüm yaklaşımı getirilmiştir.
McGovern ve Gupta, 2003	Çok amaçlı DHD problemi üzerinde durulmaktadır. İstasyon sayısının en küçüklenmesi, tehlikeli içerikli ve yüksek talepli parçaların hattan mümkün olduğu kadar erken uzaklaştırılması istenmektedir.	DHD için Greedy ve 2-opt algoritması önerilmektedir
McGovern ve Gupta, 2004a	İstasyonlardaki boş sürelerin dengeli olması amaçlanmaktadır. Dolayısıyla istasyon sayısının en küçüklenmesi istenmektedir.	Çözüm yaklaşımı olarak Greedy, 2-opt algoritması ile Adjacent Element Hill Climbing önerilmektedir. Önerilen algoritmaların sayısal ve grafiksel sonuçları yorumlanmaktadır.
McGovern ve Gupta, 2004b	İstasyon sayısı ile birlikte istasyonlardaki toplam boş sürenin en küçüklenmesi ve istasyonlardaki boş sürelerin dengeli olması amaçlanmaktadır.	Kombinatoryel optimizasyon metodları olan karınca kolonisi algoritması, genetik algoritma ve Hunter-Killer meta sezgiseli oluşturmuşlar ve greedy/hill-climbing sezgiseli ile karşılaştırmışlardır.
Duta ve diğ., 2005	İstasyonlar arasındaki dengesizliğin en küçüklenmesini amaçlamaktadırlar.	Eşit çubuklar yaklaşımına dayanan yeni bir yöntem kullanılmıştır
Kızılkaya ve Gupta, 2005	Demontaj hatlarındaki yüksek belirsizlikten dolayı söz konusu hatlarda tam zamanında üretim sisteminin optimum çalışma şartlarını sağlamak oldukça zordur. Çalışmada demontaj hatları için tam zamanında üretim sisteminin kullanılması düşünülmüştür.	Dinamik kanban sistemini greedy, Adjacent Element Hill Climbing 2-opt algoritmaları üzerindeki etkileri incelemişlerdir

Tablo 2.1: DHDP ile ilgili literatürde yer alan çalışmaların özeti. (Devam)

McGovern ve Gupta, 2005	Çok amaçlı DHD problemi üzerinde durulmaktadır. İstasyon sayısının en küçüklenmesi, istasyonlardaki boş sürelerin dengeli olması ve en küçüklenmesi, tehlikeli içerikli ve yüksek talepli parçaların hattan mümkün olduğu kadar erken uzaklaştırılması, demontaj için gerekli demontaj yönü değişiminin en küçüklenmesi istenmektedir.	Çalışmada kombinatoriyel optimizasyon tekniklerinden karınca kolonisi algoritması ve H-K meta sezgiselini kullanmışlar ve karşılaştırmışlardır
McGovern ve Gupta, 2007a	Çok amaçlı DHD problemi üzerinde durulmaktadır. İstasyon sayısının en küçüklenmesi, istasyonlardaki boş sürelerin dengeli olması ve en küçüklenmesi, tehlikeli içerikli ve yüksek talepli parçaların hattan mümkün olduğu kadar erken uzaklaştırılması, demontaj için gerekli demontaj yönü değişiminin en küçüklenmesi istenmektedir.	Genetik algoritmaya dayalı sezgisel bir yöntem önerilmiştir.
McGovern ve Gupta, 2007b	Çok amaçlı DHD problemi üzerinde durulmaktadır. İstasyon sayısının en küçüklenmesi, istasyonlardaki boş sürelerin dengeli olması ve en küçüklenmesi, tehlikeli içerikli ve yüksek talepli parçaların hattan mümkün olduğu kadar erken uzaklaştırılması, demontaj için gerekli demontaj yönü değişiminin en küçüklenmesi istenmektedir.	Exhaustive search, greedy, karınca kolonisi, genetik algoritma, greedy/hill climbing ve greedy/2-opt algoritmalarını uygulamışlardır.
Altekin ve diğ., 2008	Kâr amaçlı kısmi demontaj hatlarının dengelenmesi üzerinde durulmuştur.	Kısmi DHDP için karışık tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir.
Agrawal ve Tiwari, 2008	Stokastik işlem zamanlı karışık modeli U-tipi DHD problemi ele alınmıştır.	Önerilen yöntem karınca kolonisi algoritmasıdır.
Koç ve diğ., 2009	İstasyon sayısını en küçükleyen aynı zamanda demontaj hattına gelen ürünün tamamen demonte edilmesini sağlayan ve tüm VEYA ilişkilerini dikkate alan modeli geliştirmişlerdir.	Dinamike programlama ve tam sayılı programlamanın yer aldığı ve optimal sonuç veren iki formülasyon geliştirmişler,
Ding ve diğ., 2010a, b	Çok amaçlı DHD problemi üzerinde durulmaktadır. İstasyon sayısının en küçüklenmesi, istasyonlardaki boş sürelerin dengeli olması ve en küçüklenmesi, tehlikeli içerikli ve yüksek talepli parçaların hattan mümkün olduğu kadar erken uzaklaştırılması istenmektedir.	Karınca kolonisi tabanlı sezgisel bir yöntem önerilmiştir. Ayrıca çözümlere ait Pareto optimal sonuçlar gösterilmiştir.

Tablo 2.1: DHDP ile ilgili literatürde yer alan çalışmaların özeti. (Devam)

---

Kalaycı ve diğ., 2011	Çok amaçlı DHD problemi üzerinde durulmaktadır. İstasyon sayısının en küçüklenmesi, istasyonlardaki boş sürelerin dengeli olması ve en küçüklenmesi, tehlikeli içerikli ve yüksek talepli parçaların hattan mümkün olduğu kadar erken uzaklaştırılması istenmektedir.	Çok amaçlı DHD problemi için YAK algoritmasını önermişlerdir
Altekin ve Akkan, 2012	Hatalı görev içeren demontaj hattı dengeleme problemi için kârın maksimize edilmesidir.	Hatalı görevleri önceden tahmin ederek düzeltici faaliyetler ile hattı yeniden dengeleyecek karma tam sayılı matematiksel bir model önermişlerdir
Kalaycı ve diğ., 2012	Çok amaçlı DHD problemi üzerinde durulmaktadır. İstasyon sayısının en küçüklenmesi, istasyonlardaki boş sürelerin dengeli olması ve en küçüklenmesi, tehlikeli içerikli ve yüksek talepli parçaların hattan mümkün olduğu kadar erken uzaklaştırılması istenmektedir.	Çok amaçlı DHD problemi için tavlama benzetimi yöntemi önerilmiştir.
Tuncel ve diğ., 2012	Çok amaçlı DHD problemi üzerinde durulmaktadır. İstasyon sayısının en küçüklenmesi, istasyonlardaki boş sürelerin dengeli olması ve en küçüklenmesi, tehlikeli içerikli ve yüksek talepli parçaların hattan mümkün olduğu kadar erken uzaklaştırılması istenmektedir.	Monte Carlo tabanlı reinforcement learning yöntemini kullanarak çok amaçlı DHD problemi için bir çözüm yöntemi geliştirmişlerdir.

---

### 3. PROBLEMİN TANIMI, AMAÇLAR VE METODOLOJİ

#### 3.1.Problemin Tanımı ve Varsayımlar

Demontaj için getirilen ürünlerin sahip olduğu yapısal belirsizlikler, parçaların demontaj sürelerinin öngörülmesinde belirsizlikler ortaya çıkarmaktadır. Sonuçta ürün yaşam sürecinin sonuna gelmiş bir ürünün demontajını, bir hat boyunca gerçekleştirirken, herhangi bir parçada demontaj işlemini aksatacak veya engelleyecek bir yapısal problem söz konusu ise, bu durum demontaj hattının verimli çalıştırılmamasına neden olabilir. Bu tezde ele alınan problem, söz konusu yapısal belirsizliğin meydana getirebileceği demontaj sürelerindeki belirsizliğin sürece dahil edilmesine odaklanmaktadır.

Günümüzde maliyetlerin azaltılması yanında, taleplerin hızlı bir şekilde ve eksiksiz karşılanması ve çevresel etkilerin ortadan kaldırılması gibi birçok amaç birlikte değerlendirilmektedir. Söz konusu durumdan dolayı problemler çok amaçlı bir niteliğe bürünmektedir. İstasyon sayısının, çevrim süresinin, istasyonlardaki boş zamanların en küçüklenmesi, tehlikeli parçaların hattan öncelikle uzaklaştırılması, değerli parça ve alt montaj parçalarına olan taleplerin öncelikle karşılanması, atık alanlarına gönderilen atık miktarının azaltılması amaçlarından bir veya bir kaç demontaj hatlarında en iyilenmek istenebilecek amaçlardandır. Bu tezde ayrıca, demontaj sürelerinin öngörülmesindeki belirsizlikleri hesaba katarken, bir yandan da birden fazla amaç en iyilenmeye çalışılmaktadır. Yani, problem *çok amaçlı bulanık demontaj hattı dengeleme problemi* olarak ele alınmaktadır.

Sonuç olarak literatürde, demontaj hat dengelemesine ait birçok çalışma olmasına rağmen az sayıda çalışmada DHDP'deki belirsizlikleri dikkate almıştır. Bu çalışma, demontaj görev sürelerini bulanık olarak ele alarak, literatürde yer alan demontaj hat dengeleme problemlerine farklı bir yaklaşım getirmektedir. Bu problemin çözümünde kullanılan çok amaçlı matematiksel model ise McGovern ve Gupta (2005)'nin ortaya koyduğu çok amaçlı demontaj hat dengeleme modeline dayanmaktadır.



Çok amaçlı bulanık demontaj hattı dengeleme probleminin varsayımları ise aşağıdaki gibidir:

- Demontaj hattında sadece tek bir ürünün demontajı yapılmaktadır.
- Demontaja konu olan üründe yer alan bütün parçaların demontajı gerçekleştirilmektedir.
- Demontaja konu olan üründe görev zamanları bulanık olarak ele alınmaktadır.
- Demonte edilen üründe bulunan parçaların tehlikeli olup olmadığı bilinmektedir.
- Üründe yer alan bütün parçaların tam demontajı sonucu ortaya çıkan parçalara olan talep bilinmektedir ve talep miktarları deterministik olarak ele alınmaktadır.
- Demontaja konu olan ürünün tedarik edilmesi ile ilgili problem yoktur. Bir başka deyişle, istenilen kadar ürün tedarik edilebilmektedir.
- Demontajı yapılan parçalar, talep edilen kaynak tarafından kabul edilmektedir.

### **3.2. Amaçlar ve Literatüre Katkısı**

Bu tezin amacı, demontajı gerçekleştirilecek olan üründe olabilecek yapısal problemlerden kaynaklı, demontaj görev sürelerinde oluşabilecek belirsizliklere bulanık mantık tabanlı bir çözüm yöntemi getirmektedir. Özellikle demontaj görev süreleri, literatür taramasında yer alan MHDP’de olduğu gibi üçgensel bulanık sayılarla ifade edilmektedir.

Demontaja konu olan ürün, nihai kullanıcıdan gelmiş olup ürün yaşam süreci boyunca üzerinde yapılan değişiklikler bilinmemektedir. Bu durumda demontaj hattına gelen üründe bulunan yapısal belirsizlikler ve soru işaretleri DHD aşamasında hattın doğru bir şekilde dengelenememesine neden olabilmektedir. Bundan dolayı bu tezde, demontaj hat dengeleme problemi için demontaj görev sürelerinin belirlenmesinde bulanık mantık yaklaşımı kullanılmaktadır. Çünkü bulanık veri yaklaşımı, verilerin elde edilemediği, açık olmadığı ve belirsiz olduğu zaman, gerçekçi durumların daha iyi temsil edilmesi amacıyla kullanılmaktadır (Kaufman ve Gupta, 1985).

Tezde, McGovern ve Gupta (2005)’nin literatüre kazandırdığı modele, bulanık mantık tabanlı bir çözüm yaklaşımı getirilmekte ve sezgisel bir süreç ile problem çözüme kavuşturulmaktadır. Bu tezde sezgisel süreç olarak Karaboğa (2005)

tarafından geliştirilen yapay arı kolonisi algoritması uygulanmaktadır. Yapılan literatür araştırmasında da görüldüğü üzere demontaj hattı dengeleme problemlerinde birçok sezgisel yöntem kullanıldığı görülmektedir (Genetik Algoritma, H-K, AEHC, greedy, YAK vb). Söz konusu sezgisel yöntemlerin sayısal sonuçları incelendiğinde, YAK algoritmasının optimale yakın sonuçları hızlı bir şekilde verdiği görülmektedir. Bu yüzden seçilen sezgisel yöntem YAK algoritmasıdır. Problemin sezgisel süreç ile çözüme kavuşturulmasının amacı çok sayıda parçadan oluşan ürünlere ait dengeleme çalışmalarında optimal veya optimale yakın sonuçların hızlı bir şekilde elde edilmek istenmesidir. Bu yüzden çalışmada çözüm yaklaşımı olarak sezgisel bir süreç kullanılmış olup, DHD literatüründe yer alan tüm sezgisel süreçler içinde daha hızlı sonuç veren YAK algoritması önerilmektedir.

Bu çalışmada, DHDP bulanık ortamda düşünülmekte ve söz konusu problemin çözümünde kullanılacak YAK algoritmasının uygulanacak olduğu matematiksel modelde dört adet amaç bulunmaktadır. Bu amaçlar sırasıyla şu şekildedir.

1. İstasyon sayısının minimizasyonu
2. İstasyonlardaki görev yüklerinin dengeli bir biçimde paylaşılması
3. Tehlikeli içerik içeren parçaların hattan diğer parçalara göre öncelikle uzaklaştırılması
4. Daha fazla talep olan parçanın hattan diğer parçalara göre öncelikle uzaklaştırılması

Söz konusu matematiksel modelde yer alan amaçlar, YAK algoritmasıyla bulanık ortamda iki şekilde değerlendirilmektedir: Bunlardan birincisi, amaç fonksiyonlarının sırasıyla en iyilenmeye çalışıldığı leksikografik yöntemdir. İkincisi ise amaç fonksiyonlarına sabit ağırlıklar verilerek amaç fonksiyonlarının birlikte değerlendirildiği sabit ağırlıklandırma yöntemidir. Ayrıca eniyilenmek istenen amaçlar dışında *hat etkinliği*, *düzensizlik indeksi* ve *dengeleme boşluğu* parametreleri de değerlendirilmektedir.

### 3.3. Metodoloji

Bu tezde kullanılan metodoloji kısaca şu şekilde özetlenebilir:

- Bu çalışmada öncelikle literatürde yer alan çok amaçlı demontaj hattı dengeleme problemine ait deterministik model incelenmiştir.
- Ele alınan deterministik modelin çözümü için kullanılan ve literatürde yer alan deterministik YAK algoritması ele alınmış ve çözümlerine bakılmıştır.
- Literatürde YAK algoritması ile leksikografik şekilde çözüme kavuşturulan deterministik matematiksel model, sabit ağırlıklandırma metodu ile YAK algoritması kullanılarak çözdürülmüştür. Bu aşamada leksikografik yöntemde kullanılan sayısal örnek kullanılmıştır.
- Daha sonra çok amaçlı DHDP'ne ait deterministik matematiksel modele, bulanıklaştırma işlemi yapılmıştır. Söz konusu işlem, demontaj hattına gelen ürünlerin, yapısal problemlerin meydana getirebileceği demontaj görev sürelerinin belirsizliğini demontaj hat dengeleme sürecine dahil etmek amacıyla demontaj görev süreleri için yapılmıştır. Dolayısıyla, söz konusu matematiksel modelde yer alan demontaj görev süreleri ve çevrim süresi üçgensel bulanık sayılar ile ifade edilmiştir.
- Sonrasında çok amaçlı DHDP kullanılacak olan bulanık matematiksel model, için YAK algoritması oluşturulmuştur.
- DHDP çözümü için oluşturulan YAK algoritması, leksikografik metot ve sabit ağırlıklandırma metodu için ayrı ayrı çözümler elde edecek şekilde sonuçlar üretmiştir.
- Çalışmanın ilerleyen bölümünde geliştirilen bulanık mantık tabanlı YAK algoritmasının etkinliği, 8 parçadan oluşan ve literatüre Gungor ve Gupta (2002) tarafından kazandırılan küçük ölçekli bir bilgisayar demontajı üzerinde, yine 25 parçadan oluşan ve Gupta ve diğ. (2004) tarafından literatüre tanıtılmış olan daha büyük ölçekli bir cep telefonu demontajı örneği üzerinde ve 47 parçadan oluşan ve literatüre bu tezle birlikte sunulan dizüstü bilgisayar demontajı örneği üzerinde değerlendirilmiştir.
- Son olarak da 25 parçadan oluşan cep telefonu ile 47 parçadan oluşan dizüstü bilgisayar demontajı örneği üzerinde yapılan deneysel çalışmalar yorumlanmıştır.

### 3.4. Yapay Arı Kolonisi Algoritması

Sürü zekası; karıncalar, kuşlar, termitler, arılar, balıklar gibi sosyal bir toplulukta yaşayan bireylerin davranışlarını örnek alarak, problemlere çözüm getirmeyi amaçlayan bir yapay zeka tekniğidir. Karıncaların gitmiş oldukları yollara kimyasal madde bırakarak diğer karıncalara bilgi iletmeleri, kuş ve balık sürülerinin birlikte hareket ederken konum ve hızlarını ayarlayarak ilerlemeleri, arı kolonilerinin kovana etrafında yapmış olduğu salınım hareketiyle birbirlerine bilgi iletmeleri sürü zekasının ortaya çıkmasında temel alınan zeki davranışlardır (Aybars ve Doğan, 2006; Karaboga ve Akay, 2007).

Sürü halinde yaşayan arıların yiyecek arama sürecinde sergilemiş oldukları sosyal davranışlar çok dikkat çekicidir. Bu süreçte arıların kendi aralarında bir iş bölümü yapması, değişen şartlara göre iş bölümünde değişik roller üstlenmeleri ve sürünün hiçbir dış etken olmadan kendi içerisinde organize olabilmesi bu davranışlardan bazılarıdır. Ayrıca bulmuş oldukları yiyecek kaynaklarının kalitesini belirleme ve birbirleriyle haberleşerek bu kaynaklar hakkında bilgi paylaşımında bulunma arıların yiyecek arama süreci içerisinde sergilemiş oldukları zeki davranışlara farklı örnekler olarak gösterilebilir. Yapay Arı Kolonisi (YAK) algoritması bu tür zeki davranışları gerçeğine uygun bir şekilde modelleyen ve son yıllarda oldukça popüler olan bir optimizasyon tekniğidir.

YAK algoritması bal arılarının yiyecek arama davranışlarından faydalanılarak Karaboğa (2005) tarafından geliştirilmiştir. YAK algoritmasının çalışma mekanizması aşağıda açıklanmıştır. Ayrıca YAK algoritmasının ana adımları Tablo 3.1’de gösterilmektedir.

Bir yapay arı kolonisi görevli arılar, gözcü arılar ve kâşif arılar olmak üzere üç tür arıdan oluşur. Görevli arılar, bulmuş oldukları kaynaktan nektar depolayıp kovana getiren arılardır. Bir görevli arının, nektar depoladığı kaynak bellidir ve asıl görev olarak nektar taşıma işlemiyle sorumludur. Nektar taşımanın dışında diğer bir görevi ise bulmuş olduğu yiyecek kaynağı hakkında kovanda bekleyen gözcü arılara bilgi vermektir. Bilgi verme işlemi yapmış olduğu dansla gerçekleştirir. Yapılan dansın süresi yiyecek kaynağının kalitesiyle doğru orantılıdır. Başka bir ifadeyle, yapılan dansın süresi ne kadar uzunsa bulunan yiyecek kaynağı da o kadar kalitelidir. Gözcü

arılar, görevli arıların yapmış oldukları dansları izleyerek yiyecek kaynakları hakkında bilgi edinen arılardır. Bir gözcü arı edindiği bilgiler ışığında bir yiyecek kaynağının kullanılıp kullanılmayacağı hakkında bir değerlendirme yapar. Yaptığı değerlendirmeye göre bir yiyecek kaynağını kullanmaya karar verirse görevli arılara yardım eder. Eğer yiyecek kaynağını kullanmayı düşünmezse kovanda bekleyerek görevli arıların danslarını izlemeye devam eder. Kâşif arılar ise, yeni kaynaklar aramaya çıkmış arılardır. Bir arı, kâşif arı olmadan önce bir görevli arıdır ve bir yiyecek kaynağından nektar depolar. Kullanılan yiyecek kaynağı tüketilmişse veya yeteri kadar bu kaynaktan yararlanılmışsa görevli arı kâşif olur ve yeni kaynakların keşfine çıkar.

Tablo 3.1:YAK algoritmasının ana adımları (Karaboga ve Akay, 2011).

1	Başlangıç
2	Değerlendirme
3	Çevrim=1
4	<b>Tekrarla</b>
5	Görevli Arı Fazı
6	Gözcü arılar için olasılık hesaplama
7	Gözcü arı fazı
8	Kâşif arı fazı
9	Elde edilen en iyi çözümü tut
10	Çevrim=çevrim+1
11	<b>Kadar</b> çevrim=maksimum çevri sayısı

YAK algoritmasında arılar arasındaki iş bölümü doğal hayattaki arılar arasında bulunan iş bölümünün aynısıdır. Doğal hayattan farklı olarak YAK algoritmasının yapmış olduğu bazı kabuller vardır. Bunlar şu şekildedir:

- Bir görevli arı yalnızca bir kaynaktan nektar alabilmektedir. Bir başka ifade ile bir görevli arı, çözüm uzayında her popülasyonda bir çözüm üretebilmektedir.
- Görevli arıların sayısı toplam yiyecek kaynaklarının sayısına eşittir. Bir başka ifade ile görevli arıların sayısı popülasyon sayısına eşittir.
- Görevli arıların sayısı aynı zamanda gözcü arıların sayısına eşittir.

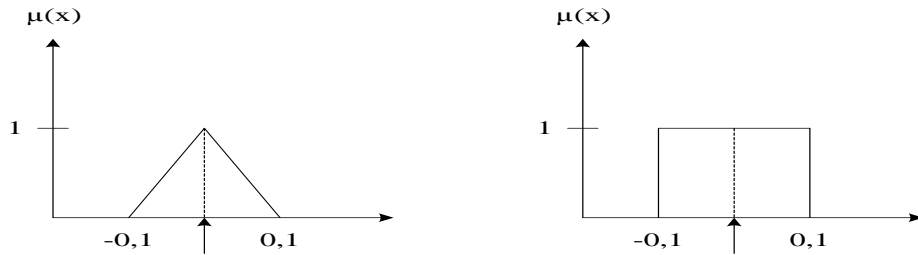
- Her bir çevrimde yalnızca bir görevli arı kâşif arı olabilmektedir. Diğer bir ifade ile iterasyon limitine ulaşıldığı anda görevli arı kâşif arı olup, rastgele yeni bir çözüm üretmektedir.
- Bir yiyecek kaynağının konumu olası bir çözümü belirtir. Bunun anlamı, her popülasyon yeni bir çözüm anlamına gelmektedir.
- Bir kaynakta bulunan nektar miktarı, kaynağın kalitesini göstermektedir. Bir başka ifade ile, popülasyonlarda elde edilen çözümlerin değerlendirilmesi aşamasında, elde edilen çözüm kümesinde iyi olan bir çözümün üzerine gidilme olasılığı daha yüksektir.

### 3.5. Bulanık Mantık

Bu bölümde bulanık mantık kavramından, bulanık sayıların aritmetiğinden ve bulanık sayıların derecelendirilmesi işlemlerinden kısaca bahsedilmektedir. Konu hakkında Zadeh (1965) olmak üzere literatürde yer alan çok sayıda çalışma incelenebilir.

#### 3.5.1. Bulanık mantık kavramı

Bulanık kümeler Zadeh (1965) tarafından literatüre kazandırılmıştır. O güne kadar problemlerin çözümünde ikili ya da Aristo mantığı kullanılmaktaydı. Aristo mantığı olaylara doğru-yanlış, evet hayır, siyah-beyaz vb. gibi ikili esasta yaklaşır. Bu iki değer arasında, kesin olmadığı düşüncesiyle yer verilmez. Bulanık kümelerde ise 0 ve 1 arasında değişen farklı üyelik derecelerinden söz etmek mümkündür (Şen, 2001). Dünyada insanları karşılaştığı birçok olay belirsiz ve karmaşıktır. Bu karmaşıklık ve belirsizlik genel anlamda karar verilemeyiştten kaynaklanmaktadır. Bulanık mantık kesin olmayan yaklaşık değerleri içermektedir. Şekil 3.1 bulanık mantık ve Aristo mantığına ait üyelik fonksiyonlarını göstermektedir.



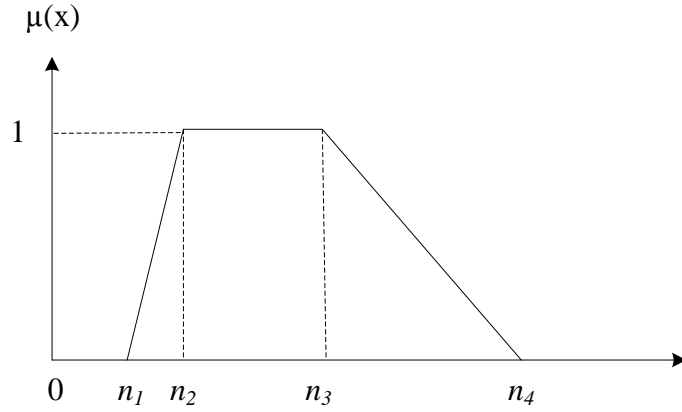
Şekil 3.1: Bulanık üyelik fonksiyonu ve klasik üyelik fonksiyonu.

### 3.5.2. Bulanık sayıların gösterimi

Şekil 3.2’de gösterilen  $n$  yamuk bulanık sayısı  $(n_1, n_2, n_3, n_4)$  şeklinde gösterilmektedir ve üyelik fonksiyonu  $\mu_n(x)$  aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$\mu_n(x) = \begin{cases} 0 & x < n_1 \\ \frac{x - n_1}{n_2 - n_1} & n_1 \leq x < n_2 \\ 1 & n_2 \leq x \leq n_3 \\ \frac{x - n_4}{n_3 - n_4} & n_3 < x \leq n_4 \\ 0 & x > n_4 \end{cases} \quad (4.4)$$

Bulanık yamuk sayılar için eğer  $n_2 = n_3$  ise bu durumda bulanık sayılar üçgensel bulanık sayılar olarak tanımlanır.



Şekil 3.2: Bulanık üyelik fonksiyonu.

### 3.5.3. Bulanık sayıların aritmetiği

Üçgensel bulanık sayıların aritmetiği ise şu şekildedir.

$$A+B=(\alpha_1+\beta_1, \alpha_2+\beta_2, \alpha_3+\beta_3) \quad (3.1)$$

$$A-B=(\alpha_1-\beta_3, \alpha_2-\beta_2, \alpha_3-\beta_1) \quad (3.2)$$

$$A \times B=(\alpha_1 \cdot \beta_1, \alpha_2 \cdot \beta_2, \alpha_3 \cdot \beta_3) \quad (3.3)$$

$$A/B=(\alpha_1/\beta_3, \alpha_2/\beta_2, \alpha_3/\beta_1) \quad (3.4)$$

### 3.5.4. Bulanık sayıların durulaştırılması

Bulanık sayıların karşılaştırılması veya durulaştırılması ile ilgili bilgiler şu şekildedir.

- Ortalama en büyük üyelik

$$F_1(A) = \frac{\alpha_1 + 2\alpha_2 + \alpha_3}{4} \quad (3.5)$$

- En büyük üyelik yöntemi

$$F_2(A) = \alpha_2 \quad (3.6)$$

- Ayrıklık metodu (Başlangıç ile bitiş noktası arasındaki mesafe)

$$F_3(A) = \alpha_3 - \alpha_1 \quad (3.7)$$

Bulanık sayıların karşılaştırılmasını veya durulaştırılmasını bir örnekle açıklayalım. (12,16,18) ile (10, 15,20) üçgensel bulanık sayılarını düşünelim. Ortalama en büyük üyelik yöntemi ile hesaplandığında;

$$F_1(A) = \frac{12 + (2 \times 16) + 18}{4} = 15,5$$

$$F_1(B) = \frac{10 + (2 \times 15) + 20}{4} = 15$$

En büyük üyelik yöntemi ile hesaplandığında;

$$F_2(A) = 16 \text{ iken } F_2(B) = 15$$

Ayrıklık metodun ile hesaplandığında;

$$F_3(A) = 18 - 12 = 6 \text{ iken } F_3(B) = 20 - 10 = 10$$

Sonuç olarak ortalama en büyük üyelik yöntemi ve en büyük üyelik yöntemi ile durulaştırma sonucunda (12,16,18) üçgensel bulanık sayısı daha büyük iken ayrıklık metodu ile durulaştırma yapıldığında (10, 15, 20) üçgensel bulanık sayısı daha büyük olduğu görülmektedir.



#### 4. ARI KOLONİSİ ALGORİTMASI İLE ÇOK AMAÇLI BULANIK DEMONTAJ HAT DENGELEME

Çalışmanın bu bölümünde, problemin yapısı ve formülasyonundan, deterministik ve bulanık matematiksel modelinden, önerilen yöntemden, komşuluk yapılarından, değerlendirme mekanizmasından, çözüm algoritmasından ve sayısal sonuçlardan bahsedilmektedir. Geliştirilen algoritmanın sayısal sonuçları, 8, 25 ve 47 parçadan oluşan ürün örnekleri kullanılarak değerlendirilmiştir.

##### 4.1. Problemin Yapısı ve Formülasyonu

Problemin tanımı ve varsayımları Bölüm 3'te sunulmuştur. Demontaj hatlarının dengelenmesine yönelik oluşturulan ve bulanık ortamda uygulanan yapay arı kolonisi algoritmasında problemin formülasyonu şu şekildedir. Demontaj hattı boyunca,  $NWS$  adet demontaj istasyonu bulunmaktadır. Hat boyunca tek bir ürünün demontajı yapılmaktadır. Söz konusu hatta gerçekleştirilen  $n$  adet demontaj operasyonunun her birine *görev* adı verilmektedir. Her  $k$  *görevi* sadece tek bir istasyonda gerçekleştirilebilmekte ve işlem süresi,  $\tilde{PRT}_k$  bulanık olarak ifade edilmektedir.

Herhangi bir  $j$ . demontaj istasyonuna atanan görevlerin toplam süresi  $\tilde{ST}_j$  olarak adlandırılmaktadır. Her bir demontaj istasyonu için kabul edilebilir toplam görev süresi bulanık çevrim süresi olarak adlandırılmakta ve  $\tilde{c}$  ile ifade edilmektedir. Ayrıca  $\tilde{BE}$  demontaj hattın etkinliğini göstermekte ve denklem (4.1) ile formülize edilmektedir.

$$\tilde{BE} = \frac{\sum_{j=1}^{NWS} \tilde{ST}_j}{NWS \times \tilde{c}} \quad (4.1)$$

Ayrıca bulanık ortamda uygulanan YAK algoritmasında ana amaçlara ek olarak iki parametrenin daha performansı ölçülmektedir. Bu parametrelerden birisi, bulanık

düzgünlük indeksidir (smoothness index). Söz konusu değer  $\tilde{SI}$  olarak gösterilmekte ve denklem (4.2) ile formülize edilmektedir.

Düzgünlük indeksi ( $\tilde{SI}$ ), atanacak işlerin istasyonlara ne kadar dengeli dağıtıldığını gösteren bir parametredir. Söz konusu indeksin sifıra eşit olması istasyonlar arasındaki iş yüklerinin mükemmel dağıtıldığının bir işaretidir.

$$\tilde{SI} = \sqrt{\sum_{j=1}^{NWS} (\tilde{c} - \tilde{ST}_j)} \quad (4.2)$$

Diğer bir parametre ise dengeleme boşluğudur (balance delay time). Dengeleme boşluğu  $\tilde{BD}$  olarak gösterilmekte ve denklem (4.3) ile formülize edilmektedir.

Dengeleme boşluğu ( $\tilde{BD}$ ), hatta kullanılmayan kapasitenin ölçüsünü gösteren bir parametredir. Bu süre, bütün istasyonlarda bulunan boş sürelerin toplamının bir ölçüsüdür.

$$\tilde{BD} = \sum_{j=1}^{NWS} (\tilde{c} - \tilde{ST}_j) \quad (4.3)$$

Modelde dört adet amaç bulunmaktadır. Bu amaçlar sırasıyla şu şekildedir.

- İstasyon sayısının minimizasyonu,
- İstasyonlardaki boş sürelerin dengelenmiş olması,
- Tehlikeli içerik barındıran parçaların hattan diğer parçalara göre öncelikle uzaklaştırılması ve
- Talebi yüksek olan parçanın öncelikli ayrıştırılmış olması.

Ayrıca oluşturulan matematiksel modelde şu kısıtlar yer almaktadır:

- Tüm öncelik ilişkileri sağlanmalıdır.
- İstasyonlara atanan işlerin toplam süresinin istasyonun çevrim süresini aşamaz.
- Her iş sadece tek bir istasyona atanabilir.
- Toplam istasyon sayısı, demonte edilebilecek toplam parça sayısını aşamaz.

## 4.2. Matematiksel Model

Bu bölümde önerilen matematiksel modelin, deterministik ve bulanıklaştırılmış şekli gösterilmektedir. Deterministik matematiksel model McGovern ve Gupta (2005) tarafından literatüre kazandırılmış olan çok amaçlı demontaj hattı dengeleme modelidir. Söz konusu modelde demontaj görev süreleri ve çevrim zamanı bulanıklaştırılarak, bulanık matematiksel model elde edilmiştir.

### 4.2.1. Deterministik matematiksel model

Çok amaçlı demontaj hat dengeleme problemine ilişkin matematiksel model McGovern ve Gupta (2005) tarafından aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir:

İndisler

$j$	İş istasyonu
$k$	Parça
$n$	Parça sayısı

Küme ve parametreler

$CT$	Çevrim zamanı, her iş istasyonu için kabul edilebilir maksimum süre
$d_k$	Talep, istenilen $k$ parçasının miktarı
$h_k$	0-1 değişken, 1 eğer parça tehlikeli ise, değilse 0
$IP$	$k_1$ parçasının $k_2$ parçasından daha öncelikli olduğunu ifade eden $k_1, k_2$ parçaların kümesi
$N$	Doğal sayılar kümesi
$NWS$	Verilen çözüm sıralamasında gereken iş istasyonu sayısı
$NWS^*$	Tam demontajda olası minimum iş istasyonu sayısı
$PRT_k$	$k$ . parça için demontaj süresi
$PS_k$	Çözüm kümesindeki $k$ . parça
$ST_j$	İstasyon süresi, $j$ . iş istasyonunda toplam gereken işlem süresi
$X_{kj}$	İş istasyonuna işin atanması, $I$ eğer $k$ . parça $j$ . iş istasyonuna atanıyorsa, $0$ değil ise,

Problemin matematiksel gösterimi aşağıda verilmiştir (McGovern ve Gupta, 2005).

Amaç fonksiyonu;

$$\min f_1 = NWS \quad (4.4)$$

$$\min f_2 = \sum_{j=1}^{NWS} (CT - ST_j)^2 \quad (4.5)$$

$$\min f_3 = \sum_{k=1}^n (k \cdot h_{PS_k}), \quad h_{PS_k} = \begin{cases} 1, & \text{tehlikeli ise} \\ 0, & \text{degil ise} \end{cases} \quad (4.6)$$

$$\min f_4 = \sum_{k=1}^n (k \cdot d_{PS_k}), \quad d_{PS_k} \in N, \forall PS_k \quad (4.7)$$

Kısıtlar;

$$\left[ \frac{\sum_{k=1}^n PRT_k}{CT} \right] \leq NWS^* \leq n \quad (4.8)$$

$$\sum_{j=1}^{NWS} ST_j \leq CT, \quad j = 1, 2, \dots, NWS \quad (4.9)$$

$$\sum_{j=1}^{NWS} x_{kj} = 1, \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (4.10)$$

$$x_{aj} \leq \sum_{j=1}^{NWS} x_{kj}, \quad \forall (a, k) \in IP \quad (4.11)$$

Amaç fonksiyonu (4.4) istasyon sayısını minimize etmeyi amaçlamaktadır. Amaç fonksiyonu (4.5) istasyonlardaki boş zamanların benzer olmasını isterken, bu süreyi aynı zamanda en küçüklemektedir. Amaç fonksiyonu (4.6) tehlikeli içerikli parçaların hattan erken uzaklaşmasını isterken, amaç fonksiyonu (4.7) yüksek talep edilen parçaların düşük talep edilen parçalara göre daha önce hattan uzaklaştırılmasını amaçlamaktadır. (4.8) numaralı denklem, minimum istasyon sayısının demonte edilecek parça sayısını geçemeyeceğini garanti ederken, (4.9) numaralı kısıt iş istasyonlarına atanan işleri toplam süresinin, çevrim zamanını geçemeyeceğini belirtmektedir. (4.10) numaralı kısıt, her bir işin sadece bir iş istasyonuna atanacağını garanti etmektedir. Son olarak da (4.11) numaralı kısıt ise parçalar arasındaki öncelik ilişkilerini sağlayan öncelik ilişkileri kısıtıdır.

#### 4.2.2. Bulanık matematiksel model

Çok amaçlı bulanık demontaj hat dengeleme problemine ilişkin notasyon ve matematiksel model aşağıda verilmiştir.

İndisler

$j$	İş istasyonu
$k$	Parça
$n$	Parça sayısı

Küme ve parametreler

$\tilde{c}$	Bulanık çevrim zamanı, her iş istasyonu için kabul edilebilir maksimum süre
$C_{\max}$	Maksimum çevrim zamanı
$d_k$	Talep, istenilen $k$ parçasının miktarı
$h_k$	$0-1$ değişken, $1$ eğer parça tehlikeli ise, değilse $0$
$IP$	$k_1$ parçasının $k_2$ parçasından daha öncelikli olduğunu ifade eden $k_1, k_2$ parçaların kümesi
$N$	Doğal sayılar kümesi
$NWS$	Verilen çözüm sıralamasında gereken iş istasyonu sayısı
$NWS^*$	Tamamen demontajda olası minimum iş istasyon sayısı
$PRT_k$	$k$ . parça için demontaj süresi
$PS_k$	Çözüm kümesindeki $k$ . parça
$\tilde{ST}_j$	İstasyon süresi, $j$ . iş istasyonunda toplam gereken işlem süresi
$X_{kj}$	İş istasyonuna işin atanması, $1$ eğer $k$ . parça $j$ . iş istasyonuna atanıyorsa, $0$ değil ise,

Matematiksel model bulanık olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

Amaç fonksiyonu;

$$\min f_1 = NWS \quad (4.12)$$

$$\min f_2 = \sum_{j=1}^{NWS} (\tilde{c} - \tilde{ST}_j)^2 \quad (4.13)$$

$$\min f_3 = \sum_{k=1}^n (k \cdot h_{PS_k}), \quad h_{PS_k} = \begin{cases} 1, & \text{tehlikeli ise} \\ 0, & \text{degil ise} \end{cases} \quad (4.14)$$

$$\min f_4 = \sum_{k=1}^n (k \cdot d_{PS_k}), \quad d_{PS_k} \in N, \forall PS_k \quad (4.15)$$

Kısıtlar;

$$\left[ \begin{array}{c} \sum_{k=1}^n PRT_k \\ \tilde{c} \end{array} \right] \leq NWS^* \leq n \quad (4.16)$$

$$\sum_{k=1}^{NWS} \tilde{ST}_j \leq \tilde{c}, \quad k = 1, 2, \dots, NWS \quad (4.17)$$

$$\sum_{j=1}^{NWS} x_{kj} = 1, \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (4.18)$$

$$x_{ak} \leq \sum_{k=1}^{NWS} x_{kj}, \quad \forall (a, k) \in IP \quad (4.19)$$

Bulanık modelin amaç fonksiyonları ve kısıtlamalarının açıklaması daha önce verilen deterministik model ile aynı olduğu için tekrar sunulmamıştır.

### 4.3.Önerilen Çözüm Yöntemi

Tezin bu bölümünde önerilen YAK algoritmasının işleyişi ele alınmaktadır. Öncelikle bulanık ortamda uygulanan YAK algoritmasında başlangıç çözümünün elde edilmesi gerekmektedir. Başlangıç çözümünün elde edilmesi ilk popülasyonun oluşturulması ile meydana gelmektedir. Daha sonra elde edilen başlangıç çözümünden daha iyi sonuçların elde edilmesi amacıyla komşuluk yapıları kullanılmaktadır. Özellikle bulanık ortamda uygulanan YAK algoritmasında görevli ve gözcü arı fazında komşuluk yapıları kullanılarak daha iyi çözümler

araştırılmaktadır. Son olarak da değerlendirme fonksiyonu kısmında amaç fonksiyonlarının önerdiğimiz değerlendirme metoduna bağlı olarak gerçekleştirmelerinin incelendiği ve sonuçların elde edildiği bölüm yer almaktadır.

#### 4.3.1. İlk popülasyonun oluşturulması

Bu bölümde önerilen YAK algoritması için ilk popülasyonun oluşturulması açıklanacaktır. Ancak ilk popülasyonun oluşturulmasını anlatmadan önce *atanabilecek görev* ve *aday görev* kavramlarını açıklamakta fayda vardır. Burada *atanabilecek görevi*, herhangi bir iş istasyonuna atanmamış, öncelik ilişkileri kısıtına göre atanması uygun olan ve bir istasyona atanmadan hemen önceki görev olarak tanımlayabiliriz. *Aday görevi* ise, atanabilecek görevler kümesinde bulunan ve görev zamanı mevcut istasyonun boş kalan süresine eşit veya küçük olan görev veya görevler olarak tanımlayabiliriz.

Bulanık ortamda uygulanan YAK algoritması için ilk çözüm rastgele oluşturulmaktadır. Yöntem ilk istasyonun açılmasıyla başlar. Daha sonra öncelik ilişkileri dikkate alınarak atanabilecek görevler belirlenir. Her iterasyonda, çevrim zamanı kısıtı dikkate alınarak atanabilecek görevler arasından seçilen aday görevler belirlenir ve rastgele bir aday görev mevcut istasyona atanır. Eğer kalan aday görevler mevcut istasyona atanamıyorsa yeni bir istasyon açılır. Tüm görevler istasyonlara atanıncaya kadar bu süreç devam eder ve atanacak herhangi bir görev kalmadıysa prosedür bitirilmiş olup, aday çözüm elde edilmiştir.

İlk popülasyonun elde edilmesinde uygulanan çözüm yönteminin adımlarını şu şekilde sıralayabiliriz.

- Adım 1: Öncelik ilişkilerin göre atanabilecek görevler kümesinin oluşturulması.
- Adım 2: Çevrim zamanına göre aday görevler kümesinin oluşması.
- Adım 3: Eğer aday görev yok ise adım 5'e geçilir.
- Adım 4: Aday görevler kümesinden rastgele seçilen bir görev mevcut istasyona atanır ve adım 1'e dönülür.
- Adım 5: Atanabilecek görevler kümesi boş ise adım 7'ye gidilir
- Adım 6: Yeni iş istasyonu açılır ve adım 1'e dönülür.
- Adım 7: Yöntem sonlandırılır

### 4.3.2. Komşuluk yapıları

Bu çalışmada önerilen algoritmada yeni çözümler, temel komşuluk yapılarıyla elde edilmektedir. Mevcut çözümden spesifik bazı değişimlerle yeni olurlu çözümler elde etmeye komşuluk çözümleri denilmektedir. Komşuluk yapıları YAK algoritmasında görevli arı fazı ile gözcü arı fazında kullanılmaktadır. Komşuluk yapılarının nasıl oluşturulduğu ile ilgili ayrıntılı bilgi görevli arı fazında anlatılmaktadır.

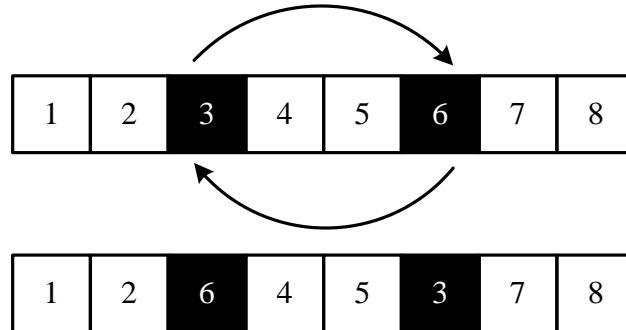
#### - Görevli Arı Fazı

Bulmuş oldukları nektarları kovana getiren arılar görevli arılardır. Görevli arılar için iki seçenek vardır; ya buldukları nektarları bırakıp yeniden gıda kaynağına yönelirler ya da yuvada bekleyen gözcü arılara bulmuş oldukları nektarın kaynağı ile ilgili bilgi verirler. Yeni kaynağa yönelme işlemi komşuluk yapıları yardımıyla yaparlar. Önerilen algoritmada üç farklı komşuluk operatörü kullanılmıştır. Bunlar *SWAP*, *INSERT* ve *2-OPT* komşuluk operatörleridir.

*SWAP* operatörü, rastgele bir veya iki istasyonda yer alan iki adet işi rastgele seçip, yer değiştirmektedir.

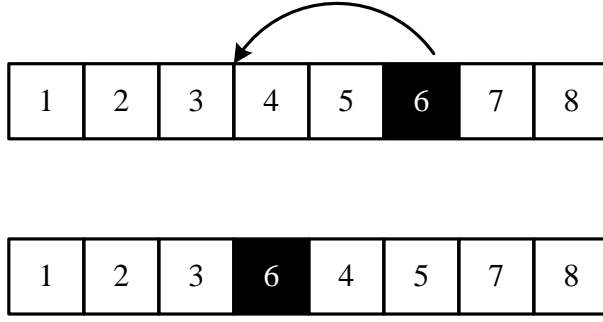
*INSERT* operatörü, mevcut çözüm içinden rastgele bir istasyondan bir adet işi rastgele seçip, mevcut çözümde bu işi yine rastgele herhangi bir istasyonda herhangi iki işin arasında koyarak tüm kısıtları sağlayan olurlu bir çözüm aramaktadır.

*2-OPT* operatörü, rastgele bir veya iki istasyonda rastgele iki iş arasında bağlantıyı kesip, yerine yeni iki adet bağlantı kurarak yeni bir çözüm yöntemi aramaktadır.

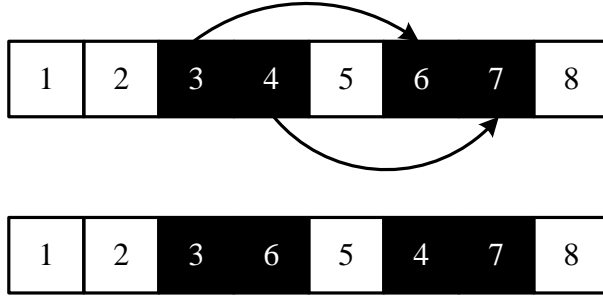


Şekil 4.1: Swap operatörü.





Şekil 4.2: Insert operatörü.



Şekil 4.3: 2-opt operatörü.

#### - Gözcü Arı Fazı

Görevli arıların ikinci seçeneği yuvada bekleyen gözcü arılara bulmuş oldukları nektarın kaynağı ile ilgili bilgi verirler. Gözcü arı fazında, gözcü arılar gıda kaynakları arasından birini seçerler ve nektarın miktarını belirlerler. Burada seçilen nektar kaynağı rulet tekeri yöntemi yardımı ile seçilmektedir. Seçime ilişkin olasılık hesabı denklem (4.20)' de verilmiştir.

$$p_i = \frac{f_i}{\sum_{k=1}^n f_k} \quad (4.20)$$

$f_i$ ,  $i$ . çözümün uygunluk değeridir. Böylece daha yüksek  $f_i$  değeri olan kaynağın seçilme olasılığı daha fazla olmaktadır.

#### - **Kâşif Arı Fazı**

Bu faz YAK algoritmasında rastgele çözüm üretir. Daha önce verilen karar limitlerine kadar daha iyi sonuç elde edilemez ise gıda kaynağı terk edilir. Böylece görevli arı, kâşif arı olur ve rastgele bir gıda kaynağına yönelir.

#### **4.3.3. Değerlendirme fonksiyonu**

##### - **Leksikografik metot**

Herhangi bir matematiksel modelde birden fazla çelişen amaçlar bulunduğu takdirde leksikografik optimizasyon problemleri ortaya çıkabilmektedir. Bu tür problemlerde karar vericinin kontrolü dışında söz konusu amaçlar hiyerarşik bir şekilde değerlendirilebilmektedir (Khorram ve diğ., 2010). Bir başka ifade ile leksikografik metotta amaç fonksiyonları önem derecesine göre sıralanmaktadır (Marler ve Arora, 2004). Khorram ve diğ. (2010), leksikografik problemi denklem (4.21)'daki gibi ifade etmişlerdir.

$$\text{lex max}_{w \in W} \{f_1(w), f_2(w), \dots, f_r(w)\} \quad (4.21)$$

Bu çalışmada kurulan çok amaçlı matematiksel modelde leksikografik metot kullanılarak model değerlendirilmektedir. Söz konusu modelde öncelikli amaç istasyon sayısının en küçüklenmesidir. Daha sonra sırasıyla istasyonlardaki boş sürelerin benzer olması, tehlikeli içeriği bulunan parçaların hattan daha öncelikle uzaklaştırılması ve daha fazla talep olan parçaların daha önce demontaj edilmesi şeklinde amaç fonksiyonları değerlendirilmektedir.

Özetle, leksikografik metot ile elde edilen bir sonucun üzerine gidilerek sonuç en iyilenmeye çalışacaktır. Bir başka ifade ile ilk amaç fonksiyonu en iyilendikten sonra ikinci amaç fonksiyonu en iyilenmeye çalışmakta, daha sonra ikinci amaç fonksiyonundan sonra üçüncü amaç fonksiyonu en iyilenmek istenmektedir. Böylece leksikografik yöntem ile bir sonucun en iyisine ulaşma işlemi (*exploitation*) yapılmaktadır.

#### - Sabit ağırlıklandırma metodu

Çok amaçlı optimizasyon modelleri leksikografik biçimde çözüleceği gibi amaç fonksiyonlarına çeşitli ağırlıkların verilmesiyle de çözülebilir. Bu çalışmada, kullandığımız yöntemlerden biri de sabit ağırlıklandırma yöntemidir. Böylece her bir amaç fonksiyonuna karar verici tarafından ağırlıklar verilerek çözüm elde edilmeye çalışılır.

$$\min f_5 = \sum_{i=1}^4 w_i \times f_i \quad (4.22)$$

Burada dikkat edilmesi gereken bir noktada, amaç fonksiyonlarına verilen ağırlıkların toplamı bire eşit olmak zorundadır. Söz konusu ifade denklem (4.23)'teki şekilde formülize edilmektedir.

$$\sum_{i=1}^4 w_i = 1 \quad (4.23)$$

Özetle sabit ağırlıklandırma yöntemi ile bu tezde, geniş bir çözüm uzayında amaç fonksiyonu en iyilenmek istenmektedir. Ancak leksikografik yöntemde olduğu gibi bir amaç fonksiyonunu en iyilendikten sonra diğer amaç fonksiyonlarını en iyilenmeye çalışılmamakta, tüm amaç fonksiyonları sabit ağırlıklar verilerek rastgele en iyilenmeye çalışılmaktadır. Bir başka ifadeyle, daha geniş bir çözüm uzayında en iyi sonuca ulaşmak istenmektedir. Böylece bu yöntem ile yeni çözümler keşfetme işlemi (*exploration*) yapılmaktadır. Bu çalışmada amaç fonksiyonlarına verilen sabit ağırlıklar eşittir.

#### 4.3.4. Pareto optimal çözüm

Gerçek dünya problemleri genellikle birbiriyle çelişen birden fazla amacın eş zamanlı optimizasyonundan oluşur. Amaçların her birini sağlayan tek bir çözümün bulunması her zaman mümkün olmayabilir. Bu durumda problem bilgisine sahip olan karar vericiden, amaçların her biri için kabul edilebilir düzeyde olan alternatif çözümlerden seçim yapması istenir. Bu çözümlerin her birine Pareto-Optimal Çözüm, bu çözümlerin kümesine de Pareto-Optimal Çözümler Kümesi denir. Pareto-Optimal çözüm; amaçların herhangi biri için en kötü olmayan ve en azından bir amaç

için diğerlerinden daha iyi olan çözümdür. Diğer bir ifadeyle çözüm kümesindeki diğer herhangi bir çözüm tarafından bastırılmamış olan çözümdür (Sağ ve Çunkaş, 2009).

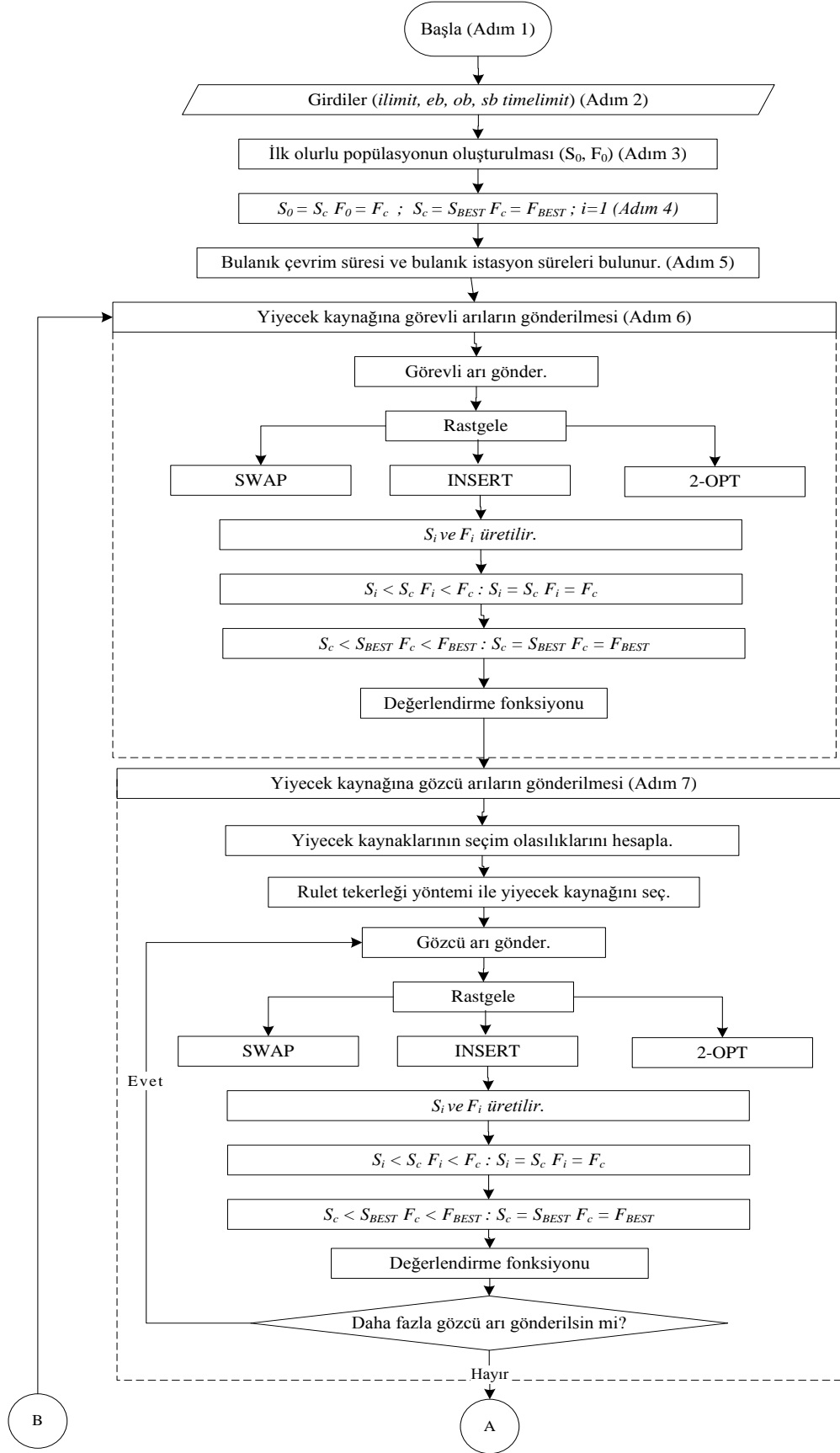
#### 4.4. Bulanık Yapay Arı Kolonisi Çözüm Algoritması

Önerilen çözüm yöntemine ilişkin algoritmanın aşamaları aşağıda adım adım belirtilmiştir. Ayrıca Şekil 4.4'de çözüm yöntemine ilişkin algoritmanın şematik gösterimi verilmiştir.

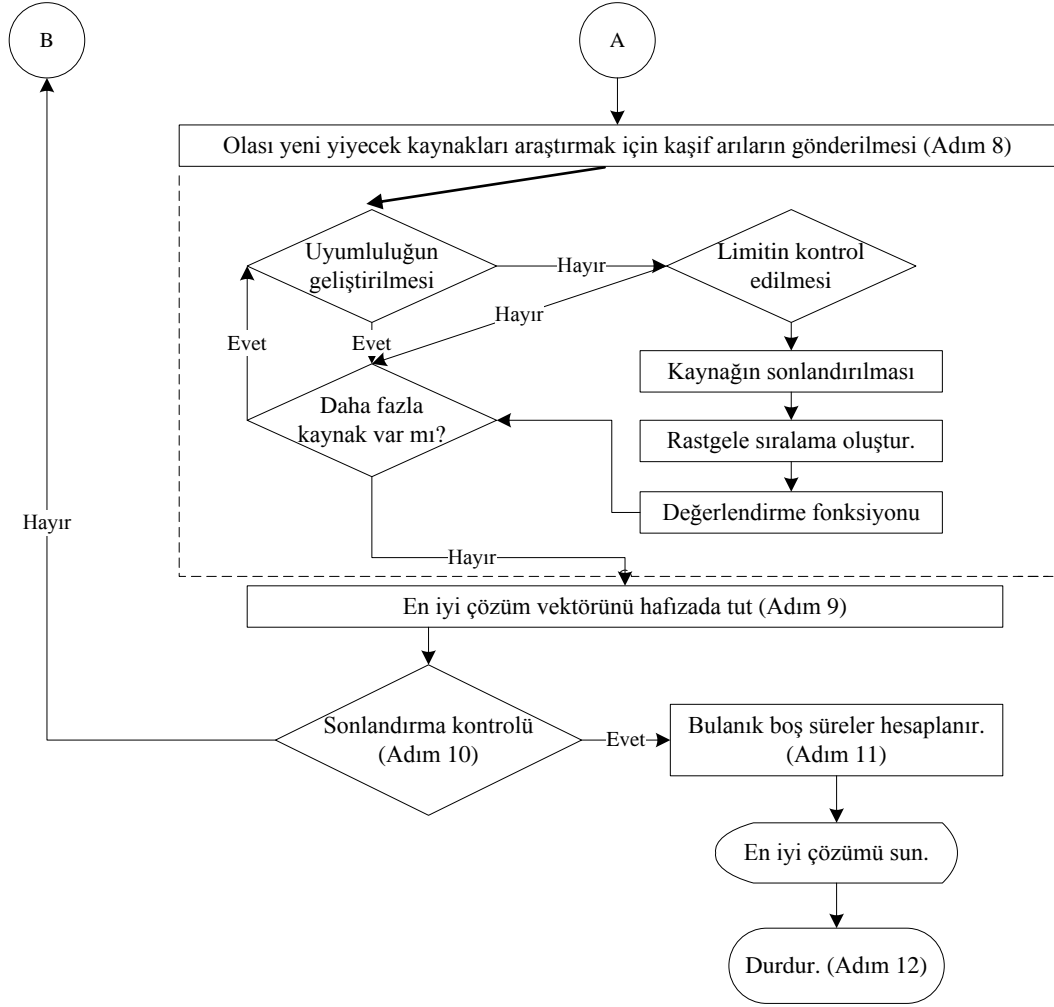
- Adım 1: Başla
- Adım 2: DHDP için verilerin, (Tablo 4.1, Tablo 4.3 ve Tablo 4.4) ve öncelik ilişkilerinin girilmesi ve arı kolonisi algoritmasının başlangıç parametrelerinin belirlenmesi (*ilimit, OB, EB, SB, timelimit, population*)
- Adım 3: Bulanık  $ST_k$ 'ların en büyük değeri,  $c_{max}$  ve kısıtlar dikkate alınarak ilk popülasyon oluşturulur. Böylece ilk çözüm vektörü  $S_0$  ve ilk uygunluk değer vektörü  $F_0$  elde edilir. ( $f_1, f_2, f_3, f_4$ )
- Adım 4: Elde edilen ilk çözüm vektörü  $S_0$  ve ilk uygunluk değer vektörü  $F_0$ , şu andaki çözüm  $S_C$  ve şu andaki uygunluk değer vektörü  $F_C$  olarak atanır. Bunlar da  $S_{best}$  ve  $F_{best}$  olarak atanır.
- Adım 5: İlk atama sonucunda bulanık sayıların derecelendirmesine göre  $((a_1+2a_2+a_3)/4)$ , maksimum bulanık  $ST_k$  bulunarak bulanık çevrim süresi ( $\tilde{c}$ ) elde edilir.
- Adım 6: Görevli arı fazı başlar.
  - o Adım 6.1: Swap, insert ve 2-opt operatörlerinin yardımıyla yeni komşu çözüm  $S_i$  ve yeni uygunluk değer vektörü  $F_i$  elde edilir. Burada söz konusu komşuluk operatörleri eşit olasılıkla çalışmaktadır.
  - o Adım 6.2: Elde edilen  $F_i$  vektörü,  $F_C$  vektörü ile karşılaştırılır. Eğer  $F_i$  vektörleri,  $F_C$  vektöründen daha küçük veya eşit ise bir sonraki adıma geçilir.
  - o Adım 6.3: Elde edilen komşu çözüm, şu andaki iyi çözüm olarak kabul edilir ve  $F_C$  ile  $S_C$  vektörü olarak atanır.
  - o Adım 6.4: İterasyon sonunda  $F_C$  ile  $F_{best}$  karşılaştırılır. Eğer daha iyi bir çözüm elde edilmiş ise bir sonraki adıma geçilir.

- Adım 6.5: Değerlendirme sonunda  $F_C$  vektörü  $F_{best}$ ,  $S_C$  vektörü  $S_{best}$  olarak atanır.
- Adım 6.6: Eğer bu fazda daha fazla çözüm aranacak ise adım 6'ya dönülür. Yoksa bir sonraki adıma geçilir.
- Adım 7: Gözcü arı fazı başlar.
  - Adım 7.1: Görevli arı fazında oluşan çözümlere göre seçim olasılıkları hesaplanır.
  - Adım 7.2: Rulet tekerleği yöntemi ile rastgele bir şekilde yiyecek kaynağı seçilir.
  - Adım 7.3: Swap, insert ve 2-opt operatörlerinin yardımıyla yeni komşu çözüm  $S_i$  ve yeni uygunluk değer vektörü  $F_i$  elde edilir. Burada söz konusu komşuluk operatörleri eşit olasılıkla çalışmaktadır.
  - Adım 7.4: Elde edilen  $F_i$  vektörü,  $F_C$  vektörü ile karşılaştırılır. Eğer  $F_i$  vektörleri,  $F_C$  vektöründen daha küçük veya eşit ise bir sonraki adıma geçilir.
  - Adım 7.5: Elde edilen komşu çözüm, şu andaki iyi çözüm olarak kabul edilir ve  $F_C$  ile  $S_C$  vektörü olarak atanır.
  - Adım 7.6: İterasyon sonunda  $F_C$  ile  $F_{best}$  karşılaştırılır. Eğer daha iyi bir çözüm elde edilmiş ise bir sonraki adıma geçilir.
  - Adım 7.7: Değerlendirme sonunda  $F_C$  vektörü  $F_{best}$ ,  $S_C$  vektörü  $S_{best}$  olarak atanır.
  - Adım 7.8: Eğer bu fazda gözcü arı sayısı tamamlanmış ise bir sonraki adıma geçilir. Yoksa daha fazla çözüm aranacak ise adım 7'ye dönülür.
- Adım 8: Kâşif arı fazı başlar.
  - Adım 8.1: Eğer *ilimit* verilen maksimum limite eşit ise kâşif arı kaynağı terk eder.
  - Adım 8.2: Kaynağı terk eden kâşif arı rastgele yeni bir çözüm vektörü oluşturur.
  - Adım 8.3: Oluşan yeni çözümün uygunluk vektörünü hesaplar.
  - Adım 8.4: Daha fazla kaynak yok ise kâşif arı fazı tamamlanır.
- Adım 9: En iyi çözüm vektörünü hafızada tut.
- Adım 10: Verilen *timelimit* tamamlanmamış ise adım 6'ya dönülür. Eğer tamamlanmış ise bir sonraki adıma geçilir.

- Adım 11:  $(\tilde{c} - \tilde{ST}_k)$  hesaplanıp bulanık boş süre ve amaç fonksiyonun değeri bulunur
- Adım 12: Çalışma durdurulur.



Şekil 4.4: Bulanık ortamda uygulanan YAK çözüm algoritmasına ait akış diyagramı. (Kalaycı ve diğ.(2011)'den geliştirilerek uyarlanmıştır)



Şekil 4.4: Bulanık ortamda uygulanan YAK çözüm algoritmasına ait akış diyagramı. (Devamı)

#### 4.5. Sayısal Sonuçlar

Tezin bu bölümünde geliştirilen yapay arı kolonisi algoritmasının literatürde yer alan iki örnek üzerinde uygulanmış sonuçları yer almaktadır. Öncelikle Kalaycı ve diğ. (2011) tarafından literatürde yer alan YAK algoritmasının deterministik sonuçları verilecektir. Daha sonra algoritmanın bulanıklaştırılmış sonuçlarına yer verilecektir.

##### 4.5.1. Deterministik sayısal sonuçlar

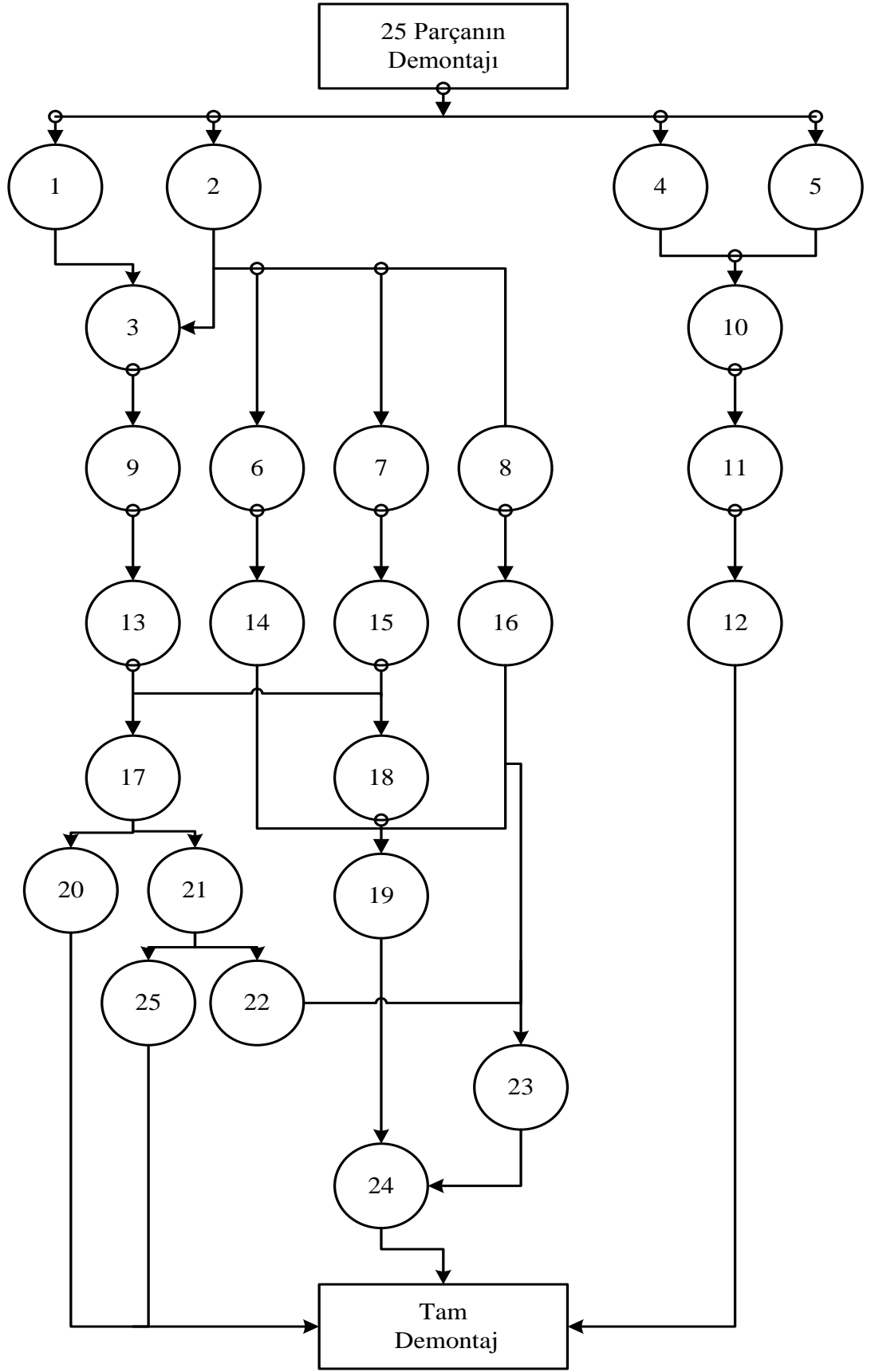
Kalaycı ve diğ.(2011) demontaj hatlarının dengelenmesi için YAK algoritmasını önermişlerdir. Yapılan çalışma, çok amaçlı demontaj hattı dengeleme problemi olarak ele alınmıştır. Çok amaçlı matematiksel modelin çözümünde leksikografik bir yöntem izlenmiştir. Kullanılan matematiksel model McGovern ve Gupta(2005)'nın çalışmasından alınmıştır. Çalışmanın sayısal sonuçları, literatürde yer alan ve öncelik



ilişkileri Şekil 4.5’te demontaj görev süreleri, tehlikeli parça içeriği ve talep miktarlarının Tablo 4.1’te gösterilen 25 parçalı cep telefonu demontajı üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 4.1: Cep telefonu örneği için veri tabanı ve deterministik demontaj süreleri.

Görev No	Tanım	Süre	Talep	Tehlike
1	Antenin Demontajı	3	4	Evet
2	Bataryanın Demontajı	2	7	Evet
3	Anteni Parçalara Ayırma	3	1	Hayır
4	Cıvata (Tip 1) A	10	1	Hayır
5	Cıvata (Tip 1) B	10	1	Hayır
6	Cıvata (Tip 2) 1	15	1	Hayır
7	Cıvata (Tip 2) 2	15	1	Hayır
8	Cıvata (Tip 2) 3	15	1	Hayır
9	Cıvata (Tip 2) 4	15	1	Hayır
10	Klemens Demontajı	2	2	Hayır
11	Kauçuk Mühür Demontajı	2	1	Hayır
12	Hoparlör Demontajı	2	4	Evet
13	Beyaz Kablo Demontajı	2	1	Hayır
14	Kırmızı/Mavi Kablo Demontajı	2	1	Hayır
15	Turuncu Kablo Demontajı	2	1	Hayır
16	Metal Kısım Demontajı	2	1	Hayır
17	Ön Kapak Demontajı	2	2	Hayır
18	Arka Kapak Demontajı	3	2	Hayır
19	Entegre Devre Demontajı	18	8	Evet
20	Plastik Ekran Demontajı	5	1	Hayır
21	Tuş Takımı Demontajı	1	4	Hayır
22	LCD Demontajı	5	6	Hayır
23	Alt Tuş Takımı Demontajı	15	7	Evet
24	İç IC kartı Demontajı	2	1	Hayır
25	Mikrofon Demontajı	2	4	Evet

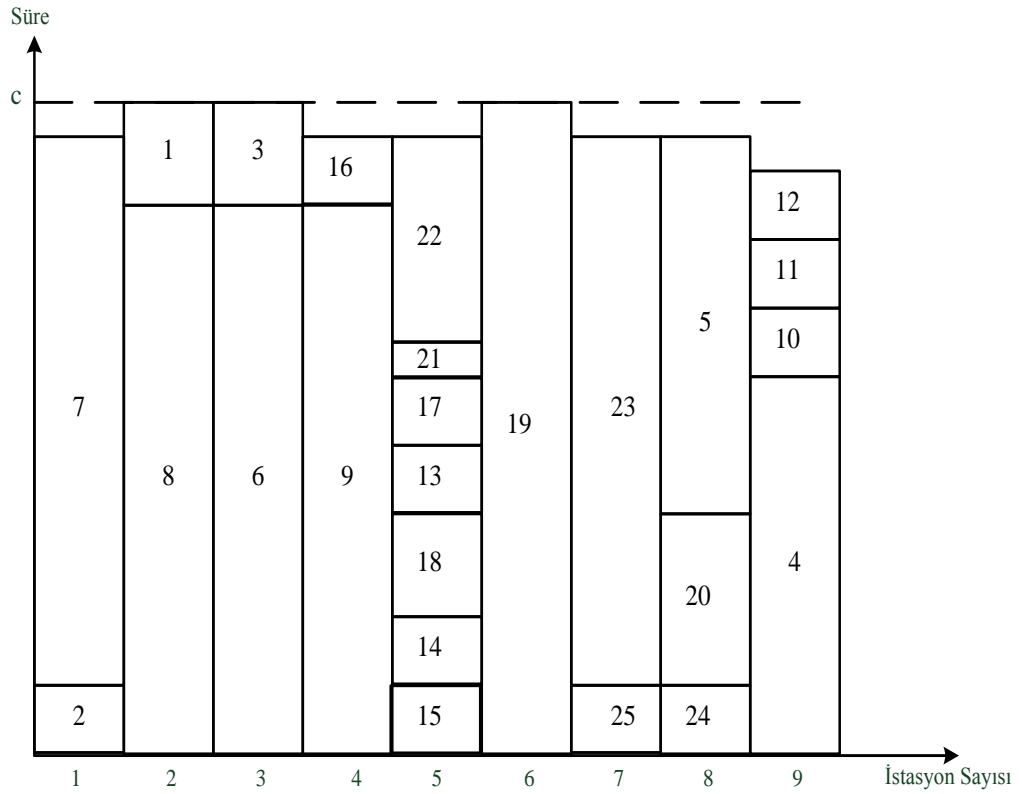


Şekil 4.5: Cep telefonu örneğine ilişkin öncelik ilişkileri (Kalayci ve diğ., 2011).

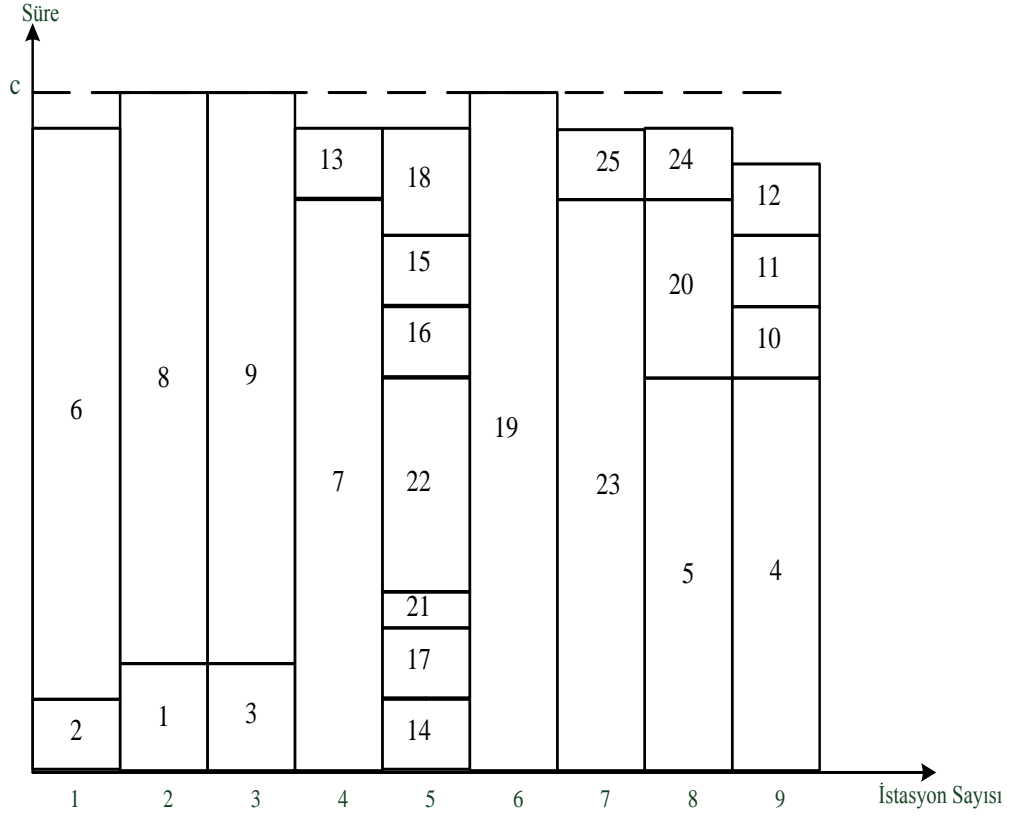
Kalaycı ve diğ. (2011) demontaj hatlarının dengelenmesi için kullandıkları çözüm yöntemi leksikografik yöntemdir. Bu tez çalışmasında, ayrıca deterministik model sabit ağırlıklandırma metodu ile çözülmüştür. Kalaycı ve diğ. (2011) çalışmasında bulunan sonuçlar ile sabit ağırlıklandırma metodu ile bulunan sonuçlar Tablo 4.2’de gösterilmektedir. Görüldüğü üzere sabit ağırlıklandırma metodu kullanılarak daha iyi amaç fonksiyonu değerlerine ulaşılmıştır. Şekil 4.6 leksikografik yöntemle ilişkin istasyonlara atanan iş sıralamasına göstermekte iken, Şekil 4.7 sabit ağırlıklandırma ile yapılan çözüme ilişkin istasyonlara atanan iş sıralamasına göstermektedir.

Tablo 4.2: Deterministik YAK algoritmasına ait sonuçlar.

Çözüm Yöntemi	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$
Leksikografik	9	9	81	853
Sabit ağırlıklandırma	9	9	80	824



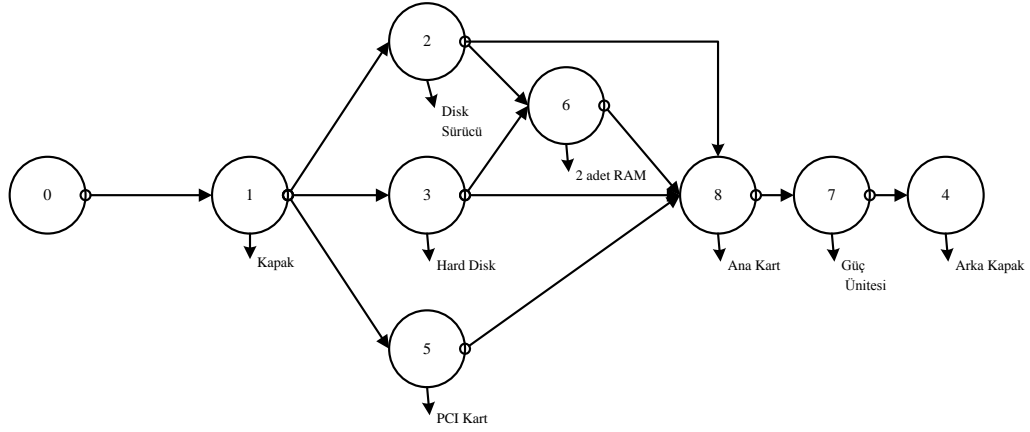
Şekil 4.6: Deterministik YAK algoritmasının leksikografik yöntemle ilişkin istasyonlara atanan iş sıralamasına göstermektedir, (Kalaycı ve diğ., 2011).



Şekil 4.7: Deterministik YAK algoritmasının sabit ağırlıklandırma metoduna ait sıralaması.

#### 4.5.2. Bulanık sayısal sonuçlar

Tezin bu aşamasında, demontaj hattı dengelemesine yönelik oluşturulan bulanık yapay arı kolonisi algoritması için sayısal sonuçlar gösterilmektedir. Oluşturulan algoritma Şekil 4.8’de öncelik ilişkileri verilen 8 parçadan oluşan bilgisayar örneğine (Gungor ve Gupta, 2002), 25 parçadan oluşan ve öncelik ilişkileri Şekil 4.5’te verilen cep telefonu örneğine (Gupta ve diğ., 2002), 47 parçadan oluşan ve öncelik ilişkileri Şekil 4.10’te verilen ve literatüre tanıtılacak olan dizüstü bilgisayar örneğine uygulanmaktadır. Şekil 4.9, dizüstü bilgisayara uygulanmış olan demontaj işlemini göstermektedir. Tablo 4.3’te söz konusu bilgisayar ait demontaj süreleri ve diğer bilgileri gösterilmekte iken Tablo 4.1’de cep telefonuna ait demontaj süreleri ve diğer bilgileri gösterilmekte, Tablo 4.5’de dizüstü bilgisayara ait demontaj süreleri ve diğer bilgileri gösterilmektedir.



Şekil 4.8: Bilgisayar problemi için öncelik ilişkileri, (Altekin, 2008).

Tablo 4.3: Bilgisayar problemi için veri tabanı ve bulanık demontaj süreleri.

Görev No (n)	Tanım	Süre	Talep	Tehlike
1	Kapağının demontajı	(13, 14, 15)	360	Hayır
2	Disket Sürücünün demontajı	(9, 10, 11)	500	Hayır
3	Hard diskin demontajı	(11, 12, 13)	620	Hayır
4	Arka kapağın demontajı	(16, 18, 20)	480	Hayır
5	PCI kartın demontajı	(21, 23, 25)	540	Hayır
6	İki adet RAM' in demontajı	(14, 16, 18)	750	Hayır
7	Güç ünitesinin demontajı	(18, 20, 22)	295	Evet
8	Ana kartın demontajı	(32, 36, 40)	720	Hayır

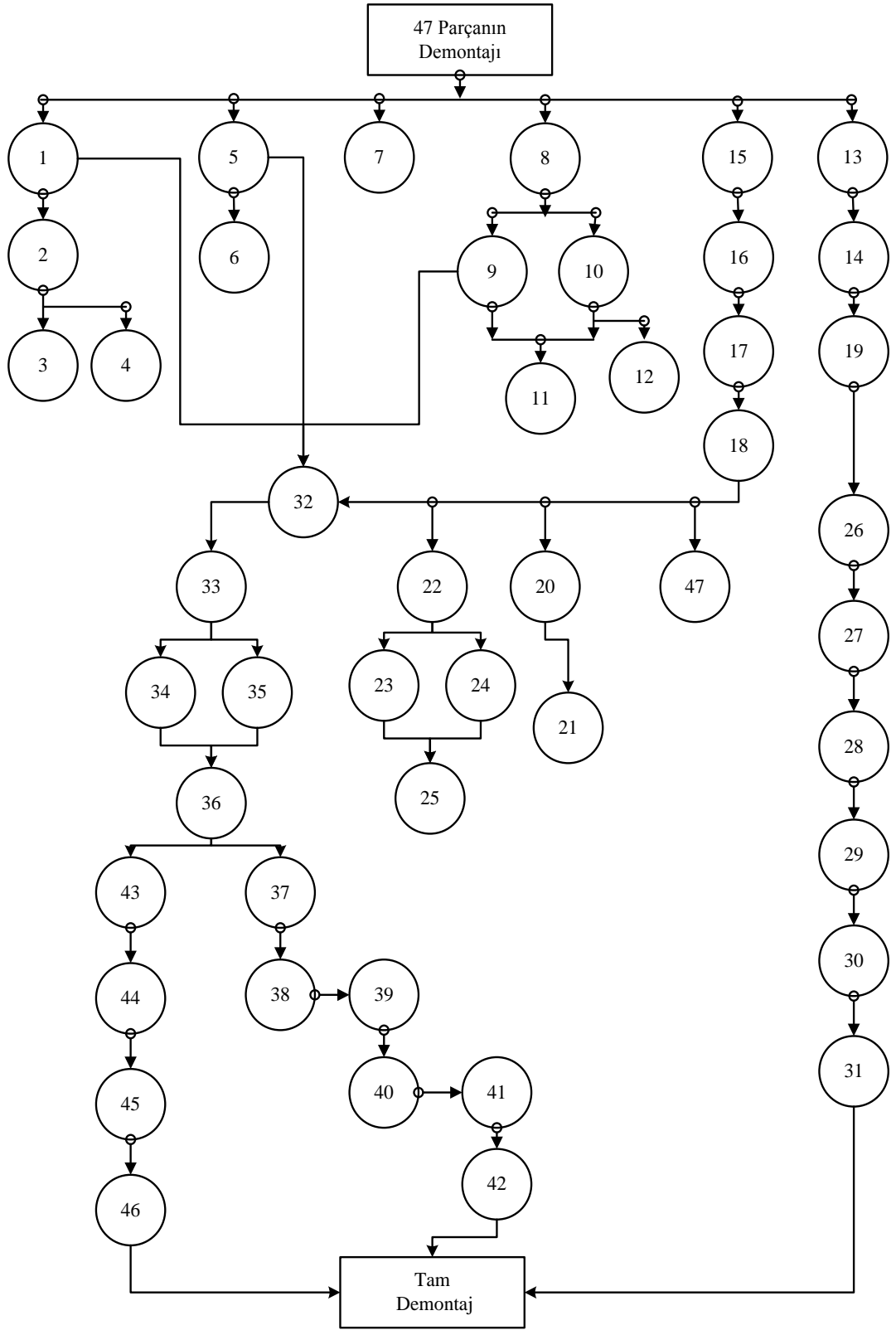
Bulanık ortamda uygulanan YAK algoritmasına ait sayısal sonuçların gösterileceği tüm örneklerde demontaj görev süreleri üçgensel bulanık sayılarla ifade edilmektedir. Üçgensel bulanık sayılar  $(a, b, c)$  şeklinde gösterilmektedir.  $a$  değeri demontaj görev süresinin en küçük değeri,  $b$  değeri demontaj görev süresinin ortalama değeri ve  $c$  değeri söz konusu sürenin en büyük değerini ifade etmektedir. Bu çalışmada bulanık sayıların derecelendirmesi işleminde ortalama en büyük üyelik fonksiyonu kullanılmaktadır. Söz konusu formülasyon denklem (3.5)'de gösterilmektedir. Demontaj görev süreleri ile birlikte çevrim zamanı da üçgensel bulanık sayılarla ifade edilmektedir ve  $\tilde{c}$  şeklinde gösterilmektedir. Bunların dışında talep ve tehlikeli parça içeriği deterministik olarak ifade edilmektedir.

Tablo 4.4: Cep telefonu örneği için veri tabanı ve deterministik demontaj süreleri.

Görev No	Tanım	Süre	Talep	Tehlike
1	Antenin Demontajı	(1, 3, 8)	4	Evet
2	Bataryanın Demontajı	(1, 2, 6)	7	Evet
3	Anteni Parçalara Ayırma	(2, 3, 4)	1	Hayır
4	Cıvata (Tip 1) A	(8, 10, 12)	1	Hayır
5	Cıvata (Tip 1) B	(8, 10, 12)	1	Hayır
6	Cıvata (Tip 2) 1	(12, 15, 18)	1	Hayır
7	Cıvata (Tip 2) 2	(12, 15, 18)	1	Hayır
8	Cıvata (Tip 2) 3	(12, 15, 18)	1	Hayır
9	Cıvata (Tip 2) 4	(12, 15, 18)	1	Hayır
10	Klemens Demontajı	(1, 2, 3)	2	Hayır
11	Kauçuk Mühür Demontajı	(1, 2, 3)	1	Hayır
12	Hoparlör Demontajı	(1, 2, 6)	4	Evet
13	Beyaz Kablo Demontajı	(1, 2, 3)	1	Hayır
14	Kırmızı/Mavi Kablo Demontajı	(1, 2, 3)	1	Hayır
15	Turuncu Kablo Demontajı	(1, 2, 3)	1	Hayır
16	Metal Kısım Demontajı	(1, 2, 3)	1	Hayır
17	Ön Kapak Demontajı	(1, 2, 3)	2	Hayır
18	Arka Kapak Demontajı	(2, 3, 4)	2	Hayır
19	Entegre Devre Demontajı	(10, 12, 18)	8	Evet
20	Plastik Ekran Demontajı	(4, 5, 6)	1	Hayır
21	Tuş Takımı Demontajı	(1, 2, 3)	4	Hayır
22	LCD Demontajı	(4, 5, 6)	6	Hayır
23	Alt Tuş Takımı Demontajı	(10, 12, 18)	7	Evet
24	İç IC kartı Demontajı	(1, 2, 3)	1	Hayır
25	Mikrofon Demontajı	(1, 2, 6)	4	Evet



Şekil 4.9: Dizüstü bilgisayarın demontajı.



Şekil 4.10: Dizüstü bilgisayar örneğine ilişkin öncelik ilişkileri

Tablo 4.5: Dizüstü bilgisayar demontajına ait bulanık süreler ve veri tabanı.

Görev No	Yapılan İşlem	Süre	Talep	Tehlike
1	2 cıvata elde edilir	(14, 16, 18)	1	Hayır
2	4 cıvata elde edilir	(28, 32, 36)	1	Hayır
3	Hard diskin sökülmesi	(3, 4, 9)	3	Evet
4	Hard disk kapağı elde edilir	(3, 4, 9)	1	Hayır
5	Bataryanın sökülmesi	(3, 4, 9)	5	Evet
6	Batarya kapağı elde edilir	(4, 6, 8)	1	Hayır
7	Feetin sökülmesi	(8, 10, 12)	1	Hayır
8	2 cıvata elde edilir	(12, 16, 20)	1	Hayır
9	ZİF bağlantısının sökülmesi	(4, 5, 6)	2	Hayır
10	4 cıvata elde edilir	(28, 32, 36)	1	Hayır
11	Sürücünün sökülmesi	(3, 4, 9)	4	Evet
12	Sürücü kızığının sökülmesi	(4, 6, 8)	1	Hayır
13	1 cıvata elde edilir	(6, 8, 10)	1	Hayır
14	Rem kapağının sökülmesi	(1, 2, 3)	2	Hayır
15	3 cıvata elde edilir	(21, 24, 27)	1	Hayır
16	Kapak şeridinin sökülmesi	(5, 7, 9)	1	Hayır
17	4 cıvata elde edilir	(28, 32, 36)	1	Hayır
18	Klavyenin sökülmesi	(4, 6, 8)	2	Hayır
19	Remin sökülmesi	(2, 4, 6)	7	Evet
20	2 cıvata elde edilir	(12, 16, 20)	1	Hayır
21	Modemin sökülmesi	(2, 4, 6)	6	Evet
22	LAN kartın elde edilmesi	(2, 4, 6)	7	Evet
23	4 cıvata elde edilir	(28, 32, 36)	1	Hayır
24	4 cıvata elde edilir	(28, 32, 36)	1	Hayır
25	Monitorün sökülmesi	(12, 16, 20)	6	Evet
26	11 cıvata elde edilir	(76, 88, 100)	1	Hayır
27	Soğutucu kapağının sökülmesi	(6, 8, 10)	2	Hayır
28	4 cıvata elde edilir	(28, 32, 36)	1	Hayır
29	Soğutucunun sökülmesi	(4, 6, 8)	4	Evet
30	1 cıvata elde edilir	(6, 8, 10)	1	Hayır
31	İşlemcinin sökülmesi	(3, 4, 9)	7	Evet
32	13 cıvata elde edilir	(90, 104, 118)	1	Hayır
33	Taban muhafazanın sökülmesi	(14, 18, 22)	2	Hayır
34	Kablunun sökülmesi	(2, 4, 6)	2	Hayır
35	1 cıvata elde edilir	(6, 8, 10)	1	Hayır
36	Hoparlörün sökülmesi	(6, 8, 10)	4	Evet
37	9 cıvata elde edilir	(60, 72, 84)	1	Hayır
38	Sistem panosunun sökülmesi	(6, 8, 10)	1	Hayır
39	9 cıvata elde edilir	(60, 72, 84)	1	Hayır
40	Fanın sökülmesi	(8, 10, 12)	3	Hayır
41	2 cıvata elde edilir	(12, 16, 20)	1	Hayır
42	Audio boardın sökülmesi	(2, 4, 6)	3	Evet
43	2 cıvata elde edilir	(12, 16, 20)	1	Hayır
44	Led Panosunun sökülmesi	(2, 4, 6)	4	Evet
45	4 cıvata elde edilir	(28, 32, 36)	1	Hayır
46	Touchpadin sökülmesi	(2, 4, 6)	3	Hayır
47	Remin sökülmesi	(3, 4, 9)	7	Evet



Oluşturulan sezgisel çalışma Matlab programında kodlanmıştır ve Intel Xeon 2.5 GHz işlemci 8 GB RAM'a sahip olan PC'de çalıştırılmıştır. Bu çalışmada işlem süreleri ve çevrim zamanı bulanık olarak ifade edilmekte ve söz konusu sayılar üçgensel bulanık sayılar şeklinde gösterilmektedir. 8 parçadan oluşan bilgisayar örneğine herhangi bir deneysel çalışma yapılmamıştır. Çünkü söz konusu örnekte her durumda optimal çözüm elde edilmektedir. Tablo 4.10'da bilgisayar örneğine ait hem leksikografik hem de sabit ağırlıklandırma ile elde edilen optimal amaç fonksiyonu değerleri görülmektedir. Geliştirilen YAK algoritmasında, leksikografik yöntem ve sabit ağırlıklandırma yöntemi için cep telefonu örneğinde 1, 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100 iterasyon limitleri belirlenerek, toplam 240 adet deney yapılmış olup, dizüstü bilgisayar örneğinde 100, 200, 500 ve 1000 iterasyon limitleri belirlenerek toplam 80 adet deney yapılmıştır. Ayrıca önerilen YAK algoritmasına ait parametre seti incelendiğinde Kalaycı ve diğ. (2011)'nin yaptığı çalışmada olduğu gibi cep telefonu örneği için görevli arı sayısı 25, gözcü arı sayısı 25, popülasyon sayısı 25, zaman limiti 500 saniye, maksimum çevrim süresi 18 alınarak deneyler gerçekleştirilmiş iken dizüstü bilgisayar örneğinde görevli arı sayısı 50, gözcü arı sayısı 50, popülasyon sayısı 50, zaman limiti 5000 saniye, maksimum çevrim süresi 114 alınarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Hem cep telefonu örneği hem de dizüstü bilgisayar örneği için leksikografik ve sabit ağırlıklandırma metoduna ilişkin deney sonuçları eklerde yer almaktadır.

Bulanık ortamda uygulanması önerilen YAK algoritması için cep telefonu örneği üzerinde deney sonuçlarına ait amaç fonksiyonlarının ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 4.6 ve Tablo 4.7'de gösterilmektedir. Leksikografik yöntem ile yapılan deney sonuçlarına bakıldığında tüm iterasyonlarda  $f_1$  amaç fonksiyonunun ortalama değeri 12 ve standart sapma değeri 0 olarak görülmektedir.

İterasyon limitinin 10 olarak belirlendiği deneyde  $f_2$  amaç fonksiyonunda en iyi ortalama ve standart sapma değeri elde edilmektedir. Bir başka ifade ile  $f_2$  amacı açısından bakıldığında ise leksikografik olarak en iyi iterasyon limiti 10'dur.

Tehlikeli parçaların hattan uzaklaştırılma sırasını ölçen  $f_3$  amaç fonksiyonu değeri iterasyon limiti 10'da ortalama değeri 88,133 olarak görülmektedir. Deney sonuçlarına bakıldığında iterasyon limiti 10'da minimum  $f_3$  değeri 86 maksimum değeri 91 olduğu görülmektedir.

Aynı şekilde  $f_4$  amaç fonksiyonu değerinin ortalama değeri 931,93'tür.  $f_4$  amaç fonksiyonu değerinin minimum değerinin 921, maksimum değerinin 948 olduğu eklerde yer alan Tablo A.1'de görülmektedir.

Sabit ağırlıklandırma yöntemi ile yapılan deney sonuçlarına bakıldığında İterasyon limitinin 50 olduğunda,  $f_1$  amaç fonksiyonunun ortalama değeri 12,467 ve standart sapma değeri 0,629 olarak görülmektedir. Söz konusu iterasyon limitinde  $f_1$  amaç fonksiyonunun minimum değerinin 12, maksimum değerinin 14 olduğu eklerde yer alan Tablo A.3'de görülmektedir.

İterasyon limitinin 50 olduğu sayısal sonuçlara bakıldığında  $f_2$  amaç fonksiyonunda ortalama değeri 17,221 ve standart sapma değeri 3,485'dir.  $f_2$  amaç fonksiyonunda minimum değerinin 14,146, maksimum değerinin 25,33,  $f_3$  amaç fonksiyonunda ortalama değerinin 75,567, minimum değerinin 74, maksimum değerinin 79,  $f_4$  amaç fonksiyonunda ortalama değerinin 826,4 minimum değerinin 812, maksimum değerinin 838 elde edildiği Tablo A.4'te görülmektedir.

Leksikografik yöntem için Tablo 4.6'da görülen iterasyon limitlerinde yapılan 240 deneyde elde edilen çözümlerin ortalama zamanı 243 saniye iken, sabit ağırlıklandırma yöntemi için Tablo 4.5'da görülen iterasyon limitlerinde elde edilen çözümlerin ortalama zamanı 249 saniyedir. Görüldüğü üzere sonuçlara bakıldığında en hızlı çözümleri leksikografik yöntemde elde edilmiştir. Hem leksikografik hem de sabit ağırlıklandırma metodunda elde edilen tüm deney sonuçları değerlendirildiğinde, çözüm süreleri, amaç fonksiyonlarının ortalama ve standart sapma değerlerine bakıldığında cep telefonu örneği için leksikografik yöntemin iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Ancak burada yapılan çalışmada hem leksikografik yöntem hem de sabit ağırlıklandırma yöntemi için karar vericiye bir seçenek sunulmaktadır.

Aynı şekilde Tablo 4.8 ile Tablo 4.9'da dizüstü bilgisayar demontajına önerilen bulanık ortamda uygulanan YAK algoritmasının uygulanması ile elde edilmiş sonuçlar görülmektedir. Leksikografik yöntem ile yapılan deney sonuçlarına bakıldığında tüm iterasyonlarda  $f_1$  amaç fonksiyonunun ortalama değeri 10 ve standart sapma değeri 0 olarak görülmektedir. İterasyon limitinin 100 olarak belirlendiği deneyde  $f_2$  amaç fonksiyonunda en iyi ortalama ve standart sapma değeri elde

edilmektedir. Bir başka ifade ile leksikografik olarak en iyi iterasyon limiti 100 olarak ortaya çıkmıştır.

Tehlikeli parçaların hattan uzaklaştırılma sırasını ölçen  $f_3$  amaç fonksiyonu değeri iterasyon limiti 100'de ortalama değeri 336,4 olarak görülmektedir. Deney sonuçlarına bakıldığında iterasyon limiti 100'de minimum  $f_3$  değeri 311 maksimum değeri 374 olduğu görülmektedir.

Aynı şekilde  $f_4$  amaç fonksiyonu değerinin ortalama değeri 2758'dir.  $f_4$  amaç fonksiyonu değerinin minimum değerinin 2635, maksimum değerinin 2943 olduğu eklerde yer alan Tablo A.5'de görülmektedir.

Sabit ağırlıklandırma yöntemi ile yapılan deney sonuçlarına bakıldığında iterasyon limiti 200 olduğunda,  $f_1$  amaç fonksiyonunun ortalama değeri 10,65 ve standart sapma değeri 0,490 olarak görülmektedir. Söz konusu iterasyon limitinde  $f_1$  amaç fonksiyonunun minimum değerinin 10, maksimum değerinin 11 olduğu eklerde yer alan Tablo A.7'de görülmektedir.

İterasyon limitinin 200 olduğu sayısal sonuçlara bakıldığında  $f_2$  amaç fonksiyonunda ortalama değeri 86,707 ve standart sapma değeri 14,830'dır.  $f_2$  amaç fonksiyonunda minimum değerinin 64,187, maksimum değerinin 105,1'dir.  $f_3$  amaç fonksiyonunda ortalama değerinin 288,6, minimum değerinin 282, maksimum değerinin 297,  $f_4$  amaç fonksiyonunda ortalama değerinin 2457,15 minimum değerinin 2413, maksimum değerinin 2514 elde edilmektedir.

Leksikografik yöntem için Tablo 4.8'da görülen iterasyon limitlerinde yapılan 80 deneyde elde edilen çözümlerin ortalama zamanı 2245 saniye iken, sabit ağırlıklandırma yöntemi için Tablo 4.9'da görülen iterasyon limitlerinde elde edilen çözümlerin ortalama zamanı 2561 saniyedir. Görüldüğü üzere sonuçlara bakıldığında en hızlı çözümleri leksikografik yöntemde elde edilmiştir. Hem leksikografik hem de sabit ağırlıklandırma metodunda elde edilen tüm deney sonuçlarına bakıldığında, çözüm süreleri, amaç fonksiyonlarının ortalama ve standart sapma değerleri açısından dizüstü bilgisayar örneği için leksikografik yöntemle elde edilen sonuçların daha iyi olduğu görülmektedir. Ayrıca hem cep telefonu örneğinde hem de dizüstü bilgisayar örneğinde leksikografik yöntem tüm iterasyonlarında minimum istasyon

sayısına ulaştığı görülmektedir. Ancak bu durum sabit ağırlıklandırma metodu için söz konusu değildir.

Tablo 4.6: Cep telefonu örneğinde leksikografik yöntem ile elde edilen deney sonuçlarına ilişkin amaç fonksiyonu ortalama ve standart sapma değerleri.

İterasyon Limiti	Ortalama Zaman	$f_1$ Ortalama	$f_1$ standart sapma	$f_2$ ortalama	$f_2$ standart sapma	$f_3$ ortalama	$f_3$ standart sapma	$f_4$ ortalama	$f_4$ standart sapma
10	248	12	0	14,048	0,000	88,133	1,306	931,933	6,275
20	260	12	0	14,049	0,007	87,900	2,023	930,567	6,257
30	241	12	0	14,050	0,010	87,933	1,999	931,467	7,771
5	221	12	0	14,057	0,021	89,433	2,515	938,267	9,410
100	295	12	0	14,058	0,020	87,433	2,359	927,467	9,619
50	226	12	0	14,058	0,021	87,500	1,978	930,433	6,902
2	237	12	0	14,067	0,029	89,433	3,287	937,700	15,193
1	222	12	0	14,098	0,081	90,900	3,263	944,033	10,762

Tablo 4.7: Cep telefonu örneğinde sabit ağırlıklandırma yöntemi ile elde edilen deney sonuçlarına ilişkin amaç fonksiyonu ortalama ve standart sapma değerleri.

İterasyon Limiti	Ortalama Zaman	$f_1$ Ortalama	$f_1$ standart sapma	$f_2$ ortalama	$f_2$ standart sapma	$f_3$ ortalama	$f_3$ standart sapma	$f_4$ ortalama	$f_4$ standart sapma
50	256	12,467	0,629	17,221	3,485	75,567	1,382	826,400	7,030
30	257	12,467	0,681	16,924	3,573	75,100	1,029	824,500	7,524
100	246	12,500	0,572	17,262	3,108	75,033	1,377	824,000	7,292
5	249	12,600	0,675	17,987	3,584	78,500	1,306	852,467	6,141
20	237	12,667	0,606	18,360	3,207	76,167	1,416	831,867	7,709
10	244	12,733	0,785	18,582	3,926	77,300	1,622	839,267	9,097
2	260	13,033	0,890	20,142	3,975	79,333	1,155	858,267	6,236
1	249	13,067	0,740	20,240	3,480	80,167	1,555	860	6,180

Tablo 4.8: Dizüstü bilgisayar örneğinde leksikografik yöntem ile elde edilen deney sonuçlarına ilişkin amaç fonksiyonu ortalama ve standart sapma değerleri.

İterasyon Limiti	Ortalama Zaman	$f_1$ Ortalama	$f_1$ standart sapma	$f_2$ ortalama	$f_2$ standart sapma	$f_3$ ortalama	$f_3$ standart sapma	$f_4$ ortalama	$f_4$ standart sapma
100	2216	10	0	62,600	0,094	336,40	16,747	2757,75	1407,930
500	1722	10	0	62,649	0,095	338,05	9,456	2771,60	1440,687
200	2466	10	0	62,657	0,108	334,75	14,779	2752,00	1747,638
1000	2579	10	0	62,668	0,169	330,15	11,604	2725,65	1618,224

Tablo 4.9: Dizüstü bilgisayar örneğinde sabit ağırlıklandırma yöntemi ile elde edilen deney sonuçlarına ilişkin amaç fonksiyonu ortalama ve standart sapma değerleri.

İterasyon Limiti	Ortalama Zaman	$f_1$ Ortalama	$f_1$ standart sapma	$f_2$ ortalama	$f_2$ standart sapma	$f_3$ ortalama	$f_3$ standart sapma	$f_4$ ortalama	$f_4$ standart sapma
200	1977	10,65	0,489	86,707	14,830	288,60	3,899	2457,15	22,758
100	2372	10,70	0,571	89,938	17,727	287,65	5,833	2451,65	21,084
500	2834	10,85	0,489	96,040	17,777	289,25	5,428	2455,45	26,947
1000	3065	10,95	0,510	97,949	16,877	287,70	4,028	2459,40	26,327

Bilgisayar, cep telefonu ve dizüstü bilgisayar örneklerinde leksikografik yöntem ve sabit ağırlıklandırma yöntemi için yapılan deneyler sonucu elde edilen en iyi çözümlere ait amaç fonksiyonu değerleri Tablo 4.10'de gösterilirken, en iyi çözüme ait bulanık hat etkinliği, dengeleme boşluğu ve düzgünlük indeksi Tablo 4.11'de gösterilmektedir. Ayrıca en iyi çözüme ait iş istasyonlara atanan görevler ise Tablo 4.12, Tablo 4.13 ve Tablo 4.14'da gösterilmektedir.

Tablo 4.10'a bakıldığında bilgisayar örneği için hem sabit ağırlıklandırma yönteminde hem de leksikografik yöntemde aynı amaç fonksiyonu değerleri elde edilmiştir. Elde edilen değerlere bakıldığında bu değerler iki yöntem için de optimal sonuçlardır. Bu durumda  $f_1=6$ ,  $f_2=33,450$ ,  $f_3=7$ ,  $f_4=19195$  değerleri optimal çözümdür. İki yöntem arasında, alınan sonuçlar arasındaki tek fark işlem süresidir. Leksikografik yöntem 0,0108 saniyede optimal sonuca ulaşırken, sabit ağırlıklandırma yöntemi 0,116 saniyede sonuca ulaşmaktadır. Tablo 4.11'e bakıldığında ise bilgisayar örneği için her iki yöntemde aynı dengeleme boşluğu, düzgünlük indeksi ve hat etkinliği değerlerini vermektedir.

Tablo 4.10'a bakıldığında cep telefonu örneği için leksikografik yöntemde  $f_1=12$ ,  $f_2=14,048$ ,  $f_3=85$ ,  $f_4=919$  elde edildiği görülmektedir. Sabit ağırlıklandırma yönteminde ise  $f_1=12$ ,  $f_2=14,146$ ,  $f_3=75$ ,  $f_4=828$  elde edilmiştir. İki yöntem karşılaştırıldığında leksikografik yöntemle daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Ancak sabit ağırlıklandırma yönteminde daha iyi  $f_3$  ve  $f_4$  değerleri elde edilmiştir. Bir başka deyişle, amaç fonksiyonu leksikografik olarak değerlendirildiğinde leksikografik yöntem daha iyi sonuca daha hızlı ulaşmıştır. Ancak amaç fonksiyonlarını toplayarak değerlendirdiğimizde sabit ağırlıklandırma metodu daha iyi sonuçlara ulaşmıştır. Bir başka deyişle leksikografik yöntem için  $f_{\text{toplam}}=1030,048$  iken sabit ağırlıklandırma yöntem için  $f_{\text{toplam}}=929,146$ 'dır. Yani sabit ağırlıklandırma ile elde edilen çözüm ile leksikografik arasında elde edilen çözüm birbirlerine karşı pareto optimal çözümlerdir. Çünkü en az bir amaç fonksiyonu değeri birbirlerine göre daha iyi sonuç vermiştir.

Cep telefonu örneğinde elde edilen en iyi amaç fonksiyonu değerlerinde leksikografik yöntemin bir avantajı da çözüme daha hızlı ulaşması olarak görülmektedir. Leksikografik yöntem ile 59 saniyede en iyi çözüme ulaşılırken, sabit

ağırlıklandırma yönteminde 362 saniyede en iyi çözüm değerine ulaşılmakta olduğu görülmektedir.

Tablo 4.10'a bakıldığında dizüstü bilgisayar örneği için leksikografik yöntemde  $f_1=10$ ,  $f_2=62,413$ ,  $f_3=327$ ,  $f_4=2783$  elde edildiği görülmektedir. Sabit ağırlıklandırma yönteminde ise  $f_1=10$ ,  $f_2=64,071$ ,  $f_3=288$ ,  $f_4=2479$  elde edilmiştir. İki yöntem karşılaştırıldığında leksikografik yöntem ile daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Ancak sabit ağırlıklandırma yönteminde daha iyi  $f_3$  ve  $f_4$  değerleri elde edilmiştir. Bir başka deyişle, amaç fonksiyonu leksikografik olarak değerlendirildiğinde leksikografik yöntem daha iyi sonuca daha hızlı ulaşmıştır. Ancak amaç fonksiyonlarını toplayarak değerlendirdiğimizde sabit ağırlıklandırma metodu daha iyi sonuçlara ulaşmıştır. Bir başka deyişle leksikografik yöntem için  $f_{\text{toplam}}=3182,413$  iken sabit ağırlıklandırma yöntem için  $f_{\text{toplam}}=2841,071$ 'dir. Yani sabit ağırlıklandırma ile elde edilen çözüm ile leksikografik arasında elde edilen çözüm birbirlerine karşı pareto optimal çözümlerdir. Çünkü en az bir amaç fonksiyonu değeri birbirlerine göre daha iyi sonuç vermiştir. Dizüstü bilgisayar örneğinde elde edilen en iyi amaç fonksiyonu değerlerinde bu kez sabit ağırlıklandırma yönteminin bir avantajı daha hızlı çözüm olarak görülmektedir. Leksikografik yöntem ile 4490 saniyede en iyi çözüme ulaşılırken, sabit ağırlıklandırma yönteminde 648 saniyede en iyi çözüm değerine ulaşılmıştır.

Bu şekilde sonuçlara bakıldığında Tablo 4.11'de görüldüğü üzere cep telefonu örneği için sabit ağırlıklandırma metodu ile daha iyi bir hat etkinliği değeri olan (50.463, 0.817, 1) elde edilmiştir. Dizüstü bilgisayar örneği için her iki metotta aynı hat etkinliği değerlerine ulaşılmasına rağmen leksikografik yöntemde daha düşük düzensizlik değeri olan (0, 61.628, 126.36) ulaşılmıştır. Tablo 4.12, Tablo 4.13 ve Tablo 4.14 üç örnek için elde edilen en iyi amaç fonksiyonu değerlerinde istasyonlara atanan görevleri göstermektedir.

Ancak sonuçlar değerlendirildiğinde leksikografik yöntem sabit ağırlıklandırma yöntemine göre 8 parçalı ve 25 parçalı örnek için daha iyi amaç fonksiyonu değerleri daha hızlı elde edilmiştir. Sadece 47 parçalı örnekte daha iyi sonuçlar daha geç bir sürede elde edildiği görülmektedir. Ayrıca Tablo 4.10'a bakıldığında leksikografik ve sabit ağırlıklandırma yöntemlerinden elde edilen en iyi amaç fonksiyonu değerleri  $f_2$  amaç fonksiyonu leksikografikte daha iyi iken  $f_3$  ve  $f_4$  sabit ağırlıklandırma



yönteminde daha iyidir. Bir başka ifade ile her iki yöntemden elde edilen en iyi amaç fonksiyonu değerleri birbirine göre pareto optimal çözümlerdir.

Tablo 4.10: Sayısal sonuçlara ait en iyi amaç fonksiyonu değerleri.

Örnek	Değerlendirme Mekanizması	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	Zaman (sn)
Bilgisayar	Leksikografik	6	33,45	7	19195	-	0,0108
Bilgisayar	Sabit ağırlıklandırma	6	33,45	7	19195	0,00628	0,116
Cep Telefonu	Leksikografik	12	14,048	85	919	-	59,604
Cep Telefonu	Sabit ağırlıklandırma	12	14,146	75	828	0,003239	362,55
Dizüstü Bilgisayar	Leksikografik	10	62,403	327	2783	-	4490,6
Dizüstü Bilgisayar	Sabit ağırlıklandırma	10	64,071	288	2479	0,00106	648,52

Tablo 4.11: Sayısal sonuçlara ait en iyi çözüme ait dengeleme boşluğu, düzgünlük indeksi ve hat etkinliği değerleri.

Örnek	Değerlendirme Mekanizması	Dengeleme Boşluğu	Düğünlük İndeksi	Hat Etkinliği
Bilgisayar	Leksikografik	(40, 67, 106)	(21.354, 33, 46.433)	(0.558, 0.690, 0.854)
Bilgisayar	Sabit Ağırlıklandırma	(40, 67, 106)	(21.354, 33, 46.4327)	(0.558, 0.690, 0.854)
Cep Telefonu	Leksikografik	(0, 33, 107)	(0, 12.042, 32.109)	(0.505, 0.810, 1)
Cep Telefonu	Sabit Ağırlıklandırma	(0, 33, 107)	(0, 12.207, 32.171)	(0.505, 0.817, 1)
Dizüstü Bilgisayar	Leksikografik	(0, 184, 388)	(0, 61.628, 126.360)	(0.647, 0.823, 1)
Dizüstü Bilgisayar	Sabit ağırlıklandırma	(0, 184, 388)	(0, 64.420, 127.440)	(0.647, 0.823, 1)

Tablo 4.12, Tablo 4.13 ve Tablo 4.14'e bakıldığında istasyonlara atanan görevlerin yanında istasyonlarında kalan bulanık boş sürelerde görülmektedir. Bulanık boş sürelerin daha iyi değerlendirilebilmesi için Tablo 4.11'de yer alan dengeleme boşluğu ve düzgünlük indeksi değerlerine de bakılabilir. Bu arada üç örnek içinde elde edilen bulanık çevrim zamanlarını verirsek, bilgisayar örneği için hem leksikografik yöntem hem de sabit ağırlıklandırma yönteminde (32, 36, 40), cep telefonu örneği için hem leksikografik yöntem hem de sabit ağırlıklandırma yönteminde (12, 15, 18), dizüstü bilgisayar örneği için leksikografik yöntemde (72, 90, 114), sabit ağırlıklandırma yönteminde (98, 104, 110) olarak hesaplanmıştır.

4.12: Bilgisayar problemi için oluşan sıralama ve boş süreler.

Görev No	Leksikografik Yöntem			Görev No	Sabit Ağırlıklandırma Yöntemi		
	Süre	İstasyon	Boş Süre		Süre	İstasyon	Boş Süre
1	(13,14,15)	1	(4,10,16)	1	(13,14,15)	1	(4,10,16)
3	(11,12,13)	1	(4,10,16)	3	(11,12,13)	1	(4,10,16)
5	(21,23,25)	2	(7,13,19)	5	(21,23,25)	2	(7,13,19)
2	(9,10,11)	3	(3,10,17)	2	(9,10,11)	2	(3,10,17)
6	(14,16,18)	3	(14,20,26)	6	(14,16,18)	2	(14,20,26)
8	(32,36,40)	4	(0,0,8)	8	(32,36,40)	2	(0,0,8)
7	(18,20,22)	5	(10,16,22)	7	(18,20,22)	3	(10,16,22)
4	(16,18,20)	6	(12,18,20)	4	(16,18,20)	3	(12,18,20)

Tablo 4.13: Cep telefonu örneği için leksikografik ve sabit ağırlıklı yöntem ile oluşan sıralama ve boş süreler.

Leksikografik Yöntem				Sabit Ağırlıklandırma Yöntemi			
Görev No	Süre	İstasyon	Boş Süre	Görev No	Süre	İstasyon	Boş Süre
2	(1, 2, 6)	1	(0, 3, 9)	2	(1, 2, 6)	1	(0, 7, 14)
5	(8, 10, 12)	1	(0, 3, 9)	1	(1, 3, 8)	1	(0, 7, 14)
4	(8, 10, 12)	2	(0, 5, 10)	3	(2, 3, 4)	1	(0, 7, 14)
1	(1, 3, 8)	3	(0, 5, 13)	8	(12, 15, 18)	2	(0, 0, 6)
10	(1, 2, 3)	3	(0, 5, 13)	6	(12, 15, 18)	3	(0, 0, 6)
11	(1, 2, 3)	3	(0, 5, 13)	4	(8, 10, 12)	4	(0, 5, 10)
3	(2, 3, 4)	3	(0, 5, 13)	9	(12, 15, 18)	5	(0, 0, 6)
7	(12, 15, 18)	4	(0, 0, 6)	7	(12, 15, 18)	6	(0, 0, 6)
8	(12, 15, 18)	5	(0, 0, 6)	13	(1, 2, 3)	7	(0, 4, 12)
6	(12, 15, 18)	6	(0, 0, 6)	15	(1, 2, 3)	7	(0, 4, 12)
9	(12, 15, 18)	7	(0, 0, 6)	18	(2, 3, 4)	7	(0, 4, 12)
15	(1, 2, 3)	8	(0, 4, 12)	16	(1, 2, 3)	7	(0, 4, 12)
16	(1, 2, 3)	8	(0, 4, 12)	14	(1, 2, 3)	7	(0, 4, 12)
18	(2, 3, 4)	8	(0, 4, 12)	19	(10, 12, 18)	8	(0, 3, 8)
14	(1, 2, 3)	8	(0, 4, 12)	17	(1, 2, 3)	9	(0, 4, 10)
13	(1, 2, 3)	8	(0, 4, 12)	21	(1, 2, 3)	9	(0, 4, 10)
19	(10, 12, 18)	9	(0, 3, 8)	22	(4, 5, 6)	9	(0, 4, 10)
12	(1, 2, 6)	10	(0, 4, 10)	25	(1, 2, 6)	9	(0, 4, 10)
17	(1, 2, 3)	10	(0, 4, 10)	23	(10, 12, 18)	10	(0, 3, 8)
21	(1, 2, 3)	10	(0, 4, 10)	5	(8, 10, 12)	11	(0, 3, 9)
22	(4, 5, 6)	10	(0, 4, 10)	10	(1, 2, 3)	11	(0, 3, 9)
23	(10, 12, 18)	11	(0, 3, 8)	20	(4, 5, 6)	12	(0, 4, 11)
25	(1, 2, 6)	12	(0, 6, 12)	24	(1, 2, 3)	12	(0, 4, 11)
24	(1, 2, 3)	12	(0, 6, 12)	11	(1, 2, 3)	12	(0, 4, 11)
20	(4, 5, 6)	12	(0, 6, 12)	12	(1, 2, 6)	12	(0, 4, 11)

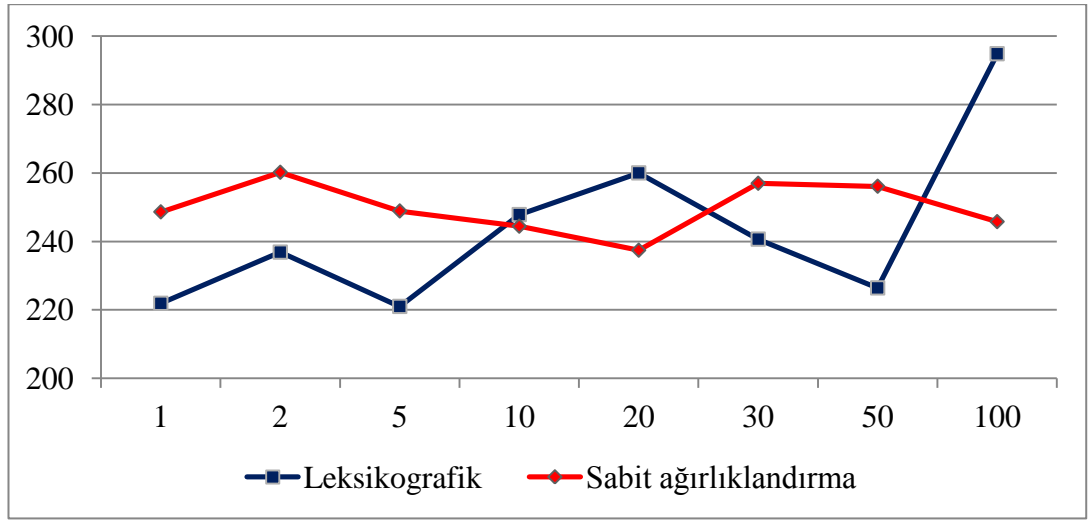
Tablo 4.14: Dizüstü bilgisayar örneği için leksikografik ve sabit ağırlıklı yöntem ile oluşan sıralama ve boş süreler.

Leksikografik Yöntem				Sabit Ağırlıklandırma Yöntemi			
Görev No	Süre	İstasyon	Boş Süre	Görev No	Süre	İstasyon	Boş Süre
5	(3, 4, 9)	1	(0, 9, 48)	5	(3, 4, 9)	1	(0, 16, 38)
8	(12, 16, 20)	1	(0, 9, 48)	15	(20, 24, 28)	1	(0, 16, 38)
9	(4, 5, 6)	1	(0, 9, 48)	16	(5, 7, 9)	1	(0, 16, 38)
15	(20, 24, 28)	1	(0, 9, 48)	8	(12, 16, 20)	1	(0, 16, 38)
1	(14, 16, 18)	1	(0, 9, 48)	9	(4, 5, 6)	1	(0, 16, 38)
16	(5, 7, 9)	1	(0, 9, 48)	17	(28, 32, 36)	1	(0, 16, 38)
7	(8, 10, 12)	1	(0, 9, 48)	18	(4, 6, 8)	2	(0, 40, 53)
10	(28, 32, 36)	2	(0, 12, 16)	22	(3, 4, 9)	2	(0, 40, 53)
11	(3, 4, 9)	2	(0, 12, 16)	47	(3, 4, 9)	2	(0, 40, 53)
12	(4, 6, 8)	2	(0, 12, 16)	13	(6, 8, 10)	2	(0, 40, 53)
2	(28, 32, 36)	2	(0, 12, 16)	1	(14, 16, 18)	2	(0, 40, 53)
3	(3, 4, 9)	2	(0, 12, 16)	6	(4, 6, 8)	2	(0, 40, 53)
17	(28, 32, 36)	3	(0, 4, 48)	20	(12, 16, 20)	2	(0, 40, 53)
18	(4, 6, 8)	3	(0, 4, 48)	21	(3, 4, 9)	2	(0, 40, 53)
47	(3, 4, 9)	3	(0, 4, 48)	7	(8, 10, 12)	2	(0, 40, 53)
22	(3, 4, 9)	3	(0, 4, 48)	10	(28, 32, 36)	3	(5, 30, 47)
13	(6, 8, 10)	3	(0, 4, 48)	11	(3, 4, 9)	3	(5, 30, 47)
14	(1, 2, 3)	3	(0, 4, 48)	14	(1, 2, 3)	3	(5, 30, 47)
4	(2, 4, 6)	3	(0, 4, 48)	19	(3, 4, 9)	3	(5, 30, 47)
20	(12, 16, 20)	3	(0, 4, 48)	24	(28, 32, 36)	3	(5, 30, 47)
6	(4, 6, 8)	3	(0, 4, 48)	32	(98, 104, 110)	4	(0, 0, 12)
19	(3, 4, 9)	3	(0, 4, 48)	23	(28, 32, 36)	5	(0, 18, 38)
23	(28, 32, 36)	4	(0, 10, 46)	25	(12, 16, 20)	5	(0, 18, 38)
24	(28, 32, 36)	4	(0, 10, 46)	12	(4, 6, 8)	5	(0, 18, 38)
25	(12, 16, 20)	4	(0, 10, 46)	2	(28, 32, 36)	5	(0, 18, 38)

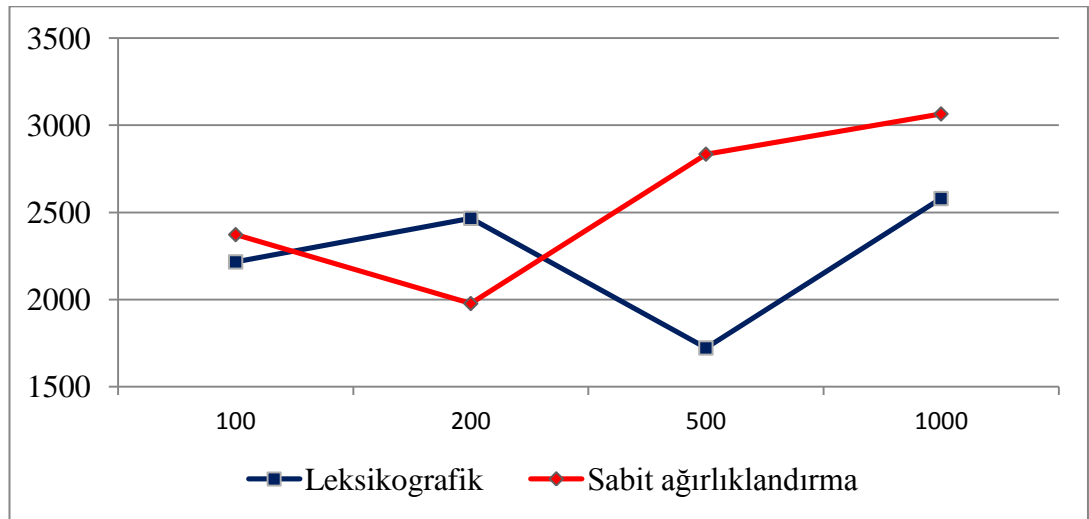
Tablo 4.14: Dizüstü bilgisayar örneği için leksikografik ve sabit ağırlıklı yöntem ile oluşan sıralama ve boş süreler.(devamı)

32	(98, 104, 110)	5	(0, 0, 16)	26	(76, 88, 100)	6	(0, 8, 28)
26	(76, 88, 100)	6	(0, 2, 38)	27	(6, 8, 10)	6	(0, 8, 28)
33	(14, 18, 22)	7	(0, 8, 48)	3	(3, 4, 9)	7	(0, 20, 45)
21	(3, 4, 9)	7	(0, 8, 48)	4	(2, 4, 6)	7	(0, 20, 45)
34	(2, 4, 6)	7	(0, 8, 48)	33	(14, 18, 22)	7	(0, 20, 45)
27	(6, 8, 10)	7	(0, 8, 48)	28	(28, 32, 36)	7	(0, 20, 45)
35	(6, 8, 10)	7	(0, 8, 48)	29	(3, 6, 11)	7	(0, 20, 45)
36	(7, 8, 12)	7	(0, 8, 48)	34	(2, 4, 6)	7	(0, 20, 45)
28	(28, 32, 36)	7	(0, 8, 48)	35	(6, 8, 10)	7	(0, 20, 45)
43	(12, 16, 20)	8	(0, 2, 42)	36	(7, 8, 12)	7	(0, 20, 45)
37	(60, 72, 84)	8	(0, 2, 42)	30	(6, 8, 10)	8	(0, 24, 44)
29	(3, 6, 11)	9	(0, 0, 42)	31	(3, 4, 9)	8	(0, 24, 44)
44	(3, 4, 9)	9	(0, 0, 42)	37	(60, 72, 84)	8	(0, 24, 44)
38	(6, 8, 10)	9	(0, 0, 42)	38	(6, 8, 10)	8	(0, 24, 44)
39	(60, 72, 84)	9	(0, 0, 42)	39	(60, 72, 84)	9	(2, 22, 42)
40	(8, 10, 12)	10	(0, 22, 52)	40	(8, 10, 12)	9	(2, 22, 42)
45	(28, 32, 36)	10	(0, 22, 52)	43	(12, 16, 20)	10	(0, 28, 50)
46	(2, 4, 6)	10	(0, 22, 52)	44	(3, 4, 9)	10	(0, 28, 50)
41	(12, 16, 20)	10	(0, 22, 52)	45	(28, 32, 36)	10	(0, 28, 50)
42	(3, 4, 9)	10	(0, 22, 52)	46	(2, 4, 6)	10	(0, 28, 50)
30	(6, 8, 10)	10	(0, 22, 52)	41	(12, 16, 20)	10	(0, 28, 50)
31	(3, 4, 9)	10	(0, 22, 52)	42	(3, 4, 9)	10	(0, 28, 50)

Şekil 4.11 ve Şekil 4.12 cep telefonu ve dizüstü bilgisayar için çeşitli iterasyon limitlerinde elde edilen çözümlerin ortalama süresindeki değişimi göstermektedir. Cep telefonu için leksikografik yöntemde 1 ve 5 iterasyon limitinde en hızlı çözümlere ulaşırken, iterasyon limiti 100'e yükseltildiğinde çözüm süresi de uzadıgı görülmektedir. Sabit ağırlıklandırma yönteminde çözüm süresinde iterasyon limitleri arasında çok fazla fark olmamakla birlikte, en hızlı çözüme 20 iterasyon limitinde ulaşılırken, en geç çözüme 2 iterasyon limitinde ulaşılmıştır. Aynı şekilde dizüstü bilgisayar örneğinde leksikografik yöntemde en hızlı çözüme 500 iterasyonda limitinde ulaşılırken, 1000 iterasyon limitinde çözüme daha geç ulaşılmaktadır. Sabit ağırlıklandırma yönteminde en hızlı çözüme 200 iterasyon limitinde ulaşılırken, iterasyon limiti arttırıldıkça çözüme daha yavaş ulaşılmaktadır.



Şekil 4.11: Cep telefonu örneğinin iterasyon limitleri için çözüm zamanları



Şekil 4.12: Dizüstü bilgisayar örneğinin iterasyon limitleri için çözüm zamanları

Tablo 4.15: Cep telefonu örneğinin leksikografik yöntemi için pareto optimal<sup>1</sup> sonuçları.

$f_1$ amaç fonksiyonu	$f_2$ amaç fonksiyonu	$f_3$ amaç fonksiyonu	$f_4$ amaç fonksiyonu
12	14,048	85	920
12	14,504	84	927
12	14,504	87	914
14	23,589	81	936
15	26,384	85	914
15	27,791	77	928

Tablo 4.16: Cep telefonu örneğinin sabit ağırlıklandırma yöntemi için pareto optimal sonuçları.

$f_1$ amaç fonksiyonu	$f_2$ amaç fonksiyonu	$f_3$ amaç fonksiyonu	$f_4$ amaç fonksiyonu
12	14,146	79	858
12	14,243	75	825
12	14,504	74	822
13	20,075	75	828
13	21,392	74	814

Tablo 4.17: Dizüstü bilgisayar örneğinin leksikografik yöntemi için pareto optimal sonuçları.

$f_1$ amaç fonksiyonu	$f_2$ amaç fonksiyonu	$f_3$ amaç fonksiyonu	$f_4$ amaç fonksiyonu
10	62,925	329	2759
12	137,240	334	2716
12	138,400	346	2751

Tablo 4.18: Dizüstü bilgisayar örneğinin sabit ağırlıklandırma yöntemi için Pareto optimal sonuçları.

$f_1$ amaç fonksiyonu	$f_2$ amaç fonksiyonu	$f_3$ amaç fonksiyonu	$f_4$ amaç fonksiyonu
10	65,930	313	2578
11	95,473	298	2533
11	95,600	300	2490
11	97,511	300	2489
11	100,990	291	2471
11	103,090	288	2471

Tablo 4.15, Tablo 4.16, Tablo 4.17 ve Tablo 4.18 cep telefonu ve dizüstü bilgisayar örneği için her iki yöntemle elde edilen Pareto optimal sonuçları göstermektedir. Örneğin Tablo 4.15'te  $f_1=12$ ,  $f_2=14.048$ ,  $f_3=85$ ,  $f_4=920$  çözümü ile  $f_1=12$ ,  $f_2=14.504$ ,  $f_3=84$ ,  $f_4=927$  çözümüne baktığımızda ilk çözüm  $f_2$  bakımından ikinci çözüme baskın iken ikinci çözüm ise  $f_3$  bakımından ilk çözüme baskındır. Sonuç olarak söz konusu

<sup>1</sup> Bu tezde kullanılan pareto optimal kavramı, elde edilen çözümün optimal bir çözüm olduğunu ifade etmemekte olup optimale yakın çözümler kümesinden Ding(2010b)'in çalışmasında olduğu gibi karar vericiye çözüm alternatiflerini sunmaktadır.



tablolarda yer alan bütün çözümlerden en az bir amaç fonksiyonu diğer bir çözümün amaç fonksiyonuna göre daha iyi sonuç vermektedir. Pareto optimal olarak değerlendirdiğimizde hiçbir çözüm diğerine baskın olmamaktadır.

## 5. SONUÇ

Gerçek dünyadaki uygulamalara karşın DHD problemlerinde amaç veya amaçlar çoğunlukla önceden tanımlı veya kesin olarak ele alınmıştır. Ancak, demontaj hattı gibi yüksek belirsizlik içeren süreçlerde söz konusu amaçları kesin olarak ifade etmek zorlaşabilmektedir. Özellikle verilerin elde edilemediği, açık olmadığı ve belirsiz olduğu zaman, gerçekçi durumların daha iyi temsil edilmesi güçleşmektedir.

Bu çalışmada McGovern ve Gupta (2005) tarafından önerilen çok amaçlı matematiksel model, bulanık mantık tabanlı olarak geliştirilmiş ve işlem süreleri ile çevrim zamanının üçgensel bulanık sayılarla ifade edilen probleme yapay arı kolonisi algoritması uygulanarak bir çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Çok amaçlı bulanık demontaj hat dengeleme problemine yapay arı kolonisi algoritması ile önerilen çözüm yönteminin etkinliği literatürde yer alan 8 parçadan oluşan bilgisayar, 25 parçadan oluşan cep telefonu ile literatüre yeni tanıtılan 47 parçadan oluşan dizüstü bilgisayar örneği üzerinden gösterilmiştir.

Önerilen YAK algoritması hem leksikografik çözüm yöntemi ile hem de sabit ağırlıklandırma yöntemi ile değerlendirilmektedir. YAK algoritmasında kullanılan sabit ağırlıklandırma yönteminin çözüm etkinliğini görmek amacıyla yöntem öncelikle deterministik modele uygulanmıştır. Elde edilen çözüm yine YAK algoritmasının literatürde yer alan leksikografik yöntemin sonuçlarıyla karşılaştırılmış olup, daha iyi bir çözüm elde edilmiştir. Elde edilen sonuçtan sonra Bulanık ortamda uygulanan YAK algoritmasında hem leksikografik çözüm yöntemi hem de sabit ağırlıklandırma yöntemi kullanılmıştır. Daha sonra yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar aynı zamanda pareto optimal olarak değerlendirilmiştir. Burada kullanılan her iki çözüm yöntemine ilişkin bir kıyaslama yapmaktan çok, her iki çözüm yöntemini kullanarak karar vericiye çözüm alternatifleri sunulmaktadır

Literatürde birkaç çalışmada demontaj hattında oluşan belirsizliklerden bahsedilmiştir. Bu çalışma ile söz konusu belirsizlikler ilk defa bulanık mantık kullanılarak demontaj hat dengeleme sürecine dahil edilmiştir. Bundan sonraki

Çalışmalarda, bulanıklaştırma işlemi genetik algoritma gibi çeşitli sezgisel algoritmalar ile birlikte uygulanarak, algoritmaların etkinliği YAK algoritmasıyla karşılaştırılması önerilmektedir. Ayrıca gelecek çalışmalarda değerlendime fonksiyonu olarak rastgele ağırlıklandırma yöntemi (*random weight method*) ve uyarlanabilen ağırlıklandırma yöntemi (*adaptive weight method*) kullanılabilir ve söz konusu değerlendirme fonksiyonlarının etkinliği bu tezde kullanılan leksikografik zm yöntemi ile sabit ağırlıklandırma yönteminin etkinliği ile karşılaştırılabilir. Tüm bu önerilere ek olarak, problemin yapısına uygun olacak şekilde modelin, karışık modelli demontaj hatları için de uygulanabileceği düşünülmektedir.

## KAYNAKÇA

- Agrawal, S., 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, T. F., Kandiller, L., Özdemirel, N.E.,** 2008: Profit-oriented disassembly line balancing, *International Journal of Production Research*, 46 (10): 2675-2693.
- Altekin, T. F., Akkan, C.,** 2012: Task failure driven rebalancing of disassembly lines, *International Journal of Production Research*, doi: 10.1080/00207543.2011.616915, 2012.
- Avikal, S., Jain, R., Mishra, P. K.,** 2013: A heuristic for U-Shaped disassembly line balancing problems, *International Journal of Mechanical Engineering*, Vol. 3, No. 1, Jan. 2013, pp 51-56.
- Aybars, U., Doğan, A.,** 2006: Ant System Algoritmasının Java İle Göreselleştirilmesi. Akademik Bilişim 2006, BilgiTek IV, Denizli.
- Bector C. R., Chandra S. R,** 2005: Fuzzy Mathematical Programming and Fuzzy Matrix Games, *studies in fuzziness and soft computing volume* 169.
- Ben-Tal, A.,** 1980: Characterization of Pareto and Lexicographic Optimal Solutions, Multiple Criteria Decision Making Theory and Application Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems Volume 177, pp 1-11
- Brennan, L., Gupta, S. M. and Taleb, K. N.,** 1994: Operations planning issues in an assembly/disassembly environment, *International Journal of Operations and Production Management*, 14(9), 57±67.
- Chang, C.-T.,** 2007: Binary fuzzy goal programming, *European Journal of Operational Research*, 180 (1): 29-37.
- Charnes, A., Cooper, W.W.,** 1961: Management model and industrial application of linear programming, *Wiley*, New York.
- Ding, L.P., Chen, W. L., Feng, Y.X.,** 2010a: Multi objective disassembly line balancing via modified ant colony optimization algorithm, *IEEE*, 2010 48 (5-8), 761-771.
- Ding, L.P., Feng, Y.X., Tan, J.R., Gao, Y.C.,** 2010b: 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.



- Johnson, M. R., Wang, M. H.**, 1995: Planning product disassembly for material recovery opportunities, *Int. J. Prod. Res.*, Vol:33, No:11 3119-3142.
- Ilgın, M. A., Gupta, S. M.**, 2010: Environmentally conscious manufacturing and product recovery (ECMPRO): A review of the state of the art, *Journal of Environmental Management*, 91 (3): 563-591.
- Kalayci, C., Gupta, S., Nakashima, K.**, 2011: Bees colony intelligence in solving disassembly line balancing problem, *2011 Asian Conference of Management Science & Applications*, December 21-22, 2011, Sanya
- Kalayci, C., Gupta, S., Nakashima, K.**, 2011: Tabu search disassembly line balancing problem with multiple objectives, *Proceedings of the 41<sup>st</sup> International Conference on Computers & Industrial Engineering*
- Kalayci, C., Gupta, S., Nakashima, K.**, 2012: Simulated annealing algorithm for balancing a disassembly line, *Springer Science+Business Media Dordrecht* 2012
- Karadağ, A. A., Turkbey, O.**, 2013: Multi-objective optimization of stochastic disassembly line balancing with station paralleling, *Computer and Industrial Engineering*, 65 (2013): 413-425.
- Karaboga, D.**, 2005: An idea based on honey bee swarm for numerical optimization. Technical Report, TR06, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department
- Karaboga, D., Akay, B.**, 2011: A modified artificial bees colony(ABC) algorithm for constrained optimization, *Applied Soft Computing* 11, 3021-3031
- Karadağ, A.A., Türkbey, O.**, 2011: Demontaj hattı dengeleme problemi: Hedef programlama ve bulanık hedef programlama modelleri, *XI. Üretim Araştırmaları Sempozyumu*, Bildiriler Kitabı: 775-785
- Kaufmann, A., Gupta, M. M.**, 1985: Introduction to fuzzy arithmetic., New York: Van Nostrand Reinhold.
- Khorram, E., Zarepisheh, M., Ghaznavi-ghosani, B. A.**, 2010: Sensitivity analysis on the priority of the objective functions in lexicographic multiple objective linear programming, *European Journal of Operational Research* 207, 1162-1168.
- Kizilkaya, E. A., and Gupta, S. M.**, 2005: Impact of Different Disassembly Line Balancing Algorithms on the Performance of Dynamic Kanban System for Disassembly Line, *Proceedings of the SPIE International Conference on Environmentally Conscious Manufacturing V*, Boston, Massachusetts, pp. 103-110.
- Klir, G. J., Yuan, B.**, 1995: Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications *Prentice-Hall PTR*, New Jersey.
- Koç, A., Sabuncuoğlu, I., 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.

- Kongar, E., Gupta, S., 2001:** Genetic Algorithm for Disassembly Process Planning, *Proceeding of the SPIE International Conference on Environmentally Conscious Manufacturing II*, Newton, Massachusetts, 29-30 Ekim, Sayfa 54-62.
- Lambert, A. J. D. and Gupta, S. M., 2005:** A Heuristic Solution for the Disassembly Line Balancing Problem Incorporating Sequence Dependent Costs, *Proceedings of the SPIE International Conference on Environmentally Conscious Manufacturing V*, Boston, Massachusetts, pp. 73-80, October 23-24, 2005.
- Marler, R. T., Arora, J. S., 2004:** Survey of multi-objective optimization methods for engineering, *Struct multidisc optim* 26, 369-395.
- Moore, K. E., Gungor, A., Gupta, S. M., 1998:** A Petri Net Approach to Disassembly Process Planning, *Computers & Industrial Engineering*, Cilt: 35, Sayı: 1-2, Sayfa: 165-168.
- Moore, K. E., Gungor, A., Gupta, S. M., 2001:** Petri Net Approach to Disassembly Process Planning for Products with Complex AND/OR Precedence Relationships, *International Journal of Operational Research*, Cilt: 135, Sayfa: 428-449.
- McGovern, S. M., Gupta, S. M., 2003:** 2-opt Heuristic for the Disassembly Line Balancing Problem, *Proceeding of the SPIE International Conference on Environmentally Conscious Manufacturing III*, Providence, Rhode Island, pp. 71-84.
- McGovern, S. M., and Gupta, S. M., 2004a:** Metaheuristic Technique for the Disassembly Line Balancing Problem, *Proceedings of the 2004 Northeast Decision Sciences Institute Conference*, Atlantic City, New Jersey, pp. 223-225, March 24-26, 2004.
- McGovern, S. M., Gupta, S. M., 2004b:** Combinatorial optimization methods for disassembly line balancing, *Proceeding of the SPIE International Conference on Environmentally Conscious Manufacturing IV*, Philadelphia, Pennsylvania: 53-66. Philadelphia, Pennsylvania, pp. 53-66, October 26-27, 2004.
- McGovern S. M., Gupta, S. M., 2005:** Uninformed and probabilistic distributed agent combinatorial searches for the unary NP-complete disassembly line balancing problem, *Proceedings of the SPIE Environmentally Conscious Manufacturing V*, Boston, MA, USA, 2005. Pp 81-92
- McGovern, S.M., Gupta, S.M., 2007a:** A balancing method and genetic algorithm for the disassembly line balancing problem, *European Journal of Operational Research*, 179 (3): 692-708.
- McGovern, S.M., 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

- Mutlu, Ö., Özgörmüş, E.,** 2012: A fuzzy assembly line balancing problem with physical workload constraints, *International Journal of Production Research*, 50:18, 5281-5291
- Ostlin, J., Sundin E., Bjorkman M.** 2009: Product life cycle implications for Remanufacturing strategies, *Journal of Cleaner Production* Cilt:17 Sayı:11 Temmuz 2009, Sayfa: 999-1009.
- Sağ, T., Çunkaş, M.,** 2009: Çok amaçlı genetik algoritmalar için bir çevrimdışı performans değerlendirmesi, 5. *Uluslararası İleri teknolojiler Sempozyumu(LATS'09)*, 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye.
- Şen, Z.,** 2001: Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri,” Bilge KültürSanat, İstanbul.
- Tang, Y., Zhou, M., Zussman, E., Caudill, R.,** 2002: Disassembly modeling, planning, and application, *Journal of Manufacturing Systems*, 21 (3): 200-217.
- Tapkan, P., Özbakır, L., Baykasoğlu, A.,** 2012: Bees algorithm for constrained fuzzy multi-objective two-sided assembly line balancing problem, *Optim Lett*, Sayfa: 1039-1049.
- Tsujimura, Y., Gen, M., Kubota, E.,** 1995: Solving fuzzy assembly line balancing problem with genetic algorithms, *Computers & Industrial Engineering* 29 (1–4), 543–547.
- Turowski, M., Morgan, M., Tang, Y.,** 2005: Disassembly Line Design with Uncertainty, *2005 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, Cilt: 1, Sayfa: 954-959.
- Tuncel, E., Zeid, A., Kamarthi, S.,** 2012: Solving large scale disassembly line balancing problem with uncertainty using reinforcement learning, Springer Science+Business Media New York 2012
- Veerakamolmal, P., Gupta, S.M.,** 2000: Design for disassembly, reuse and recycling. In: Goldberg, L. (Ed.), *Green Electronics/Green Bottom Line: Environmentally Responsible Engineering*. Butterworth-Heinemann, pp. 69–82
- Wang, X., Tuncel, E., Zeid, A., Kamarthi, S.,** 2011: Solving disassembly line balancing problem using immune algorithm, *Proceedings of the 41<sup>st</sup> International Conference on Computers & Industrial Engineering*
- Xu, W., Xiao, T.,** 2008: Mixed model assembly line balancing problem with fuzzy operation times and drifting operations, *Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference*, sayfa 1752-1760.
- Zacharia, Th. P., Nearchou, C. A.,** 2012: Multi-objective fuzzy assembly line balancing using genetic algorithms, *Intell Manuf* sayfa:615-627.
- Zadeh, L. A.,** 1965: Fuzzy Sets, *Information and Control*, Vol. 8, pp. 338-353.
- Zimmermann, H.J.,** 1978: Fuzzy programming and linear programming with several objective functions, *Fuzzy Sets and Systems*, 1 (1): 45-55.



## EKLER

### EK A.1 Deney Sonuçları

Tablo A.1: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneğinin bulanık matematiksel modelinin leksikografik yöntem için yapılan deney sonuçlarındaki dengeleme boşluğu ve düzgünlük indeksi değerleri

Deney No	Test No	İterasyon Limiti	Dengeleme Boşluğu (1)	Dengeleme Boşluğu (2)	Dengeleme Boşluğu (3)	Düzensüzlük İndeksi (1)	Düzensüzlük İndeksi (2)	Düzensüzlük İndeksi (3)
1	1	1	0	33	107	0	12,124	32,109
2	2	1	0	33	107	0	12,042	32,109
3	3	1	0	33	107	0	12,124	32,171
4	4	1	0	33	107	0	12,042	32,109
5	5	1	0	33	107	0	12,124	32,171
6	6	1	0	33	107	0	12,042	32,109
7	7	1	0	33	107	0	12,124	32,171
8	8	1	0	33	107	0	12,369	32,171
9	9	1	0	33	107	0	12,042	32,109
10	10	1	0	33	107	0	12,042	32,109
11	11	1	0	33	107	0	12,369	32,171
12	12	1	0	33	107	0	12,042	32,109
13	13	1	0	33	107	0	12,207	32,171
14	14	1	0	33	107	0	12,042	32,109
15	15	1	0	33	107	0	12,124	32,109

Tablo A.1: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneğinin bulanık matematiksel modelinin leksikografik yöntem için yapılan deney sonuçlarındaki dengeleme boşluğu ve düzgünlük indeksi değerleri (Devamı)

16	16	1	0	33	107	0	12,124	32,109
17	17	1	0	33	107	0	12,042	32,109
18	18	1	0	33	107	0	12,042	32,109
19	19	1	0	33	107	0	12,042	32,109
20	20	1	0	33	107	0	12,042	32,109
21	21	1	0	33	107	0	12,124	32,171
22	22	1	0	33	107	0	12,042	32,109
23	23	1	0	33	107	0	12,124	32,171
24	24	1	0	33	107	0	12,042	32,109
25	25	1	0	33	107	0	12,042	32,109
26	26	1	0	33	107	0	12,124	32,109
27	27	1	0	33	107	0	12,689	32,265
28	28	1	0	33	107	0	12,124	32,171
29	29	1	0	33	107	0	12,369	32,171
30	30	1	0	33	107	0	12,042	32,109
	Ortalama		0	33	107	0	12,1291	32,1349
31	1	2	0	33	107	0	12,042	32,109
32	2	2	0	33	107	0	12,042	32,109
33	3	2	0	33	107	0	12,042	32,109
34	4	2	0	33	107	0	12,042	32,109
35	5	2	0	33	107	0	12,124	32,171
36	6	2	0	33	107	0	12,042	32,109
37	7	2	0	33	107	0	12,124	32,171
38	8	2	0	33	107	0	12,042	32,109
39	9	2	0	33	107	0	12,042	32,109

Tablo A.1: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneğinin bulanık matematiksel modelinin leksikografik yöntem için yapılan deney sonuçlarındaki dengeleme boşluğu ve düzgünlük indeksi değerleri (Devamı)

40	10	2	0	33	107	0	12,042	32,109
41	11	2	0	33	107	0	12,042	32,109
42	12	2	0	33	107	0	12,042	32,109
43	13	2	0	33	107	0	12,124	32,109
44	14	2	0	33	107	0	12,124	32,171
45	15	2	0	33	107	0	12,042	32,109
46	16	2	0	33	107	0	12,042	32,109
47	17	2	0	33	107	0	12,207	32,171
48	18	2	0	33	107	0	12,124	32,109
49	19	2	0	33	107	0	12,124	32,171
50	20	2	0	33	107	0	12,042	32,109
51	21	2	0	33	107	0	12,042	32,109
52	22	2	0	33	107	0	12,124	32,171
53	23	2	0	33	107	0	12,042	32,109
54	24	2	0	33	107	0	12,042	32,109
55	25	2	0	33	107	0	12,124	32,171
56	26	2	0	33	107	0	12,124	32,171
57	27	2	0	33	107	0	12,042	32,109
58	28	2	0	33	107	0	12,042	32,109
59	29	2	0	33	107	0	12,042	32,109
60	30	2	0	33	107	0	12,042	32,109
	Ortalama		0	33	107	0	12,0721	32,1255
61	1	5	0	33	107	0	12,124	32,109
62	2	5	0	33	107	0	12,042	32,109
63	3	5	0	33	107	0	12,042	32,109

Tablo A.1: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneğinin bulanık matematiksel modelinin leksikografik yöntem için yapılan deney sonuçlarındaki dengeleme boşluğu ve düzgünlük indeksi değerleri (Devamı)

64	4	5	0	33	107	0	12,124	32,171
65	5	5	0	33	107	0	12,042	32,109
66	6	5	0	33	107	0	12,042	32,109
67	7	5	0	33	107	0	12,042	32,109
68	8	5	0	33	107	0	12,042	32,109
69	9	5	0	33	107	0	12,042	32,109
70	10	5	0	33	107	0	12,042	32,109
71	11	5	0	33	107	0	12,042	32,109
72	12	5	0	33	107	0	12,042	32,109
73	13	5	0	33	107	0	12,042	32,109
74	14	5	0	33	107	0	12,042	32,109
75	15	5	0	33	107	0	12,124	32,171
76	16	5	0	33	107	0	12,042	32,109
77	17	5	0	33	107	0	12,042	32,109
78	18	5	0	33	107	0	12,042	32,109
79	19	5	0	33	107	0	12,042	32,109
80	20	5	0	33	107	0	12,042	32,109
81	21	5	0	33	107	0	12,042	32,109
82	22	5	0	33	107	0	12,042	32,109
83	23	5	0	33	107	0	12,042	32,109
84	24	5	0	33	107	0	12,124	32,171
85	25	5	0	33	107	0	12,042	32,109
86	26	5	0	33	107	0	12,042	32,109
87	27	5	0	33	107	0	12,042	32,109
88	28	5	0	33	107	0	12,124	32,171

Tablo A.1: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneğinin bulanık matematiksel modelinin leksikografik yöntem için yapılan deney sonuçlarındaki dengeleme boşluğu ve düzgünlük indeksi değerleri (Devamı)

89	29	5	0	33	107	0	12,042	32,109
90	30	5	0	33	107	0	12,042	32,109
Ortalama			0	33	107	0	12,056	32,117
91	1	10	0	33	107	0	12,042	32,109
92	2	10	0	33	107	0	12,042	32,109
93	3	10	0	33	107	0	12,042	32,109
94	4	10	0	33	107	0	12,042	32,109
95	5	10	0	33	107	0	12,042	32,109
96	6	10	0	33	107	0	12,042	32,109
97	7	10	0	33	107	0	12,042	32,109
98	8	10	0	33	107	0	12,042	32,109
99	9	10	0	33	107	0	12,042	32,109
100	10	10	0	33	107	0	12,042	32,109
101	11	10	0	33	107	0	12,042	32,109
102	12	10	0	33	107	0	12,042	32,109
103	13	10	0	33	107	0	12,042	32,109
104	14	10	0	33	107	0	12,042	32,109
105	15	10	0	33	107	0	12,042	32,109
106	16	10	0	33	107	0	12,042	32,109
107	17	10	0	33	107	0	12,042	32,109
108	18	10	0	33	107	0	12,042	32,109
109	19	10	0	33	107	0	12,042	32,109
110	20	10	0	33	107	0	12,042	32,109
111	21	10	0	33	107	0	12,042	32,109
112	22	10	0	33	107	0	12,042	32,109

Tablo A.1: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneğinin bulanık matematiksel modelinin leksikografik yöntem için yapılan deney sonuçlarındaki dengeleme boşluğu ve düzgünlük indeksi değerleri (Devamı)

113	23	10	0	33	107	0	12,042	32,109
114	24	10	0	33	107	0	12,042	32,109
115	25	10	0	33	107	0	12,042	32,109
116	26	10	0	33	107	0	12,042	32,109
117	27	10	0	33	107	0	12,042	32,109
118	28	10	0	33	107	0	12,042	32,109
119	29	10	0	33	107	0	12,042	32,109
120	30	10	0	33	107	0	12,042	32,109
Ortalama			0	33	107	0	12,042	32,109
121	1	20	0	33	107	0	12,042	32,109
122	2	20	0	33	107	0	12,042	32,109
123	3	20	0	33	107	0	12,042	32,109
124	4	20	0	33	107	0	12,042	32,109
125	5	20	0	33	107	0	12,042	32,109
126	6	20	0	33	107	0	12,042	32,109
127	7	20	0	33	107	0	12,042	32,109
128	8	20	0	33	107	0	12,042	32,109
129	9	20	0	33	107	0	12,042	32,109
130	10	20	0	33	107	0	12,042	32,109
131	11	20	0	33	107	0	12,042	32,109
132	12	20	0	33	107	0	12,042	32,109
133	13	20	0	33	107	0	12,042	32,109
134	14	20	0	33	107	0	12,042	32,109
135	15	20	0	33	107	0	12,124	32,109
136	16	20	0	33	107	0	12,042	32,109

Tablo A.1: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneğinin bulanık matematiksel modelinin leksikografik yöntem için yapılan deney sonuçlarındaki dengeleme boşluğu ve düzgünlük indeksi değerleri (Devamı)

137	17	20	0	33	107	0	12,042	32,109
138	18	20	0	33	107	0	12,042	32,109
139	19	20	0	33	107	0	12,042	32,109
140	20	20	0	33	107	0	12,042	32,109
141	21	20	0	33	107	0	12,042	32,109
142	22	20	0	33	107	0	12,042	32,109
143	23	20	0	33	107	0	12,042	32,109
144	24	20	0	33	107	0	12,042	32,109
145	25	20	0	33	107	0	12,042	32,109
146	26	20	0	33	107	0	12,042	32,109
147	27	20	0	33	107	0	12,042	32,109
148	28	20	0	33	107	0	12,042	32,109
149	29	20	0	33	107	0	12,042	32,109
150	30	20	0	33	107	0	12,042	32,109
Ortalama			0	33	107	0	12,045	32,109
151	1	30	0	33	107	0	12,042	32,109
152	2	30	0	33	107	0	12,042	32,109
153	3	30	0	33	107	0	12,042	32,109
154	4	30	0	33	107	0	12,042	32,109
155	5	30	0	33	107	0	12,042	32,109
156	6	30	0	33	107	0	12,042	32,109
157	7	30	0	33	107	0	12,042	32,109
158	8	30	0	33	107	0	12,042	32,109
159	9	30	0	33	107	0	12,042	32,109
160	10	30	0	33	107	0	12,042	32,109

Tablo A.1: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneğinin bulanık matematiksel modelinin leksikografik yöntem için yapılan deney sonuçlarındaki dengeleme boşluğu ve düzgünlük indeksi değerleri (Devamı)

161	11	30	0	33	107	0	12,042	32,109
162	12	30	0	33	107	0	12,042	32,109
163	13	30	0	33	107	0	12,042	32,109
164	14	30	0	33	107	0	12,042	32,109
165	15	30	0	33	107	0	12,042	32,109
166	16	30	0	33	107	0	12,042	32,109
167	17	30	0	33	107	0	12,042	32,109
168	18	30	0	33	107	0	12,042	32,109
169	19	30	0	33	107	0	12,042	32,109
170	20	30	0	33	107	0	12,042	32,109
171	21	30	0	33	107	0	12,042	32,109
172	22	30	0	33	107	0	12,042	32,109
173	23	30	0	33	107	0	12,124	32,171
174	24	30	0	33	107	0	12,042	32,109
175	25	30	0	33	107	0	12,042	32,109
176	26	30	0	33	107	0	12,042	32,109
177	27	30	0	33	107	0	12,042	32,109
178	28	30	0	33	107	0	12,042	32,109
179	29	30	0	33	107	0	12,042	32,109
180	30	30	0	33	107	0	12,042	32,109
	Ortalama		0	33	107	0	12,045	32,111
181	1	50	0	33	107	0	12,042	32,109
182	2	50	0	33	107	0	12,042	32,109
183	3	50	0	33	107	0	12,042	32,109
184	4	50	0	33	107	0	12,042	32,109



Tablo A.1: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneğinin bulanık matematiksel modelinin leksikografik yöntem için yapılan deney sonuçlarındaki dengeleme boşluğu ve düzgünlük indeksi değerleri (Devamı)

185	5	50	0	33	107	0	12,124	32,171
186	6	50	0	33	107	0	12,042	32,109
187	7	50	0	33	107	0	12,042	32,109
188	8	50	0	33	107	0	12,042	32,109
189	9	50	0	33	107	0	12,042	32,109
190	10	50	0	33	107	0	12,124	32,171
191	11	50	0	33	107	0	12,042	32,109
192	12	50	0	33	107	0	12,042	32,109
193	13	50	0	33	107	0	12,042	32,109
194	14	50	0	33	107	0	12,042	32,109
195	15	50	0	33	107	0	12,042	32,109
196	16	50	0	33	107	0	12,042	32,109
197	17	50	0	33	107	0	12,042	32,109
198	18	50	0	33	107	0	12,042	32,109
199	19	50	0	33	107	0	12,042	32,109
200	20	50	0	33	107	0	12,042	32,109
201	21	50	0	33	107	0	12,042	32,109
202	22	50	0	33	107	0	12,124	32,109
203	23	50	0	33	107	0	12,124	32,109
204	24	50	0	33	107	0	12,124	32,171
205	25	50	0	33	107	0	12,042	32,109
206	26	50	0	33	107	0	12,042	32,109
207	27	50	0	33	107	0	12,124	32,171
208	28	50	0	33	107	0	12,042	32,109
209	29	50	0	33	107	0	12,042	32,109

Tablo A.1: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneğinin bulanık matematiksel modelinin leksikografik yöntem için yapılan deney sonuçlarındaki dengeleme boşluğu ve düzgünlük indeksi değerleri (Devamı)

210	30	50	0	33	107	0	12,042	32,109
	Ortalama		0	33	107	0	12,0584	32,117
211	1	100	0	33	107	0	12,042	32,109
212	2	100	0	33	107	0	12,124	32,109
213	3	100	0	33	107	0	12,124	32,109
214	4	100	0	33	107	0	12,042	32,109
215	5	100	0	33	107	0	12,042	32,109
216	6	100	0	33	107	0	12,042	32,109
217	7	100	0	33	107	0	12,042	32,109
218	8	100	0	33	107	0	12,042	32,109
219	9	100	0	33	107	0	12,042	32,109
220	10	100	0	33	107	0	12,042	32,109
221	11	100	0	33	107	0	12,042	32,109
222	12	100	0	33	107	0	12,042	32,109
223	13	100	0	33	107	0	12,042	32,109
224	14	100	0	33	107	0	12,042	32,109
225	15	100	0	33	107	0	12,042	32,109
226	16	100	0	33	107	0	12,124	32,109
227	17	100	0	33	107	0	12,124	32,171
228	18	100	0	33	107	0	12,042	32,109
229	19	100	0	33	107	0	12,042	32,109
230	20	100	0	33	107	0	12,042	32,109
231	21	100	0	33	107	0	12,042	32,109
232	22	100	0	33	107	0	12,042	32,109
233	23	100	0	33	107	0	12,042	32,109

Tablo A.1: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneğinin bulanık matematiksel modelinin leksikografik yöntem için yapılan deney sonuçlarındaki dengeleme boşluğu ve düzgünlük indeksi değerleri (Devamı)

234	24	100	0	33	107	0	12,124	32,171
235	25	100	0	33	107	0	12,042	32,109
236	26	100	0	33	107	0	12,042	32,109
237	27	100	0	33	107	0	12,124	32,171
238	28	100	0	33	107	0	12,042	32,109
239	29	100	0	33	107	0	12,042	32,109
240	30	100	0	33	107	0	12,042	32,109
Ortalama			0	33	107	0	12,0584	32,1152

Tablo A.2: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneği için yapılan bulanık matematiksel modelinin leksikografik deneyinde amaç fonksiyonu ve hat etkinliği sonuçları.

Deney No	Hat Etkinliği (1)	Hat Etkinliği (2)	Hat Etkinliği (3)	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	Zaman
1	0,50463	0,81667	1	12	14,089	93	946	274,07
2	0,50463	0,81667	1	12	14,048	96	966	303,97
3	0,50463	0,81667	1	12	14,105	85	931	191,36
4	0,50463	0,81667	1	12	14,048	91	941	197,6
5	0,50463	0,81667	1	12	14,105	94	960	63,688
6	0,50463	0,81667	1	12	14,048	93	957	256,85
7	0,50463	0,81667	1	12	14,105	88	946	212,17
8	0,50463	0,81667	1	12	14,228	88	943	347,24
9	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	935	163,21
10	0,50463	0,81667	1	12	14,048	91	935	344,93
11	0,50463	0,81667	1	12	14,228	87	931	346,16
12	0,50463	0,81667	1	12	14,048	94	955	484,46
13	0,50463	0,81667	1	12	14,146	93	934	333,79
14	0,50463	0,81667	1	12	14,048	89	934	212,03
15	0,50463	0,81667	1	12	14,089	95	948	299,33
16	0,50463	0,81667	1	12	14,089	93	937	47,356
17	0,50463	0,81667	1	12	14,048	89	941	278,95
18	0,50463	0,81667	1	12	14,048	90	941	202,3
19	0,50463	0,81667	1	12	14,048	91	941	239,32
20	0,50463	0,81667	1	12	14,048	96	968	94,782
21	0,50463	0,81667	1	12	14,105	88	940	171,65

Tablo A.2: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneği için yapılan bulanık matematiksel modelinin leksikografik deneyinde amaç fonksiyonu ve hat etkinliği sonuçları (Devamı)

22	0,50463	0,81667	1	12	14,048	91	950	0,886
23	0,50463	0,81667	1	12	14,105	88	933	386,92
24	0,50463	0,81667	1	12	14,048	96	950	200,7
25	0,50463	0,81667	1	12	14,048	89	937	20,254
26	0,50463	0,81667	1	12	14,089	94	939	55,178
27	0,50463	0,81667	1	12	14,41	85	928	301,09
28	0,50463	0,81667	1	12	14,105	88	946	442,54
29	0,50463	0,81667	1	12	14,228	89	944	124,29
30	0,50463	0,81667	1	12	14,048	95	964	58,858
<b>Ortalama</b>	<b>0,50463</b>	<b>0,81667</b>	<b>1</b>	<b>12</b>	<b>14,0982</b>	<b>90,9</b>	<b>944,03</b>	<b>222</b>
31	0,50463	0,81667	1	12	14,048	87	928	121,2
32	0,50463	0,81667	1	12	14,048	92	938	212,43
33	0,50463	0,81667	1	12	14,048	93	946	384,65
34	0,50463	0,81667	1	12	14,048	93	954	202,28
35	0,50463	0,81667	1	12	14,105	84	927	168,46
36	0,50463	0,81667	1	12	14,048	95	961	166,63
37	0,50463	0,81667	1	12	14,105	88	938	249,49
38	0,50463	0,81667	1	12	14,048	92	956	233,18
39	0,50463	0,81667	1	12	14,048	89	937	172,08
40	0,50463	0,81667	1	12	14,048	89	939	441,02
41	0,50463	0,81667	1	12	14,048	90	939	358,81
42	0,50463	0,81667	1	12	14,048	89	935	320,65
43	0,50463	0,81667	1	12	14,089	91	935	132,38
44	0,50463	0,81667	1	12	14,105	84	912	221,69
45	0,50463	0,81667	1	12	14,048	90	942	178,09

Tablo A.2: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneği için yapılan bulanık matematiksel modelinin leksikografik deneyinde amaç fonksiyonu ve hat etkinliği sonuçları (Devamı)

46	0,50463	0,81667	1	12	14,048	89	938	347,53
47	0,50463	0,81667	1	12	14,146	84	884	130,23
48	0,50463	0,81667	1	12	14,089	96	954	486,38
49	0,50463	0,81667	1	12	14,105	89	946	396,61
50	0,50463	0,81667	1	12	14,048	93	952	111,96
51	0,50463	0,81667	1	12	14,048	87	929	46,524
52	0,50463	0,81667	1	12	14,105	88	944	21,428
53	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	932	107,56
54	0,50463	0,81667	1	12	14,048	96	959	494,61
55	0,50463	0,81667	1	12	14,105	86	938	124,77
56	0,50463	0,81667	1	12	14,105	85	917	348,68
57	0,50463	0,81667	1	12	14,048	90	947	298,22
58	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	933	220,27
59	0,50463	0,81667	1	12	14,048	89	934	250,06
60	0,50463	0,81667	1	12	14,048	89	937	157,07
<b>Ortalama</b>	<b>0,50463</b>	<b>0,81667</b>	<b>1</b>	<b>12</b>	<b>14,0673</b>	<b>89,43</b>	<b>937,7</b>	<b>237</b>
61	0,50463	0,81667	1	12	14,089	93	946	386,18
62	0,50463	0,81667	1	12	14,048	94	956	360,82
63	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	931	397,55
64	0,50463	0,81667	1	12	14,105	85	925	55,961
65	0,50463	0,81667	1	12	14,048	87	930	434,04
66	0,50463	0,81667	1	12	14,048	91	949	97,626
67	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	932	415,65
68	0,50463	0,81667	1	12	14,048	93	951	227,25
69	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	920	59,47

Tablo A.2: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneği için yapılan bulanık matematiksel modelinin leksikografik deneyinde amaç fonksiyonu ve hat etkinliği sonuçları (Devamı)

70	0,50463	0,81667	1	12	14,048	90	939	213,74
71	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	934	278,31
72	0,50463	0,81667	1	12	14,048	89	935	283,66
73	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	933	371,37
74	0,50463	0,81667	1	12	14,048	92	946	348,21
75	0,50463	0,81667	1	12	14,105	88	941	35,711
76	0,50463	0,81667	1	12	14,048	92	950	147,15
77	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	932	133,29
78	0,50463	0,81667	1	12	14,048	87	929	234,88
79	0,50463	0,81667	1	12	14,048	93	951	369,28
80	0,50463	0,81667	1	12	14,048	91	932	69,125
81	0,50463	0,81667	1	12	14,048	90	938	122,5
82	0,50463	0,81667	1	12	14,048	86	926	177,06
83	0,50463	0,81667	1	12	14,048	89	941	126,18
84	0,50463	0,81667	1	12	14,105	86	926	95,95
85	0,50463	0,81667	1	12	14,048	89	935	39,743
86	0,50463	0,81667	1	12	14,048	90	940	80,146
87	0,50463	0,81667	1	12	14,048	89	940	19,731
88	0,50463	0,81667	1	12	14,105	86	938	143,37
89	0,50463	0,81667	1	12	14,048	94	949	436,16
90	0,50463	0,81667	1	12	14,048	91	953	468,78
Ortalama	0,50463	0,81667	1	12	14,057	89,43	938,27	221
91	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	921	230,94
92	0,50463	0,81667	1	12	14,048	90	934	476,62
93	0,50463	0,81667	1	12	14,048	87	921	32,778

Tablo A.2: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneği için yapılan bulanık matematiksel modelinin leksikografik deneyinde amaç fonksiyonu ve hat etkinliği sonuçları (Devamı)

94	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	934	321,37
95	0,50463	0,81667	1	12	14,048	86	924	364,82
96	0,50463	0,81667	1	12	14,048	86	929	102,98
97	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	929	18,586
98	0,50463	0,81667	1	12	14,048	90	945	177,2
99	0,50463	0,81667	1	12	14,048	90	937	209,2
100	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	932	329,43
101	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	933	395,64
102	0,50463	0,81667	1	12	14,048	87	927	223,23
103	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	933	85,871
104	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	935	18,667
105	0,50463	0,81667	1	12	14,048	91	948	236,87
106	0,50463	0,81667	1	12	14,048	89	936	411,17
107	0,50463	0,81667	1	12	14,048	87	927	305,29
108	0,50463	0,81667	1	12	14,048	91	936	263,94
109	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	930	336,36
110	0,50463	0,81667	1	12	14,048	86	925	500,02
111	0,50463	0,81667	1	12	14,048	89	934	55,299
112	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	933	277,18
113	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	932	359,93
114	0,50463	0,81667	1	12	14,048	87	927	228,37
115	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	931	115,07
116	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	933	307,52
117	0,50463	0,81667	1	12	14,048	87	926	254,86
118	0,50463	0,81667	1	12	14,048	89	944	217,37



**Tablo A.2:** 25 parçadan oluşan cep telefonu örneği için yapılan bulanık matematiksel modelinin leksikografik deneyinde amaç fonksiyonu ve hat etkinliği sonuçları (Devamı)

119	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	931	271,04
120	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	931	306,19
Ortalama	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88,13	931,93	248
121	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	933	134,8
122	0,50463	0,81667	1	12	14,048	87	929	373,89
123	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	933	206,2
124	0,50463	0,81667	1	12	14,048	87	928	260,59
125	0,50463	0,81667	1	12	14,048	85	923	174,41
126	0,50463	0,81667	1	12	14,048	85	921	88,427
127	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	927	413,6
128	0,50463	0,81667	1	12	14,048	85	921	490,32
129	0,50463	0,81667	1	12	14,048	85	921	273,07
130	0,50463	0,81667	1	12	14,048	87	929	257,35
131	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	930	437,56
132	0,50463	0,81667	1	12	14,048	86	925	412,4
133	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	931	51,42
134	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	933	423,87
135	0,50463	0,81667	1	12	14,089	94	948	364,6
136	0,50463	0,81667	1	12	14,048	87	928	257,02
137	0,50463	0,81667	1	12	14,048	85	922	378,38
138	0,50463	0,81667	1	12	14,048	89	935	19,916
139	0,50463	0,81667	1	12	14,048	90	931	12,82
140	0,50463	0,81667	1	12	14,048	87	927	368,41
141	0,50463	0,81667	1	12	14,048	89	934	260,52
142	0,50463	0,81667	1	12	14,048	90	936	156,97

Tablo A.2: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneği için yapılan bulanık matematiksel modelinin leksikografik deneyinde amaç fonksiyonu ve hat etkinliği sonuçları (Devamı)

143	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	931	421,56
144	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	932	116,92
145	0,50463	0,81667	1	12	14,048	92	946	285,9
146	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	932	339,54
147	0,50463	0,81667	1	12	14,048	89	934	36,119
148	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	933	405,12
149	0,50463	0,81667	1	12	14,048	89	934	289,07
150	0,50463	0,81667	1	12	14,048	89	930	88,73
<b>Ortalama</b>	<b>0,50463</b>	<b>0,81667</b>	<b>1</b>	<b>12</b>	<b>14,049</b>	<b>87,9</b>	<b>930,57</b>	<b>260</b>
151	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	934	124,84
152	0,50463	0,81667	1	12	14,048	87	931	170,11
153	0,50463	0,81667	1	12	14,048	85	919	59,604
154	0,50463	0,81667	1	12	14,048	87	925	459,25
155	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	934	297,42
156	0,50463	0,81667	1	12	14,048	89	935	189,8
157	0,50463	0,81667	1	12	14,048	93	936	243,76
158	0,50463	0,81667	1	12	14,048	89	930	228,49
159	0,50463	0,81667	1	12	14,048	85	919	177,59
160	0,50463	0,81667	1	12	14,048	86	924	240,04
161	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	932	492,97
162	0,50463	0,81667	1	12	14,048	91	948	60,647
163	0,50463	0,81667	1	12	14,048	86	925	298,15
164	0,50463	0,81667	1	12	14,048	87	927	337,19
165	0,50463	0,81667	1	12	14,048	86	923	184,24
166	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	930	221,04

Tablo A.2: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneği için yapılan bulanık matematiksel modelinin leksikografik deneyinde amaç fonksiyonu ve hat etkinliği sonuçları (Devamı)

167	0,50463	0,81667	1	12	14,048	87	930	186,08
168	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	932	231,91
169	0,50463	0,81667	1	12	14,048	87	927	349,35
170	0,50463	0,81667	1	12	14,048	89	940	444,03
171	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	935	162,35
172	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	932	439,78
173	0,50463	0,81667	1	12	14,105	85	927	187,06
174	0,50463	0,81667	1	12	14,048	93	955	449,37
175	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	933	71,894
176	0,50463	0,81667	1	12	14,048	86	921	13,207
177	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	934	250,89
178	0,50463	0,81667	1	12	14,048	89	931	149,76
179	0,50463	0,81667	1	12	14,048	90	935	113,44
180	0,50463	0,81667	1	12	14,048	89	940	384,54
<b>Ortalama</b>	<b>0,50463</b>	<b>0,81667</b>	<b>1</b>	<b>12</b>	<b>14,0499</b>	<b>87,93</b>	<b>931,47</b>	<b>241</b>
181	0,50463	0,81667	1	12	14,048	85	920	115,39
182	0,50463	0,81667	1	12	14,048	85	919	205,07
183	0,50463	0,81667	1	12	14,048	89	937	355,82
184	0,50463	0,81667	1	12	14,048	89	935	117,65
185	0,50463	0,81667	1	12	14,105	83	918	184,83
186	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	933	193,2
187	0,50463	0,81667	1	12	14,048	85	922	225,62
188	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	931	248,71
189	0,50463	0,81667	1	12	14,048	89	934	98,629
190	0,50463	0,81667	1	12	14,105	86	921	377,42

Tablo A.2: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneği için yapılan bulanık matematiksel modelinin leksikografik deneyinde amaç fonksiyonu ve hat etkinliği sonuçları (Devamı)

191	0,50463	0,81667	1	12	14,048	87	926	463,63
192	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	936	31,488
193	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	939	369,68
194	0,50463	0,81667	1	12	14,048	87	929	189,25
195	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	933	150,85
196	0,50463	0,81667	1	12	14,048	87	928	265,15
197	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	929	40,22
198	0,50463	0,81667	1	12	14,048	90	945	190,47
199	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	931	32,148
200	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	931	469,61
201	0,50463	0,81667	1	12	14,048	86	926	91,993
202	0,50463	0,81667	1	12	14,089	92	945	177,46
203	0,50463	0,81667	1	12	14,089	92	936	243,73
204	0,50463	0,81667	1	12	14,105	85	929	435,95
205	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	931	265,83
206	0,50463	0,81667	1	12	14,048	86	921	430,17
207	0,50463	0,81667	1	12	14,105	86	935	314,4
208	0,50463	0,81667	1	12	14,048	89	934	450,08
209	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	930	25,742
210	0,50463	0,81667	1	12	14,048	87	929	31,114
<b>Ortalama</b>	<b>0,50463</b>	<b>0,81667</b>	<b>1</b>	<b>12</b>	<b>14,058</b>	<b>87,5</b>	<b>927,47</b>	<b>295</b>
211	0,50463	0,81667	1	12	14,048	86	924	10,701
212	0,50463	0,81667	1	12	14,089	89	928	390,62
213	0,50463	0,81667	1	12	14,089	91	940	478,25
214	0,50463	0,81667	1	12	14,048	87	927	231,2

Tablo A.2: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneği için yapılan bulanık matematiksel modelinin leksikografik deneyinde amaç fonksiyonu ve hat etkinliği sonuçları (Devamı)

215	0,50463	0,81667	1	12	14,048	93	950	219,25
216	0,50463	0,81667	1	12	14,048	86	925	277,93
217	0,50463	0,81667	1	12	14,048	91	937	50,218
218	0,50463	0,81667	1	12	14,048	85	921	48,663
219	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	933	223,25
220	0,50463	0,81667	1	12	14,048	85	919	158,13
221	0,50463	0,81667	1	12	14,048	87	929	489,78
222	0,50463	0,81667	1	12	14,048	89	926	98,553
223	0,50463	0,81667	1	12	14,048	89	931	381,73
224	0,50463	0,81667	1	12	14,048	85	919	232,21
225	0,50463	0,81667	1	12	14,048	87	927	327,35
226	0,50463	0,81667	1	12	14,089	92	940	357,01
227	0,50463	0,81667	1	12	14,105	83	900	486,58
228	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	932	403,39
229	0,50463	0,81667	1	12	14,048	89	941	139,63
230	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	932	497,17
231	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	925	369,29
232	0,50463	0,81667	1	12	14,048	85	919	443,83
233	0,50463	0,81667	1	12	14,048	85	919	176,73
234	0,50463	0,81667	1	12	14,105	84	912	421,03
235	0,50463	0,81667	1	12	14,048	87	929	492,39
236	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	931	262,26
237	0,50463	0,81667	1	12	14,105	85	917	483,17
238	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	931	171,69
239	0,50463	0,81667	1	12	14,048	88	931	475,19

Tablo A.2: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneği için yapılan bulanık matematiksel modelinin leksikografik deneyinde amaç fonksiyonu ve hat etkinliği sonuçları (Devamı)

240	0,50463	0,81667	1	12	14,048	87	929	47,105
Ortalama	0,50463	0,81667	1	12	14,058	87,43	927,47	295

Tablo A.3: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneğinin bulanık matematiksel modelinin sabit ağırlıklandırma yöntemi için yapılan deney sonuçlarındaki dengeleme boşluğu ve düzgünlük indeksi değerleri.

Deney No	Test No	İterasyon Limiti	Dengeleme Boşluğu (1)	Dengeleme Boşluğu (2)	Dengeleme Boşluğu (3)	Düzensüzlük İndeksi (1)	Düzensüzlük İndeksi (2)	Düzensüzlük İndeksi (3)
1	1	1	8	48	125	6,3246	19,545	37,296
2	2	1	11	48	125	7	19,545	37,027
3	3	1	15	63	143	9	23,896	41,024
4	4	1	12	48	125	8,4853	19,647	36,973
5	5	1	5	48	125	3,6056	18	36,674
6	6	1	0	33	107	0	13,748	32,787
7	7	1	0	33	107	0	13,153	32,634
8	8	1	11	63	143	8,544	22,472	40,657
9	9	1	9	48	125	9	18,385	36,701
10	10	1	2	48	125	2	17,436	36,565
11	11	1	0	33	107	0	12,53	32,234
12	12	1	0	33	107	0	14,248	33
13	13	1	17	63	143	12,042	23,854	41,219
14	14	1	8	48	125	8	19,183	37,162
15	15	1	9	48	125	6,7082	18,166	36,701
16	16	1	9	48	125	6,7082	20,396	37,35
17	17	1	20	63	143	11,662	23,558	40,804
18	18	1	3	33	107	3	14,663	32,818
19	19	1	8	48	125	5,831	18,815	36,837
20	20	1	15	63	143	9,434	23,516	40,927
21	21	1	6	48	125	4,2426	18,762	37,027
22	22	1	3	48	125	3	18,921	37,027
23	23	1	6	48	125	6	18,493	36,701

Tablo A.3: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneğinin bulanık matematiksel modelinin sabit ağırlıklandırma yöntemi için yapılan deney sonuçlarındaki dengeleme boşluğu ve düzgünlük indeksi değerleri (Devamı)

24	24	1	0	33	107	0	13,892	32,818
25	25	1	16	63	143	10,198	23,685	40,951
26	26	1	14	63	143	7,6158	23,345	40,951
27	27	1	0	33	107	0	13,153	32,634
28	28	1	8	48	125	5,831	19,596	37,162
29	29	1	17	63	143	10,44	23,854	41,024
30	30	1	11	63	143	8,544	22,159	40,608
Ortalama			8,1	49	126,2	5,774	19,021	37,1431
31	1	2	6	48	125	6	17,378	36,455
32	2	2	6	48	125	6	19,391	37,269
33	3	2	8	48	125	8	19,494	37
34	4	2	6	48	125	6	18,276	36,647
35	5	2	0	33	107	0	13,82	32,634
36	6	2	18	63	143	10,392	24,062	41
37	7	2	0	33	107	0	14,248	33
38	8	2	17	63	143	12,042	23,431	40,951
39	9	2	8	48	125	8	19,391	37,323
40	10	2	12	63	143	7,3485	23,77	41,024
41	11	2	23	78	161	12,042	26,42	44,283
42	12	2	0	33	107	0	13,892	32,634
43	13	2	8	48	125	8	19,235	37,216
44	14	2	27	78	161	12,689	28,425	44,978
45	15	2	3	33	107	3	14,866	33
46	16	2	12	48	125	9,4868	19,647	37,403
47	17	2	9	48	125	6,7082	19,9	37,189



Tablo A.3: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneğinin bulanık matematiksel modelinin sabit ağırlıklandırma yöntemi için yapılan deney sonuçlarındaki dengeleme boşluğu ve düzgünlük indeksi değerleri (Devamı)

48	18	2	19	63	143	11,533	24,104	41,146
49	19	2	8	48	125	6,3246	18,33	36,81
50	20	2	6	48	125	6	18,708	36,783
51	21	2	0	33	107	0	13,82	32,634
52	22	2	6	48	125	6	18,33	36,81
53	23	2	0	33	107	0	14,248	33
54	24	2	0	33	107	0	14,248	33
55	25	2	14	63	143	10	22,517	40,583
56	26	2	0	33	107	0	13,304	32,419
57	27	2	14	63	143	8,3666	23,302	40,853
58	28	2	3	48	125	3	18,868	37,081
59	29	2	0	33	107	0	13,748	32,787
60	30	2	3	48	125	3	18,921	37,027
Ortalama			7,87	48,5	125,6	5,664	18,936	37,0313
61	1	5	0	33	107	0	12,207	32,171
62	2	5	25	63	143	14,457	24,678	41,364
63	3	5	0	33	107	0	12,207	32,171
64	4	5	8	48	125	6,3246	18,33	36,81
65	5	5	6	48	125	6	18,385	36,701
66	6	5	0	33	107	0	13,601	32,45
67	7	5	0	33	107	0	12,689	32,265
68	8	5	12	48	125	9,4868	20	37,189
69	9	5	5	48	125	3,6056	18,815	37
70	10	5	0	33	107	0	12,207	32,171
71	11	5	0	33	107	0	13,153	32,634

Tablo A.3: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneğinin bulanık matematiksel modelinin sabit ağırlıklandırma yöntemi için yapılan deney sonuçlarındaki dengeleme boşluğu ve düzgünlük indeksi değerleri (Devamı)

72	12	5	6	48	125	6	18,111	36,729
73	13	5	0	33	107	0	13,82	32,634
74	14	5	0	33	107	0	13,304	32,696
75	15	5	0	33	107	0	13,454	32,696
76	16	5	17	63	143	10,44	23,937	41,243
77	17	5	5	48	125	5	18,655	36,919
78	18	5	2	33	107	2	13,528	32,696
79	19	5	6	48	125	6	19,183	37,027
80	20	5	11	63	143	8,544	22,913	40,755
81	21	5	0	33	107	0	13,153	32,634
82	22	5	0	33	107	0	13,82	32,848
83	23	5	5	48	125	3,6056	18	36,674
84	24	5	9	48	125	9	18,385	36,701
85	25	5	0	33	107	0	14,248	33
86	26	5	8	48	125	5,831	19,442	37,242
87	27	5	8	48	125	8	18,868	36,837
88	28	5	0	33	107	0	12,845	32,357
89	29	5	0	33	107	0	14,248	33
90	30	5	11	48	125	8,544	19,287	37,027
	Ortalama		4,8	42	117,8	3,761	16,516	35,155
91	1	10	0	33	107	0	12,207	32,171
92	2	10	8	48	125	5,831	19,131	37,162
93	3	10	12	48	125	8,4853	18,493	36,674
94	4	10	6	48	125	4,2426	18,111	36,701
95	5	10	0	33	107	0	13	32,326

Tablo A.3: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneğinin bulanık matematiksel modelinin sabit ağırlıklandırma yöntemi için yapılan deney sonuçlarındaki dengeleme boşluğu ve düzgünlük indeksi değerleri (Devamı)

96	6	10	8	48	125	8	19,183	37,162
97	7	10	17	63	143	10,44	23,302	40,878
98	8	10	8	48	125	8	18,276	36,674
99	9	10	6	48	125	6	18,166	36,892
100	10	10	5	48	125	3,6056	19,391	37,108
101	11	10	0	33	107	0	13	32,326
102	12	10	0	33	107	0	13,892	32,696
103	13	10	20	63	143	12,41	24,31	41,17
104	14	10	0	33	107	0	12,207	32,171
105	15	10	0	33	107	0	14,526	33,061
106	16	10	0	33	107	0	13,153	32,634
107	17	10	2	33	107	2	12,61	32,234
108	18	10	0	33	107	0	13,675	32,604
109	19	10	0	33	107	0	12,369	32,234
110	20	10	0	33	107	0	13,379	32,542
111	21	10	13	63	143	8,775	22,383	40,608
112	22	10	19	63	143	11,705	23,516	41,122
113	23	10	6	48	125	6	18,33	36,81
114	24	10	22	63	143	12,806	24,678	41,364
115	25	10	0	33	107	0	13,82	32,634
116	26	10	12	63	143	8,4853	21,331	40,262
117	27	10	3	33	107	3	14,866	33
118	28	10	8	48	125	6,3246	18,385	36,62
119	29	10	0	33	107	0	13,454	32,696
120	30	10	11	48	125	8,544	19,545	37,242

Tablo A.3: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneğinin bulanık matematiksel modelinin sabit ağırlıklandırma yöntemi için yapılan deney sonuçlarındaki dengeleme boşluğu ve düzgünlük indeksi değerleri (Devamı)

	Ortalama		6,2	44	120,2	4,489	17,09	35,659
121	1	20	0	33	107	0	12,53	32,234
122	2	20	11	48	125	8,544	20,199	37,269
123	3	20	5	48	125	5	18,166	36,919
124	4	20	14	63	143	8,3666	22,159	40,509
125	5	20	8	48	125	5,831	17,493	36,51
126	6	20	11	48	125	8,544	18,493	36,701
127	7	20	8	48	125	6,3246	18,493	36,756
128	8	20	0	33	107	0	12,845	32,326
129	9	20	0	33	107	0	12,689	32,265
130	10	20	5	48	125	5	17,833	36,592
131	11	20	8	48	125	5,831	18,815	36,837
132	12	20	16	63	143	9,8995	23,173	40,829
133	13	20	11	48	125	8,544	19,442	36,946
134	14	20	8	48	125	8	18,655	36,81
135	15	20	8	48	125	8	18,601	36,837
136	16	20	0	33	107	0	12,369	32,234
137	17	20	0	33	107	0	13,601	32,45
138	18	20	8	48	125	8	19,287	37,216
139	19	20	8	48	125	8	19,079	37
140	20	20	0	33	107	0	12,689	32,265
141	21	20	8	48	125	8	18,974	36,892
142	22	20	0	33	107	0	13,304	32,696
143	23	20	8	48	125	8	18,868	36,837
144	24	20	0	33	107	0	12,369	32,234

Tablo A.3: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneğinin bulanık matematiksel modelinin sabit ağırlıklandırma yöntemi için yapılan deney sonuçlarındaki dengeleme boşluğu ve düzgünlük indeksi değerleri (Devamı)

145	25	20	2	33	107	2	13	32,357
146	26	20	2	33	107	2	13,454	32,45
147	27	20	2	33	107	2	13,528	32,696
148	28	20	9	48	125	9	19,131	36,892
149	29	20	6	48	125	4,2426	19,849	37,269
150	30	20	0	33	107	0	12,845	32,326
Ortalama			5,53	43	119	4,638	16,7311	35,338
151	1	30	0	33	107	0	12,53	32,234
152	2	30	0	33	107	0	12,369	32,234
153	3	30	0	33	107	0	12,845	32,326
154	4	30	0	33	107	0	13	32,326
155	5	30	0	33	107	0	12,369	32,234
156	6	30	0	33	107	0	12,369	32,234
157	7	30	8	48	125	5,831	19,131	37,162
158	8	30	16	63	143	11,314	23	40,755
159	9	30	13	63	143	9,434	22,383	40,608
160	10	30	0	33	107	0	12,845	32,326
161	11	30	0	33	107	0	12,689	32,265
162	12	30	0	33	107	0	12,369	32,234
163	13	30	6	48	125	6	17,833	36,565
164	14	30	9	48	125	6,7082	18,815	36,892
165	15	30	0	33	107	0	12,845	32,326
166	16	30	0	33	107	0	12,207	32,171
167	17	30	8	48	125	8	18,974	36,892
168	18	30	0	33	107	0	12,207	32,171

Tablo A.3: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneğinin bulanık matematiksel modelinin sabit ağırlıklandırma yöntemi için yapılan deney sonuçlarındaki dengeleme boşluğu ve düzgünlük indeksi değerleri (Devamı)

169	19	30	0	33	107	0	13,304	32,696
170	20	30	3	48	125	3	17,263	36,483
171	21	30	0	33	107	0	13,304	32,696
172	22	30	0	33	107	0	12,845	32,326
173	23	30	0	33	107	0	12,845	32,326
174	24	30	0	33	107	0	12,845	32,326
175	25	30	8	48	125	5,831	18,493	36,756
176	26	30	19	63	143	11,18	23,087	40,78
177	27	30	0	33	107	0	12,53	32,234
178	28	30	14	48	125	10	19,235	36,919
179	29	30	8	48	125	8	18,655	36,81
180	30	30	0	33	107	0	12,369	32,234
Ortalama			3,733	40	115,4	2,843	15,252	34,351
181	1	50	0	33	107	0	13,304	32,696
182	2	50	0	33	107	0	13,229	32,726
183	3	50	0	33	107	0	12,369	32,234
184	4	50	0	33	107	0	12,689	32,296
185	5	50	0	33	107	0	12,845	32,326
186	6	50	0	33	107	0	13,304	32,696
187	7	50	9	48	125	9	19,131	36,892
188	8	50	17	63	143	10,724	22,956	40,731
189	9	50	8	48	125	5,831	19,9	37,483
190	10	50	0	33	107	0	12,689	32,265
191	11	50	0	33	107	0	12,689	32,265
192	12	50	0	33	107	0	14,036	32,879

Tablo A.3: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneğinin bulanık matematiksel modelinin sabit ağırlıklandırma yöntemi için yapılan deney sonuçlarındaki dengeleme boşluğu ve düzgünlük indeksi değerleri (Devamı)

193	13	50	0	33	107	0	12,689	32,265
194	14	50	14	48	125	10	19,026	36,81
195	15	50	22	63	143	12,806	23,77	40,976
196	16	50	0	33	107	0	13,304	32,696
197	17	50	8	48	125	8	19,183	37,162
198	18	50	6	48	125	6	17,607	36,538
199	19	50	0	33	107	0	12,207	32,171
200	20	50	9	48	125	6,7082	19,442	37,216
201	21	50	6	48	125	6	17,833	36,565
202	22	50	8	48	125	8	18,974	36,892
203	23	50	0	33	107	0	13,454	32,696
204	24	50	0	33	107	0	12,207	32,171
205	25	50	0	33	107	0	12,845	32,326
206	26	50	2	33	107	2	12,61	32,234
207	27	50	8	48	125	5,831	19,287	37,081
208	28	50	0	33	107	0	12,689	32,265
209	29	50	0	33	107	0	12,845	32,326
210	30	50	8	48	125	5,831	18,493	36,756
Ortalama			4,17	40	115,4	3,224	15,587	34,488
211	1	100	8	48	125	5,831	17,833	36,592
212	2	100	8	48	125	8	18,974	36,892
213	3	100	0	33	107	0	12,369	32,234
214	4	100	8	48	125	8	18,974	36,892
215	5	100	8	48	125	5,831	19,9	37,483
216	6	100	0	33	107	0	12,845	32,326

Tablo A.3: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneğinin bulanık matematiksel modelinin sabit ağırlıklandırma yöntemi için yapılan deney sonuçlarındaki dengeleme boşluğu ve düzgünlük indeksi değerleri (Devamı)

217	7	100	6	48	125	6	17,493	36,483
218	8	100	0	33	107	0	12,845	32,326
219	9	100	8	48	125	8	18,655	36,81
220	10	100	8	48	125	5,831	18,493	36,756
221	11	100	0	33	107	0	12,369	32,234
222	12	100	0	33	107	0	12,369	32,234
223	13	100	0	33	107	0	13,304	32,696
224	14	100	0	33	107	0	13,304	32,696
225	15	100	0	33	107	0	12,369	32,234
226	16	100	0	33	107	0	12,369	32,234
227	17	100	0	33	107	0	12,845	32,326
228	18	100	6	48	125	6	18,166	36,892
229	19	100	6	48	125	6	17,493	36,483
230	20	100	0	33	107	0	12,207	32,171
231	21	100	0	33	107	0	12,845	32,326
232	22	100	2	33	107	2	13,892	32,818
233	23	100	6	48	125	6	17,607	36,538
234	24	100	8	48	125	8	18,655	36,81
235	25	100	8	48	125	5,831	18,493	36,756
236	26	100	0	33	107	0	13,601	32,512
237	27	100	8	48	125	8	18,974	36,892
238	28	100	16	63	143	9,8995	23,173	40,829
239	29	100	0	33	107	0	12,288	32,265
240	30	100	0	33	107	0	12,845	32,326
Ortalama			3,8	40,5	116	3,308	15,585	34,569



Tablo A.4: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneği için yapılan bulanık matematiksel modelinin sabit ağırlıklı metot deneyinde amaç fonksiyonu ve hat etkinliği sonuçları.

Deney No	Hat Etkinliği (1)	Hat Etkinliği (2)	Hat Etkinliği (3)	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	Zaman
1	0,46581	0,75385	1	13	20,678	81	846	0,003166	109,17
2	0,46581	0,75385	1	13	20,779	78	866	0,00311	275,32
3	0,43254	0,7	1	14	24,454	82	866	0,003085	311,66
4	0,46581	0,75385	1	13	21,188	78	868	0,003102	141,76
5	0,46581	0,75385	1	13	19,07	80	864	0,003115	318,04
6	0,50463	0,81667	1	12	15,071	82	872	0,003096	322,14
7	0,50463	0,81667	1	12	14,735	78	860	0,003149	151,79
8	0,43254	0,7	1	14	23,536	79	857	0,003127	320,99
9	0,46581	0,75385	1	13	20,618	80	870	0,003091	166,01
10	0,46581	0,75385	1	13	18,359	80	863	0,003121	465,7
11	0,50463	0,81667	1	12	14,323	82	856	0,00315	302,17
12	0,50463	0,81667	1	12	15,374	78	861	0,003143	443,02
13	0,43254	0,7	1	14	25,242	79	856	0,003124	179,3
14	0,46581	0,75385	1	13	20,882	79	859	0,003129	263,18
15	0,46581	0,75385	1	13	19,935	80	855	0,003142	139,48
16	0,46581	0,75385	1	13	21,213	82	853	0,003137	22,633
17	0,43254	0,7	1	14	24,896	83	861	0,003096	229,91
18	0,50463	0,81667	1	12	16,286	82	866	0,003111	362,38
19	0,46581	0,75385	1	13	20,075	80	858	0,003131	19,863
20	0,43254	0,7	1	14	24,348	79	857	0,003124	368,4
21	0,46581	0,75385	1	13	19,698	83	860	0,003116	409,39
22	0,46581	0,75385	1	13	19,467	78	857	0,003143	406,4
23	0,46581	0,75385	1	13	19,922	80	851	0,003155	96,825

Tablo A.4: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneği için yapılan bulanık matematiksel modelinin sabit ağırlıklı metot deneyinde amaç fonksiyonu ve hat etkinliği sonuçları (Devamı)

24	0,50463	0,81667	1	12	15,151	81	868	0,003112	443,07
25	0,43254	0,7	1	14	24,63	82	850	0,003136	251,81
26	0,43254	0,7	1	14	23,814	80	857	0,003122	149,41
27	0,50463	0,81667	1	12	14,735	79	864	0,003132	235,17
28	0,46581	0,75385	1	13	20,546	81	863	0,00311	36,436
29	0,43254	0,7	1	14	24,793	80	863	0,0031	457,16
30	0,43254	0,7	1	14	23,367	79	867	0,003095	59,352
<b>Ortalama</b>	<b>0,464887</b>	<b>0,752353</b>	<b>1</b>	<b>13,07</b>	<b>20,24</b>	<b>80,17</b>	<b>860,47</b>	<b>,0031122</b>	<b>249</b>
31	0,46581	0,75385	1	13	19,303	79	863	0,003121	304,01
32	0,46581	0,75385	1	13	20,513	80	861	0,00312	370,38
33	0,46581	0,75385	1	13	20,997	79	857	0,003135	52,673
34	0,46581	0,75385	1	13	19,8	80	864	0,003113	469,18
35	0,50463	0,81667	1	12	15,069	77	859	0,003154	141,68
36	0,43254	0,7	1	14	24,879	77	845	0,003168	91,292
37	0,50463	0,81667	1	12	15,374	80	873	0,003098	297,88
38	0,43254	0,7	1	14	24,964	78	854	0,003135	222,23
39	0,46581	0,75385	1	13	21,026	79	858	0,003131	154,94
40	0,43254	0,7	1	14	23,978	80	850	0,003145	389,78
41	0,4037	0,65333	1	15	27,291	79	853	0,003127	486,69
42	0,50463	0,81667	1	12	15,105	80	865	0,003125	334,02
43	0,46581	0,75385	1	13	20,922	79	860	0,003125	445,75
44	0,4037	0,65333	1	15	28,629	79	850	0,003133	44,033
45	0,50463	0,81667	1	12	16,433	78	861	0,00314	56,321
46	0,46581	0,75385	1	13	21,546	79	861	0,00312	237,58
47	0,46581	0,75385	1	13	20,924	81	851	0,003148	340,28

Tablo A.4: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneği için yapılan bulanık matematiksel modelinin sabit ağırlıklı metot deneyinde amaç fonksiyonu ve hat etkinliği sonuçları (Devamı)

48	0,43254	0,7	1	14	25,222	79	855	0,003128	23,544
49	0,46581	0,75385	1	13	19,949	80	859	0,003128	84,486
50	0,46581	0,75385	1	13	20,05	80	860	0,003125	480,47
51	0,50463	0,81667	1	12	15,069	78	858	0,003154	428,78
52	0,46581	0,75385	1	13	19,868	79	849	0,003165	292,82
53	0,50463	0,81667	1	12	15,374	80	872	0,003101	210,16
54	0,50463	0,81667	1	12	15,374	79	860	0,003143	30,573
55	0,43254	0,7	1	14	23,904	80	858	0,003119	269,56
56	0,50463	0,81667	1	12	14,757	78	855	0,003165	258,83
57	0,43254	0,7	1	14	23,956	82	856	0,003119	134,79
58	0,46581	0,75385	1	13	19,454	81	861	0,00312	251,48
59	0,50463	0,81667	1	12	15,071	79	865	0,003128	458,76
60	0,46581	0,75385	1	13	19,467	81	855	0,00314	442,18
<b>Ortalama</b>	<b>0,46667</b>	<b>0,75522</b>	<b>1</b>	<b>13,03</b>	<b>20,14</b>	<b>79,3</b>	<b>858,27</b>	<b>0,003132</b>	<b>260</b>
61	0,50463	0,81667	1	12	14,146	78	860	0,003151	132,31
62	0,43254	0,7	1	14	26,294	81	848	0,00314	412,96
63	0,50463	0,81667	1	12	14,146	79	860	0,003148	133,41
64	0,46581	0,75385	1	13	19,949	79	852	0,003155	486,46
65	0,46581	0,75385	1	13	19,868	79	855	0,003145	9,8649
66	0,50463	0,81667	1	12	14,913	78	851	0,003178	415,51
67	0,50463	0,81667	1	12	14,41	79	861	0,003143	322,46
68	0,46581	0,75385	1	13	21,669	78	844	0,003179	437,3
69	0,46581	0,75385	1	13	19,559	78	851	0,003163	70,025
70	0,50463	0,81667	1	12	14,146	79	858	0,003154	216,62
71	0,50463	0,81667	1	12	14,735	78	855	0,003165	466,14

Tablo A.4: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneği için yapılan bulanık matematiksel modelinin sabit ağırlıklı metot deneyinde amaç fonksiyonu ve hat etkinliği sonuçları (Devamı)

72	0,46581	0,75385	1	13	19,738	77	859	0,003139	285,46
73	0,50463	0,81667	1	12	15,069	79	858	0,003151	132,01
74	0,50463	0,81667	1	12	14,826	80	850	0,003175	488,33
75	0,50463	0,81667	1	12	14,901	78	842	0,003209	481,93
76	0,43254	0,7	1	14	24,89	78	839	0,003185	480,05
77	0,46581	0,75385	1	13	19,807	80	857	0,003135	338,78
78	0,50463	0,81667	1	12	15,438	83	848	0,00317	354,2
79	0,46581	0,75385	1	13	20,348	79	857	0,003137	80,317
80	0,43254	0,7	1	14	23,781	79	843	0,003172	249,74
81	0,50463	0,81667	1	12	14,735	78	855	0,003165	232,09
82	0,50463	0,81667	1	12	15,122	78	849	0,003184	34,202
83	0,46581	0,75385	1	13	19,07	78	851	0,003164	211,12
84	0,46581	0,75385	1	13	20,618	78	854	0,003149	314,33
85	0,50463	0,81667	1	12	15,374	78	863	0,003137	41,582
86	0,46581	0,75385	1	13	20,489	77	848	0,003173	50,057
87	0,46581	0,75385	1	13	20,643	78	856	0,003143	30,125
88	0,50463	0,81667	1	12	14,512	77	851	0,003183	172,57
89	0,50463	0,81667	1	12	15,374	78	855	0,003163	8,4277
90	0,46581	0,75385	1	13	21,036	76	844	0,003188	377,58
<b>Ortalama</b>	<b>0,481893</b>	<b>0,779875</b>	<b>1</b>	<b>12,6</b>	<b>17,99</b>	<b>78,5</b>	<b>852,47</b>	<b>0,003161</b>	<b>249</b>
91	0,50463	0,81667	1	12	14,146	75	833	0,003253	5,6062
92	0,46581	0,75385	1	13	20,314	76	832	0,003232	106,68
93	0,46581	0,75385	1	13	20,537	77	844	0,003186	45,682
94	0,46581	0,75385	1	13	19,291	76	842	0,003201	441,32
95	0,50463	0,81667	1	12	14,582	74	813	0,003328	487,22

Tablo A.4: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneği için yapılan bulanık matematiksel modelinin sabit ağırlıklı metot deneyinde amaç fonksiyonu ve hat etkinliği sonuçları (Devamı)

96	0,46581	0,75385	1	13	20,882	77	838	0,003206	95,84
97	0,43254	0,7	1	14	24,481	79	831	0,00321	10,767
98	0,46581	0,75385	1	13	20,306	75	840	0,003208	257,56
99	0,46581	0,75385	1	13	19,806	77	841	0,003199	234,01
100	0,46581	0,75385	1	13	19,874	81	843	0,003178	266,97
101	0,50463	0,81667	1	12	14,582	78	840	0,003217	318,43
102	0,50463	0,81667	1	12	15,12	78	851	0,003178	84,21
103	0,43254	0,7	1	14	25,55	77	826	0,003231	488,03
104	0,50463	0,81667	1	12	14,146	77	842	0,003215	430,49
105	0,50463	0,81667	1	12	15,528	78	844	0,0032	454,1
106	0,50463	0,81667	1	12	14,735	78	856	0,003162	353,41
107	0,50463	0,81667	1	12	14,863	79	839	0,003216	109,39
108	0,50463	0,81667	1	12	14,988	79	844	0,003198	395,32
109	0,50463	0,81667	1	12	14,243	77	831	0,003253	114,84
110	0,50463	0,81667	1	12	14,825	79	858	0,003152	460,93
111	0,43254	0,7	1	14	23,537	77	826	0,003238	112,62
112	0,43254	0,7	1	14	24,965	76	836	0,003202	251,92
113	0,46581	0,75385	1	13	19,868	77	840	0,003202	212,45
114	0,43254	0,7	1	14	25,882	80	844	0,003158	360,37
115	0,50463	0,81667	1	12	15,069	77	851	0,003181	16,373
116	0,43254	0,7	1	14	22,852	77	840	0,003192	283,26
117	0,50463	0,81667	1	12	16,433	75	835	0,003238	82,057
118	0,46581	0,75385	1	13	19,928	77	835	0,003219	450,61
119	0,50463	0,81667	1	12	14,901	80	846	0,003188	252,73
120	0,46581	0,75385	1	13	21,219	76	837	0,003211	149,23

Tablo A.4: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneği için yapılan bulanık matematiksel modelinin sabit ağırlıklı metot deneyinde amaç fonksiyonu ve hat etkinliği sonuçları (Devamı)

Ortalama	0,477272	0,772396	1	12,73	18,58	77,3	839,27	,003208	244
121	0,50463	0,81667	1	12	14,323	78	840	0,003218	9,9171
122	0,46581	0,75385	1	13	21,553	77	841	0,003193	433,82
123	0,46581	0,75385	1	13	19,563	77	844	0,00319	246,36
124	0,43254	0,7	1	14	23,298	76	835	0,003211	481,69
125	0,46581	0,75385	1	13	19,332	75	836	0,003225	117,57
126	0,46581	0,75385	1	13	20,558	76	843	0,003193	220,8
127	0,46581	0,75385	1	13	20,017	77	817	0,003282	425,16
128	0,50463	0,81667	1	12	14,504	76	834	0,003245	105,7
129	0,50463	0,81667	1	12	14,41	74	826	0,003281	84,992
130	0,46581	0,75385	1	13	19,314	75	842	0,003204	238,66
131	0,46581	0,75385	1	13	20,075	75	828	0,00325	290,3
132	0,43254	0,7	1	14	24,269	76	831	0,003221	300,87
133	0,46581	0,75385	1	13	21,094	77	829	0,003236	18,1
134	0,46581	0,75385	1	13	20,53	75	825	0,003259	172,08
135	0,46581	0,75385	1	13	20,51	78	820	0,003266	11,886
136	0,50463	0,81667	1	12	14,243	78	829	0,003257	136,29
137	0,50463	0,81667	1	12	14,913	76	842	0,003216	498,2
138	0,46581	0,75385	1	13	20,948	75	826	0,003254	428,81
139	0,46581	0,75385	1	13	20,789	75	836	0,00322	317,38
140	0,50463	0,81667	1	12	14,41	73	828	0,003277	312,07
141	0,46581	0,75385	1	13	20,71	74	822	0,003273	492,03
142	0,50463	0,81667	1	12	14,826	75	826	0,003276	58,945
143	0,46581	0,75385	1	13	20,643	76	830	0,003238	330,7
144	0,50463	0,81667	1	12	14,243	75	826	0,003278	305,3

Tablo A.4: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneği için yapılan bulanık matematiksel modelinin sabit ağırlıklı metot deneyinde amaç fonksiyonu ve hat etkinliği sonuçları (Devamı)

145	0,50463	0,81667	1	12	15,089	77	835	0,003236	100,23
146	0,50463	0,81667	1	12	15,339	78	822	0,003278	259,72
147	0,50463	0,81667	1	12	15,438	78	840	0,003214	133,46
148	0,46581	0,75385	1	13	21,038	78	835	0,003212	35,329
149	0,46581	0,75385	1	13	20,303	78	843	0,003187	61,944
150	0,50463	0,81667	1	12	14,504	77	825	0,003273	493,42
<b>Ortalama</b>	<b>0,47912</b>	<b>0,775388</b>	<b>1</b>	<b>12,67</b>	<b>18,36</b>	<b>76,17</b>	<b>831,87</b>	<b>0,003239</b>	<b>237</b>
151	0,50463	0,81667	1	12	14,323	75	815	0,003317	207,28
152	0,50463	0,81667	1	12	14,243	75	825	0,003281	100,63
153	0,50463	0,81667	1	12	14,504	74	823	0,003291	424,13
154	0,50463	0,81667	1	12	14,582	77	837	0,003231	279,68
155	0,50463	0,81667	1	12	14,243	76	829	0,003264	376,19
156	0,50463	0,81667	1	12	14,243	75	839	0,003232	452,7
157	0,46581	0,75385	1	13	20,314	76	832	0,003232	187,86
158	0,43254	0,7	1	14	24,517	75	823	0,003252	251,89
159	0,43254	0,7	1	14	23,702	74	817	0,00328	91,687
160	0,50463	0,81667	1	12	14,504	74	823	0,003291	16,157
161	0,50463	0,81667	1	12	14,41	76	829	0,003263	280,4
162	0,50463	0,81667	1	12	14,243	76	829	0,003264	418,71
163	0,46581	0,75385	1	13	19,558	73	811	0,00332	306,89
164	0,46581	0,75385	1	13	20,307	74	817	0,003292	242,2
165	0,50463	0,81667	1	12	14,504	74	823	0,003291	487,43
166	0,50463	0,81667	1	12	14,146	75	830	0,003264	112,08
167	0,46581	0,75385	1	13	20,71	75	825	0,003258	431,28
168	0,50463	0,81667	1	12	14,146	76	834	0,003246	132,65

Tablo A.4: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneği için yapılan bulanık matematiksel modelinin sabit ağırlıklı metot deneyinde amaç fonksiyonu ve hat etkinliği sonuçları (Devamı)

169	0,50463	0,81667	1	12	14,826	76	830	0,003258	220,97
170	0,46581	0,75385	1	13	18,502	77	831	0,003238	19,924
171	0,50463	0,81667	1	12	14,826	75	826	0,003276	66,853
172	0,50463	0,81667	1	12	14,504	74	824	0,003288	85,271
173	0,50463	0,81667	1	12	14,504	74	823	0,003291	182,33
174	0,50463	0,81667	1	12	14,504	74	823	0,003291	185,53
175	0,46581	0,75385	1	13	19,893	76	831	0,003237	376,98
176	0,43254	0,7	1	14	24,533	75	808	0,003306	299,81
177	0,50463	0,81667	1	12	14,323	75	815	0,003317	470,63
178	0,46581	0,75385	1	13	21,347	77	812	0,003295	262,34
179	0,46581	0,75385	1	13	20,53	75	825	0,003259	296,8
180	0,50463	0,81667	1	12	14,243	75	826	0,003278	441,15
<b>Ortalama</b>	<b>0,487069</b>	<b>0,788251</b>	<b>1</b>	<b>12,47</b>	<b>16,924</b>	<b>75,1</b>	<b>824,5</b>	<b>00,3273</b>	<b>257</b>
181	0,50463	0,81667	1	12	14,826	75	826	0,003276	41,923
182	0,50463	0,81667	1	12	14,796	79	826	0,003262	11,021
183	0,50463	0,81667	1	12	14,243	75	825	0,003281	60,763
184	0,50463	0,81667	1	12	14,418	76	818	0,003302	455,16
185	0,50463	0,81667	1	12	14,504	74	823	0,003291	226,93
186	0,50463	0,81667	1	12	14,826	75	828	0,003269	412,36
187	0,46581	0,75385	1	13	21,038	76	828	0,003243	426,65
188	0,43254	0,7	1	14	24,342	77	838	0,003194	87,297
189	0,46581	0,75385	1	13	20,778	77	835	0,003216	462,73
190	0,50463	0,81667	1	12	14,41	74	826	0,003281	251,85
191	0,50463	0,81667	1	12	14,41	74	827	0,003277	53,859
192	0,50463	0,81667	1	12	15,237	78	835	0,003232	190,24



Tablo A.4: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneği için yapılan bulanık matematiksel modelinin sabit ağırlıklı metot deneyinde amaç fonksiyonu ve hat etkinliği sonuçları (Devamı)

193	0,50463	0,81667	1	12	14,41	75	832	0,003256	272,26
194	0,46581	0,75385	1	13	21,216	76	828	0,003243	143,88
195	0,43254	0,7	1	14	25,33	77	812	0,003281	151,49
196	0,50463	0,81667	1	12	14,826	75	828	0,003269	437,8
197	0,46581	0,75385	1	13	20,882	75	830	0,00324	142,5
198	0,46581	0,75385	1	13	19,438	75	818	0,003288	303,74
199	0,50463	0,81667	1	12	14,146	75	828	0,003271	362,55
200	0,46581	0,75385	1	13	20,702	75	818	0,003283	36,785
201	0,46581	0,75385	1	13	19,558	76	837	0,003217	64,024
202	0,46581	0,75385	1	13	20,71	77	826	0,003248	352,25
203	0,50463	0,81667	1	12	14,901	75	815	0,003315	482,65
204	0,50463	0,81667	1	12	14,146	75	837	0,003239	434,16
205	0,50463	0,81667	1	12	14,504	74	823	0,003291	343,87
206	0,50463	0,81667	1	12	14,863	78	829	0,003254	431,18
207	0,46581	0,75385	1	13	20,372	77	834	0,003221	216,56
208	0,50463	0,81667	1	12	14,41	74	828	0,003274	427,11
209	0,50463	0,81667	1	12	14,504	74	822	0,003295	35,903
210	0,46581	0,75385	1	13	19,893	74	812	0,003312	363,09
<b>Ortalama</b>	<b>0,486884</b>	<b>0,787952</b>	<b>1</b>	<b>12,47</b>	<b>17,221</b>	<b>75,57</b>	<b>826,4</b>	<b>0,003264</b>	<b>256</b>
211	0,46581	0,75385	1	13	19,522	74	830	0,003248	380,97
212	0,46581	0,75385	1	13	20,71	74	823	0,003269	108,02
213	0,50463	0,81667	1	12	14,243	75	826	0,003278	139,48
214	0,46581	0,75385	1	13	20,71	74	824	0,003265	450,21
215	0,46581	0,75385	1	13	20,778	76	832	0,00323	130,78
216	0,50463	0,81667	1	12	14,504	74	822	0,003295	355,33

Tablo A.4: 25 parçadan oluşan cep telefonu örneği için yapılan bulanık matematiksel modelinin sabit ağırlıklı metot deneyinde amaç fonksiyonu ve hat etkinliği sonuçları (Devamı)

217	0,46581	0,75385	1	13	19,367	74	814	0,003306	82,851
218	0,50463	0,81667	1	12	14,504	74	823	0,003291	440,04
219	0,46581	0,75385	1	13	20,53	75	828	0,003248	307,1
220	0,46581	0,75385	1	13	19,893	76	831	0,003237	318,44
221	0,50463	0,81667	1	12	14,243	75	825	0,003281	156,17
222	0,50463	0,81667	1	12	14,243	75	826	0,003278	495,5
223	0,50463	0,81667	1	12	14,826	75	826	0,003276	473,93
224	0,50463	0,81667	1	12	14,826	75	827	0,003272	339,72
225	0,50463	0,81667	1	12	14,243	75	826	0,003278	360,01
226	0,50463	0,81667	1	12	14,243	75	826	0,003278	277,51
227	0,50463	0,81667	1	12	14,504	74	822	0,003295	469,22
228	0,46581	0,75385	1	13	19,806	77	841	0,003199	233,88
229	0,46581	0,75385	1	13	19,367	75	817	0,003292	93,823
230	0,50463	0,81667	1	12	14,146	76	831	0,003257	67,803
231	0,50463	0,81667	1	12	14,504	74	823	0,003291	96,667
232	0,50463	0,81667	1	12	15,651	79	819	0,003284	78,111
233	0,46581	0,75385	1	13	19,438	75	818	0,003288	248,93
234	0,46581	0,75385	1	13	20,53	76	828	0,003245	250,69
235	0,46581	0,75385	1	13	19,893	73	805	0,003341	90,586
236	0,50463	0,81667	1	12	14,929	77	831	0,003251	177,99
237	0,46581	0,75385	1	13	20,71	74	823	0,003269	362,58
238	0,43254	0,7	1	14	24,269	73	805	0,003325	111,93
239	0,50463	0,81667	1	12	14,21	78	824	0,003274	148,44
240	0,50463	0,81667	1	12	14,504	74	824	0,003288	125,42
Ortalama	0,485405	0,785559	1	12,5	17,262	75	824	0,003274	246

Tablo A.5: 47 parçadan oluşan dizüstü bilgisayar örneğinin bulanık matematiksel modelinin leksikografik yöntem için yapılan deney sonuçlarındaki dengeleme boşluğu ve düzgünlük indeksi değerleri.

Deney No	Test No	İterasyon Limiti	Dengeleme Boşluğu (1)	Dengeleme Boşluğu (2)	Dengeleme Boşluğu (3)	Düzensüzlük İndeksi (1)	Düzensüzlük İndeksi (2)	Düzensüzlük İndeksi (3)
1	1	100	0	184	388	0	61,822	126,4
2	2	100	0	184	388	0	61,838	126,36
3	3	100	0	184	388	0	61,725	126,33
4	4	100	0	184	388	0	62,016	126,63
5	5	100	0	184	388	0	62,161	126,55
6	6	100	0	184	388	0	61,66	126,38
7	7	100	0	184	388	0	62,209	126,53
8	8	100	0	184	388	0	61,838	126,48
9	9	100	0	184	388	0	62,016	126,4
10	10	100	0	184	388	0	62,113	126,49
11	11	100	0	184	388	0	62,113	126,51
12	12	100	0	184	388	0	61,774	126,32
13	13	100	0	184	388	0	61,919	126,52
14	14	100	0	184	388	0	62,113	126,74
15	15	100	0	184	388	0	62,048	126,43
16	16	100	0	184	388	0	62,048	126,3
17	17	100	0	184	388	0	62,048	126,44
18	18	100	0	184	388	0	61,968	126,4
19	19	100	0	184	388	0	61,984	126,46
20	20	100	0	184	388	0	62,016	126,48
	<b>Ortalama</b>		<b>0</b>	<b>184</b>	<b>388</b>	<b>0</b>	<b>61,971</b>	<b>126,4575</b>
21	1	200	0	184	388	0	62,37	126,69
22	2	200	0	184	388	0	62,177	126,47

Tablo A.5: 47 parçadan oluşan dizüstü bilgisayar örneğinin bulanık matematiksel modelinin leksikografik yöntem için yapılan deney sonuçlarındaki dengeleme boşluğu ve düzgünlük indeksi değerleri (Devamı)

23	3	200	0	184	388	0	61,855	126,45
24	4	200	0	184	388	0	61,758	126,46
25	5	200	0	184	388	0	62,032	126,39
26	6	200	0	184	388	0	62,338	126,77
27	7	200	0	184	388	0	62,081	126,4
28	8	200	0	184	388	0	62,081	126,4
29	9	200	0	184	388	0	62,016	126,51
30	10	200	0	184	388	0	62,306	126,66
31	11	200	0	184	388	0	61,968	126,58
32	12	200	0	184	388	0	61,984	126,48
33	13	200	0	184	388	0	62,161	126,59
34	14	200	0	184	388	0	61,822	126,34
35	15	200	0	184	388	0	62,145	126,63
36	16	200	0	184	388	0	62,177	126,67
37	17	200	0	184	388	0	61,919	126,43
38	18	200	0	184	388	0	61,887	126,49
39	19	200	0	184	388	0	62,097	126,33
40	20	200	0	184	388	0	62,032	126,42
	Ortalama		0	184	388	0	62,0603	126,508
41	1	500	0	184	388	0	61,903	126,48
42	2	500	0	184	388	0	61,903	126,5
43	3	500	0	184	388	0	62,016	126,39
44	4	500	0	184	388	0	62,274	126,41
45	5	500	0	184	388	0	62,145	126,66
46	6	500	0	184	388	0	61,887	126,3

Tablo A.5: 47 parçadan oluşan dizüstü bilgisayar örneğinin bulanık matematiksel modelinin leksikografik yöntem için yapılan deney sonuçlarındaki dengeleme boşluğu ve düzgünlük indeksi değerleri (Devamı)

47	7	500	0	184	388	0	61,968	126,67
48	8	500	0	184	388	0	61,903	126,44
49	9	500	0	184	388	0	62,209	126,55
50	10	500	0	184	388	0	62,225	126,46
51	11	500	0	184	388	0	61,855	126,4
52	12	500	0	184	388	0	62,53	126,46
53	13	500	0	184	388	0	61,887	126,37
54	14	500	0	184	388	0	62,097	126,56
55	15	500	0	184	388	0	61,968	126,48
56	16	500	0	184	388	0	62,29	126,52
57	17	500	0	184	388	0	61,968	126,5
58	18	500	0	184	388	0	62,048	126,4
59	19	500	0	184	388	0	62,032	126,46
60	20	500	0	184	388	0	62,113	126,44
Ortalama			0	184	388	0	62,06105	126,4725
61	1	1000	0	184	388	0	62,225	126,84
62	2	1000	0	184	388	0	62,594	126,56
63	3	1000	0	184	388	0	61,822	126,35
64	4	1000	0	184	388	0	62,081	126,35
65	5	1000	0	184	388	0	62,434	126,66
66	6	1000	0	184	388	0	61,855	126,48
67	7	1000	0	184	388	0	61,628	126,36
68	8	1000	0	184	388	0	62,241	126,63
69	9	1000	0	184	388	0	62,177	126,46
70	10	1000	0	184	388	0	61,709	126,45

Tablo A.5: 47 parçadan oluşan dizüstü bilgisayar örneğinin bulanık matematiksel modelinin leksikografik yöntem için yapılan deney sonuçlarındaki dengeleme boşluğu ve düzgünlük indeksi değerleri (Devamı)

71	11	1000	0	184	388	0	62,113	126,65
72	12	1000	0	184	388	0	61,984	126,5
73	13	1000	0	184	388	0	62,274	126,41
74	14	1000	0	184	388	0	61,984	126,32
75	15	1000	0	184	388	0	62,097	126,48
76	16	1000	0	184	388	0	61,693	126,33
77	17	1000	0	184	388	0	62,209	126,54
78	18	1000	0	184	388	0	62,354	126,66
79	19	1000	0	184	388	0	61,693	126,36
80	20	1000	0	184	388	0	62,546	126,61
Ortalama			0	184	388	0	62,08565	126,5

Tablo A.6: 47 parçadan oluşan dizüstü bilgisayar örneği için yapılan bulanık matematiksel modelinin leksikografik deneyinde amaç fonksiyonu ve hat ekinliği sonuçları

Deney No	Hat Etkinliği (1)	Hat Etkinliği (2)	Hat Etkinliği (3)	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	Zaman
1	0,64727	0,82308	1	10	62,51	346	2874	2929,5
2	0,64727	0,82308	1	10	62,508	335	2789	3937,9
3	0,64727	0,82308	1	10	62,446	374	2943	2542,4
4	0,64727	0,82308	1	10	62,664	357	2791	1855,8
5	0,64727	0,82308	1	10	62,719	314	2642	3484,7
6	0,64727	0,82308	1	10	62,425	342	2827	3297,2
7	0,64727	0,82308	1	10	62,737	316	2635	827,45
8	0,64727	0,82308	1	10	62,538	341	2827	660,89
9	s0,64727	0,82308	1	10	62,609	339	2741	2234,1
10	0,64727	0,82308	1	10	62,679	322	2644	996,41
11	0,64727	0,82308	1	10	62,683	341	2745	226,73
12	0,64727	0,82308	1	10	62,466	340	2763	3548,5
13	0,64727	0,82308	1	10	62,59	324	2716	220,68
14	0,64727	0,82308	1	10	62,742	327	2745	2899,8
15	0,64727	0,82308	1	10	62,631	367	2879	1049,4
16	0,64727	0,82308	1	10	62,599	320	2684	3092,3
17	0,64727	0,82308	1	10	62,633	340	2713	4532,9
18	0,64727	0,82308	1	10	62,585	342	2801	4222,3
19	0,64727	0,82308	1	10	62,607	311	2643	725,02
20	0,64727	0,82308	1	10	62,627	330	2753	1027,2
Ortalama	0,64727	0,82308	1	10	62,600	336	2758	2215,6
21	0,64727	0,82308	1	10	62,857	305	2599	2187,9

Tablo A.6: 47 parçadan oluşan dizüstü bilgisayar örneği için yapılan bulanık matematiksel modelinin leksikografik deneyinde amaç fonksiyonu ve hat ekinliği sonuçları (Devamı)

22	0,64727	0,82308	1	10	62,705	325	2724	2711,5
23	0,64727	0,82308	1	10	62,54	334	2780	161,38
24	0,64727	0,82308	1	10	62,494	363	2880	2465,4
25	0,64727	0,82308	1	10	62,613	326	2658	517,65
26	0,64727	0,82308	1	10	62,861	359	2865	54,088
27	0,64727	0,82308	1	10	62,641	332	2793	1153,7
28	0,64727	0,82308	1	10	62,639	332	2704	4972,5
29	0,64727	0,82308	1	10	62,635	341	2791	4595,4
30	0,64727	0,82308	1	10	62,817	361	2852	3682,8
31	0,64727	0,82308	1	10	62,628	341	2757	595,15
32	0,64727	0,82308	1	10	62,611	328	2753	2715,7
33	0,64727	0,82308	1	10	62,729	338	2855	549,23
34	0,64727	0,82308	1	10	62,496	326	2682	3678,7
35	0,64727	0,82308	1	10	62,731	336	2789	4964,4
36	0,64727	0,82308	1	10	62,757	339	2744	4165
37	0,64727	0,82308	1	10	62,567	323	2642	43,561
38	0,64727	0,82308	1	10	62,566	346	2838	2813,2
39	0,64727	0,82308	1	10	62,632	326	2743	2557,9
40	0,64727	0,82308	1	10	62,621	314	2591	4727,8
<b>Ortalama</b>	<b>0,64727</b>	<b>0,82308</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>62,657</b>	<b>335</b>	<b>2752</b>	<b>2465,7</b>
41	0,64727	0,82308	1	10	62,57	347	2816	740,1
42	0,64727	0,82308	1	10	62,576	341	2867	229,85
43	0,64727	0,82308	1	10	62,605	332	2758	3531,2
44	0,64727	0,82308	1	10	62,74	330	2707	2472,1
45	0,64727	0,82308	1	10	62,739	344	2774	738,84



Tablo A.6: 47 parçadan oluşan dizüstü bilgisayar örneği için yapılan bulanık matematiksel modelinin leksikografik deneyinde amaç fonksiyonu ve hat ekinliği sonuçları (Devamı)

46	0,64727	0,82308	1	10	62,519	338	2807	3924,9
47	0,64727	0,82308	1	10	62,652	346	2809	584,52
48	0,64727	0,82308	1	10	62,562	340	2775	1803,5
49	0,64727	0,82308	1	10	62,743	322	2692	2812,8
50	0,64727	0,82308	1	10	62,728	341	2779	203,72
51	0,64727	0,82308	1	10	62,526	336	2780	4639,8
52	0,64727	0,82308	1	10	62,88	328	2688	3267
53	0,64727	0,82308	1	10	62,537	361	2848	2097,9
54	0,64727	0,82308	1	10	62,689	339	2828	359,52
55	0,64727	0,82308	1	10	62,603	335	2777	2459,7
56	0,64727	0,82308	1	10	62,776	333	2677	192,92
57	0,64727	0,82308	1	10	62,609	352	2757	2842,3
58	0,64727	0,82308	1	10	62,623	324	2698	602,54
59	0,64727	0,82308	1	10	62,631	330	2790	888,62
60	0,64727	0,82308	1	10	62,667	342	2805	45,306
<b>Ortalama</b>	<b>0,64727</b>	<b>0,82308</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>62,649</b>	<b>338</b>	<b>2772</b>	<b>1440,7</b>
61	0,64727	0,82308	1	10	62,822	310	2548	458,27
62	0,64727	0,82308	1	10	62,938	325	2757	224,96
63	0,64727	0,82308	1	10	62,498	328	2659	963,47
64	0,64727	0,82308	1	10	62,627	325	2742	3553,5
65	0,64727	0,82308	1	10	62,883	321	2673	4544,1
66	0,64727	0,82308	1	10	62,546	338	2790	1090,3
67	0,64727	0,82308	1	10	62,403	327	2783	4490,6
68	0,64727	0,82308	1	10	62,779	344	2804	211
69	0,64727	0,82308	1	10	62,703	311	2597	2744,8

Tablo A.6: 47 parçadan oluşan dizüstü bilgisayar örneği için yapılan bulanık matematiksel modelinin leksikografik deneyinde amaç fonksiyonu ve hat ekinliği sonuçları (Devamı)

70	0,64727	0,82308	1	10	62,467	338	2807	2178,3
71	0,64727	0,82308	1	10	62,719	338	2678	3888
72	0,64727	0,82308	1	10	62,617	330	2647	4841,2
73	0,64727	0,82308	1	10	62,74	341	2754	2206
74	0,64727	0,82308	1	10	62,571	309	2631	225,67
75	0,64727	0,82308	1	10	62,669	341	2760	3458,2
76	0,64727	0,82308	1	10	62,43	330	2751	2283,9
77	0,64727	0,82308	1	10	62,739	353	2833	4607,5
78	0,64727	0,82308	1	10	62,843	328	2752	4347,7
79	0,64727	0,82308	1	10	62,438	337	2788	2558
80	0,64727	0,82308	1	10	62,925	329	2759	2706,5
Ortalama	0,64727	0,82308	1	10	62,668	330	2726	1618,2

Tablo A.7: 47 parçadan oluşan dizüstü bilgisayar örneğinin bulanık matematiksel modelinin sabit ağırlıklandırma yöntemi için yapılan deney sonuçlarındaki dengeleme boşluğu ve düzgünlük indeksi değerleri.

Deney No	Test No	İterasyon Limiti	Dengeleme Boşluğu (1)	Dengeleme Boşluğu (2)	Dengeleme Boşluğu (3)	Düzensizlik İndeksi (1)	Düzensizlik İndeksi (2)	Düzensizlik İndeksi (3)
1	1	100	68	288	498	35,44	97,293	157,59
2	2	100	65	288	498	31,607	95,131	156,7
3	3	100	18	184	388	15,297	65,803	127,79
4	4	100	30	184	388	27,166	69,699	129,31
5	5	100	79	288	498	38,82	97,108	157,39
6	6	100	83	288	498	39,787	102,4	160,08
7	7	100	0	184	388	0	64,42	127,44
8	8	100	82	288	498	42,474	98,56	157,48
9	9	100	163	392	608	81,037	134,38	188,65
10	10	100	24	184	388	19,647	67,809	128,81
11	11	100	68	288	498	27,713	95,75	156,81
12	12	100	9	184	388	6,4031	66,151	128,39
13	13	100	96	288	498	60,564	106,72	161,2
14	14	100	81	288	498	40,485	101,36	159,59
15	15	100	28	184	388	27,019	69,556	129,11
16	16	100	76	288	498	31,432	98,051	158
17	17	100	73	288	498	33,985	97,519	157,94
18	18	100	15	184	388	15	65,406	128
19	19	100	69	288	498	30,183	96,985	157,35
20	20	100	71	288	498	31,922	96,943	157,36
	<b>Ortalama</b>		<b>59,9</b>	<b>256,8</b>	<b>465</b>	<b>31,799</b>	<b>89,3522</b>	<b>149,2495</b>
21	1	200	79	288	498	35,086	97,417	157,63
22	2	200	100	288	498	51,672	103,99	160,73

Tablo A.7: 47 parçadan oluşan dizüstü bilgisayar örneğinin bulanık matematiksel modelinin sabit ağırlıklandırma yöntemi için yapılan deney sonuçlarındaki dengeleme boşluğu ve düzgünlük indeksi değerleri (Devamı)

23	3	200	78	288	498	42,261	100,13	159,01
24	4	200	68	288	498	30,199	94,604	156,29
25	5	200	69	288	498	29,034	94,35	156,51
26	6	200	3	184	388	2,2361	63,608	127,29
27	7	200	29	184	388	20,518	66,378	128,08
28	8	200	5	184	388	3,6056	63,797	127,26
29	9	200	7	184	388	5	64,109	127,14
30	10	200	15	184	388	15	66,438	128,62
31	11	200	18	184	388	15,297	67,067	128,36
32	12	200	78	288	498	36,551	96,799	157,25
33	13	200	21	184	388	16,155	66,166	127,87
34	14	200	77	288	498	37,081	99,308	158,18
35	15	200	82	288	498	41,881	99,85	159,17
36	16	200	66	288	498	32,985	97,417	157,94
37	17	200	71	288	498	30,578	96,426	157,25
38	18	200	71	288	498	34,044	96,156	157,14
39	19	200	63	288	498	28,267	95,279	156,51
40	20	200	78	288	498	34,409	95,76	156,38
	Ortalama		53,9	251,6	459,5	27,093	86,2525	147,2305
41	1	500	77	288	498	40,485	98,316	158
42	2	500	77	288	498	48,384	101,24	159,29
43	3	500	101	288	498	73,872	113,59	165,3
44	4	500	75	288	498	35,595	98,112	158,06
45	5	500	78	288	498	32,28	96,177	156,74
46	6	500	71	288	498	34,044	97,437	157,73

Tablo A.7: 47 parçadan oluşan dizüstü bilgisayar örneğinin bulanık matematiksel modelinin sabit ağırlıklandırma yöntemi için yapılan deney sonuçlarındaki dengeleme boşluğu ve düzgünlük indeksi değerleri (Devamı)

47	7	500	66	288	498	44,068	99,79	158,88
48	8	500	8	184	388	6,3246	64,977	127,57
49	9	500	80	288	498	41,881	101,62	159,92
50	10	500	82	288	498	49,295	102,05	159,89
51	11	500	75	288	498	37,855	99,126	158,59
52	12	500	74	288	498	32,527	96,447	157,17
53	13	500	19	184	388	15,524	67,246	128,58
54	14	500	6	184	388	4,4721	63,891	127,24
55	15	500	169	392	608	87,08	136,1	189,21
56	16	500	72	288	498	39,975	100,61	159,72
57	17	500	90	288	498	40,373	101	158,9
58	18	500	69	288	498	28,408	95,258	156,62
59	19	500	11	184	388	9,2195	66,528	128,97
60	20	500	94	288	498	71,708	110,55	163,3
	Ortalama		69,7	272,4	481,5	38,6685	95,503	154,484
61	1	1000	79	288	498	34,453	96,943	157,63
62	2	1000	24	184	388	17,493	66,738	128,13
63	3	1000	77	288	498	49,729	104,11	160,8
64	4	1000	169	392	608	85,82	134,66	188,22
65	5	1000	67	288	498	30,381	97,232	158,29
66	6	1000	81	288	498	34,914	97,046	157,34
67	7	1000	18	184	388	15,297	65,406	127,76
68	8	1000	84	288	498	42,048	100,03	159,12
69	9	1000	157	392	608	85,387	133,89	188,2
70	10	1000	94	288	498	46,648	102,09	159,74

Tablo A.7: 47 parçadan oluşan dizüstü bilgisayar örneğinin bulanık matematiksel modelinin sabit ağırlıklandırma yöntemi için yapılan deney sonuçlarındaki dengeleme boşluğu ve düzgünlük indeksi değerleri (Devamı)

71	11	1000	70	288	498	31,081	96,239	157,32
72	12	1000	72	288	498	43,29	98,762	157,97
73	13	1000	71	288	498	36,318	96,26	156,97
74	14	1000	79	288	498	38,51	98,864	158,64
75	15	1000	69	288	498	33,69	96,01	156,93
76	16	1000	24	184	388	17,493	67,067	128,58
77	17	1000	74	288	498	36,579	98,6	158,07
78	18	1000	87	288	498	41,653	100,39	159,11
79	19	1000	72	288	498	31,048	97,232	157,75
80	20	1000	83	288	498	44,755	103,37	160,85
Ortalama			77,55	282,8	492,5	39,829	97,547	156,871

Tablo A.8: 47 parçadan oluşan dizüstü bilgisayar örneği için yapılan bulanık matematiksel modelinin sabit ağırlıklı metot deneyinde amaç fonksiyonu ve hat etkinliği sonuçları.

Deney No	Hat Etkinliği (1)	Hat Etkinliği (2)	Hat Etkinliği (3)	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	Zaman
1	0,58843	0,74825	0,96939	11	96,905	281	2439	0,001065	4030
2	0,58843	0,74825	0,96939	11	94,643	284	2469	0,001054	1509,5
3	0,64727	0,82308	1	10	68,673	287	2430	0,001077	1322,2
4	0,64727	0,82308	1	10	73,97	295	2474	0,001055	4593,5
5	0,58843	0,74825	0,96939	11	97,607	281	2425	0,00107	2810,2
6	0,58843	0,74825	0,96939	11	101,17	283	2437	0,001063	3422,9
7	0,64727	0,82308	1	10	64,071	288	2479	0,00106	648,52
8	0,58843	0,74825	0,96939	11	99,268	284	2446	0,00106	4243,6
9	0,53939	0,6859	0,88861	12	134,61	283	2412	0,00106	1195,6
10	0,64727	0,82308	1	10	71,018	286	2476	0,001059	3192,6
11	0,58843	0,74825	0,96939	11	94,004	292	2458	0,001055	1164,4
12	0,64727	0,82308	1	10	66,774	298	2480	0,001055	1844,2
13	0,58843	0,74825	0,96939	11	108,8	289	2440	0,001057	825,68
14	0,58843	0,74825	0,96939	11	100,7	284	2433	0,001065	1269,9
15	0,64727	0,82308	1	10	73,811	282	2465	0,001064	3427,5
16	0,58843	0,74825	0,96939	11	96,384	292	2462	0,001053	2981,8
17	0,58843	0,74825	0,96939	11	96,74	284	2430	0,001067	3281,8
18	0,64727	0,82308	1	10	68,453	301	2471	0,001056	2499,2
19	0,58843	0,74825	0,96939	11	95,376	294	2472	0,001048	1846,8
20	0,58843	0,74825	0,96939	11	95,792	285	2435	0,001065	1333
Ortalama	0,606572	0,771323	0,9993	10,7	89,938	288	2452	0,00106	2372,2
21	0,58843	0,74825	0,96939	11	96,888	285	2469	0,001052	4952,8
22	0,58843	0,74825	0,96939	11	105,1	291	2449	0,001054	1207,2

Tablo A.8: 47 parçadan oluşan dizüstü bilgisayar örneği için yapılan bulanık matematiksel modelinin sabit ağırlıklı metot deneyinde amaç fonksiyonu ve hat etkinliği sonuçları (Devamı)

23	0,58843	0,74825	0,96939	11	100,38	288	2458	0,001054	1927,1
24	0,58843	0,74825	0,96939	11	93,926	291	2455	0,001056	2440,4
25	0,58843	0,74825	0,96939	11	93,562	290	2461	0,001055	1758,4
26	0,64727	0,82308	1	10	64,187	295	2497	0,00105	4541,2
27	0,64727	0,82308	1	10	70,338	289	2484	0,001055	568,7
28	0,64727	0,82308	1	10	64,614	292	2452	0,001068	2562,6
29	0,64727	0,82308	1	10	65,089	290	2480	0,001058	4370,9
30	0,64727	0,82308	1	10	69,125	286	2459	0,001066	1521,4
31	0,64727	0,82308	1	10	69,448	284	2444	0,001072	1270,9
32	0,58843	0,74825	0,96939	11	96,848	282	2413	0,001075	87,439
33	0,64727	0,82308	1	10	69,091	297	2514	0,001042	903,76
34	0,58843	0,74825	0,96939	11	98,468	287	2439	0,001062	884,88
35	0,58843	0,74825	0,96939	11	100,19	286	2448	0,001059	2227,2
36	0,58843	0,74825	0,96939	11	96,439	289	2447	0,001059	1776,6
37	0,58843	0,74825	0,96939	11	95,17	285	2451	0,00106	2111
38	0,58843	0,74825	0,96939	11	95,873	283	2442	0,001064	3893,6
39	0,58843	0,74825	0,96939	11	93,832	291	2435	0,001064	145,42
40	0,58843	0,74825	0,96939	11	95,577	291	2446	0,001059	379,88
<b>Ortalama</b>	<b>0,609024</b>	<b>0,77444</b>	<b>1</b>	<b>10,65</b>	<b>86,707</b>	<b>289</b>	<b>2457</b>	<b>0,001059</b>	<b>1976,6</b>
41	0,58843	0,74825	0,96939	11	98,779	286	2432	0,001065	4073,1
42	0,58843	0,74825	0,96939	11	102,54	293	2461	0,00105	3608,3
43	0,58843	0,74825	0,96939	11	116,59	285	2457	0,00105	3601,8
44	0,58843	0,74825	0,96939	11	97,471	294	2488	0,001042	1821,2
45	0,58843	0,74825	0,96939	11	95,342	288	2446	0,00106	657,27
46	0,58843	0,74825	0,96939	11	96,663	289	2476	0,001048	4193,6



Tablo A.8: 47 parçadan oluşan dizüstü bilgisayar örneği için yapılan bulanık matematiksel modelinin sabit ağırlıklı metot deneyinde amaç fonksiyonu ve hat etkinliği sonuçları (Devamı)

47	0,58843	0,74825	0,96939	11	100,63	291	2456	0,001054	3763,8
48	0,64727	0,82308	1	10	65,962	296	2462	0,001062	3528,8
49	0,58843	0,74825	0,96939	11	101,26	284	2446	0,00106	2591
50	0,58843	0,74825	0,96939	11	103,32	285	2446	0,001059	1298,1
51	0,58843	0,74825	0,96939	11	98,675	285	2432	0,001066	3355,6
52	0,58843	0,74825	0,96939	11	95,647	294	2479	0,001046	3774,3
53	0,64727	0,82308	1	10	69,648	294	2484	0,001054	1154,5
54	0,64727	0,82308	1	10	64,873	301	2493	0,001049	3194,4
55	0,53939	0,6859	0,88861	12	137,12	280	2410	0,001061	1703,9
56	0,58843	0,74825	0,96939	11	100,23	285	2433	0,001065	4171,3
57	0,58843	0,74825	0,96939	11	100,32	291	2477	0,001046	4118
58	0,58843	0,74825	0,96939	11	93,886	281	2398	0,001082	2435,6
59	0,64727	0,82308	1	10	67,812	294	2494	0,001051	255,73
60	0,58843	0,74825	0,96939	11	114,03	289	2439	0,001056	3375,2
<b>Ortalama</b>	<b>0,597746</b>	<b>0,7600985</b>	<b>0,984733</b>	<b>10,85</b>	<b>96,0399</b>	<b>289</b>	<b>2455</b>	<b>0,001056</b>	<b>2833,8</b>
61	0,58843	0,74825	0,96939	11	96,493	285	2471	0,001052	4217,2
62	0,64727	0,82308	1	10	69,776	294	2451	0,001066	2410,9
63	0,58843	0,74825	0,96939	11	104,68	291	2458	0,001051	3766,6
64	0,53939	0,6859	0,88861	12	135,84	282	2407	0,001062	3307
65	0,58843	0,74825	0,96939	11	95,784	289	2472	0,00105	2024,9
66	0,58843	0,74825	0,96939	11	96,587	284	2447	0,001061	648,31
67	0,64727	0,82308	1	10	68,467	292	2481	0,001056	2629,1
68	0,58843	0,74825	0,96939	11	100,31	294	2463	0,00105	4437,3
69	0,53939	0,6859	0,88861	12	135,34	283	2400	0,001065	614,22
70	0,58843	0,74825	0,96939	11	102,64	285	2439	0,001061	2583,3

Tablo A.8: 47 parçadan oluşan dizüstü bilgisayar örneği için yapılan bulanık matematiksel modelinin sabit ağırlıklı metot deneyinde amaç fonksiyonu ve hat etkinliği sonuçları (Devamı)

71	0,58843	0,74825	0,96939	11	95,22	288	2460	0,001055	3534,6
72	0,58843	0,74825	0,96939	11	99,697	290	2498	0,001039	4908,9
73	0,58843	0,74825	0,96939	11	96,452	293	2493	0,001041	3420,3
74	0,58843	0,74825	0,96939	11	98,72	282	2486	0,001047	3951,3
75	0,58843	0,74825	0,96939	11	95,661	287	2459	0,001056	2075,6
76	0,64727	0,82308	1	10	70,053	291	2490	0,001052	2984,7
77	0,58843	0,74825	0,96939	11	97,962	283	2427	0,001068	4802,6
78	0,58843	0,74825	0,96939	11	100,39	284	2461	0,001054	226,29
79	0,58843	0,74825	0,96939	11	95,815	289	2454	0,001057	3950,2
80	0,58843	0,74825	0,96939	11	103,09	288	2471	0,001048	4801,3
Ortalama	0,592352	0,75324	0,97585	10,95	97,949	288	2459	0,001055	3064,7

## ÖZGEÇMİŞ



**Ad Soyad:** Arif Hancılar

**Doğum Yeri ve Tarihi:** Denizli/06.04.1986

**Adres:** 15 Mayıs Mah. 558 Sok. No:16 K:2 Denizli

**Lisans Üniversitesi:** Endüstri Mühendisliği/Dokuz Eylül Üniversitesi  
Makine Mühendisliği/Dokuz Eylül Üniversitesi

### **Yayın Listesi:**

- Özceylan, E., Paksoy, T., Gungor, A., **Hancılar, A.**, 2012: Çok ürünli demontaj hattı dengeleme problem için bulanık doğrusal programlama modeli, 1.ulusal lojistik ve tedarik zinciri kongresi, 10-12 Mayıs, Konya
- Paksoy, T., Gungor, A., Özceylan, E., **Hancılar, A.**, 2013: Mixed model disassembly line balancing problem with fuzzy goals, International Journal of Production Research (Basım sürecinde)