



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**ÇİFT TARAFLI DEMONTAJ HATLARININ**  
**DENGELENMESİ**

**Yüksel DEĞİRMENCİOĞLU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Temmuz-2019**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Yüksel DEĞİRMENCİOĞLU tarafından hazırlanan “Çift Taraflı Demontaj Hatlarının Dengelenmesi” adlı tez çalışması 05/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Prof.Dr.Turan PAKSOY

#### Danışman

Prof.Dr.Yakup KARA

#### Üye

Dr.Öğr.Üyesi Kemal ALAYKIRAN

### İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hakan KARABÖRK  
Enstitü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

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

## DECLARATION PAGE

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



Yüksel DEĞİRMENCİOĞLU

Tarih: 05.07.2019

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## ÇİFT TARAFLI DEMONTAJ HATLARININ DENGELENMESİ

**Yüksel DEĞİRMENCİOĞLU**

**Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Yakup KARA**

**2019, 72 Sayfa**

**Jüri**

**Prof.Dr.Yakup KARA  
Prof.Dr.Turan PAKSOY  
Dr.Öğr.Üyesi Kemal ALAYKIRAN**

Kamyon, minibüs, otobüs gibi büyük hacimli ürünlerin montaj işlemleri zor olduğu gibi demontaj işlemleri de zordur. Özellikle büyük hacimli ürünlerin geri kazanım çalışmalarında tek taraflı demontaj hatları yetersiz kaldığından dolayı çift taraflı demontaj hatlarından faydalanılmaktadır. Bu tür hatlarda büyük hacimdeki ürünlerin demonte işlemleri için çeşitli ekipmanlara ve asistanlara ihtiyaç duyulabilmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında toplam net geri kazanım kârını en büyükmek amacıyla görevlerin, ekipmanların ve asistanların istasyonlara atanmasını dikkate alan Çift Taraflı Demontaj Hattı Dengeleme (ÇTDHD) problemi ele alınmıştır.

Tez çalışması kapsamında öncelikle literatürde bulunan demontaj hattı dengeleme çalışmaları detaylı bir şekilde incelenerek açıklanmıştır. Ardından demontaj ve çift taraflı demontaj hatlarına ait materyaller açıklanarak ÇTDHD probleminin varsayımları ve kısıtlar tanımlanarak 0-1 tamsayılı doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Önerilen çözüm yaklaşımın toplam net geri kazanım kârı üzerindeki etkisini belirleyebilmek amacıyla çift taraflı demontaj hatları ve tek taraflı demontaj hatları incelenmiştir. Önerilen çözüm yaklaşımının performansını analiz etmek amacıyla çift taraflı demontaj hatları için 162, tek taraflı demontaj hatları için 162 tane olmak üzere toplam 324 test problemi oluşturulmuştur. Önerilen 0-1 tamsayılı matematiksel model ile tek taraflı hatlarda 162 problemin 132'sinde (%81,48), çift taraflı hatlarda 162 problemin 92'sinde (%56,79) optimal sonuçlara ulaşılmıştır.

Hatların tek taraflı demontaj hattı ve çift taraflı demontaj hattı olarak dengelenmesi durumu karşılaştırılmış ve tek taraflı demontaj hattı olarak dengelenmesinden ziyade çift taraflı demontaj hattı olarak dengelenmesinin net geri kazanım kârı üzerinde %29,18 iyileşme sağladığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Çift Taraflı Demontaj Hattı Dengeleme, Demontaj Hattı Dengeleme, Doğrusal Programlama

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

## **TWO SIDED DISASSEMBLY LINE BALANCING**

**Yüksel DEĞİRMENCİOĞLU**

**Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Industrial Engineering**

**Advisor: Prof. Dr. Yakup KARA**

**2019, 72 Pages**

**Jury**

**Prof.Dr.Yakup KARA**

**Prof.Dr.Turan PAKSOY**

**Asst. Prof. Dr. Kemal ALAYKIRAN**

Large volume products such as trucks, minibuses, buses are difficult to both assemble and disassembly. Particularly in the recovery works of large volume products, one-sided disassembly lines are inadequate and two-sided disassembly lines are utilized. In such lines, various equipment and assistants may be needed for the disassembly of large volumes of products.

In the scope of this thesis, the Two Sided Disassembly Line Balancing (TSDLB) problem, which considers the assignment of tasks, equipment and assistants to the stations in order to maximize the total net recovery profit, is addressed.

Within the scope of the thesis, firstly the disassembly line balancing studies in the literature are explained in detail. Then, the materials belonging to the disassembly and two-sided disassembly lines were explained and the assumptions and constraints of the TSDLB problem were defined and a 0-1 integer linear programming model was proposed. In order to determine the effect of the proposed solution approach on the total net recovery profit, two-sided disassembly lines and one-sided disassembly lines were examined. In order to analyze the performance of the proposed solution approach, a total of 324 test problems were created, 162 for two-sided disassembly lines and 162 for one-sided disassembly lines. With the proposed 0-1 integer mathematical model, optimal results were obtained in 132 (81.48%) of 162 problems in one-sided lines and 92 (56.79%) of 162 problems in two-sided lines.

The balancing of the lines as one-sided disassembly line and two-sided disassembly line was compared and it was seen that balancing as two-sided disassembly line rather than one-sided disassembly line resulted in 29.18% improvement on net recovery profit.

**Keywords:** Disassembly Line Balancing, Linear Programming, Two Sided Disassembly Line Balancing

## ÖNSÖZ

Günümüzde artan ihtiyaçlar sebebiyle üreticiler kitlesel boyutta, hızlı ve kaliteli ürünler üretme yarışına girmişlerdir. Bu durum birçok ürünün ömrünü kısaltmakta ve atık miktarının artmasına sebep olmaktadır. Haliyle firmalar bir yandan kısıtlı doğal kaynakları dengeli kullanmak diğer yandan müşterin taleplerini karşılayabilmek için kitlesel boyutta ürün üretmek zorunda olmaları çeşitli problemleri de beraberinde getirmiştir. Böyle bir durumda üzerinde de çalışmış olduğum konu olan çift taraflı demontaj hatlarından yararlanılarak geri dönüşüm yoluyla parça kazanımının sağlanacağını, gerek atık miktarlarının azalmasını gerekse geri dönüşümler yoluyla israfların azaltılarak üretime katkı sağlanacağını düşünmekteyim.

Yaptığım bu yüksek lisans tez çalışmasının hazırlanmasında değerli katkıları ile emeği geçen, değişik bakış açılarına sahip olmamı sağlayarak yeni ufuklar açan başta danışmanım Prof. Dr. YAKUP KARA'ya, her konuda yardımlarını esirgemeyerek büyük bir özveriyle destek olup, her daim cesaretlendiren, enerjisiyle bana ilham veren bölümümüzün hocalarından Dr. SEDA HEZER'e, "İyinin düşmanı mükemmeldir" sözüyle hep daha iyi olmam yolunda lisans ve yüksek lisans hayatım boyunca destek olan bölüm hocalarıma, her zaman yanımda olan aileme, bu zorlu süreçte erasmus programıyla yurtdışında olmasına rağmen her daim destek olan kuzenim Nazlı DEĞİRMENCİOĞLU'na, hastanede nöbet aralarında dahi motive eden kardeşim Ayten DEĞİRMENCİOĞLU'na, yüksek lisans tez süresi boyunca destek olan arkadaşlarım Asuman İLK'e, Merve YAZICI'ya ve Armağan YÜCEL'e, çalışmanın tamamlanabilmesi için gerekli olan her türlü fiziksel imkanı ve huzurlu ortamları sağlayan Konya Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü yöneticilerine ve çalışanlarına sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksel DEĞİRMENCİOĞLU  
KONYA-2019

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ .....</b>	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR .....</b>	<b>viii</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>5</b>
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>20</b>
3.1. Materyal .....	20
3.1.1. Demontaj hattı dengeleme problemlerinde kullanılan temel kavramlar.....	20
3.1.2. Demontaj hatlarına ilişkin faktörler .....	21
3.1.3. Demontaj hattı öncelik ilişkileri .....	24
3.1.4. Demontaj hattı dengeleme problemleri.....	26
3.1.5. Çift taraflı demontaj hattı dengeleme problemleri.....	28
3.1.6. Çift taraflı demontaj hattının tek taraflı demontaj hatlarına göre avantajları	31
3.2. Yöntem.....	34
3.2.1.Önerilen 0-1 tamsayılı doğrusal programlama modeli .....	34
3.2.2.Açıklayıcı örnek.....	38
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>43</b>
4.1. Deneysel Karşılaştırmalar .....	43
4.1.1. Önerilen 0-1 tamsayılı doğrusal programlama modeli deney sonuçları .....	43
4.1.2. Tek ve çift taraflı demontaj hatlarının net geri kazanım kârı üzerindeki etkisinin araştırılması.....	49
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>52</b>
5.1 Sonuçlar .....	52
5.2 Öneriler .....	53
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>55</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>60</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>64</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Kısaltmalar

<b>ÇTDHD</b>	:Çift Taraflı Demontaj Hattı Dengeleme
<b>ÇTDHDP</b>	:Çift Taraflı Demontaj Hattı Dengeleme Problemi
<b>DHDP</b>	:Demontaj Hattı Dengeleme Problemi
<b>MHDP</b>	:Montaj Hattı Dengeleme Problemi





## 1. GİRİŞ

Sanayi devrimiyle makinelerin üretim alanlarında kullanılmaya başlanması kısa sürede daha çok ürün elde edilebilmesine olanak sağlamıştır. Haliyle insanların artan ihtiyaçları kolaylıkla karşılanmaya başlamıştır.

Üretim yapan endüstrilerde, işin bölünemez en küçük parçalara ayrılması, değişik iş istasyonlarının bulunduğu belirli bir hat üzerinden ürünü oluşturan alt parçaların geçirilerek hattın sonunda nihai ürünün elde edilmesi hat üretimini ortaya çıkarmıştır. Bir ürünü oluşturmak için gereken alt parçaların birleştirilmesi işlemine de *montaj* adı verilmektedir. Bir ürünü oluşturmak için parçaların önceden belirlenmiş bir sıraya uygun olarak belirli bir bant veya benzer bir mekanizma üzerinde ilerleyerek birleştirilmesiyle oluşan üretim hattına *montaj hattı* denmektedir (Becker ve Scholl, 2006). Montaj hatları yüksek hacimde üretim yapan firmalar için daha hızlı üretim, etkin maliyet ve işgücü verimliliği sağlayabilme açısından önem taşımaktadır. Montaj hatları sıralı istasyonlardan oluşur ve bu istasyonlarda görevler belirli bir süre sınırlaması (çevrim zamanı) altında gerçekleştirilir. Montaj hattının performansı genellikle hat dengesine bağlıdır (Kara ve ark., 2009). Bir montaj hattı dengelenirken değişik problemlerle karşılaşmaktadır. Bunlardan en önemlisi iş istasyonlarına ilişkin işlem sürelerinin dengelenmesi problemidir. Hat üzerinde dikkate alınan performans değerlerinin iyileştirilebilmesi için hattın iyi bir şekilde dengelenmesi gerekir. Dengesiz hatlar maliyet artışına, üretimde verimsizliğin artmasına, zaman kayıplarına, çalışanların işi başarabilme isteklerinin azalması gibi birçok problemin kaynağını olabilmektedir. Zorlaşan piyasa şartları, düşük fiyatlı ürünlerle müşteri isteklerine hızlıca cevap verebilmek, gittikçe artan rekabet ortamının olduğu bir pazarda tutunmaya çalışan firmalar için en verimli şekilde elindeki kaynakları kullanarak üretim yapabilme ve üretim maliyetlerini düşürme fikri montaj hatlarının iyi dengelenmesiyle mümkündür.

İhtiyaçların sürekli artarak değiştiği bir dünyada talepleri karşılayabilmek için firmalar gün geçtikçe sürekli ilerleyen ve değişen teknoloji sayesinde birçok ve çeşitli ürün üretebilmektedirler. Ancak kullanılan ham madde ve yarı mamuller sınırsız değildir. Hiç bitmeyecekmiş gibi kontrolsüz kullanımlar israfa sebep olduğu gibi doğal kaynaklarımızı da hızla tüketmektedir. Bu durum birçok ürünün ömrünü kısaltmakta ve atık yönetiminde endişe verici bir durum yaratmaktadır (Güngör ve Gupta, 2002). Son yıllarda, doğal kaynakların tükenmesi, katı atık sahalarının artan maliyeti, çevre ile ilgili konularda çıkarılan yasalar ve yönetmelikler, artan üretici ve toplum bilinci, üreticileri,

atık durumuna gelmiş veya yıpranmış ürünlere geri kazanım faaliyetlerini uygulamaya zorlamaktadır (Agrawal ve Tiwari, 2008). Günümüzde üretilen ürünler dayanıklılık açısından değerlendirildiğinde ürün ömrünün önceki dönemlere göre daha kısa olduğu görülmektedir. Bu da geri dönüşüm ve geri kazanım gibi kavramların önem kazanmasını sağlamıştır (Ren ve ark., 2018a). Geri kazanım faaliyetlerinin ilk adımı ise demontajdır (Gungor ve Gupta, 2001). Demontaj, ekonomik ömrünü tamamlamış ya da ıskartaya ayrılmış, atık olarak değerlendirilen ürünlerin kullanılabilir durumda olan parçalarına ve alt montajlarına bir takım operasyonlar aracılığıyla sistematik bir şekilde ayrılmasıdır (McGovern ve Gupta, 2007a).

Demontajda amaç olabildiğinde sökülen parçaları değerlendirebilmektir. Bunu yaparken de parça durumları bizim için önemlidir. Eğer parçalar iyi durumdaysa yedek parça olarak değerlendirilebileceği gibi bakımdan geçirilerek tekrar üretim zincirine katılabilmektedir. Parçalar kullanılmayacak kadar zarar gördülerse ya da kaynak gibi işlemlerden geçirilerek üretildiklerinden dolayı sökülemezlerse atık olarak sistemden uzaklaştırılırlar. Demontaj da söküm işlemi sonunda çevreye zararlı olan parçalarda ortaya çıkabilmektedir. Bu parçalar ise özel tesislere gönderilerek sistemden uzaklaştırılmaktadırlar.

Demontaj ve montaj arasındaki farklar çizelge 1.1’de gösterildiği gibidir.

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

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

Çizelge 1.1’de görüldüğü gibi demontaj hatlarının montaj hatlarıyla benzer özellikleri olduğu gibi farklı özellikleri de mevcuttur. Örneğin MHDP ve DHDP’nin her ikisi de polinom zamanlı çözülemediğinden, yani çözüm kümesi üstel olarak arttığından dolayı her ikisi de np-zor problemlerdir. Diğer yandan montaj işlemi gerçekleştirilirken

gerekli parçalar genelde sıfır ya da ikinci el tercih edilecekse gereken standartları sağlayan parçalar tercih edileceğinden parça kalitesindeki belirsizlik düşükken demontaj da parça sökümü sırasında parçanın zarar görmüş olma ihtimali bulunduğundan dolayı parça kalitesindeki belirsizlik oldukça yüksektir. Bir montaj hattında parçaların kalite ve miktar açısından belirli kısıtlar altında, bütün parçaların birleştirilmesi gerekir. Ancak demontaj hattında bütün parçaların bu kısıtlara uyma zorunluluğu olmayabilir. Bu nedenle demontaj hatları montaj hatlarının tersi olarak düşünülemez. Demontaj hatlarının kendine özgü özellikleri bulunmaktadır. (Kalayci ve ark., 2013).

Demontaj hatları kendi arasında yerleşim şekline göre, hatta üretilen ürün sayısı ve üretim şekline göre, hattın kontrol yapısına göre, otomasyon seviyesine göre, ürünü oluşturan parçaların tamamının ya da bir kısmının sökülmesine göre, sürece göre ve görev zamanlarına göre çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadırlar. Demontaj hatlarının sınıflandırılmasına ilişkin gösterim Şekil 1.1’de gösterilmiştir.

YERLEŞİM ŞEKLİ	ÜRETİM ŞEKLİ	KONTROL YAPISI	OTOMASYON SEVİYESİ	SÜREÇ DURUMU	GÖREV ZAMANI	PARÇA SÖKÜMÜ
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Düz</li> <li>• U Tipi</li> <li>• Paralel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tek Modelli</li> <li>• Karışık Modelli</li> <li>• Çok Modelli</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gecikmesiz</li> <li>• Gecikmeli</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manuel</li> <li>• Otomatik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hasarlı</li> <li>• Hasarsız</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deterministik</li> <li>• Stokastik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kısmi Demontaj</li> <li>• Tam Demontaj</li> </ul>

Şekil 1.1. Demontaj Hatlarının Sınıflandırılması

Bu tez çalışması kapsamında tek modelli, deterministik görev zamanlarına sahip, ve öncelik ilişkisi olan, gecikmesiz bir hatta, demontaj hatlarının kendine özgü bir özelliği olan kısmi demontajın olduğu Çift Taraflı Demontaj Hattı Dengeleme Problemi (ÇTDHDP) üzerine çalışılmıştır. ÇTDHDP problemi ile kullanılacak olan ekipman ve asistan durumu dikkate alınarak görevlerin çift istasyonlara eş zamanlı olarak atanmaları sağlanıp, belirli kısıtlar altında hangi parçaların sökülmesi gerektiğine karar vererek, toplam net geri kazanım kârının en büyüklenmesi amaçlanmaktadır. ÇTDHDP probleminin çözümü için 0-1 tamsayılı doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Önerilen doğrusal programlama modeli GAMS programı yardımıyla çözdürülmüştür. Önerilen çözüm yaklaşımının performansını analiz etmek amacıyla test problemleri geliştirilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Bu tez çalışması beş bölümden meydana gelmektedir. İkinci bölümde DHDP ile ilgili literatür çalışması detaylı bir şekilde incelenmiştir. Üçüncü bölümde DHDP ile ilgili literatürde kullanılan temel kavramlar verilerek, ÇTDHD problemi detaylı olarak anlatılmıştır. Problemin çözümü için önerilen 0-1 tamsayı doğrusal programlama modeli sunulmuş ve önerilen çözüm yaklaşımının performansını analiz etmek amacıyla oluşturulan test problemlerinin nasıl geliştirildiği anlatılmıştır. Dördüncü bölümde önerilen çözüm yöntemlerinin etkinliklerini test edebilmek için tarafımızca geliştirilmiş olan test problemleri üzerinde test edilerek, elde edilen sonuçlar çözüm kalitesi ve çözüm süresi açısından karşılaştırılmıştır. Beşinci bölümde ise tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar vurgulanmış ve ileride yapılabilecek çalışmalar hakkında öneriler sunulmuştur.



## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Literatürde demontaj hatlarıyla ilgili yapılan çalışmalarda ilk olarak tek modelli, düz hatlar üzerinde tam demontajın yapıldığı demontaj hattı dengeleme problemlerinin çözümleri üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Daha sonrasında çeşitli çalışma alanları oluşturularak ürün çeşitlerinin karmaşıklaştığı karışık modelli demontaj ve demontaj hatlarının kendine özgü bir özelliği olan kısmi demontaj hattı yerleşim tipleri üzerinde çalışılmıştır. Demontaj hatlarında genel olarak istasyon sayısını veya çevrim süresini en küçükmek amaçlanmıştır. Bunun yanı sıra amaç fonksiyonuna farklı amaç fonksiyonları da eklenerek çalışmalar yapılmıştır. Bazı çalışmalarda ise toplam net geri kazanım kârının en büyüklenmesi amaçlanmıştır. Bütün bunlar göz önüne alındığında demontaj hatlarında çözüm kümesinin üstel olarak artması sebebiyle np-zor problemler sınıfında yer alması sonucu sezgisel çözümlerden yararlanıldığı görülmüştür.

Gungor ve Gupta (2001), iş hatalarının dikkate alındığı durumda demontaj hattı dengeleme problemini ele almaktadırlar. Eğer herhangi bir iş kusurlu olmasından dolayı kaynaklanan sebeplerden dolayı yapılamıyorsa geriye kalan işler öncelik ilişkilerinden dolayı yapılamıyor olabilir. Buradaki amaç hata etkilerini en aza indirerek yapılacak olan işleri iş istasyonlarına atamaktır. Bunun için sezgisel bir yöntem önermişlerdir.

Güngör ve Gupta (2002), demontaj hattı dengeleme problemi alanında yapılan ilk çalışmadır. İlk olarak demontaj hatlarındaki ürünlerin geri kazanılmasındaki önemi açıklamışlar, sonrasında demontaj görevleri sırasında ortaya çıkan ve dikkat edilmesi gereken karmaşık etmenleri inceleyerek anlatmışlardır. Bu karmaşık etmenler ürünle alakalı, parçayla alakalı, hatla alakalı, taleple alakalı veya başka nedenlerden kaynaklı unsurlar olabilmektedir. Bunun için sistematik bir yaklaşım önermişlerdir.

McGovern ve Gupta (2004b), açgözlü ve 2-opt yaklaşımlarını önermişlerdir. Açgözlü algoritmayı kullanarak istasyon sayısını küçükmeyi, daha sonrasında 2-opt yaklaşımını kullanarak oluşan denge kaybını minimuma indirmeyi amaçlamışlardır.

McGovern ve Gupta (2004a), açgözlü algoritma ve tepe tırmanma yaklaşımını önermişlerdir. Açgözlü algoritma ile istasyon sayısını minimize etmeyi, istasyonda oluşan iş yüklerini dengelemek amacı ile tırmanma yaklaşımını uygulamışlardır.

Duta ve ark. (2005), yapılan çalışmada herhangi bir ürünün parçalara veya alt montajlara ayrılması sürecinde oluşan belirsizlikler nedeniyle, demontaj hattının tasarlanmasının ve dengelenmesinin çok zor bir problem olduğu vurgusu yapılmıştır. İlgili problemi çözmek amacıyla eşit yığınlar yaklaşımına dayanan yeni bir yöntem önerilmiştir. Gerçek sistemlerde, ürünlerin demontajı sırasında ilgili belirsizlikler

nedeniyle bazı görevlerin yapılamayacağı, bu durumda ilgili görevlerin yerine alternatif görevlerin yapılmasına karar verilmesi gerektiği belirtilmiştir. Eşit yığınlar yaklaşımıyla bu seçime karar verilirken, amaç istasyon yüklerinin arasındaki dengesizliğin en küçüklenmesidir.

McGovern ve Gupta (2005), demontaj hattı dengeleme problemi öncelikle olarak tanımlanmış. Karınca koloni optimizasyonu kullanılarak sonuçlar test edilmiştir.

McGovern ve Gupta (2007b), genetik algoritmayı kullanarak optimal ve optimale yakın sonuçlara ulaştıklarını belirtmişlerdir.

McGovern ve Gupta (2007a), genetik algoritma, karınca koloni optimizasyonu, tam arama, açgözlü algoritma, hibrid açgözlü/tepe tırmanma ve hibrid açgözlü 2-opt yaklaşımlarını önererek karşılaştırmışlardır. İstasyon sayısı bakımından genetik algoritma, tehlikeli parça açısından açgözlü, hibrid açgözlü/tepe tırmanma, hibrid açgözlü/2-opt, hat bakımından genetik algoritma, karınca koloni optimizasyonu ve hibrid aç gözlü 2-opt, yüksek talep bakımından genetik algoritma, hibrid aç gözlü 2-opt, yön değişimi kriteri bakımından genetik algoritma, hibrid aç gözlü tepe tırmanma, hibrid aç gözlü 2-opt yaklaşımlarının daha iyi sonuç verdiklerini bildirmişlerdir.

Agrawal ve Tiwari (2008), stokastik görev zamanlı karışık modelli U-tipi demontaj hattı dengeleme problemi için işbirlikçi karınca koloni optimizasyonunu önermişlerdir. Amaç iş istasyonlarının sayısını ve hattın değişik nedenlerden dolayı durma olasılığını minimuma indirmektir. Önerilen işbirlikçi karınca koloni optimizasyonunun, karınca koloni optimizasyonuna göre daha iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir.

Altekin ve ark. (2008), yaptıkları çalışma ile literatürde ilk defa kazanç temelli kısmi demontaj hattı dengeleme problemi için karma tamsayı programlama modeli geliştirmişlerdir. Modelde çevrim zamanı ve iş istasyonu sayısı karar değişkenidir. İlk defa demontaj öncelik ilişkilerinin farklı çeşitlerini tanımlamışlardır.

Koc ve ark. (2009), demontaj hattı dengeleme problemini tamsayı programlama ve dinamik programlama yöntemlerini kullanarak çözmüşlerdir. *Ve/Veya* diyagramlarında değişiklikler yaparak “Dönüştürülmüş *Ve/Veya* diyagramlarını” literatüre kazandırmışlardır. Bu çalışmanın aynı zamanda kısmi demontaj hattı dengeleme problemi içinde uygulanabileceğini belirtmişlerdir. Amaç istasyon sayısını minimum yapmaktır.

Ding ve ark. (2010), çok amaçlı karınca koloni optimizasyonu algoritmasını önermişlerdir. Önerdikleri sonucun karınca koloni optimizasyonu algoritmasına göre daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Kalayci ve ark. (2012), çok amaçlı demontaj hattı dengeleme problemi için tavlama benzetimi yaklaşımı önerilmiş ve ilgili yaklaşımın performansı literatürden alınan sayısal bir örnek üzerinden test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar önerilen yaklaşımın etkin olduğunu göstermektedir.

Paksoy ve ark. (2013), karışık modellenmiş demontaj hattı dengeleme problemi tanımlanmış, bulanık hedef programlama (BHP) ve bulanık çok amaçlı programlama (BÇAP) modelleri önerilmiştir.

Wan ve Krishna Gonnuru (2013), yaşam ömrünü tamamlamış ürünlerin demontaj kararının verilebilmesi için radyo frekansı tanımlama teknolojisinin kullanılmasını önermişlerdir. Zenginleştirilmiş bilgi sistemiyle beraber bulanık tabanlı bir planlama ve sıralama ile net kârı maksimum yapabilmek için bir model önermişlerdir.

Bentaha ve ark. (2014), iş istasyonlarının sabit ve görev sürelerinin stokastik olduğu demontaj hatlarında çevrim zamanı ve öncelik kısıtları altında alternatifler arasında görevlerin en iyi şekilde atanması üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Görev zamanlarının bilinen olasılık dağılımlarına göre rassal olduğu varsayılmaktadır. Amaç iş istasyonları arasında oluşacak olan boş zamanı olabildiğince minimuma indirmek ve istasyonlardaki iş yüklerini dengeleyebilmektir. Bu problem için 0-1 tamsayı stokastik programlama önerilmiştir.

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

Bentaha ve ark. (2015), belirsizlik altında bir demontaj hattı dengeleme problemi için örnek ortalama yaklaşımını önermişlerdir. Demontaj görev zamanlarının bilinen olasılık dağılımının rassal değişkenleri olduğu varsayılmıştır. Belirsizliği çözümlenebilmek için stokastik bir program geliştirmişlerdir. Amaç demontaj iş parçalarını hat üzerinde iş istasyonlarına atarken maliyeti minimize etmektir. Bunun için Monte Carlo örnekleme ve L şekilli algoritmayı kullanmışlardır.

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

Igarashi ve ark. (2016), demontaj ve alt demontaj hatlarının dengelenmesinde çevresel ve ekonomik parçaların seçimi açısından daha yüksek geri kazanım, daha düşük demonte maliyeti, CO<sub>2</sub> tasarrufu için basit ve pratik bir model üzerinde çok kriterli optimizasyon önermişlerdir.

Kalaycılar ve ark. (2016), sabit sayıda istasyon içeren demontaj hattı dengeleme problemi ele alınmıştır. Toplam net gelirin en büyüklenmesinin hedeflendiği çalışmada karışık tamsayılı programlama modeli, alt ve üst sınır prosedürleri geliştirilmiş ve ilgili prosedürlerin tatmin edici sonuçlar verdiği gösterilmiştir.

Mete ve ark. (2016), demontaj hattı dengeleme problemi için ışın arama yöntemine dayalı bir yaklaşım önermiştir. Önerilen algoritma sonuçlarını gerçek durumlarla karşılaştırmıştır. İkinci olarak kaynak kısıtlı demontaj hattı dengeleme problemi için yeni bir matematiksel model geliştirmiştir. Üçüncü olarak paralel montaj ve demontaj hat sistemi olarak adlandırılan bütünleşik hat tasarımı için yeni bir dengeleme problemi tanımlamış ve bu bağlamda çözüm yaklaşımları sunmuştur. Problemin çözümüne yönelik tam sayılı doğrusal programlama modeli ve karınca koloni optimizasyonu temelli sezgisel yaklaşım geliştirilmiştir.

Hezer (2017), toplam net geri kazanım kârını en büyükmek amacıyla görevlerin ve kaynakların istasyonlara atanmalarını dikkate alan proses alternatifli paralel demontaj hattı dengeleme problemi üzerine çalışılmıştır. Problemin varsayımları ve kısıtlar dikkate alınarak 0-1 tam sayılı programlama modeli önerilmiştir. Problem çözümü için literatürde ilk defa ele alınan düzeltmeli tavlama benzetimi yaklaşımı önerilmiştir. Uygun çözümlerin bulunduğu problemler için ise düzeltmeli tavlama benzetiminin çözümü ile ulaşılan çözümlerin önerilen matematiksel modelin sonuçlarından genel olarak daha yüksek olduğu kullanılan performans ölçütleriyle gösterilmiştir. Paralel hatların birbirinden bağımsız olarak dengelenmesi durumu ile eş zamanlı dengelenmesi durumu da karşılaştırılmış ve hatların eş zamanlı dengelenmeleri durumunda toplam net geri kazanım kârı üzerinde %42,87 oranında iyileştirme sağladığı ortaya koyulmuştur.



Jia ve Shuwei (2017), toplam demontaj zamanını, iş istasyonlarındaki boş zamanları, yüksek talebe sahip parçaları ve tehlikeli bileşenleri olan parçaları dikkate alan çok amaçlı sıra bağımlı bir demontaj hattı dengeleme problemi üzerine çalışmışlardır. Bu problem için bir model önermişlerdir. Önerilen model için test problemleri üretilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Xiao ve ark. (2017), entropi temelli adaptif bir melez parçacık yığın optimizasyon algoritması önermişlerdir. Bu algorithmada popülasyon çeşitliliğinin değişen eğilimini ölçmek ve boyutlarını öğrenebilmek için entropi tanıtılmıştır. Mutasyon ve çapraz değişim operatörleri uygun demontaj çözümlerinin üretilme olasılığını artırabilmek için kullanılmışlardır.

Ehm (2018), birden fazla heterojen ürüne sahip demontaj hatlarında makine çizelgeleme ve operasyon sırasının planlanması üzerine çalışmışlardır. Problem çözümü için karma tamsayılı programlama modelini önermişlerdir.

Gao ve ark. (2018), iş istasyonlarının seçimi ve demontaj sırasının belirlenmesinde kullanılan enerji tasarruf optimizasyonunu önermişlerdir. Demontaj sürecinin her aşamasındaki enerji tüketimi analiz edilerek modellenmiştir. Daha sonra iş istasyonlarındaki yüklerin dengelenmesi ve maliyet göz önüne alınarak enerji tüketimi minimize edilmeye çalışılmıştır. Problem çözümü için yapay arı koloni algoritması önerilmiştir.

Godichaud ve Amodeo (2018), demontaj için üç yeni ekonomik sipariş miktarı modeli önermişlerdir. Önerilen model yoksatma ve elden çıkarma işlemlerine izin vererek stok fazlası yönetimi için karar vermektedir.

Habibi ve ark. (2018), yaşam ömrünü tamamlamış ürünlerin demontaj kararını en iyi şekilde verebilmek için tersine tedarik zinciri (RSC) yaklaşımı önerilmiştir. Kalite belirsizliği ve ürün miktarı belirsizliğinin yanı sıra taleplerin belirsizliği de dikkate alınmıştır. Çözüm için iki fazlı iteratif sezgisel, stokastik programlama ve basit ortalama yaklaşımı önerilmiştir.

Hu ve ark. (2018), kısıtlama ilişkisi grafiğine (CRG) dayanarak enerji tüketimini azaltmayı amaçlayan ve en iyi demontaj sırasını bulabilmek için karınca koloni optimizasyon algoritmasını (IACO) önermişlerdir.

Ilgin (2018), yöneylem araştırması ve bilgisayar kadar geniş bilgi gerektirmeyen DEMATEL tabanlı bir sezgisel yaklaşım önerilmiştir. Çözüm için basit matriks metodları kullanılmıştır. Önerilen yaklaşım için iki sayısal örnek sunulmuş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Kim ve ark. (2018), rassal operasyon zamanlarına sahip paralel demontaj hattı dengeleme problemleri üzerine çalışmışlardır. Demontaj ve ceza maliyetlerinin en aza indirilmesi için stokastik bir tamsayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. Problem çözümü için örnek ortalama yaklaşımı önerilmiştir.

Liu ve ark. (2018), robotik demontaj hattı dengeleme problemleri için çok amaçlı ayrık arı algoritması yaklaşımını önermişlerdir. Matris metoduyla uygun sonuçlar elde edilmiş, pareto yardımıyla uygun sonuçların bulunması amaçlanmıştır.

Mete ve ark. (2018), melez üretim sistemlerinde aynı ürün üzerinde gerçekleştirilen montaj ve demontaj görevleri üzerine çalışmışlardır. Paralel hatlarda gerekli bileşenlerin montajı için demontaj hattı kolaylık sağlamaktadır. Melez üretim sistemi için yeni bir matematiksel model geliştirilmiştir. Problemin çözümü için karınca koloni optimizasyonu önerilmiştir.

Pistolesi ve ark. (2018), çok amaçlı demontaj hattı dengeleme problemi için doğadan ilham alan melez çok amaçlı uç genetik algoritma (EMOGA) önerilmiştir. İstasyon sayısını minimize etmek ve demontajdan elde edilen kârın maksimum olması amaçlanmıştır.

Ren ve ark. (2018b), demontaj hattı dengeleme problemi çözümü için çok ölçütlü karar verme (MCDM) ve genel değişken komşu arama (GVNS) algoritmasını birleştiren yeni bir sezgisel teknik önerilmiştir. Demontaj hattı dengeleme problemlerinin özelliklerine göre demontaj görevlerinin sırasını belirlemek ve performansını değerlendirebilmek için bulanık küme teorisine dayalı yenilikçi birçok ölçütlü karar verme (MCDM) yöntemi ve Choquet bulanık integrali geliştirilmiştir.

Ren ve ark. (2018c), senkronizasyon gereksinimini ortadan kaldıran asenkron paralel demontaj planlaması (aPDP) üzerine çalışmışlardır. Öncelik ilişkilerine ek olarak asenkron paralel demontaj planlamasında zamana bağımlılık yüksek bir operasyon halini alır. Bu problemi çözebilmek için metasezgisel bir yaklaşım olan genetik algoritma önerilmiştir.

Ren ve ark. (2018d), ekonomik, çevresel ve demontaj hattı etkinliğini dikkate alan çok amaçlı demontaj hattı dengeleme problemi üzerine çalışmışlardır. Problemi çözebilmek için üç aşamalı metodoloji önermişlerdir. Çözüm için 2-opt algoritmasını kullanmışlardır. Sonuçları diğer üç metod ile karşılaştırarak değerlendirmişlerdir.

Shuwei ve ark. (2018), sabit istasyon sayısına sahip demontaj hattı dengeleme problemleri üzerine çalışmışlardır. İş istasyonları arasındaki iş yükünün dengelenmesi ve çevrim zamanı minimizasyonunu amaçlayan tip iki demontaj hattı dengeleme problemini

(DLBP-II) sunmuşlardır. Problem çözümü için değişken komşu arama algoritmasını önermişlerdir.

Tao ve ark. (2018), demontaj sisteminin ve otomatik demontaj da geri dönüşüm rotasının seçimi için çevresel etkileri dikkate alan kâr amaçlı iki aşamalı ortak karar alma modeli önerilmiştir. İlk olarak her bir otomatik demontaj sistem şeması için Pareto optimal geri dönüşüm rotası elde edebilmek için çok amaçlı bir optimizasyon modeli oluşturulmuştur. Önerilen modeli çözmek için simbiyotik evrim mekanizmasına dayalı sürü optimizasyon algoritması önerilmiştir.

Tian ve ark. (2018), gerçek yaşamda demontaj hattında belirsiz durumlar mevcuttur. Stokastik maliyet ve ürünün demontaj zamanı rassallıkla ilişkilidir. Belirsiz bileşen kalitesi ve çeşitli demontaj maliyetleri altında  $Ve/Veya$  öncelik ilişkisi tabanlı demontaj hattı dengeleme problemleri üzerine çalışmışlardır. Problemi çözmek için yapay arı koloni optimizasyon algoritması önerilmiştir.

Zheng ve ark. (2018), iş istasyonlarına hangi görevlerin atanacağı, hangi istasyonların açılacağı belirlenmesi ve alternatif görev işlemlerinin seçimi üzerine çalışmışlardır. Amaç istasyonlardaki tehlikeli bileşen maliyetini, istasyonların operasyon maliyetini ve toplam maliyeti minimize etmektir. Bunun için stokastik görev zamanlarına sahip demontaj hattı dengeleme problemi için yeni dağıtımsız bir model önermişlerdir.

Zhu ve ark. (2018), tehlikeli parçaların demontaj operasyonlarına dahil olduğu durumda istasyon sayısını minimize etmek, düzeltme oranını maksimize etmek ve ortalama maksimum tehlikeyi en aza indirmek için çok amaçlı matematiksel model geliştirmişlerdir. Daha sonra problemi çözebilmek için pareto ateşböceği algoritmasını önermişlerdir.

Alshibli ve ark. (2019), Simüle Tavlama (SA) algoritması önerilmiştir. Bu algoritmanın sağlamlığını test etmek için Taguchi'nin ortogonal dizileri kullanılmıştır. Algoritmanın etkinliğini doğrulamak için verilen ürünün optimum ve yakın optimum değerleri karşılaştırılmıştır. Çözümü daha da geliştirmek için model çevresine birden fazla robot kolu yerleştirilerek görev atama tekniği de kullanılmıştır.

Cevikcan ve ark. (2019), çok çalışanlı istasyonlarda demontaj hattı dengeleme problemi tanıtılmıştır. İşçi ve iş istasyonu sayısını minimize edebilmek için karma tamsayı doğrusal programlama ve iki yeni sezgisel algoritma önermişlerdir.

Fang ve ark. (2019a), çoklu robotik iş istasyonlarında karışık modelli demontaj hattı dengeleme problemi için  $Ve/Veya$  öncelik ilişkisinin olduğu ve paralel bir demontaj hattı için matematiksel model önermişlerdir. Çevrim süresini, toplam enerji tüketimini,

en yüksek enerjiyi tüketen iş istasyonundaki enerji tüketimini ve aynı anda kullanılan robot sayısını en aza indirmek amaçlanmıştır.

Fang ve ark. (2019b), belirsizlik altında çoklu robotik iş istasyonlarında karışık modellenmiş demontaj hattı dengeleme problemleri üzerine çalışmışlardır. Farklı modellerin görevleri demontaj için farklı kapasitelere sahip robotlar tarafından aynı anda gerçekleştirilmektedir. Robotlar bilinmeyen görev süreleri ve enerji tüketimine sahiptirler. Çevrim zamanını, en yüksek enerjiyi tüketen iş istasyonundaki enerji tüketimini ve toplam enerji tüketimini en aza indirebilmek için karışık tamsayılı matematiksel programlama modeli önerilmiştir.

Favi ve ark. (2019), mekatronik ürünlerin geri dönüşümü ve demontajını değerlendirebilmek için bir yazılım aracı ve metod sunmuşlardır. Zamana dayalı bir yazılım aracı olan ve “LeanDfD” olarak adlandırılan aracı kullanmışlardır. Bu yazılım aracı parçalar arasındaki ilişkileri, hedef bileşenlerin demontaj önceliklerini, ürünün yaşam sonu gerçek özelliklerini dikkate alarak modelleyebilmek için en iyi sökme sırasını hesaplamaktadır.

Guo ve ark. (2019), öncelik kısıtlarını dikkate alan çok amaçlı kaynak kısıtlı ve sıra bağımlı demontaj hattı dengeleme problemi üzerine çalışmışlardır. Enerji tüketimi ve çevrim zamanı minimize edilmeye çalışılırken demontajdan elde edilen kâr maksimum yapılmaya çalışılmıştır. Problem çözümü için çok amaçlı dağılım araması metodu önerilmiştir. Doğrusal ağırlıklı çok amaçlı dağılım araması (SS) ve genetik algoritma sonuçları karşılaştırılmıştır.

Hasegawa ve ark. (2019), malzemeye dayalı CO<sub>2</sub> tasarrufu ve farklı piyasa değerlerine sahip olan ürünlerin maliyetlerinin dengelenmesi için demontaj parçalarının kullanım ömrü seçeneği üzerinde çalışılmıştır. CO<sub>2</sub> tasarrufu ve maliyeti uyumlu hale getirilen her bir parça yeniden kullanım için seçilmiştir. İlk olarak demontaj hattında sökülecek parçaların seçimi için 0-1 tamsayılı programlama modeli oluşturulmuştur. Daha sonra deney sonuçları değerlendirilmiştir.

Laili ve ark. (2019), sökülebilir alt montajları hızlı bir şekilde bulabilmek için iki-ışaretçi algılama stratejisi önermişlerdir. Toplam operatör ve iki noktadan oluşan bir liste bileşenler arasındaki minimum adım sayısını kontrol etmek için kullanılır. Daha sonra yeni sökme dizleri ve yönlerini tanımlamak için üçlü bir arı algoritması önerilmiştir. Bu algoritma sadece üç iş birliği potansiyel çözümleri ve üç eş zamanlı operasyonları kullanarak aç-gözlü arama ve meta-sezgisel tekniklerin faydalarını birleştirmektedir.

Li ve ark. (2019), demontaj hattı dengeleme problemi için Dal, Sınır ve hatırlama (BB&R) algoritmasını önermişlerdir. Ayrıca iki alt sınır düzenleyerek Koç'un (2009) tamsayı programlama modelini güçlendirmişlerdir.

Mete ve ark. (2019), yeni bir karma tamsayı programlama modeli önermişlerdir. İlk olarak demontaj hattı dengesini oluşturmuşlar daha sonra verilen yeni arza göre görevlerin yeniden seçilerek iş istasyonlarına atanması sağlanmıştır. Oluşturulan test problemleri üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir.

Pistolesi ve Lazzerini (2019), paralel demontaj hattı dengeleme problemleri üzerine çalışmışlardır. Paralellik derecesi, ergonomi seviyesi ve işçilerin iş yüklerinin dengelenmesinin maksimum olması, çevrim zamanının ise minimize olması amaçlanmıştır. Problem çözümü için iki aşamalı çok amaçlı bir algoritma olan tensör memetik algoritma (TeMA) önerilmiştir.

Tian ve Zhang (2019), iade edilen ürünlerin demontaj verimlerinin satın alma fiyatlarına bağlı olduğu kapasitedeki bir demontaj çizelgeleme ve fiyatlandırma problemini incelenmiştir. Problem için dış bükey olmayan karma tamsayı program modeli oluşturulmuştur. Problem çözümü için parçacık sürüsü optimizasyonu ve dinamik programlama önerilmiştir.

Wang ve ark. (2019a), çevresel etki ve ekonomik faydaları dengelemek için kısmi demontaj hattı dengeleme problemi üzerine çalışmışlardır. Kullanılan modelde tüm tehlikeli görevler demonte edilmiş ve iş istasyonlarını da içeren demontaj hattının faydalı indikatörleri iş yükü düzgünlüğü ve sökme kârı optimize edilmiştir. Problem çözümü için çok amaçlı yeni bir genetik benzetilmiş tavlama algoritması önerilmiştir.

Wang ve ark. (2019b), çok kısıtlı, çok amaçlı ve belirsizliğin olduğu durumda stokastik çift taraflı demontaj hattı dengeleme problemi üzerine çalışmışlardır. İstasyon sayısını, iş yükünü, enerji tüketimini ve eş zamanlı olarak üretim hattının kârını dengelemeyi amaçlamışlardır. Problemin çözümü için Pareto baskınlığı ilişkilerine dayanan çok amaçlı ayırık çiçek tozlaşma algoritmasını önermişlerdir.

Wang ve ark. (2019c), demontaj görevleri arasındaki etkileşimleri ve çok amaçlı matematiksel modeli dikkate alan sıra bağımlı demontaj hattı dengeleme problemleri üzerinde çalışmışlardır. Problemi çözmek için hibrid yapay arı koloni algoritmasını önermişlerdir.

Xia ve ark. (2019), karışık modelli demontaj hattı dengeleme problemi için oluşturulan modelde demontaj hattında çoklu ürünlerin benzer yapılarının rassal etkileri, iş istasyonlarının sayısı, istasyonlardaki iş yükünün dengelenmesi, talebi yüksek olan

parçaların öncelikle demontajının gerçekleştirilmesi ve operasyonların maliyetlerinin en küçüklenmesi dikkate alınmıştır. Problem çözümü için adaptif benzetilmiş tavlama (ASAGA) algoritması önerilmiştir. Elde edilen sonuçlar genetik algoritma ile karşılaştırılmıştır.

Wang ve ark. (2019), yapmış oldukları çalışmada kısmi çift taraflı demontaj hattı dengeleme problemi üzerine çalışmışlardır. Geliştirdikleri matematiksel modelde kullandıkları çift taraflı hatların kendine özgü bir özelliği olan süre kısıtları ve modelin kısmi oluşu bu çalışmada kullanılan süre kısıtlarıyla ve kullanılan matematiksel modelin kısmi olması açısından benzerlik göstermektedir. Ancak gerek çalıştıkları modelin stokastik olması, amaç fonksiyonun çok amaçlı olması ve tehlikeli parçaları içermesi bakımından bu tez çalışmasından ayrılmaktadır. Wang ve ark. tarafından oluşturulan matematiksel modelde istasyon sayısını minimize etmek, iş yükünü dengelemek, demontaj hattındaki enerji tüketimini minimize etmek ve maliyeti minimize ederken kârı maksimize etmek amaçlanmıştır. Bu amaçlara ek olarak tehlikeli parçalar olabildiğince sistemden erken uzaklaştırılmaya çalışılarak maliyet minimizasyonuna katkı sağlayabilmek amaçlanmıştır. Model çözümü için çok amaçlı ayrık çiçek tozlaşma algoritmasını önermişlerdir. Geliştirilen test problemleriyle de algoritmanın etkinliğini değerlendirmişlerdir. Problem için önerdikleri algoritmanın diğer algoritmalarla karşılaştırıldığında daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Demontaj hattında çalışılan konuların amaçlarının yer aldığı literatür özeti Çizelge 2.1’de olduğu gibidir.

**Çizelge 2. 1** Demontaj Alanında Yapılan Çalışmaların Literatür Özeti ve Çalışmaların Amaçları

Yazar	Amaç
Gungor ve Gupta (2001)	Hata etkilerini en aza indirmek
Gungor ve Gupta (2002)	Demontajın karakteristik özellikleri ve bu özellikleri yansıtan sezgisel bir yaklaşımın kullanılması
McGovern ve Gupta (2004a)	İstasyon sayısını minimize etmek Oluşan denge kaybını azaltmak

**Çizelge 2. 1** Demontaj Alanında Yapılan Çalışmaların Literatür Özeti ve Çalışmaların Amaçları (Devamı)

Yazar	Amaç
McGovern ve Gupta (2004b)	İstasyon sayısını minimize etmek İş yüklerini dengelemek
Duta ve ark. (2005)	İstasyon yükleri arasındaki dengesizliği minimize etmek
McGovern ve Gupta (2005)	Çevrim zamanını minimize etmek
McGovern ve Gupta (2007a)	Boş kalma sürelerini minimize etmek
McGovern ve Gupta (2007b)	İstasyon sayısı bakımından, hat bakımından, tehlikeli parça açısından, yüksek talep açısından, yön değişimi açısından yöntemlerin karşılaştırılarak optimum sonucu bulmak
Agrawal ve Tiwari (2008)	İstasyon sayısını minimize etmek Hattın değişik nedenlerden dolayı durma süresini azaltmak
Altekin ve ark. (2008)	Çevrim zamanını minimize etmek İstasyon sayısını minimize etmek
Koc ve ark. (2009)	İstasyon sayısını minimize etmek
Ding ve ark. (2010)	Çevrim zamanını minimize etmek
Kalayci ve ark. (2012)	Sıra bağımlı demontaj hattını tanıtmak İstasyon sayısını minimize etmek Toplam boş zamanı minimize etmek
Wan ve Gonnuru(2013)	Net kârı maksimum yapmak
Paksoy ve ark. (2013)	Çevrim zamanını minimize etmek İstasyon sayısını minimize etmek İş yükünü dengelemek
Bentaha ve ark.(2014)	İstasyon boş zamanlarını minimize etmek İş yükünü dengelemek
Bentaha ve ark. (2015)	Hat maliyetini minimize etmek
Hezer ve Kara (2015)	Toplam istasyon sayısını minimize etmek Maliyeti minimize etmek
Igarashi ve ark.(2016)	Maksimum geri kazanım sağlayabilmek CO <sub>2</sub> tasarrufu sağlayabilmek
Kalaycılar ve ark. (2016)	Net geliri maksimize etmek
Hezer S. (2017)	Net geri kazanımı kârını maksimize etmek
Jia ve Shuwei(2017)	İstasyon sayısını minimize etmek Toplam demontaj zamanını minimize etmek İstasyon boş zamanı minimize etmek İş yükünü dengelemek Tehlikeli parçaların olabildiğince önce ayrılmasını sağlayabilmek
Xiao ve ark.(2017)	İstasyon sayısını minimize etmek Boş zamanı minimize etmek Tehlikeli parçaları olabildiğince sistemden erken uzaklaştırmak
Ehm (2018)	Yayılm zamanını (makespan) minimize etmek
Gao ve ark. (2018)	Enerji tüketimini minimize etmek İstasyon sayısını minimize etmek İş yüklerini dengelemek
Godichaud ve Amodeo (2018)	Optimum sipariş miktarını elde etmek

**Çizelge 2. 1** Demontaj Alanında Yapılan Çalışmaların Literatür Özeti ve Çalışmaların Amaçları (Devamı)

<b>Yazar</b>	<b>Amaç</b>
Habibi ve ark. (2018)	Maliyeti minimize etmek
Hu ve ark. (2018)	Enerji tüketimini minimize etmek
Ilgin (2018)	Çevrim zamanını minimize etmek Tehlikeli parçaları önce sistemden uzaklaştırmak
Kim ve ark. (2018)	Maliyeti minimize etmek Ceza maliyetini minimize etmek
Liu ve ark. (2018)	İstasyon sayısını minimize etmek
Mete ve ark. (2018)	İstasyon sayısını minimize etmek Maliyeti minimize etmek
Pistolesi ve ark. (2018)	İstasyon sayısını minimize etmek Demontajdan elde edilen kârı maksimum yapmak
Ren ve ark. (2018b)	İstasyon sayısını minimize etmek Boş zamanları minimize etmek Tehlikeli parçaları sistemden önce uzaklaştırmak Yüksek talepteki ürünleri önce demonte etmek
Ren ve ark. (2018c)	Çevrim zamanını minimize etmek
Shuwei ve ark. (2018)	Çevrim zamanını minimize etmek İstasyon boş zamanını minimize etmek
Tao ve ark. (2018)	Net kârı maksimum yapmak Parçalardan elde edilen materyal enerjisini koruyabilmek
Pistolesi ve Lazzerini (2019)	Çevrim zamanını minimize etmek İşçilerin iş yüklerini dengelemek Paralellik derecesini maksimize etmek Ergonomi seviyesini maksimize etmek
Tian ve ark. (2018)	Demontaj kârını maksimize etmek
Zheng ve ark. (2018)	Tehlikeli parça maliyetini minimize etmek İş istasyonlarındaki maliyeti minimize etmek Toplam maliyeti minimize etmek
Zhu ve ark. (2018)	İstasyon sayısını minimize etmek İstasyon boş zamanını minimize etmek Ortalama maksimum tehlikeyi minimize etmek
Alshibli ve ark. (2019)	Kaynak kullanımını minimize etmek Çevrim zamanını minimize etmek
Cevikcan ve ark. (2019)	İstasyon sayısını minimize etmek İşçi sayısını minimize etmek
Fang ve ark. (2019b)	Çevrim zamanını minimize etmek En yüksek enerjili tüketen iş istasyonundaki enerji tüketimini minimize etmek Toplam enerji tüketimini minimize etmek
Fang ve ark. (2019a)	Çevrim zamanını minimize etmek En yüksek enerjili tüketen iş istasyonundaki enerji tüketimini minimize etmek Toplam enerji tüketimini minimize etmek Aynı anda kullanılan robot sayısını minimize etmek
Favi ve ark. (2019)	Çevrim zamanını minimize etmek



**Çizelge 2. 1** Demontaj Alanında Yapılan Çalışmaların Literatür Özeti ve Çalışmaların Amaçları (Devamı)

<b>Yazar</b>	<b>Amaç</b>
Guo ve ark. (2019)	Enerji tüketimini minimize etmek Kârı maksimize etmek Çevrim zamanını minimize etmek
Hasegawa ve ark. (2019)	Maliyeti minimize etmek CO <sub>2</sub> tasarrufunu maksimize etmek
Li ve ark. (2019)	Maliyeti minimize etmek
Mete ve ark. (2019)	Maliyeti minimize etmek
Tian ve Zhang (2019)	Maliyeti minimize etmek
Wang ve ark. (2019b)	İstasyon sayısını minimize etmek İş yükünü dengelemek Enerji tüketimini minimize etmek Kârı maksimize etmek
Wang ve ark. (2019a)	Tehlikeli parçaların tamamen sistemden uzaklaştırmak İş yükünü dengelemek Sökme kârını optimize etmek
Wang ve ark. (2019c)	İstasyon sayısını minimize etmek Ek kaynak tüketimini minimize etmek Çevrim zamanını minimize etmek İş yükünü dengelemek Tehlikeli parçaların sistemden önce uzaklaşmasını sağlamak Yüksek talep bileşenlerini karşılayabilmek
Xia ve ark. (2019)	İstasyon sayısı minimize etmek İş yükünün dengelemek Talebi yüksek olan parçaları olabildiğince önce demonte etmek Operasyon maliyetini minimize etmek

Demontaj hattında çalışılan konuların yer aldığı literatür özeti Çizelge 2.2’de gösterildiği gibidir.

**Çizelge 2.2** Demontaj Alanında Yapılan Çalışmalara İlişkin Literatür Özeti

YAZAR	ÜRETİM ŞEKLİ	HAT ŞEKLİ	DEMONTAJ SEVİYESİ	GÖREV SÜRELERİ	KULLANILAN YÖNTEM
Gungor ve Gupta (2001)	Tek Modeli	Düz	Tam	Deterministik	Operasyonel Faktörleri Dikkate Alan Sezgisel Yaklaşım
Gungor ve Gupta (2002)	Tek Modeli	Düz	Tam	Deterministik	Öncelik Fonksiyon Değerini Dikkate Alan Sezgisel Yaklaşım
McGovern ve Gupta (2004a)	Tek Modeli	Düz	Tam	Deterministik	Açgözlü ve 2-Opt Yaklaşım
McGovern ve Gupta (2004b)	Tek Modeli	Düz	Tam	Deterministik	Açgözlü ve Tepe Tırmanma Sezgiseli
Duta ve ark. (2005)	Çok Modeli	Düz	Kısmi	Deterministik	Eşit Yığınlar Yaklaşımı
McGovern ve Gupta (2005)	Tek Modeli	Düz	Tam	Deterministik	Karınca Koloni Optimizasyonu
McGovern ve Gupta (2007a)	Tek Modeli	Düz	Tam	Deterministik	Genetik Algoritma
McGovern ve Gupta (2007b)	Tek Modeli	Düz	Tam	Deterministik	GA,KKO,Tam Arama,Açgözlü Algoritma Hibrid Açgözlü/Tepe Tırmanma,Hibrid Açgözlü 2-Opt
Agrawal ve Tiwari (2008)	Karışık Modeli	U-Tipi	Tam	Stokastik	İşbirlikçi Karınca Koloni Optimizasyonu
Altekin ve ark. (2008)	Tek Modeli	Düz	Kısmi	Deterministik	Karma Tamsayılı Programlama
Koc ve ark. (2009)	Tek Modeli	Düz	Tam	Deterministik	Tam Sayılı Programlama ve Dinamik Programlama
Ding ve ark. (2010)	Tek Modeli	Düz	Tam	Deterministik	Çok Karınca Koloni Optimizasyonu
Kalayci ve ark (2012)	Tek Modeli	Düz	Tam	Deterministik	Karınca Koloni Optimizasyonu
Paksoy ve ark (2013)	Karışık Modeli	Düz	Tam	Deterministik	Bulanık Hedef Programlama ve Bulanık Çok Amaçlı Programlama
Wan ve Gonnuru (2013)	Tek Modeli	Düz	Tam	Deterministik	Bulanık Mantık Tabanlı Radyo Frekanslı Tanımlama Teknolojisi
Bentaha ve ark. (2014)	Tek Modeli	Düz	Kısmi	Stokastik	0-1 Tamsayılı Stokastik Programlama
Bentaha ve ark. (2015)	Tek Modeli	Düz	Tam	Stokastik	Örnek Ortalama Yaklaşım(Monte Carlo Örnekleme ve L Şekli Algoritma)
Hezer ve Kara (2015)	Tek Modeli	Paralel	Tam	Deterministik	En Kısa Yol Algoritması Tabanlı Ağ Modeli
Igarashi ve ark. (2016)	Tek Modeli	Düz	Tam	Deterministik	Çok Kriterli Optimizasyon
Kalaycılar ve ark. (2016)	Tek Modeli	Düz	Tam	Deterministik	Karma Tamsayılı Programlama
Hezer S. (2017)	Tek Modeli	Paralel	Kısmi	Deterministik	0-1 Tamsayılı Programlama
Jia ve Shuwei (2017)	Tek Modeli	Düz	Tam	Deterministik	Çok Amaçlı Optimizasyon
Xiao ve ark. (2017)	Tek Modeli	Düz	Tam	Deterministik	Entropi Temelli Melez Parçacık Yığın Algoritması (Çok Kriterli Karar Verme)
Ehm (2018)	Tek Modeli	Paralel	Tam	Deterministik	Karma Tamsayılı Programlama
Gao ve ark. (2018)	Tek Modeli	Düz	Tam	Deterministik	Yapay Arı Koloni Algoritması
Godichaud ve Amodeo (2018)	Tek Modeli	Düz	Tam	Deterministik	Ekonomik Sipariş Miktarı (EOQ)
Habibi ve ark. (2018)	Tek Modeli	Düz	Tam	Deterministik	İki Fazlı İteratif Sezgisel Stokastik Programlama Ortalama Yaklaşım

Çizelge 2.2 Demontaj Alanında Yapılan Çalışmalara İlişkin Literatür Özeti (Devamı)

YAZAR	ÜRETİM ŞEKLİ	HAT ŞEKLİ	DEMONTAJ SEVİYESİ	GÖREV SÜRELERİ	KULLANILAN YÖNTEM
Hu ve ark. (2018)	Tek Modelli	Düz	Tam	Deterministik	Karınca Koloni Optimizasyonu
İlgin (2018)	Tek Modelli	Düz	Tam	Deterministik	DAMETAL Tabanlı Sezgisel Yaklaşım
Kim ve ark. (2018)	Tek Modelli	Düz	Tam	Stokastik	Stokastik Tamsayılı Programlama Örnek Ortalama Yaklaşımı
Liu ve ark. (2018)	Tek Modelli	Düz	Tam	Deterministik	Çok Amaçlı Ayrık Arı Algoritması
Mete ve ark. (2018)	Tek Modelli	Paralel	Tam	Deterministik	Karınca Koloni Optimizasyonu
Pistolesi ve ark. (2018)	Tek Modelli	Düz	Tam	Deterministik	Çok Amaçlı Uç Genetik Algoritma(EMOGA)
Ren ve ark. (2018a)	Tek Modelli	Düz	Kısmi	Deterministik	2-Opt Algoritması
Ren ve ark. (2018b)	Tek Modelli	Düz	Kısmi	Deterministik	Sezgisel Bir Yaklaşım
Ren ve ark. (2018c)	Tek Modelli	Düz	Kısmi	Deterministik	Genetik Algoritma
Shuwei ve ark. (2018)	Tek Modelli	Düz	Tam	Deterministik	Değişken Komşu Arama Algoritması
Tao ve ark. (2018)	Tek Modelli	Düz	Tam	Deterministik	Simbiyotik Evrim Mekanizmasına Dayalı Sürü Optimizasyon Algoritması
Tian ve ark. (2018)	Tek Modelli	Düz	Kısmi	Stokastik	Yapay Arı Koloni Algoritması
Zheng ve ark. (2018)	Tek Modelli	Düz	Tam	Stokastik	Yeni Dağıtımsız Bir Model
Zhu ve ark. (2018)	Tek Modelli	Düz	Tam	Deterministik	Pareto Ateşböceği Algoritması
Alshibli ve ark. (2019)	Tek Modelli	Düz	Tam	Deterministik	Simüle Tavlama(SA) Algoritması
Cevikcan ve ark. (2019)	Tek Modelli	Düz	Kısmi	Deterministik	Karma Tamsayılı Programlama(MILP) ve Sezgisel Yaklaşım
Fang ve ark. (2019a)	Karışık Modelli	Düz	Tam	Stokastik	Karma Tamsayılı Programlama
Fang ve ark. (2019b)	Karışık Modelli	Paralel	Kısmi	Deterministik	Karma Tamsayılı Programlama
Favi ve ark. (2019)	Tek Modelli	Düz	Tam	Deterministik	LeanDfD
Guo ve ark. (2019)	Tek Modelli	Düz	Tam	Deterministik	Çok Amaçlı Dağılım Araması
Hasegawa ve ark. (2019)	Tek Modelli	Düz	Tam	Deterministik	0-1 Tamsayılı Programlama Modeli
Li ve ark. (2019)	Tek Modelli	Düz	Kısmi	Deterministik	Dal,Sınır ve Hatırlama (BB&R) Algoritması
Mete ve ark. (2019)	Tek Modelli	Düz	Tam	Deterministik	Karma Tamsayılı Programlama
Pistolesi ve Lazzerini (2019)	Tek Modelli	Paralel	Tam	Deterministik	Tensör Memetik Algoritma(TeMA)
Tian ve Zhang (2019)	Tek Modelli	Düz	Tam	Deterministik	Parçacık Sürüsü Optimizasyonu ve Dinamik Programlama
Wang ve ark. (2019a)	Tek Modelli	Düz	Tam	Stokastik	Çok Amaçlı Ayrık Çiçek Tozlaşma Algoritması
Wang ve ark. (2019b)	Tek Modelli	Düz	Tam	Deterministik	Genetik Benzetilmiş Tavlama Algoritması
Wang ve ark. (2019c)	Tek Modelli	Düz	Kısmi	Stokastik	Hibrid Yapay Arı Koloni Algoritması
Xia ve ark. (2019)	Karışık Modelli	Düz	Tam	Stokastik	Genetik Benzetilmiş Tavlama Algoritması

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

Bu bölümde demontaj hattı literatüründe sıkça kullanılan temel kavramlara yer verilmiştir. Daha sonrasında DHDP ve ÇTDHD problemleri anlatılmış ÇTDHD problemi tanımlanarak detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Son olarak ise tarafımızca geliştirilen test probleminin özellikleri sunulmuştur.

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

Demontaj hatlarının temel kavramları aşağıdaki gibidir (Lambert ve Gupta, 2004).

*Demontaj:* Kullanıma hazır olan bir ürünün kendisini oluşturan bileşenlerine ayrılması işlemine verilen addır.

*Görev (operasyon):* Demontaj sürecinde yapılması gereken toplam işi oluşturan öğelerdir. Görevler genellikle daha küçük parçalara bölünemezler.

*Görev (operasyon, işlem) zamanı:* Bir görevin yerine getirilmesi için gereken süreye denir.

*İstasyon:* Çift taraflı demontaj hattı üzerinde sağ ve sol taraflara konumlandırılmış belirli bir görev grubunun (bir veya daha fazla görevin) yerine getirildiği bölümlerdir. Her bir istasyonda sadece bir operatörün çalışabildiği varsayılır. İstasyon sayısı operatör sayısını temsil etmektedir.

*Çift (eş) istasyon:* Çift taraflı demontaj hattı üzerine yerleştirilmiş karşılıklı istasyonlar çiftine denir. Çift istasyon sayısı demontaj hattının uzunluğunu temsil etmektedir.

*İş yükü:* İstasyona atanan görevlerin zamanlarının toplamıdır.

*İstasyon zamanı:* Bir istasyona atanan görevlerin görev süreleri toplamıdır.

*Çevrim zamanı:* Bir istasyona atanan görevlerin yerine getirilmesi için tanınan süredir. Diğer bir deyişle, demontaj hattından arka arkaya tamamlanarak ayrılan iki ürün arasında geçen zamandır. Çevrim zamanı, en büyük görev süresinden daha küçük olamaz.

*Operasyon tarafı:* Çift taraflı demontaj hatlarında bazı görevler hattın sadece tek bir tarafına yapılabilirler. Bu görevlere L-tipi (sol taraf) ve R-tipi (sağ taraf) görevleri denir. Bazı görevler ise hattın herhangi bir tarafında yapılabilirler. Bu görevlere ise E-tipi (her iki taraf) görevler adı verilir.

*Öncelik diyagramı:* Görevler arasındaki öncelik ilişkilerini, görev zamanlarını ve operasyon taraflarını göstermede kullanılan bir araçtır. Öncelik şemasında görevleri

temsil eden düğümler, görev zamanları, görevlerin operasyon tarafları ve öncelik ilişkisini belirten oklar yer alır.

*Operasyon sırası:* Bir istasyona atanan görevlerin öncelik ilişkileri ve boş zamanlar dikkate alınarak oluşturulan yerine getirilme sırasıdır.

*Başlama zamanı:* Bir görevin bütün öncülleri tamamlandıktan sonra operasyon sırasına bağlı olarak yerine getirilmeye başlandığı zamandır.

*Bitiş zamanı:* Bir görevin operasyon sırasına bağlı olarak tamamlandığı zamandır. Diğer bir deyişle başlama zamanı ile görev süresi toplamıdır. Bir görevin bitiş zamanı çevrim zamanından büyük olamaz.

*Boş zaman:* Çevrim zamanı ile istasyon zamanı arasındaki farktır. Çift taraflı demontaj hatlarında boş zamanlar iki ardışık görev arasında, bir istasyondaki ilk görevden önce veya bir istasyondaki son görevden sonra ortaya çıkmaktadır.

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

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

### 3.1.2. Demontaj hatlarına ilişkin faktörler

Demontaj hatlarına ilişkin belirli özellikleri kendi arasında 7 gruba ayırabiliriz.

Demontaj hatlarında **Üretim Şekline Göre** özellikler mevcuttur. Demontaj hatlarında farklı ürün grupları bulunabilmektedir. Ürünler tek modelli, karışık modelli veya ürün çeşitliliğine göre çok modelli olabilirler. Tek modelli hatlarda genellikle tek tip ürün veya modeller yer almaktadır. Karışık ve çok modelli demontaj hatları ise tek modelli demontaj hatlarına göre farklılık göstermektedir. Karışık modelli hatlarda birden fazla benzer tipteki model aynı anda karışık olarak demonte edilmektedir. Çok modelli hatlarda ise birden fazla modelin demontajı partiler halinde yapılmaktadır (Güngör ve Gupta, 2002).

Demontaj hatlarında **Hattın Kontrol Yapısına Göre** özellikler mevcuttur. Kendi içinde hattın hızına göre ve hattın yerleşimine göre ikiye ayrılmaktadır.

Hattın hızına göre gecikmeli hatlar ve gecikmesiz hatlar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Gecikmesiz hatlar, konveyörler, hareketli bantlar gibi malzeme taşıma ekipmanları, istasyonları esnek olmayan bir biçimde birbirine bağlar. İş parçaları hareketli bantlar üzerinde bir istasyondan diğerine sabit hızda hareket ederler veya işlendikten sonra kesik kesik transfer edilebilirler. Her iki durumda da her bir istasyona

görevlerin yerine getirilmesi aynı zamanı kapsamaktadır. Ayrıca sistemde tıkanıklıkların olup darboğazların oluşmaması için gerekli olan ekipmanların önceden ilgili yerlere getirilmesi de işin kolaylaşmasına katkı sağlar. Örneğin bir beton santralının demontajında firmadan gelen talep doğrultusunda hasar gören, sökülemeyecek değişmesi gerekli olabilecek veya demontaj esnasında kullanılamayacak durumda olduğu tespit edilen parçalar, santral ekipmanları, elektrik kabloları, elektrik kablo tavaları vb. malzemeler demontaj sonrası ayrı tespit edilir. Sökme ve montaj sahalarında gerekli olabilecek vinç, iskele, oksijen takımı, kaynak makinesi, anahtar takımı, spiral taş vb. gibi ekipmanların ve malzemelerin sahada hazır bulundurulması işlerin hız kazanmasını ve olabilecek gecikmelerin olmamasını ya da en aza indirilmesini sağlamaktadır.

Gecikmeli hatlarda ise istasyonlar arasında tampon bulunmaktadır. Tampon takip eden istasyonda bir önceki işlem devam ederken iş parçasının tutulduğu yer olarak tanımlanmaktadır.

Demontaj hatlarında *Hattın Yerleşimine Göre* özellikler mevcuttur. Hattın yerleşim tipine göre genel olarak geleneksel, U-tipi ve paralel demontaj hattı olarak üçe ayrılmaktadır.

Geleneksel demontaj hatlarında iş istasyonları düz bir çizgi halinde birbirini ardına sıralanmaktadır ve her istasyonda bir veya daha fazla parça demonte edilmekte, son istasyona gelindiğinde talep edilen parça/parçaların tamamı elde edilmiş olmaktadır.

U-tipi demontaj hatlarında ise hattın girişi ve çıkışı aynı pozisyonadadır. Operatörler hattın iç tarafında çalışmaktadırlar (Agrawal ve Tiwari, 2008; Avikal ve ark., 2013). U tipi hatlar daha çok Japon üretim sistemleri için tercih edilen hatlardır.

Geleneksel hatların paralel şekilde yerleştirilmesi ile paralel demontaj hatları ortaya çıkmaktadır. İlgili hatlarda hat sayısı ile doğru orantılı olarak birden fazla ürünün eş zamanlı olarak demontajı söz konusudur (Hezer ve Kara, 2015).

Ayrıca çalışılan ürün çeşitine göre çift taraflı demontaj hatları da kullanılabilir. Özellikle kamyon, traktör, otomobil gibi büyük boyutlu ürünlerin montaj işlemlerinin tek taraflı demontaj hatlarında yapılması oldukça zor olmaktadır. Bunun yerine hattın iki tarafı da kullanılarak işlemler daha hızlı yapılabilmesi için çift taraflı demontaj hatlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Çift taraflı demontaj hatları, hattın sağında ve solunda eş zamanlı demontaj işlemlerinin yapılmasına olanak sağlamaktadır. İşlevsel yapılarına göre de seri, bileşik, paralel ve besleyici demontaj hatları olarak sınıflandırılmaktadırlar. Eğer bazı işlerin işlem zamanları, çevrim zamanını aşarsa paralel

veya çoklu istasyonlar dengeleme için kullanılabilir. Paralellik yardımıyla daha az istasyonla daha dengeli hatlar elde edilebilir.

Demontaj hatlarında **Sürece Göre** özellikler mevcuttur. Sürece ilişkin faktörler gelen ürünlerin kalitesine göre kendi içinde üçe ayrılmaktadır.

A tipi hata diye adlandırdığımız sökülebilir hatalı parçalar, demontaj sırasında sökülme işlemi gerçekleştirilebilen ancak sökülürken zedelenmeye uğrayarak fonksiyonunda eksikler oluşmuş ya da yararlı ömrünü doldurmuş olan parçalardır.

B tipi hata diye adlandırdığımız sökülemeyen hatalı parçalar ise yararlı ömrünü tamamlamış ancak montaj esnasında kaynak gibi işlemlerden geçmiş tek bir parça halinde elde edemediğimiz parçalardır.

Gelen ürünlerin kalitesine göre ayırdığımızda bir diğer dikkat edilmesi gereken unsurda fonksiyonel olarak hatalı parçalardır. Bu parçalar sahip olduğu fonksiyonu demontajdan sonra yerine getiremeyen parçalardır.

Demontaj hatlarında **Otomasyon Seviyesine Göre** özellikler mevcuttur. Otomasyon seviyesine göre kendi içinde ikiye ayrılmaktadır.

Manuel demontaj hatlarında genellikle demonte edilen parçalar kırılmalıdır. Makine veya robotların gerekli esneklik özelliğine sahip olmamaları, daha çok elle işlem gerektiren durumların olduğu zamanlarda manuel demontaj hatları kullanılmaktadır.

Otomatik demontaj hatlarında istasyonlarda görevler otomatiktir. İstasyonlardaki görevler makine veya robotlar yardımıyla gerçekleştirilmektedir.

Demontaj hatlarında **Talep Seviyesine Göre** özellikler mevcuttur. Montaj hattında bütün parçaların birleştirilmesi zorunlu iken demontaj hatlarında bunun aksine talep üzerine sökülme işlemleri gerçekleştirilmektedir. Bu da iki farklı şekilde gerçekleştirilmektedir. Tamamen hatasız parçaların demontaj işlemi gerçekleştirilebileceği gibi hatanın seviyesine göre hatalı parçalar talep edenlerden tarafından kabul edilebilmektedir. Ürünün bütün parçalarının söküldüğü demontaj tam demontaj, talepler doğrultusunda bir kısmının söküldüğü demontaj kısmi demontaj olarak adlandırılmaktadır.

Demontaj hatlarında **Görev Zamanlarına Göre** özellikler mevcuttur. Görev zamanlarına göre kendi içerisinde ikiye ayrılmaktadır.

Deterministik demontaj hatları yüksek güvenilirlikte otomasyonun olduğu ya da görev sürelerinin beklenen varyansının olduğu durumlardaki demontaj işlemlerini ifade etmektedir.

Stokastik demontaj hatları çalışanların değişik nitelik ve motivasyona sahip olduğu, süreçlerin karmaşık olduğu görev sürelerinin birbirinden farklılık gösterdiği durumlardaki demontaj işlemlerini ifade etmektedir.

Demontaj hatlarında *Operasyonel Faktörlere Göre* özellikler mevcuttur. Operasyonel faktörler demontaj süreci boyunca parçaların sürecin akışına uygun olmayacak şekilde karşılaşılan durumlarını ifade eder. Bunlar demontaj sürecinde sistemden erken ayrılan iş parçaları, kendi kendine atlayan iş parçaları, atlayan iş parçaları, kaybolan iş parçaları ve patlayan iş parçaları olarak ayrılmaktadırlar.

Demontaj hatlarında *Diğer Faktörler*, yukarıda bahsedilen faktörler dışında ürünün cinsine, demontajın yapılacağı yere ya da demontaj süreci sırasında karşılaşılan durumlarda diğer faktörler içinde yer almaktadır.

### 3.1.3. Demontaj hattı öncelik ilişkileri

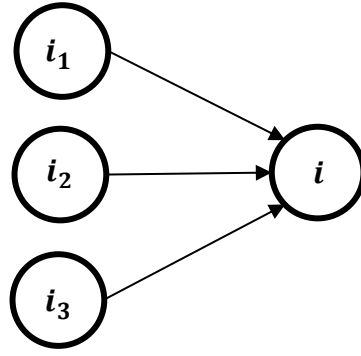
Demontaj hatlarında görev veya parçalar arasında ilişkiler gösterilirken montaj hatlarında olduğu gibi öncelik ilişkilerinden yararlanır. Öncelik ilişkileri öncelik diyagramında gösterilmektedir. Öncelik ilişkileri görev tabanlı olabileceği gibi parça tabanlı da olabilmektedir.

Parça tabanlı öncelik ilişkilerinde görevler yerine ürünün parçaları dikkate alınmaktadır. Alternatif sıralamalar birden fazladır. Aynı parçanın çıkarılması için gerekli olan görev zamanı her sıralama için farklılık gösterebilmektedir.

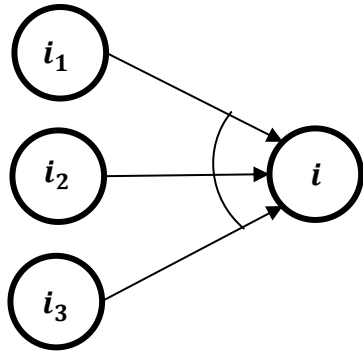
Görev tabanlı öncelik ilişkileri görevler arasındaki öncelik ilişkileri dikkate alınmaktadır. Bir görevin yapılması ile bir veya birden fazla parçanın veya alt montajın demontajı yapılır. Alternatif öncelik sıraları söz konusudur. Bu durum aynı parça/alt montajın demonte edilmesini sağlayan görevin süresinin her sıralama için farklı olmasına neden olmaktadır (Gungor ve Gupta, 2001).

Demontaj diyagramlarında görevler veya parçalar arasındaki öncelik ilişkilerini belirtmek için *Ve*, *Veya* ifadeleri kullanılmaktadır. *Ve* öncelik ilişkisinde bir görevin yapılabilmesi veya parçanın sökülebilmesi için kendisinden önce gelen *Ve* öncelik ilişkisine sahip bütün görevlerin yapılması ya da parçaların sökülmesi gerekmektedir. *Veya* öncelik ilişkisinde ise bir görevin veya parçanın sökülebilmesi için kendisinden önce gelen *Veya* öncül görevlerinden en az birinin gerçekleştirilmesi ya da parçalardan en az birinin demonte işleminin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. *Veya* öncülü öncelik ilişkileri diyagramında görevler veya parçalar arasına yay çizilerek gösterilmektedir (Altekin ve ark., 2008).

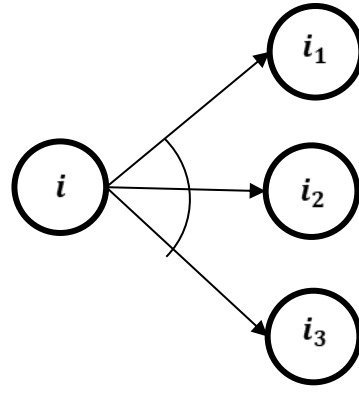




(a)

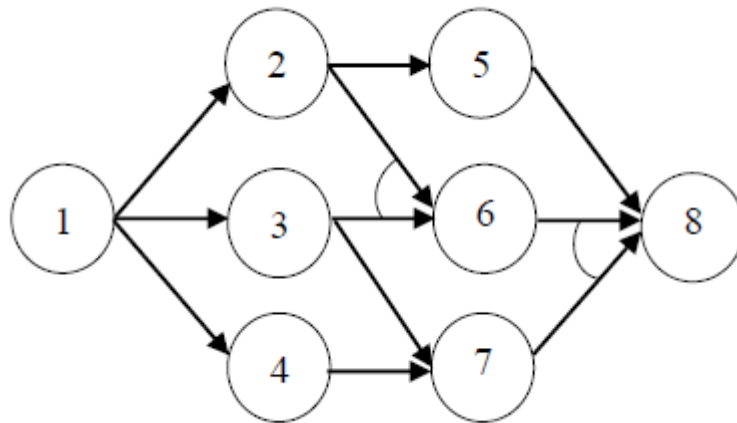


(b)



(c)

Şekil 3.1. a) Örnek Bir Ve Öncelik İlişkisi b) Örnek Bir Veya Öncelik İlişkisi e) Örnek Bir Veya Ardıllık İlişkisi (Altekin ve ark., 2008; McGovern ve Gupta, 2011).



Şekil 3.2. Sekiz Görevli Örnek Bir Demontaj Öncelik Diyagramı (Hezer, 2017)

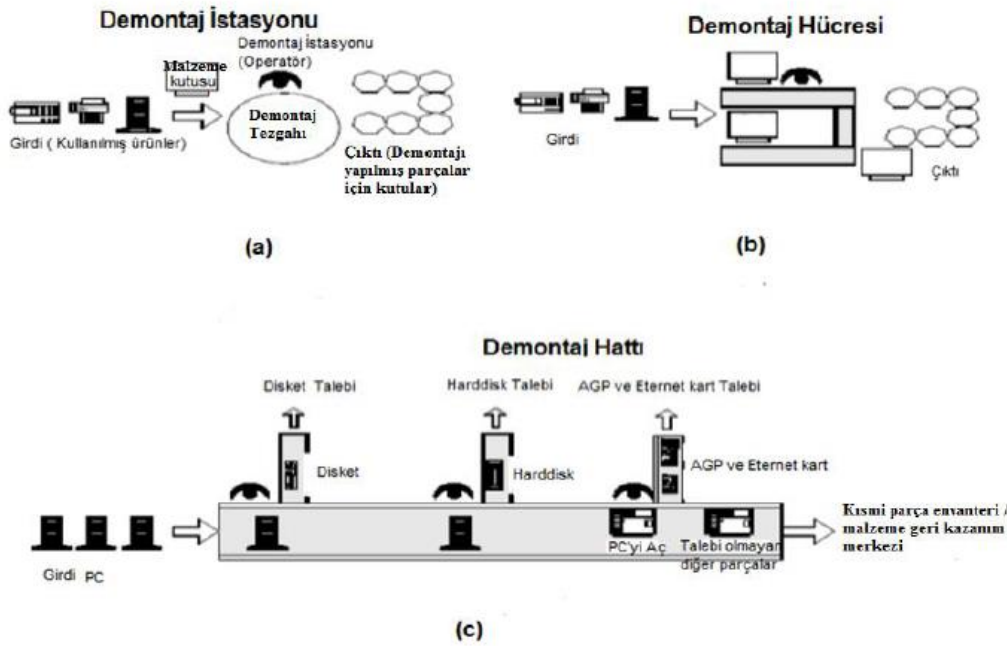
Şekil 3.2' de örnek 8 görevli bir demontaj işlemi için öncelik diyagramı verilmiştir. Oklar görevlerdeki öncelik ilişkilerini, numaralar ise görev numaralarını

göstermektedir. Şekilde 1 numaralı görev 2, 3 ve 4 numaraları görevlerden önce geldiği için 2, 3 ve 4 numaralı görevlerin öncülüdür. Aynı mantıktan hareketle 2, 3 ve 4 numaralı görevler 1 numaralı görevden sonra geldikleri için 1 numaralı görevin ardılı durumundadırlar. 2 numaralı görev 5 ve 6. görevlerin öncülü, 3 numaralı görev 6 ve 7.nin öncülü, 4 numaralı görev 7 numaralı görevin öncülü, 5, 6 ve 7 numaralı göre 8 numaralı görevin öncülü durumundadır. Şekilde *Ve/Veya* öncelik ilişkileri kullanılmıştır. 3 ve 4 numaralı görevler 7 numaralı görevin ve öncülüdür. 6 ve 7 numaralı görevler 8 numaralı görevin veya öncülüdür. Aynı şekilde 2 ve 3 numaralı görevler 6 numaralı görevin veya öncülüdür.

#### **3.1.4. Demontaj hattı dengeleme problemleri**

Üretimin bu kadar hızla ilerlediği, kitle taleplerinin olduğu bir Dünya’da geri dönüşümü sağlamanın en iyi yollarından bir tanesi demontajtan geçmektedir.

Demontaj işlemlerinin gerekli görevlerin ya da parçaların aralarındaki öncelik ilişkileri dikkate alınarak, belirli talepler doğrultusunda belirlenen bir çevrim zamanı içerisinde geri kazanılan parçalara ilişkin talebi karşılayabilecek ve bir ya da daha fazla performans ölçütünü en iyileyecek şekilde sıralı iş istasyonlarına atanması Demontaj Hattı Dengeleme (DHD) problemleri olarak adlandırılmaktadır. En iyilenmesi düşünülen kriterler istasyon sayısının en küçüklenmesi, çevrim zamanının en küçüklenmesi veya geri kazanılan parçalardan elde edilecek kârın en büyüklenmesi olabilir (Gungor ve Gupta, 2001).



Şekil 3.3. a) Demontaj İstasyonu b) Demontaj Hücresi c) Demontaj Hattı (Gungor ve Gupta, 2002)

Herhangi bir ürünün demontajı, Şekil 3.3’de verildiği gibi tek bir iş istasyonunda, bir demontaj hücresinde ya da bir demontaj hattında gerçekleştirilmektedir ve en yüksek verimlilik oranı demontaj hattı ile sağlanmaktadır (Gungor ve Gupta, 2001). Demontaj hattı, birbirlerine bir malzeme taşıma sistemi ile bağlanmış, belirli sayıda ardışık iş istasyonundan meydana gelmektedir (Altekin ve ark., 2008). Her istasyonda, ürünün demontaj işlemlerinin tamamlanması için gerekli olan görevlerin bir kısmı gerçekleştirilir ve hattın sonuna gelindiğinde, ürünün demontajı tamamlanmış olur.

Demontaj hatlarında parçaların sökümü birçok parça bileşenin sökümü ve alt demontajlardan oluşmaktadır. İşlemleri yapacak olanlar hat boyunca sıralanmış olan iş istasyonlarıdır. İş istasyonlarına atamalar öncelik ilişkileri göz önüne alınarak oldukça dikkatli yapılmalıdır. Olabildiğinde hat dengeli bir şekilde kurulmaya çalışılmalı, iş yükü hafifletilmelidir. Bu nedenlerden dolayı oldukça karışık olan problemlerden biride hat dengeleme problemleridir.

Demontaj hatları dengelenirken bazı varsayımlar kabul edilmiştir. Kabul edilen varsayımlar aşağıdaki gibidir (Agrawal ve Tiwari, 2008).

- Tek modellenmiş ürünlerin demontajı yapılmaktadır.
- Hat gecikmesizdir (paced).
- Sonsuz miktarda parçanın demontajının yapıldığı varsayılmaktadır.
- Tam demontaj söz konusudur.
- Alınan her ürünün konfigürasyonu aynıdır.

- Görev zamanları deterministiktir ve bilinmektedir.
- Öncelik diyagramı bilinmektedir.
- Görevlerin bölünmesine kesinlikle izin verilmemektedir.

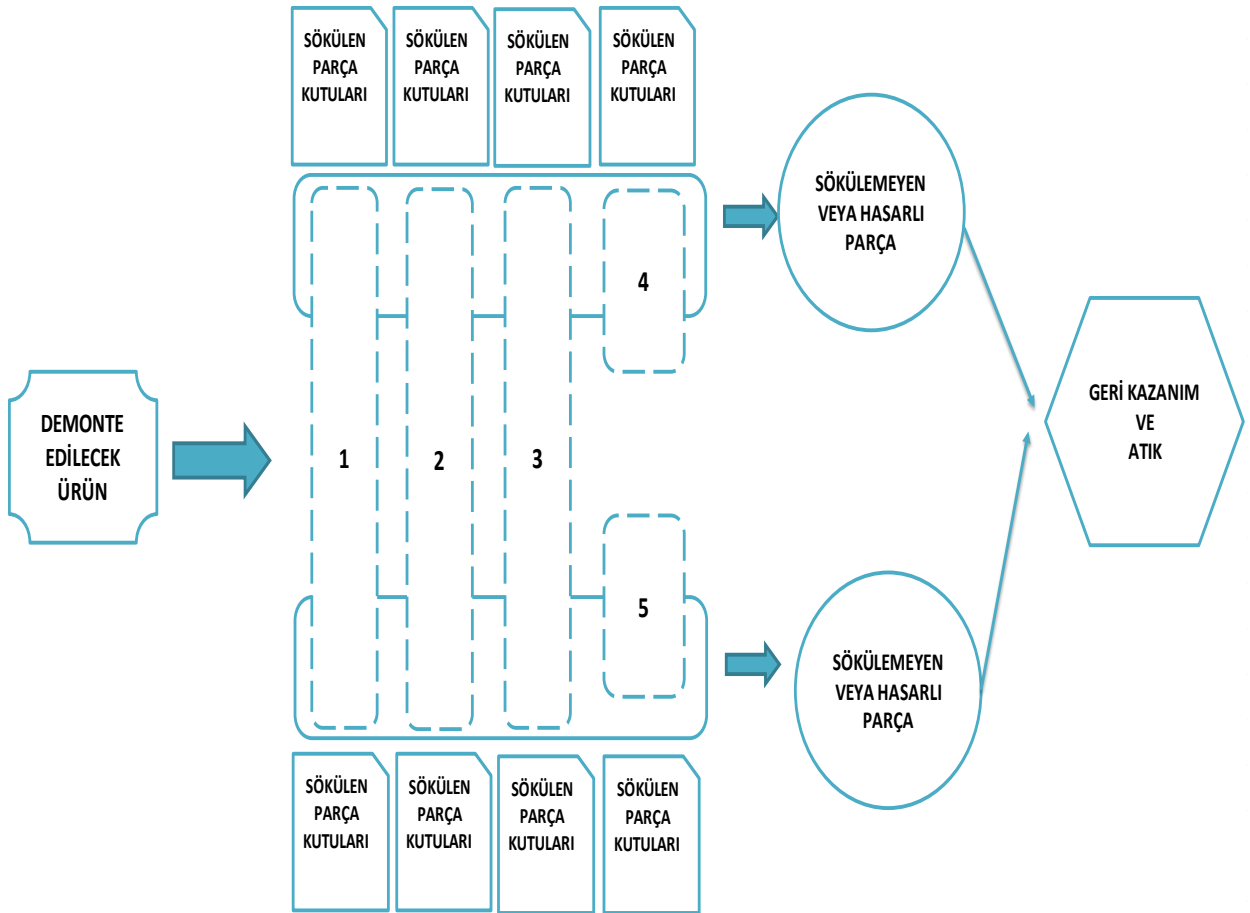
### 3.1.5. Çift taraflı demontaj hattı dengeleme problemleri

Otobüs, kamyon gibi büyük hacimdeki ürünler üretildiği gibi geri kazanım faaliyetleri kapsamında böyle büyük hacimdeki ürünlerin geri dönüşümünün de gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle çift taraflı demontaj hatlarına ihtiyaç duyulmaktadır. ÇTDH ile büyük hacimdeki ürünlerin demonte işlemleri kolaylaşmakta, sağ ve sol olmak üzere hattın her iki yanının da kullanılmasıyla zamandan tasarruf edilebilmektedir. Demontaj işlemleri sonucunda elde edilen sağlam parçalarla, arıza sebebiyle görevini yerine getiremeyen parça ihtiyacı olan diğer ürünlere yarar sağlanabilecektir. Böylece yeni bir parça üretimine ihtiyaç kalmayacaktır. Haliyle yeni bir parça üretimi için gereken doğal kaynaklarımız da daha az israf edilerek geri dönüşüm faaliyetlerine katkı sağlanacaktır.

Genel olarak demontaj hatlarında parçalar belirli bir hat doğrultusunda hareket ederler. Bu hareketleri sırasında bir operatör yardımıyla demontaj işlemleri gerçekleştirilmektedir. Demontaj hatları mevcut kapasitenin artırılması, var olan üretim maliyetlerini düşürmesi nedeniyle verimliliğin artırılmasında önemli bir yere sahiptir. Bu demontaj hatlarında kapasiteyi artırmanın yollarından bir tanesi de demontaj hatlarını birbirlerine paralel olarak yerleştirmektir. Öncelik ilişkileri ve kısıtlar göz önüne alınarak parçaların hatlarda demontaj hatlarındaki genel mantıkla demonte işlemleri gerçekleştirilmektedir. Son istasyona geldiklerinde ise demonte işlemleri tamamlanmış olur ve hattan ayrılırlar.

Çift taraflı demontaj hatlarında bazı görevler hattın tek tarafında (sol ya da sağ) bazen de hattın her iki kısmında da gerçekleştirilebilmektedir. Görevlerin belirlenen kısıtlar altında bir veya daha fazla amacı en iyileyecek şekilde istasyonlara atanma problemlerine *Çift Taraflı Demontaj Hattı Dengeleme Problemleri (ÇTDHDP)* olarak adlandırılmaktadır. Çift taraflı demontaj hatlarında işler üç şekilde sınıflandırılmaktadır. Hattın sadece tek tarafında işlem gören ürünler ve hattın her iki tarafında da işlem gören ürünler olarak sınıflandırılmaktadır. Hattın sağ tarafında işlem gören ürünler sağ taraf -“R“, hattın sol tarafında işlem gören ürünler ise sol taraf -“L” ve hattın her iki tarafında da işlem gören ürünler her iki taraf -“E” harfleriyle gösterilmektedirler.

Çift taraflı demontaj hatları başta tek taraflı demontaj hatlarındaki uzunluğun kısaltılmasına yardımcı olmaktadır. Çalışanların komşu istasyonlarda da çalışabilmelerinden dolayı demontaj hatlarından herhangi birinde bir problem ortaya çıktığında paralellikten dolayı diğer demontaj hatlarının kesintisiz çalışarak üretime devam edilmesine ve hat durdurulmadan problemin kısa zamanda çözülebilmesine olanak sağlamaktadır. Çift taraflı demontaj hatlarında aynı türde ürünler üretilmektedir. Bütün bu faydaları düşünüldüğünde üreticilere birçok artı sağlayarak firmaların rekabet güçleri de artırmaktadır.



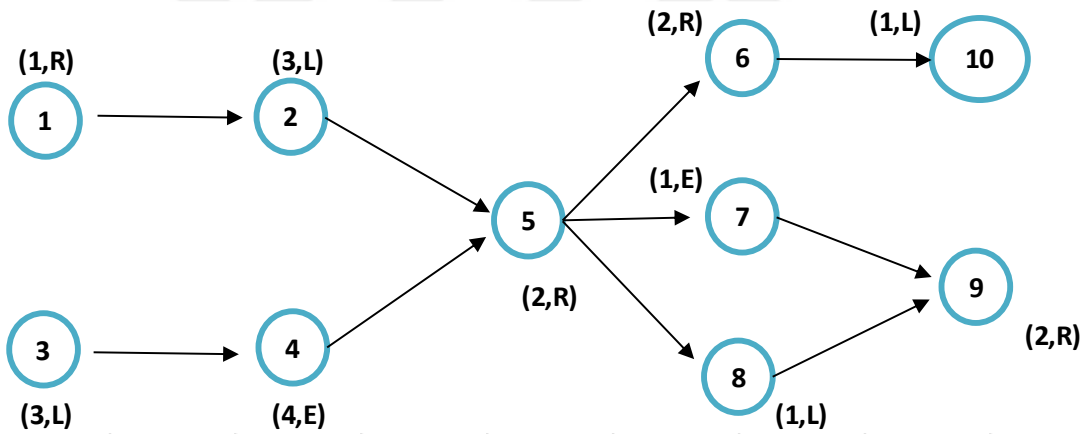
Şekil 3.4. Örnek Bir Çift Taraflı Demontaj Hattı Gösterimi

Çift taraflı demontaj hatları için örnek bir şekilsel gösterim Şekil 3.4'de gösterildiği gibidir. Şekilde demonte edilecek ürünün demontajı gösterilmektedir. 1, 2, 3, 4, 5 numaraları demontaj hattındaki istasyonları göstermektedir. Demonte edilecek ürünün talep ve öncelik ilişkilerine göre sökülerek hat üzerinde ilerlemektedir. Sökülen parça kutularında demonte edilecek ürünün sökülmesi sonucunda talep edilen sökülmüş ürünün biriktirildiği kutulardır. Hat üzerinde sökilemeyen, talebi olmayan veya hasarlı olduğundan dolayı sökilemeyen

parçalar ise hat sonunda biriktirilmektedir. Biriktirilen parçalar hasar durumuna göre geri dönüşümde kazanılabilecekse geri dönüşüme kazanılamayacaksa atık olarak sistemden uzaklaştırılmaktadır.

Çift taraflı demontaj hatlarının dengelenmesi problemini aşağıdaki sebeplerden ortaya çıkmıştır (Baykasoglu ve Dereli, 2006).

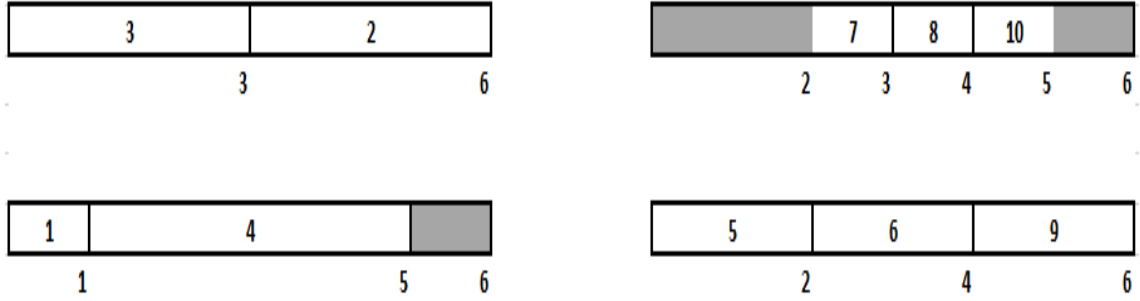
- ✓ Büyük hacimli üretim sistemlerindeki demontaj işlemleri ürünün her iki tarafında çalışılmayı gerekli kılmıştır.
- ✓ Bu üretimlerde ürünlere ait spesifik ihtiyaçlar oluşmuştur. Bunlar çift taraflı demontaj hatlarında sıkça kullandığımız ürünle ilgili bölgesel ve pozisyonel kısıtlamalardır.
- ✓ Sonucu olarak da bir hat tasarımı yapıp kurulduktan sonra ya da iş istasyonlardaki fazlalıkların değiştirilmesi operasyon sürerken mümkün değildir.



Şekil 3.5. Örnek Bir Çift Taraflı Demontaj Hattı Öncelik Diyagramı

Çift taraflı demontaj hattı için örnek bir gösterim Şekil 3.5’de gösterildiği gibidir. Şekilde çift taraflı demontaj hattı için örnek bir öncelik diyagramı gösterilmektedir. Şekilde yuvarlak içerisinde yer alan numaralar görev numarasını, parantez içerisindeki ifade de yer alan sayılar ilgili görevin tamamlanma zamanını, harflerde ilgili görevin hangi yönde yapılması gerektiğini göstermektedir. Görevler arasındaki oklarda parça demonte işleminin akış sırasını göstermektedir. Örneğin 5 numaralı görevin öncülü 2 ve 4 numaralı görevler ve 5 numaralı görevin ardılları 6, 7 ve 8 numaralı görevlerdir. 1, 2, 3, 8 ve 10 numaralı görevler hattın sol tarafında, 5, 6 ve 9 numaralı görevler hattın sağ tarafında, 4 ve 7 numaralı grevlerde hattın sol veya sağ tarafında yapılan görevleri

göstermektedir. Çevrim zamanın (ct) 6 birim zaman, görevler arasında ve öncelik ilişkisi olup, tam demontajın olduğu durumda gerçekleştirilen demontaj işleminde görevlerin istasyonlara atanmış hali aşağıda gösterildiği gibidir.



**Şekil 3.6.** Örnek Bir Çift Taraflı Demontaj Hattının İstasyonlara Ait Görev Atamaları

Yukarıda öncelik diyagramı verilen 10 görevli örnek bir demontaj hattının çift istasyona görev ataması Şekil 3.6'da gösterildiği gibidir. 3, 2, 1 ve 4 numaralı görevler birinci istasyon çiftine atanırken 7, 8, 10, 5, 6 ve 9 numaralı görevler ikinci istasyon çiftine atanmıştır. Görev atamalarında koyu renkle boyanmış şekilde gösterilen kısımlar boş zamanları göstermektedir. Çevrim zamanı ve öncelik ilişkileri nedeniyle görevler yerleştirilemediğinden dolayı boş zamanlar ortaya çıkmıştır.

### 3.1.6. Çift taraflı demontaj hattının tek taraflı demontaj hatlarına göre avantajları

Çift taraflı demontaj hatlarının tek taraflı hatlara göre birçok avantajı vardır. Bunlar bazı özel durumlarda geçerli olmamakla beraber şu şekildedir:

- ✓ Çift taraflı demontaj hatlarında hattın iki tarafının da kullanılabilmesi işlem sürelerini kısaltmaktadır. Çalışan kişi ürünün diğer tarafına geçmek ve buna hazırlık yapmak için ekstra süre harcamamaktadır. Bu nedenle zamandan tasarruf edilmiş olunur.
- ✓ Tek taraflı hatlara göre işlemler karşılıklı olarak ilerlediğinden hattın uzunluğu daha kısadır. Bu da kullanılan yerin etkinliğini artırmaktadır. Bununla birlikte malzeme taşıma maliyetleri de azalmaktadır.
- ✓ Kullanılan yardımcı malzemeleri çalışanlar daha ortak bir şekilde kullanacaklarından bu alanda da bir kazanımdan söz edilebilir.

- ✓ Eğer verilen tüm işlemler arasındaki öncelik ilişkisi sıralı bir şekilde ise; yani tüm işlemler birbirini izliyorsa bu durumda tek taraflı hatların kullanılması daha uygundur. Bu da yukarıda bahsedilen özel durumdur.

### 3.1.7. Araştırmada kullanılan test problemi

Önerilen test problemlerinin oluşturulmasında literatürde bulunan Seda Hezer'in 2017 yılındaki doktora tezinden yararlanılmıştır. Önerilen 0-1 tamsayılı programlama modelinin performansını belirleyebilmek için test problemlerine ihtiyaç duyulmuştur. Bu nedenle önerilen doğrusal programlama modeli için test problemleri üretilmiştir. Düz, tek modelli ve kısmi demontaj özelliklerine sahip bir demontaj hattı için belirli kurallara göre test problemleri üretilmiştir. Test problemlerinin geliştirilmesinde kullanılan varsayımlar aşağıdaki gibidir:

- ✓ Görev sayısı (10, 20, 30 ) olmak üzere üç seviye olarak belirlenmiştir.
- ✓ Her seviye için rassal olarak üç farklı öncelik diyagramı üretilmiştir.
- ✓ Her bir öncelik diyagramı için demonte edilecek olan ürünlerin talepleri [10-200] aralığında düzgün dağılıma uymak üzere belirlenmiştir.
- ✓ Planlama ufku 20 iş gününde günde 8 saat çalışıldığı varsayıldığında  $L = 20 \times 8 \times 60 = 9600$  dk'dır.
- ✓ Talep miktarına göre her bir parçadan bir adet olduğu varsayılmaktadır. Bu varsayıma ait örnek Şekil 3.1'de gösterildiği gibidir.

Çizelge 3.1. Örnek Demontaja İlişkin Veriler (Gungor ve Gupta,2002)

Görev/Parça No ( <i>i</i> )	$dv_i$	$qv_i$
1	50	1
2	130	1
3	110	1
4	160	1
5	110	1
6	150	1
7	120	1
8	80	1
9	200	1
10	60	1

Çizelge 3.1'de  $dv_i$  *i* parçasının talep miktarını,  $qv_i$  ise bir adet üründe bulunan *i* parçasının sayısını göstermektedir. Örneğe göre talep miktarları ikinci sütuna, parça sayıları üçüncü sütuna kaydedilmiştir. Çizelge 3.1'deki değerlere göre en düşük talep



miktarı olan 50 birinci göreve aitken en yüksek talep miktarı olan 200 dokuzuncu göreve aittir. Her iki görev içinde parça sayısı birer adettir.

- ✓ Bu durumda üç ayrı test problemi için üç farklı öncelik diyagramı, her öncelik diyagramı için üç farklı çevrim zamanı olmak üzere toplam 27 adet test problemi üretilmiştir ( $3 \times 3 \times 3 = 27$ ).
- ✓ Ekipman çeşiti ve asistan sayısı, görev sayısına göre Çizelge 3.2'deki gibi belirlenmiştir. Örneğin görev sayısı 10 olan bir ürünün demontajında üç çeşit ekipman kullanılmakta olup, atanabilecek maksimum asistan sayısı ise iki iken görev sayısı 20 olan bir ürünün demontajında altı çeşit ekipman kullanılmakta olup, atanabilecek maksimum asistan sayısı dörttür.

**Çizelge 3.2.** Ekipman Çeşiti ve Asistan Sayısı (Hezer, 2017)

Görev Sayısı	Ekipman Türü	Asistan Sayısı
10	3	2
20	6	4
30	9	6

- ✓ Demonte işlemleri sırasında bir ekipman çeşidi için kullanabilecek maksimum miktarı [1-3] aralığında düzgün dağılıma uymaktadır.
- ✓ Görev zamanları [5-16] arasında kesikli düzgün dağılıma uymaktadır. Fakat aşağıda belirtilen bazı durumlara göre görev zamanları yeniden düzenlenmiştir.
  - Bir görevin asistanlı yapılma zamanı asistansız yapılma zamanına göre daha kısa olmalıdır.
  - Bir görevin demonte işlemi için çözme ve yıkıcı olmak üzere iki farklı seçeneğinin olması durumunda yıkıcı eylem uygulandığında ortaya çıkan görev zamanı çözme eylemi uygulandığında ortaya çıkan görev zamanından daha az olmalıdır. Bir görev için görev zamanları çözme eylemi (manuel) > çözme eylemi  $\geq$  yıkıcı eylem sıralamasını sağlayacak şekilde olmalıdır.
- ✓ Bazı parçaların talep miktarının sıfır olduğu varsayılmıştır. Hangi parçaların taleplerinin sıfır olacağı rassal olarak belirlenmiştir.
- ✓ Talep miktarı sıfır olan parçaların gelir değerlerinin de sıfır olması gerekmektedir. Bu nedenle talebi sıfır olan parçaların gelir miktarları da sıfır olarak kabul edilmiştir. Diğer parçaların geliri belirlenirken ise [1-15] aralığında kesikli düzgün dağılıma uymaktadır. Aynı görev için çözme eylemi sonucu ortaya çıkan

gelirin yıkıcı eylem sonucu ortaya çıkan gelirden daha fazla olması gerektiği dikkate alınmıştır.

- ✓ Demonte işlemleri sırasında çözme eylemi ve yıkıcı eylemler için kullanılan ekipmanlar birbirlerinden farklıdır.
- ✓ Demonte işlemleri sırasında kullanılan ekipman kullanım maliyetleri [100,1000] arasında belirlenmiş olup düzgün dağılıma uymaktadır.
- ✓ İstasyon maliyeti sabit ve 1500 br kabul edilmiştir.
- ✓ Demontaj hattı için üretilmiş olan test problemleri “G\_GörevSayısı\_ÖncelikDiyagramı\_ProblemNumarası\_ÇevrimZamanı” şeklinde gösterilmiştir. Bu gösterim için esneklik oranına göre oluşturulan öncelik diyagramları 0,25, 0,50 ve 0,75’dir. Sırasıyla 1, 2 ve 3 rakamları ile ifade edilmektedirler. Yine bu gösterim için 30, 45, 60 olmak üzere üç farklı çevrim zamanı belirlenmiş olup 1, 2 ve 3 rakamları kullanılarak ifade edilmişlerdir. Örneğin G\_20\_1\_3\_2 gösterimi için problem 20 görevli, öncelik diyagramı açısından 0,25 esneklik oranına göre oluşturulmuş öncelik diyagramına sahip, problem numarası açısından üçüncü problem olup, çevrim zamanı ise 45’dir.

### 3.2. Yöntem

Bu bölümde, tez çalışması kapsamında önerilen 0-1 tamsayılı doğrusal programlama modeline ilişkin kısıtlar detaylı bir şekilde verildikten sonra problemin daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla ilgili model açıklayıcı bir örnek üzerinde anlatılmıştır.

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

Bu bölümde öncelikli olarak oluşturulan matematiksel modelin varsayımları detaylı olarak açıklanmıştır. Sonrasında önerilen matematiksel modelde, (Kim ve ark., 2009; Özcan ve Toklu, 2009; Hezer, 2017) çalışmalarında önerilen matematiksel modeller temel alınmış olup, modele ilişkin kullanılan kısaltmalar ve son olarak önerilen matematiksel model verilmiştir.

Önerilen matematiksel model için problem varsayımları şu şekildedir:

- ✓ Bir tip ürünü bileşenlerine ya da alt demontaj parçalarına ayırmak için gecikmesiz demontaj hattı kullanılmıştır.
- ✓ Ürün tedarikinin sınırsız olduğu varsayılmıştır.
- ✓ Her ürünlerdeki parçaların sayısının tam olarak bilindiği yani her ürünün konfigürasyonunun aynı olduğu varsayılmaktadır.

- ✓ Demontaj sürelerinin deterministik ve değerlerin bilindiği bir demontaj hattı üzerinde çalışılmaktadır.
  - ✓ Ürünü oluşturan tüm alt parçaların talebi vardır. Yani eksiksiz demontaj yapılmaktadır.
  - ✓ Ürünü oluşturan tüm parçaların talepleri deterministiktir ve değerleri bilinmektedir. Demontaj edilecek parçalar talep kaynağı tarafından olduğu gibi kabul edilir.
  - ✓ Talebi sıfır olan ürünlerin gelirlerinin de sıfır olduğu varsayılmaktadır.
  - ✓ Tek modellenen ürünlerin demontajının yapıldığı varsayılmaktadır.
  - ✓ Ürünü oluşturan tüm alt parça veya bileşenlerin sökümünün  $Ve$  öncelik ilişkisine göre gerçekleştirildiği varsayılmaktadır.
  - ✓ Demontaj hatlarının kendine özgü bir özelliği olan kısmi demontajın olduğu varsayılmaktadır.
  - ✓ Her görevin bir adet parça çıkardığı varsayılmaktadır. Bu nedenle görev sayısı parça sayısına eşit olup, görev numarası aynı zamanda parça numarasını ifade etmektedir.
  - ✓ “ $Ve$ ” öncelik ilişkisi diyagramına sahip demontaj hattı üzerinde çalışılmaktadır.
  - ✓ Yıllık istasyon maliyetinin sabit olduğu varsayılmaktadır.
- Matematiksel model için kullanılan tanımlamalar aşağıdaki gibidir:

Kısaltma	Kısaltma Açıklaması
<b>Kısaltmalar:</b>	
$I$	: Görevler kümesi
$J$	: İstasyonlar kümesi
$K$	: Operasyon yön kümesi
$E$	: Kullanılabilecek ekipmanların kümesi
$E(i)$	: $i$ görevi için kullanılabilecek alternatif ekipmanların kümesi
$A_L$	: Sol tarafta gerçekleştirilen görevler kümesi $A_L \subset I$
$A_R$	: Sağ tarafta gerçekleştirilen görevler kümesi $A_R \subset I$
$A_E$	: Hem sol hem de sağ tarafta gerçekleştirilen görevler kümesi $A_E \subset I$ ( $A_R, A_L$ ve $A_E$ karşılıklı ayırık kümelerdir ve birleşimleri $I$ 'dir.)
$P(i)$	: $i$ . görevinin hemen öncüllerinin kümesi
$P_a(i)$	: $i$ . görevin bütün öncüllerinin kümesi
$S(i)$	: $i$ . görevin hemen ardılarının kümesi
$S_a(i)$	: $i$ . görevin bütün ardılarının kümesi
$P_0$	: Hiç öncülü olmayan görevler kümesi $P_0 = \{i \in I \mid P(i) = \emptyset\}$
$t_i$	: $i$ . görevin işlem zamanı
$C(i)$	: $i$ . görevin operasyon yönünün tersi olan görevler kümesi

$$C(i) = \begin{cases} A_L & \text{eğer } i \in A_R \\ A_R & \text{eğer } i \in A_L \\ \emptyset & \text{eğer } i \in A_E \end{cases}$$

$K(i)$  :  $i$  görevinin tercih edilen operasyon yönünün kümesi

$$K(i) = \begin{cases} \{1\} & \text{eğer } i \in A_L \\ \{2\} & \text{eğer } i \in A_R \\ \{1, 2\} & \text{eğer } i \in A_E \end{cases}$$

### **İndisler:**

$i, h, p, r$  : Görev  
 $j, g, v$  : İstasyon  
 $k$  : Operasyon yönü  
 $e$  : Ekipman  
 $(j, k)$  : Çift istasyon  $j$  ve onun operasyon yönü  $k$

### **Parametreler:**

$ct$  : Çevrim zamanı  
 $S_e$  : Kullanılabilecek ekipman sayısı  
 $AS$  : Atanabilecek asistan sayısı  
 $t_{ie0}$  :  $i$  görevinin  $e$  ekipmanı uygulanarak asistansız yapıldığı süre  
 $t_{ie1}$  :  $i$  görevinin  $e$  ekipmanı uygulanarak asistanlı yapıldığı süre  
 $r_{ie}$  :  $i$  görevinin  $e$  ekipmanı ile birlikte uygulanmasıyla ortaya çıkan birim gelir miktarı  
 $d_i$  :  $i$  parçasının talep miktarı  
 $cw$  : Bir iş istasyonunu kullanma maliyeti  
 $ca$  : Bir asistanı çalıştırma maliyeti  
 $c_e$  : Ekipman kullanma maliyeti  
 $\mu$  : Çok büyük bir pozitif tamsayı  
 $t_i^f$  :  $i$ . görevin bitiş zamanı

### **Karar Değişkenleri:**

$x_{ijke}$  :  $i$  görevi  $j$  istasyonuna  $k$  yönünde  $e$  ekipmanı ile birlikte atanmışsa 1, dd 0  
 $p_{ijke}$  :  $i$  görevi  $j$  istasyonunda  $k$  yönünde  $e$  ekipmanı ile asistansız yapılmışsa 1, dd 0  
 $q_{ijke}$  :  $i$  görevi  $j$  istasyonunda  $k$  yönünde  $e$  ekipmanı ile asistanlı yapılmışsa 1, dd 0  
 $y_{je}$  :  $i$  görevi  $e$  ekipmanı ile birlikte,  $j$  istasyonuna atanmışsa 1, dd 0  
 $a_j$  :  $j$  istasyonuna asistan atanmışsa 1, dd 0  
 $z_{ip}$  : Aynı istasyona  $i$  görevi  $p$  görevinden önce atanmışsa 1, dd 0  
 $f_j$  :  $j$  istasyonu açılmışsa 1, dd 0

---

Önerilen 0-1 tamsayılı programlama modeli aşağıdaki gibidir:

$$\text{Maximize } Z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K(i)} \sum_{e \in E(i)} d_i r_{ie} x_{ijke} - \sum_{j \in J} (cwf_j + caa_j) - \sum_{e \in E(i)} \sum_{j \in J} c_e y_{je} \quad (1)$$

S.T.

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K(i)} \sum_{e \in E(i)} x_{ijke} \leq 1 \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{k \in K(i)} \sum_{e \in E(i)} x_{ijke} \leq \sum_{v=1}^j \sum_{e \in E(i)} x_{hvke} \quad \forall i \in I - P_0, \forall j \in J, \forall h \in P(i) \quad (3)$$

$$t_i^f \leq ct \quad \forall i \in I \quad (4)$$

$$t_i^f - t_h^f + \mu \left( 1 - \sum_{k \in K(i)} \sum_{e \in E(i)} x_{hjke} \right) + \mu \left( 1 - \sum_{k \in K(i)} \sum_{e \in E(i)} x_{ijke} \right) \geq \sum_{e \in E(i)} (t_{ie0} p_{ijke} + t_{ie1} q_{ijke}) \quad \forall i \in I - P_0, \forall j \in J, \forall h \in P(i) \quad (5)$$

$$t_p^f - t_i^f + \mu \left( 1 - \sum_{e \in E(i)} x_{pjke} \right) + \mu \left( 1 - \sum_{e \in E(i)} x_{ijke} \right) + \mu(1 - z_{ip}) \geq \sum_{e \in E(i)} (t_{ie0} p_{ijke} + t_{ie1} q_{ijke}) \quad \forall i \in I, p \in \{r | r \in I - (P_a(i) \cup S_a(i) \cup C(i)) \vee e_i < r\}, j \in J, k \in K(i) \cap K(p) \quad (6)$$

$$t_i^f - t_p^f + \mu \left( 1 - \sum_{e \in E(i)} x_{pjke} \right) + \mu \left( 1 - \sum_{e \in E(i)} x_{ijke} \right) + \mu z_{ip} \geq \sum_{e \in E(i)} (t_{ie0} p_{ijke} + t_{ie1} q_{ijke}) \quad \forall i \in I, p \in \{r | r \in I - (P_a(i) \cup S_a(i) \cup C(i)) \vee e_i < r\}, j \in J, k \in K(i) \cap K(p) \quad (7)$$

$$t_i^f \geq \sum_{j \in J} \sum_{k \in K(i)} \sum_{e \in E(i)} (t_{ie0} p_{ijke} + t_{ie1} q_{ijke}) \quad \forall i \in I \quad (8)$$

$$\sum_{k \in K(i)} \sum_{e \in E(i)} p_{ijke} + \sum_{k \in K(i)} \sum_{e \in E(i)} q_{ijke} = \sum_{k \in K(i)} \sum_{e \in E(i)} x_{ijke} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (9)$$

$$p_{ijke} + q_{ijke} = x_{ijke} \quad \forall e \in E(i), \forall i \in I, \forall j \in J \quad (10)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K(i)} (p_{ijke} + q_{ijke}) - \mu y_{je} \leq 0 \quad \forall e \in E(i), \forall j \in J \quad (11)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K(i)} \sum_{e \in E(i)} q_{ijke} - \mu a_j \leq 0 \quad \forall j \in J \quad (12)$$

$$\sum_{j \in J} y_{je} \leq S_e \quad \forall e \in E(i) \quad (13)$$

$$\sum_{j \in J} a_j \leq AS \quad (14)$$

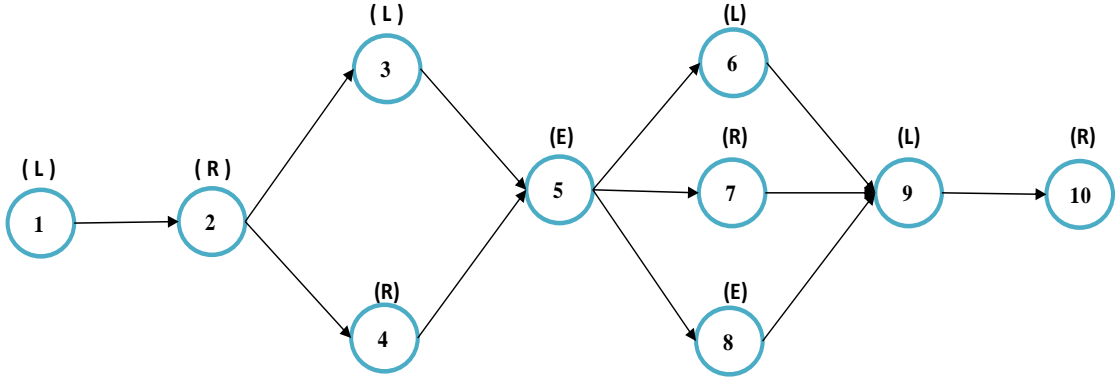
$$x_{ijke}, p_{ijke}, q_{ijke}, y_{je}, z_{ip}, f_j, a_j \in \{0, 1\} \quad \forall i, j, k, e \quad (15)$$

(1) numaralı denklem amaç fonksiyonunu göstermektedir. Amaç fonksiyonu kendi içerisinde üç ayrı bölümden oluşmaktadır. Fonksiyonun birinci kısmı geliri olan parçaların çıkarılması ile elde edilen toplam gelir miktarını, ikinci kısım toplam istasyon ve asistan maliyetini, üçüncü kısım ise toplam ekipman maliyetini ifade etmektedir.

Amacımız elde edilen toplam net geri kazanım kârını maksimum yapabilmektir. (2) numaralı kısıt her bir görevin en fazla bir istasyona atanması gerektiğini gösteren ve aynı zamanda modelin kısmi demontaj olmasını sağlayan kısıttır. (3) numaralı kısıt öncelik ilişkilerini gösteren kısıttır. (4) numaralı kısıt görevlerin tamamlanma süresinin çevrim zamanını aşmaması gerektiğini gösteren kısıttır. (5), (6) ve (7) numaralı kısıtlar görevlerin sıraya bağlı olarak bitiş zamanlarını kontrol etmektedir. Her  $i$  ve  $h$  göre çifti için eğer  $h$  görevi  $i$  görevinden önce geliyor ve bu görevler aynı çift istasyona atanmış ise (5) numaralı kısıt aktif hale gelmektedir. Haliyle denklem  $t_i^f - t_h^f \geq \sum_{e \in E(i)} (t_{ie0} p_{ijke} + t_{ie1} q_{ijke})$  şeklini almaktadır. Eğer  $i$  ve  $p$  görevleri arasında öncelik ilişkisi yok ve bu görevler aynı  $(j,k)$  istasyonuna atanmış ise (6) ve (7) numaralı kısıtlar aktif hale gelmektedir.  $i$  görevi  $h$  görevinden önce atanmış ise (6) numaralı kısıt aktif olmaktadır ve denklem  $t_p^f - t_i^f \geq \sum_{e \in E(i)} (t_{ie0} p_{ijke} + t_{ie1} q_{ijke})$  halini almaktadır.  $i$  görevi  $h$  görevinden önce atanmadığı durumda ise (7) numaralı kısıt aktif hale gelmekte ve denklem  $t_i^f - t_p^f \geq \sum_{e \in E(i)} (t_{ie0} p_{ijke} + t_{ie1} q_{ijke})$  halini almaktadır. (8) numaralı kısıt görevin bitiş zamanının o görevin ilgili ekipmanla asistanlı ve asistansız olarak yapılması durumundaki toplam süreden eşit veya daha büyük bir değer alması gerektiğini göstermektedir. (9) ve (10) numaralı kısıtlar  $j$  istasyonuna atanan ekipman ve asistanları göstermektedir. (11) numaralı kısıt  $e$  ekipmanının  $j$  istasyonuna atanıp atanmadığını göstermektedir. (12) numaralı kısıt  $j$  istasyonuna asistanın atanıp atanmadığını göstermektedir. (13) numaralı kısıt atanabilecek toplam  $e$  ekipmanı sayısının mevcut olan  $e$  ekipmanı sayısını aşmaması gerektiğini göstermektedir. (14) numaralı kısıt atanabilecek toplam asistan sayısının mevcut olan asistan sayısını aşmaması gerektiğini gösteren kısıttır. (15) numaralı kısıt ise karar değişkenlerinin 0, 1 tipinde olması gerektiğini gösteren kısıtlardır.

### 3.2.2. Açıklayıcı örnek

Bu bölümde, önerilen matematiksel modelin daha iyi anlaşılabilmesi için örnek bir problemden yararlanılarak açıklama yapılmıştır. Ürünün demontajı için planlama ufku 20 iş günü, bir günlük mesai sekiz saat olarak kabul edilmiştir. İşlemler saniye üzerinden hesaplanmıştır. İlgili problemde 10 parçadan oluşan bir ürünün çift taraflı bir demontaj hattında  $V_e$  öncelik ilişkisine sahip, çevrim zamanının 30 br olduğu durumda demonte işlemleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.7. Örnek Demontaj Hattı Öncelik İlişkisi Diyagramı

Ürüne ilişkin *Ve* öncelik ilişki diyagramı şekil 3.7’de gösterilmiştir. Ürünün demonte işlemi kısmi demontajın olduğu, deterministik görev zamanlı ve gecikmesiz çift taraflı bir demontaj hattında gerçekleştirilmiştir.

Ürünün demontajı için çözme ve yıkıcı eylemler uygulanmaktadır. 0 (manuel) ve 1 numaralı ekipmanlar çözme eylemlerinde, 2 ve 3 numaralı ekipmanlar ise yıkıcı eylemlerde kullanıldığını ifade etmektedir.

Örnek problem için kullanılan maliyetler  $c_w = 1500$  br,  $c_a = 200$  br,  $c_1 = 1$  br,  $c_2 = 2$  br,  $c_3 = 3$  br, kullanılan ekipman miktarları  $s_1 = 3$ ,  $s_2 = 3$ ,  $s_3 = 3$  ve 10 görevli ilgili örnek için atanabilecek maksimum asistan sayısı Çizelge 3.2’de belirtildiği gibi 2’dir. Manuel olarak parçaları demonte etmenin bir sınırı yoktur ve maliyeti sıfır kabul edilmiştir.

Çizelge 3.3. Görevlere Ait Talep Miktarları

Görev	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Talep	300	200	150	200	150	0	120	200	0	250

Çizelge 3.3’de görevlere ait rassal talep miktarları gösterilmiştir. Çizelgeye göre üç numaralı görevin talep miktarı 150 iken altı numaralı görevin talep miktarı sıfırdır.

Çizelge 3.4. Görevlere Ait Ekipman Atamaları

Görev	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ekipman	1.2	2.0	3.0	4.1	5.0	6.1	7.3	8.1	9.0	10.2
		2.1	3.1					8.3		
		2.2	3.2							
		2.3	3.3							

Çizelge 3.4’de görevlere ait ekipman atamaları gösterilmektedir. Çizelge 3.2’de belirtildiği gibi 10 göreve sahip bir çift taraflı demontaj hattı için ekipman türü sayısı en fazla üçtür. Örneğin iki numaralı parçanın demonte işlemi için gerekli ekipman türleri 0, 1, 2 ve 3’tür. Yani iki numaralı parçanın demontesi için çözücü ekipmanlar kullanılabilir gibi yıkıcı ekipmanlarda kullanılabilir. Dokuz numaralı parçanın demontesi ise sadece manuel, yedi numaralı görevin demontesi ise sadece yıkıcı ekipman tarafından gerçekleştirilebileceği gösterilmektedir.

Çizelge 3.5. Görevlere Ait Asistanlı ve Asistansız Süreler

Grv/Ek	Asistanlı Süreler				Grv/Ek	Asistansız Süreler			
	0	1	2	3		0	1	2	3
1			10		1				
2					2	10	12	9	8
3	11	8	7	6	3				
4					4		12		
5	8				5				
6					6		11		
7				10	7				13
8		8		7	8		10		9
9	11				9				
10			15		10				

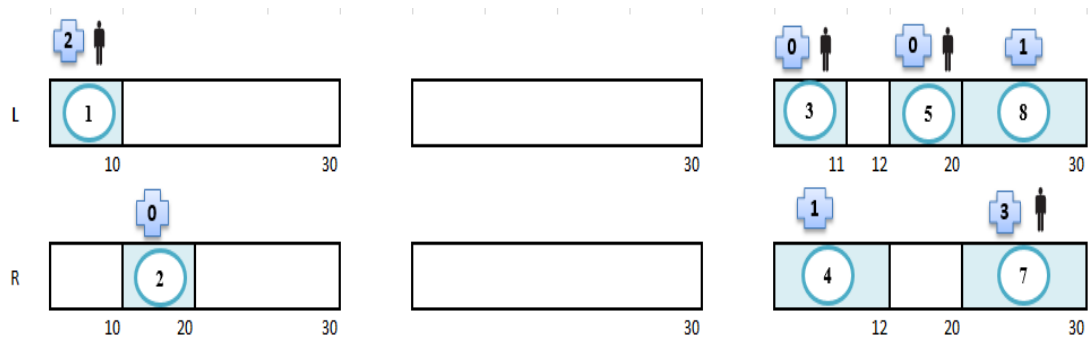
Çizelge 3.5’de görevlerin sahip olduğu ekipmanlara göre asistanlı veya asistansız yapılması durumunda demonte işlem zamanları gösterilmektedir. Örneğin sekiz numaralı görevin demonte işlemi için 1 ve 3 numaralı ekipmanlardan herhangi biriyle yapılabilir ve asistanlı demonte işlem süreleri asistansız demonte işlemlerine göre daha kısa sürede tamamlanmaktadır. Bu durumda görev zamanları bakımından değerlendirildiğinde yıkıcı ekipman türlerinin çözücü ekipman türlerine göre daha avantajlı olduğu görülmektedir. Ancak asistanın var olması durumunda sürenin azalmasının yanı sıra asistan maliyeti ortaya çıkmaktadır.



Çizelge 3.6. Görevlere Ait Gelir Değerleri

Grv/Ek	Parça Gelirleri			
	0	1	2	3
1			15	
2	8	7	6	5
3	10	8	6	2
4	6			
5	3			
6		0		
7				2
8		13		5
9	0			
10			11	

Çizelge 3.6’de görevlere ait gelir değerleri gösterilmektedir. Örneğin iki numaralı parçanın demonte işlemi için çözücü ve yıkıcı ekipmanlar kullanılabilir ve çözücü eylemler sonucu elde edilen gelir yıkıcı ekipmanlarla gerçekleştirilen demonte işleminde elde edilen gelirden daha fazladır. Yani parça demontesi sırasında çözücü ekipmanlar kullanıldığında parça hasar görmezken yıkıcı ekipmanlar kullanıldığında parça hasar gördüğünden dolayı hasar gören parçanın gelir değeri azalmaktadır. Yıkıcı ekipmanların kullanıldığı demonte işlemlerinde ise parçanın hasar görme durumuna göre parçanın geliri de azalmaktadır.



Şekil 3.7. Örnek Problemin Dengelenmesi Sonucu Elde Edilen Yerleşim



Şekil 3.7 örnek problemin dengelenmesi sonucu elde edilen yerleşim şeklini göstermektedir. Şekle göre elde edilen toplam net geri kazanım kârı 11584 br’dir. Şekil 3.7’deki mavi kutucuklar hangi ekipman türünün kullanıldığını, asistanlar ise hangi görevlerin asistanlı yapıldığını göstermektedir. Çözücü ve yıkıcı ekipman türlerinin her

ikisi uygulanmış olup çözücü ekipmanlar olan 0 ve 1'den sırasıyla 3 ve 2 adet, yıkıcı ekipmanlar olan 2 ve 3'ten 1'er adet kullanılmıştır.

Örnek problem çözümü ile bazı önemli bilgiler elde edilmiştir. 1, 3, 5 ve 7 numaralı görevlerin gerçekleştirilmesi için asistana ihtiyaç duyulurken 2, 4 ve 8 numaralı görevler asistansız olarak gerçekleştirilmektedir. 1 ve 7 numaralı görevlerde yıkıcı ekipmanlar kullanılırken 2, 3, 4, 5 ve 8 numaralı görevlerde çözücü ekipmanlar kullanılmaktadır. Yerleşimde dikkat çeken bir diğer durum ise bazı görevlerin istasyonlara atanmamış olması yani bazı parçaların demonte edilmediği görülmektedir. Bazı kısıt ve parametreler dikkate alındığında maksimum geri kazanım kârının elde edilebilmesi için bazı parçaların demonte edilmediği görülmektedir. Bu durum bize modelin kısmi demontaj hattı dengelemeye göre atama yaptığını garanti etmektedir.



## 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Tezin bu bölümünde ÇTDHDP için önerilen matematiksel modelin performansını test etmek amacıyla geliştirilen deneysel çalışmalar ve sonuçları sunulmuştur.

### 4.1. Deneysel Karşılaştırmalar

Oluşturulan matematiksel modelin etkinliğinin ölçülebilmesi için çift taraflı demontaj hattı dengeleme problemleri ve tek taraflı demontaj hattı dengeleme problemleri için test problemleri üretilerek çift taraflı demontaj hatları ve tek taraflı demontaj hatları karşılaştırılmıştır. Oluşturulan test problemleri geri kazanım kârının maksimize edilmesi açısından karşılaştırılmıştır.

Test problemlerinin etkinliğinin ölçülebilmesi amacıyla çeşitli faktörler kullanılmıştır. Kullanılan bu faktörler sırasıyla görev sayısı (GS), esneklik oranı (FR), çevrim zamanı (ÇZ), ekipman tür sayısı ve atanabilecek uygun asistan sayısı olarak belirlenmiştir. Oluşturulan veri seti çift taraflı demontaj hattı dengeleme için 162 problem, tek taraflı demontaj hattı dengeleme problemi için 162 problem olmak üzere toplam 324 problem üzerinde uygulanmıştır.

Çizelge 4.1. Deney Dizaynı (Kara ve ark., 2011)

GS	FR	ÇZ	Ekipman Türlerinin Sayısı	Uygun Asistan Sayısı
10	0,25; 0,50 ; 0,75	30, 45, 60	3	2
20	0,25; 0,50 ; 0,75	30, 45, 60	6	4
30	0,25; 0,50 ; 0,75	30, 45, 60	9	6

İlgili problem için oluşturulan deney dizaynı Çizelge 4.1'de gösterildiği gibidir. Üç seviye olarak belirlenen görev sayısı için üç farklı esneklik oranı (0,25  $\mp$  0,05; 0,50  $\mp$  0,05; 0,75  $\mp$  0,05) belirlenmiştir. Her görev için üç farklı öncelik diyagramı oluşturulacağından 9 tane öncelik diyagramı oluşturulmuştur. Her görev sayısı için farklı ekipman türü ve asistan sayısı atanmıştır. 10, 20 ve 30 görev için sırasıyla ekipman türü sayısı 3, 6 ve 9 olarak belirlenmiştir. Yine her görev için atanabilecek maksimum asistan sayısı 10, 20 ve 30 görev için sırasıyla 2, 4 ve 6'dır.

#### 4.1.1. Önerilen 0-1 tamsayılı doğrusal programlama modeli deney sonuçları

Bu tez çalışması kapsamında önerilen matematiksel model GAMS programında kodlanmış ve matematiksel model çözücü olarak CPLEX 10.2 kullanılmıştır. Bütün koşumlarda çözücünün varsayılan parametre seviyeleri kullanılmıştır. Her bir koşul Intel Intel(R) XEON(R) 8 Duo E31245 3,30 GHz işlemci, 8 Gb RAM'e sahip bir iş istasyonunda çözülmüştür. Bütün koşullar 3 saat (3\*60\*60=10800 saniye) ile

sınırlandırılmıştır. 3 saat içerisinde optimal çözüm bulunmadığı takdirde o ana kadar bulunmuş tamsayılı çözüm (alt sınır) karşılaştırma olarak verilmiştir.

Modeli analiz edebilmek amacıyla performans kriterleri belirlenmiştir. Belirlenen performans kriterleri aşağıda belirtildiği gibidir:

- ✓ Optimal çözüme ulaşılan problem sayısı (OÇUPS) : Matematiksel modeller tarafından belirlenen çözüm süresi sınırları içerisinde optimal çözüme ulaşılan problem sayısıdır.
- ✓ Ortalama çözüm süresi (OÇS): Matematiksel modelin her problem seti için ortalama çözüm süresidir.
- ✓ Yüzde sapma değeri (YSD): Oluşturulan matematiksel modelin CPLEX çözücüsü ile üç saat ile sınırlandırılmış tamsayılı koşumu sonucunda elde edilen üst sınır ( $Z^{üst}$ ) ile alt sınır ( $Z^{alt}$ ) arasındaki sapma değeridir. Bu değer aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$YSD = 100 \times \frac{Z^{üst} - Z^{alt}}{Z^{üst}} \quad (4.1)$$

Öncelikli olarak geliştirilen matematiksel modelin etkinliği tarafımızca oluşturulan test problemleri kullanılarak test edilmiştir. Oluşturulan problemler zorluk derecesine göre küçük, orta ve büyük boyutlu problemler olarak gruplandırılmıştır. Bu problemlerin çözülmesiyle elde edilen tek taraflı demontaj hattı sonuçları Çizelge 4.2, Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4’de çift taraflı demontaj hatları için elde edilen sonuçlar ise Çizelge 4.5, Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7’de gösterildiği gibidir. Çizelgelerdeki ilk sütunlar görev setlerini göstermektedir. İlk sütunda yer alan ( $G_{n_1\_ö}$ ) her görev seti için  $n_1$  görev sayılarını,  $ö$  hangi öncelik diyagramına sahip olduğunu göstermektedir. Görev sayılarının yanında parantez içerisinde belirtilen sayılar ise her setin kaç problemden oluştuğunu göstermektedir. Örneğin “G10\_1(18)” on görevli bir problem seti için 0,25 esneklik oranına göre oluşturulmuş öncelik diyagramına (birinci öncelik diyagramı) sahip talep, gelir, ekipman ve asistan atamalarına göre toplam 18 kombinasyonun (problem) var olduğunu ifade etmektedir. İkinci sütunda ilgili problem kombinasyonları için yüzde sapma değeri (YSD), üçüncü sütunda ise ortalama çözüm süreleri (OÇS), dördüncü sütunda ise optimal çözüme ulaşılan problem sayısı bulunmaktadır. Her satır oluşturulan problem setleri için ortalama değerleri göstermektedir. Test problemlerinin çözülmesiyle elde edilen tek ve çift taraflı demontaj hatlarının istasyon sayıları Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9’da gösterildiği gibidir.

**Çizelge 4.2.** Tek Taraflı Demontaj Hattı Küçük Boyutlu Problemlerin Deney Sonuçları

Gn1_ö	YSD	OÇS	OÇUPS
G10_1(18)	0	0,65	18(18)
G10_2(18)	0	0,43	18(18)
G10_3(18)	0	1,47	18(18)
<b>Ortalama</b>	0	0,85	54(54)

**Çizelge 4.3.** Tek Taraflı Demontaj Hattı Orta Boyutlu Problemlerin Deney Sonuçları

Gn1_ö	YSD	OÇS	OÇUPS
G20_1(18)	0	36,18	18(18)
G20_2(18)	0	163,16	18(18)
G20_3(18)	0	52,32	18(18)
<b>Ortalama</b>	0	83,89	54(54)

**Çizelge 4.4.** Tek Taraflı Demontaj Hattı Büyük Boyutlu Problemlerin Deney Sonuçları

Gn1_ö	YSD	OÇS	OÇUPS
G30_1(18)	9,19	4607,28	8(18)
G30_2(18)	7,19	5131,94	7(18)
G30_3(18)	3,00	4513,1	9(18)
<b>Ortalama</b>	6,46	4750,77	24(54)

Çizelge 4.2, Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4’de tek taraflı demontaj hattı problemleri zorluk derecelerine göre küçük, orta ve büyük boyutlu problemler olmak üzere üç sınıfa ayrılmıştır. Çizelge 4.2’de tek taraflı demontaj hatları küçük boyutlu problemler için 54 test probleminin 54’ünde (%100) optimal çözümlere 0,85 sn’de ulaşılmıştır. Optimal çözümlerden sapma %0’dır.

Çizelge 4.3’de tek taraflı demontaj hatları orta boyutlu problemler için 54 test probleminin 54’ünde (%100) optimal çözümlere 83,89 sn’de ulaşılmıştır. Optimal çözümlerden sapma %0’dır.

Çizelge 4.4’de tek taraflı demontaj hatları büyük boyutlu problemler için 54 test probleminin 24’ünde (%44,44) optimal çözümlere ortalama 4750,77 sn’de ulaşılırken 30 problem için uygun çözüm elde edilmiştir. Optimal çözümlerde sapma %6,46’dır.

**Çizelge 4.5.** Çift Taraflı Demontaj Hattı Küçük Boyutlu Problemlerin Deney Sonuçları

Gn1_ö	YSD	OÇS	OÇUPS
G10_1(18)	0	12,44	18(18)
G10_2(18)	0	18,25	18(18)
G10_3(18)	0	7,52	18(18)
<b>Ortalama</b>	0	12,74	54(54)

**Çizelge 4.6.** Çift Taraflı Demontaj Hattı Orta Boyutlu Problemlerin Deney Sonuçları

Gn1_ö	YSD	OÇS	OÇUPS
G20_1(18)	0	151,13	18(18)
G20_2(18)	0,13	3266,5	15(18)
G20_3(18)	3,47	8934,82	4(18)
<b>Ortalama</b>	1,2	4117,48	37(54)

**Çizelge 4.7.** Çift Taraflı Demontaj Hattı Büyük Boyutlu Problemlerin Deney Sonuçları

Gn1_ö	YSD	OÇS	OÇUPS
G30_1(18)	33,69	7203,29	18(18)
G30_2(18)	26,62	10728,49	1(18)
G30_3(18)	24,94	10801,89	0(18)
<b>Ortalama</b>	28,42	9577,89	19(54)

Çizelge 4.5, Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7’de çift taraflı demontaj hattı dengeleme problemleri zorluk derecelerine göre küçük, orta ve büyük boyutlu problemler olmak üzere üç sınıfa ayrılmıştır. Çizelge 4.5’de çift taraflı demontaj hatları küçük boyutlu problemler için 54 test probleminin 54’ünde (%100) optimal çözümlere 12,74 sn’de ulaşılmıştır. Optimal çözümlerden sapma %0’dır.

Çizelge 4.6’da çift taraflı demontaj hatları orta boyutlu problemler için 54 test probleminin 37’sinde (%68,51) optimal çözümlere ortalama 4117,48 sn’de ulaşılırken 17 problem için uygun çözüm elde edilmiştir. Optimal çözümlerde sapma %1,2’dir.

Çizelge 4.7’de çift taraflı demontaj hatları büyük boyutlu problemler için 54 test probleminin 19’unda (%35,18) optimal çözümlere ortalama 9577,89 sn’de ulaşılırken 35 problem için uygun çözüm elde edilmiştir. Optimal çözümlerde sapma %28,42’dir.

Çizelge 4.8. Tek Taraflı Demontaj Hattı Test Problemleri Sonucu Elde Edilen İstasyon Sayıları

Problemler	İstasyon Sayısı	Problemler	İstasyon Sayısı	Problemler	İstasyon Sayısı
G10_1_1_1	2	G20_1_1_1	8	G30_1_1_1	10
G10_1_1_2	1	G20_1_1_2	5	G30_1_1_2	7
G10_1_1_3	1	G20_1_1_3	4	G30_1_1_3	7
G10_1_2_1	0	G20_1_2_1	8	G30_1_2_1	6
G10_1_2_2	2	G20_1_2_2	5	G30_1_2_2	9
G10_1_2_3	3	G20_1_2_3	4	G30_1_2_3	7
G10_1_3_1	2	G20_1_3_1	7	G30_1_3_1	13
G10_1_3_2	3	G20_1_3_2	6	G30_1_3_2	10
G10_1_3_3	3	G20_1_3_3	4	G30_1_3_3	7
G10_1_4_1	2	G20_1_4_1	8	G30_1_4_1	10
G10_1_4_2	2	G20_1_4_2	5	G30_1_4_2	9
G10_1_4_3	1	G20_1_4_3	4	G30_1_4_3	7
G10_1_5_1	4	G20_1_5_1	7	G30_1_5_1	12
G10_1_5_2	2	G20_1_5_2	5	G30_1_5_2	9
G10_1_5_3	2	G20_1_5_3	4	G30_1_5_3	7
G10_1_6_1	1	G20_1_6_1	6	G30_1_6_1	14
G10_1_6_2	2	G20_1_6_2	4	G30_1_6_2	9
G10_1_6_3	2	G20_1_6_3	3	G30_1_6_3	7
G10_2_1_1	1	G20_2_1_1	8	G30_2_1_1	9
G10_2_1_2	1	G20_2_1_2	6	G30_2_1_2	7
G10_2_1_3	0	G20_2_1_3	4	G30_2_1_3	6
G10_2_2_1	0	G20_2_2_1	9	G30_2_2_1	8
G10_2_2_2	2	G20_2_2_2	6	G30_2_2_2	9
G10_2_2_3	3	G20_2_2_3	5	G30_2_2_3	7
G10_2_3_1	2	G20_2_3_1	6	G30_2_3_1	14
G10_2_3_2	1	G20_2_3_2	6	G30_2_3_2	10
G10_2_3_3	1	G20_2_3_3	5	G30_2_3_3	7
G10_2_4_1	3	G20_2_4_1	9	G30_2_4_1	9
G10_2_4_2	2	G20_2_4_2	6	G30_2_4_2	9
G10_2_4_3	1	G20_2_4_3	4	G30_2_4_3	7
G10_2_5_1	3	G20_2_5_1	7	G30_2_5_1	8
G10_2_5_2	2	G20_2_5_2	5	G30_2_5_2	9
G10_2_5_3	2	G20_2_5_3	4	G30_2_5_3	7
G10_2_6_1	2	G20_2_6_1	7	G30_2_6_1	14
G10_2_6_2	2	G20_2_6_2	4	G30_2_6_2	9
G10_2_6_3	1	G20_2_6_3	4	G30_2_6_3	7
G10_3_1_1	1	G20_3_1_1	6	G30_3_1_1	9
G10_3_1_2	1	G20_3_1_2	5	G30_3_1_2	7
G10_3_1_3	1	G20_3_1_3	4	G30_3_1_3	5
G10_3_2_1	3	G20_3_2_1	9	G30_3_2_1	9
G10_3_2_2	2	G20_3_2_2	6	G30_3_2_2	8
G10_3_2_3	2	G20_3_2_3	4	G30_3_2_3	7
G10_3_3_1	3	G20_3_3_1	8	G30_3_3_1	10
G10_3_3_2	2	G20_3_3_2	5	G30_3_3_2	9
G10_3_3_3	2	G20_3_3_3	4	G30_3_3_3	7
G10_3_4_1	3	G20_3_4_1	6	G30_3_4_1	8
G10_3_4_2	2	G20_3_4_2	5	G30_3_4_2	9
G10_3_4_3	2	G20_3_4_3	4	G30_3_4_3	7
G10_3_5_1	3	G20_3_5_1	7	G30_3_5_1	9
G10_3_5_2	2	G20_3_5_2	5	G30_3_5_2	9
G10_3_5_3	2	G20_3_5_3	4	G30_3_5_3	7
G10_3_6_1	2	G20_3_6_1	6	G30_3_6_1	8
G10_3_6_2	3	G20_3_6_2	4	G30_3_6_2	9
G10_3_6_3	5	G20_3_6_3	3	G30_3_6_3	7

Çizelge 4.9. Çift Taraflı Demontaj Hattı Test Problemleri Sonucu Elde Edilen İstasyon Sayıları

Problemler	İstasyon Sayısı	Problemler	İstasyon Sayısı	Problemler	İstasyon Sayısı
G10_1_1_1	2	G20_1_1_1	6	G30_1_1_1	7
G10_1_1_2	1	G20_1_1_2	4	G30_1_1_2	5
G10_1_1_3	1	G20_1_1_3	3	G30_1_1_3	4
G10_1_2_1	2	G20_1_2_1	6	G30_1_2_1	4
G10_1_2_2	3	G20_1_2_2	4	G30_1_2_2	6
G10_1_2_3	2	G20_1_2_3	3	G30_1_2_3	5
G10_1_3_1	2	G20_1_3_1	6	G30_1_3_1	9
G10_1_3_2	3	G20_1_3_2	4	G30_1_3_2	7
G10_1_3_3	2	G20_1_3_3	3	G30_1_3_3	5
G10_1_4_1	2	G20_1_4_1	6	G30_1_4_1	8
G10_1_4_2	2	G20_1_4_2	4	G30_1_4_2	6
G10_1_4_3	1	G20_1_4_3	3	G30_1_4_3	5
G10_1_5_1	3	G20_1_5_1	5	G30_1_5_1	9
G10_1_5_2	2	G20_1_5_2	3	G30_1_5_2	7
G10_1_5_3	1	G20_1_5_3	3	G30_1_5_3	5
G10_1_6_1	2	G20_1_6_1	5	G30_1_6_1	10
G10_1_6_2	1	G20_1_6_2	3	G30_1_6_2	7
G10_1_6_3	1	G20_1_6_3	2	G30_1_6_3	5
G10_2_1_1	1	G20_2_1_1	5	G30_2_1_1	6
G10_2_1_2	1	G20_2_1_2	3	G30_2_1_2	5
G10_2_1_3	1	G20_2_1_3	3	G30_2_1_3	4
G10_2_2_1	2	G20_2_2_1	5	G30_2_2_1	9
G10_2_2_2	2	G20_2_2_2	4	G30_2_2_2	6
G10_2_2_3	2	G20_2_2_3	3	G30_2_2_3	4
G10_2_3_1	3	G20_2_3_1	4	G30_2_3_1	10
G10_2_3_2	2	G20_2_3_2	4	G30_2_3_2	7
G10_2_3_3	2	G20_2_3_3	3	G30_2_3_3	5
G10_2_4_1	2	G20_2_4_1	5	G30_2_4_1	9
G10_2_4_2	1	G20_2_4_2	4	G30_2_4_2	6
G10_2_4_3	1	G20_2_4_3	3	G30_2_4_3	5
G10_2_5_1	2	G20_2_5_1	5	G30_2_5_1	9
G10_2_5_2	2	G20_2_5_2	3	G30_2_5_2	6
G10_2_5_3	1	G20_2_5_3	2	G30_2_5_3	5
G10_2_6_1	2	G20_2_6_1	4	G30_2_6_1	9
G10_2_6_2	1	G20_2_6_2	3	G30_2_6_2	6
G10_2_6_3	1	G20_2_6_3	2	G30_2_6_3	5
G10_3_1_1	2	G20_3_1_1	4	G30_3_1_1	6
G10_3_1_2	1	G20_3_1_2	3	G30_3_1_2	4
G10_3_1_3	1	G20_3_1_3	2	G30_3_1_3	3
G10_3_2_1	2	G20_3_2_1	5	G30_3_2_1	7
G10_3_2_2	2	G20_3_2_2	3	G30_3_2_2	5
G10_3_2_3	1	G20_3_2_3	3	G30_3_2_3	4
G10_3_3_1	2	G20_3_3_1	5	G30_3_3_1	8
G10_3_3_2	1	G20_3_3_2	3	G30_3_3_2	6
G10_3_3_3	1	G20_3_3_3	2	G30_3_3_3	4
G10_3_4_1	2	G20_3_4_1	4	G30_3_4_1	8
G10_3_4_2	2	G20_3_4_2	3	G30_3_4_2	6
G10_3_4_3	1	G20_3_4_3	2	G30_3_4_3	4
G10_3_5_1	2	G20_3_5_1	4	G30_3_5_1	7
G10_3_5_2	2	G20_3_5_2	3	G30_3_5_2	6
G10_3_5_3	1	G20_3_5_3	2	G30_3_5_3	4
G10_3_6_1	2	G20_3_6_1	4	G30_3_6_1	9
G10_3_6_2	1	G20_3_6_2	3	G30_3_6_2	6
G10_3_6_3	1	G20_3_6_3	2	G30_3_6_3	4



Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9’da bir, üç ve beşinci sütunlar test problemlerini, iki, dört ve altıncı sütunlar ise elde edilen istasyon sayılarını göstermektedir. İstasyon sayısı bakımından tek taraflı hatlar ve çift taraflı hatlar değerlendirildiğinde genel olarak çift taraflı hatlarda tek taraflı hatlara göre istasyon sayısının azaldığı görülmektedir. Ancak bazı durumlarda belirlenen kısıtlar altında, amaç fonksiyonu istasyon sayısını tek taraflı hatlardaki istasyon sayısı ile aynı bulmuştur. Model çözümüyle böyle bir atamanın daha kârlı olacağına karar verilmiştir. 324 problem için elde edilen sonuçların detaylı analizleri EK-1 ve EK-2’de verilmiştir.

#### 4.1.2. Tek ve çift taraflı demontaj hatlarının net geri kazanım kârı üzerindeki etkisinin araştırılması

Bu bölümde çift taraflı demontaj hatlarının dengelenmesi sonucu toplam net geri kazanım kârı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu nedenle çift taraflı demontaj hatları ve tek taraflı demontaj hatları karşılaştırılmıştır. Performans kriteri olarak performans iyileştirme oranı (PİO) kullanılmıştır ve aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır.

$$PİO = 100 \times \frac{Z^{çift} - Z^{tek}}{Z^{tek}} \quad (4.2)$$

Denklem 4.2’de gösterilen PİO, çift taraflı demontaj hatlarının eş zamanlı olarak dengelenmesi ile elde edilen optimal çözümün ( $Z^{çift}$ ) hatların tek taraflı demontaj hatlarının dengelenmelerinden elde edilen çözümden ( $Z^{tek}$ ) sapma değeridir.

Çift taraflı demontaj hattı dengeleme problemleri np-zor sınıfında yer alan problemler olduğundan dolayı problem boyutu büyüdükçe problemin zorluk derecesi de artmaktadır. Böyle bir durumda matematiksel modelden elde edilen alt ve üst sınırlar optimal çözümden uzaklaşmaktadır. Dolayısıyla daha doğru bir karşılaştırma yapabilmek için optimal sonuçların elde edildiği problemler kullanılmıştır. Optimal sonucun elde edildiği 90 problem üzerinde yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.10’de gösterilmiştir. Çizelge 4.10’da birinci, üçüncü ve beşinci sütunlar test problemlerini ikinci, dördüncü ve altıncı sütunlar ise performans iyileştirme oranını (PİO) göstermektedir. Son satırdaki ortalama değer ise 90 problem için elde edilen ortalama performans iyileştirme oranını (PİO) göstermektedir.

Çizelge 4.10. Çift Taraflı ve Tek Taraflı Demontaj Hatlarının Net Geri Kazanım Kârı Üzerine Etkisi

Problemler	PİO	Problemler	PİO
G10_1_1_1	46,36	G10_3_4_1	44,20
G10_1_1_2	48,24	G10_3_4_2	3,40
G10_1_1_3	2,53	G10_3_4_3	27,37
G10_1_2_1		G10_3_5_1	56,86
G10_1_2_2	57,83	G10_3_5_2	15,20
G10_1_2_3	95,42	G10_3_5_3	21,99
G10_1_3_1	51,51	G10_3_6_1	66,18
G10_1_3_2	14,03	G10_3_6_2	39,21
G10_1_3_3	31,87	G10_3_6_3	-75,49
G10_1_4_1	29,42	G20_1_1_1	26,30
G10_1_4_2	34,20	G20_1_1_2	14,40
G10_1_4_3	0	G20_1_1_3	9,72
G10_1_5_1	39,26	G20_1_2_1	27,11
G10_1_5_2	19,23	G20_1_2_2	20,29
G10_1_5_3	8,80	G20_1_2_3	11,73
G10_1_6_1	86,52	G20_1_3_1	27,06
G10_1_6_2	31,78	G20_1_3_2	18,88
G10_1_6_3	55,47	G20_1_3_3	10,60
G10_2_1_1	4,29	G20_1_4_1	49,36
G10_2_1_2	39,36	G20_1_4_2	17,35
G10_2_1_3	12,08	G20_1_4_3	11,02
G10_2_2_1		G20_1_5_1	22,45
G10_2_2_2	88,24	G20_1_5_2	11,21
G10_2_2_3	95,42	G20_1_5_3	7,95
G10_2_3_1	14,06	G20_1_6_1	29,43
G10_2_3_2	27,97	G20_1_6_2	18,28
G10_2_3_3	16,35	G20_1_6_3	9,34
G10_2_4_1	39,46	G20_2_1_1	48,36
G10_2_4_2	6,47	G20_2_1_2	24,42
G10_2_4_3	20,50	G20_2_1_3	12,49
G10_2_5_1	58,36	G20_2_2_1	70,24
G10_2_5_2	15,20	G20_2_2_2	27,58
G10_2_5_3	21,99	G20_2_2_3	17,22
G10_2_6_1	51,40	G20_2_3_1	28,54
G10_2_6_2	49,45	G20_2_3_2	20,30
G10_2_6_3	27,94	G20_2_3_3	17,16
G10_3_1_1	9,90	G20_2_4_1	66,83
G10_3_1_2	12,08	G20_2_4_3	13,06
G10_3_1_3	8,68	G20_2_5_1	24,24
G10_3_2_1	61,44	G20_2_5_2	15,49
G10_3_2_2	28,59	G20_2_6_1	40,36
G10_3_2_3	42,37	G20_2_6_3	16,02
G10_3_3_1	34,04	G20_3_2_1	55,23
G10_3_3_2	25,40	G20_3_2_2	28,26
G10_3_3_3	23,42	G20_3_5_3	13,90
<b>Ortalama</b>			29,18

Çizelge 4.10'da çift taraflı demontaj hatlarının dengelenmesi durumunda elde edilen toplam net geri kazanım kârının, düz demontaj hatlarının dengelenmesi durumunda elde edilen toplam net geri kazanım kârına göre değişim durumu gösterilmektedir.

Çizelge 4.10'da bazı PİO değerlerinin boş olduğu görülmektedir. EK-1'de de daha ayrıntılı gösterildiği gibi tek taraflı demontaj hattı dengeleme probleminde amacımız geri kazanım kârını maksimize etmek olduğundan model amaç fonksiyonu, kısıtlar ve problem verilerini dikkate alarak istasyonlara atama yapmamayı daha kârlı bulmuştur. Bu nedenle denklem 4.2 yardımıyla hesaplanan PİO değerine göre elde edilen sonuç paydayı sıfırlayarak tanımsız yapacağından Çizelge 4.10'da boş olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.10'da G10\_3\_6\_3 probleminin denklem 4.2 yardımıyla hesaplanması sonucu elde edilen PİO değerinin -75,49 olarak elde edildiği gözlenmektedir. Çizelge 4.10'da elde edilen bu PİO değerinin eksi(-) çıkması bize modelin amaç fonksiyonu, kısıtlar ve problem verilerini dikkate alarak atama yaptığında hattın çift taraflı hat olarak tasarlanarak dengelenmesinden ziyade tek taraflı bir hat olarak tasarlanarak dengelenmesinin daha kârlı olacağına karar verdiğini göstermektedir. Yani elimizdeki mevcut verilere göre bu problem için hattı çift taraflı olarak tasarlayarak dengelememiz maliyetleri karşılamamaktadır.

Karşılaştırılan 90 optimal test problemi sonucunda performans iyileştirme oranının (PİO) %29,18 olduğu görülmektedir. Yani demontaj hatlarının tek taraflı demontaj hattı yerine çift taraflı demontaj hattı olarak tasarlanmasının sistemin verimliliğinin artırdığı ve toplam net geri kazanım kârı üzerinde oldukça etkin olduğu görülmektedir.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1 Sonuçlar

Kamyon, minibüs, otobüs gibi büyük hacimli ürünlerin demontajında tek taraflı hatlar yetersiz kalmakta bu tür ürünlerin demontajı için çift taraflı hatlara ihtiyaç duyulmaktadır. Diğer yandan demontaj işlemlerinin gerçekleştirilebilmesi için asistan ve çeşitli ekipmanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Demontaj görevlerinin gerçekleştirilmesinde görevin asistanlı veya asistansız yapılması durumu görevlerin istasyonlara atanmasını ve *i.* görevin bitiş zamanının belirlenmesinde etkin rol oynamaktadır. Birden fazla ekipman türüyle demonte edilebilmesi durumunda ise çeşitli seçenekler ortaya çıkmaktadır. Demontaj süresince kullanılan ekipman türlerinin çözücü veya yıkıcı ekipman kullanılmasına göre de elde edilen net geri kazanım kârı değişmektedir. Diğer yandan demontaj hatlarının kendine özgü bir özelliği olan kısmi demontajın olması durumunda ise bazı parçaların demontesi gerçekleştirilirken bazı parçaları demontesi gerçekleştirilmemektedir. Bu durumda demontaj hattı dengelenirken göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Demontaj hattı dengeleme problemleri literatürü incelendiğinde çift taraflı demontaj hattı dengeleme, asistan ve ekipman türü bakımından demontaj hattı dengeleme üzerine çeşitli çalışmalar gerçekleştirildiği gözlenmiştir. Fakat kısmi çift taraflı demontaj hattı dengeleme problemi üzerinde ekipman türlerinin ve asistan atamalarının olduğu bir çalışma yapılmadığı gözlenmiştir. Literatürde eksik kalan bu konuda çalışma yapmak isteyen araştırmacılara katkı sağlayabilmek adına bu çalışmada tek modelli, deterministik görev zamanlı, kısmi demontaja izin veren Çift Taraflı Demontaj Hattı Dengeleme Problemi üzerine çalışılmıştır.

Önerilen problemin varsayımları ve kısıtları tanımlanarak 0-1 tamsayılı doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Problemin çözümü ile gerçekleştirilecek olan demontaj görevlerinin ve kullanılacak kaynakların belirlenmesine karar verilmiştir. Böylece etkili bir hat dengeleme için gerekli olan veriler elde edilmiş olmaktadır.

Önerilen matematiksel model için 10800 sn içerisinde oluşturulan 324 test problemi için optimal çözümler aranmıştır.

Matematiksel modelin etkinliğinin belirlenebilmesi için çift taraflı demontaj hattı dengeleme problemi tek taraflı demontaj hatları ile karşılaştırılmıştır. Yüzde sapma değeri ve ortalama çözüm süreleri bakımından karşılaştırmalar yapılarak analizler gerçekleştirilmiştir.

Önerilen 0-1 tamsayılı modelin 162 tek taraflı demontaj hattı dengeleme problemi için 132'sinde (%81,48), 162 çift taraflı demontaj hattı dengeleme problemi için 92'sinde (%56,79) optimal sonuçlara ulaşılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde demontaj hatlarının çift taraflı olarak dengelenmesinin tek taraflı demontaj hattı dengelenmesine göre istasyon sayısı ve geri kazanım kârı açısından daha iyi çözümler verdiği görülmüştür.

Ayrıca optimal çözümün elde edildiği 90 problem üzerinde net geri kazanım kârı üzerindeki etkilerin araştırılması için deneyler yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda demontaj hatlarının tek taraflı demontaj hattından ziyade çift taraflı olarak dengelenmesinin toplam net geri kazanım kârı üzerinde %29,18 iyileşme sağladığı görülmüştür. Buna göre ürünlerin demontajı için katlanılan maliyetler göz önüne alındığında demontaj hatlarının tek taraflı demontaj hattı olarak tasarlanıp dengelenmesinden ziyade çift taraflı olarak tasarlanarak dengelenmesinin geri kazanım tesislerinde kaynak kullanımından tasarruf edilerek sistem verimliliğini artırdığı görülmektedir.

## 5.2 Öneriler

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

- ✓ Görev zamanlarının belirsiz olduğu durumda stokastik görev zamanlı demontaj hattı dengeleme problemleri üzerine çalışılabilir.
- ✓ Karışık modelli veya çok modelli demontaj hatları üzerine çalışmalar gerçekleştirilebilir.
- ✓ Hasarlı parçaların demonte işlemi sırasında sağlam parçalara zarar verebilmektedir. Bu nedenle bu problem verilerine ek olarak hasarlı parçaların sağlam parçalarla aynı istasyonda demonte edilmesi durumunda meydana gelebilecek zararı amaç fonksiyonuna yansıtıldığı durum incelenebilir.
- ✓ Hat şekline göre yerleşimin U tipi olduğu demontaj hatlarında çalışmalar gerçekleştirilebilir.
- ✓ *Veya* öncelik ilişkisine sahip demontaj hatlarında öncelik ilişkisi diyagramı oluşturularak demontaj hatlarının kendine özgü bir özelliği olan kısmi demontaj hattı dengeleme problemleri üzerinde çalışılabilir.

- ✓ Bazı çalışmalarda yer alan yön özelliği bu tez çalışmasında R- sağ yön (+x)'i, L-sol yön (-x)'i temsil etmektedir. Zamanla yapılacak olan çalışmalarda bu yönler (+y) ve (-y) yönünde genişletilebilir.
- ✓ Çevrim zamanı bu problem için 30, 45 ve 60 olarak üç farklı değer kabul edilmiştir. Talepler göz önüne alındığında çevrim zamanının en yüksek talep miktarına göre belirlendiği durumda demontaj hattı dengelenmeye çalışılabilir.



## KAYNAKLAR

- Agrawal, S. ve Tiwari, M. K., 2008, A collaborative ant colony algorithm to stochastic mixed-model U-shaped disassembly line balancing and sequencing problem, *International Journal of Production Research*, 46 (6), 1405-1429.
- Alshibli, M., ElSayed, A., Kongar, E., Sobh, T. ve Gupta, S., 2019, A Robust Robotic Disassembly Sequence Design Using Orthogonal Arrays and Task Allocation, *Robotics*, 8 (1).
- Altekin, F. T., Kandiller, L. ve Ozdemirel, N. E., 2008, Profit-oriented disassembly-line balancing, *International Journal of Production Research*, 46 (10), 2675-2693.
- Avikal, S., Mishra, P. K. ve Jain, R., 2013, A heuristic for U-shaped disassembly line balancing problems, *MIT International Journal of Mechanical Engineering*, 3 (1), 51-56.
- Baykasoglu, A. ve Dereli, T., 2006, Two-sided assembly line balancing using an ant-colony-based heuristic, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 36 (5-6), 582-588.
- Becker, C. ve Scholl, A., 2006, A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing, *European Journal of Operational Research*, 168 (3), 694-715.
- Bentaha, M. L., Battaia, O. ve Dolgui, A., 2014, Disassembly Line Balancing and Sequencing under Uncertainty, *21st Cirp Conference on Life Cycle Engineering*, 15, 239-244.
- Bentaha, M. L., Battaia, O. ve Dolgui, A., 2015, An exact solution approach for disassembly line balancing problem under uncertainty of the task processing times, *International Journal of Production Research*, 53 (6), 1807-1818.
- Cevikcan, E., Aslan, D. ve Yeni, F. B., 2019, Disassembly line design with multi-manned workstations: a novel heuristic optimisation approach, *International Journal of Production Research*, 1-22.
- Ding, L. P., Feng, Y. X., Tan, J. R. ve Gao, Y. C., 2010, A new multi-objective ant colony algorithm for solving the disassembly line balancing problem, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 48 (5-8), 761-771.
- Duta, L., Filip, F. G. ve Henrioud, J. M., 2005, Applying Equal Piles Approach to Disassembly Line Balancing Problem, *IFAC Proceedings Volumes*, 38 (1), 152-157.
- Ehm, F., 2018, A data-driven modeling approach for integrated disassembly planning and scheduling, *Journal of Remanufacturing*.
- Fang, Y., Liu, Q., Li, M., Laili, Y. ve Pham, D. T., 2019a, Evolutionary many-objective optimization for mixed-model disassembly line balancing with multi-robotic workstations, *European Journal of Operational Research*, 276 (1), 160-174.
- Fang, Y., Ming, H., Li, M., Liu, Q. ve Pham, D. T., 2019b, Multi-objective evolutionary simulated annealing optimisation for mixed-model multi-robotic disassembly line balancing with interval processing time, *International Journal of Production Research*, 1-17.
- Favi, C., Marconi, M., Germani, M. ve Mandolini, M., 2019, A design for disassembly tool oriented to mechatronic product de-manufacturing and recycling, *Advanced Engineering Informatics*, 39, 62-79.
- Gao, Y., Wang, Q., Feng, Y., Zheng, H., Zheng, B. ve Tan, J., 2018, An Energy-Saving Optimization Method of Dynamic Scheduling for Disassembly Line, *Energies*, 11 (5).

- Godichaud, M. ve Amodeo, L., 2018, EOQ inventory models for disassembly systems with disposal and lost sales, *International Journal of Production Research*, 1-20.
- Gungor, A. ve Gupta, S. M., 2001, A solution approach to the disassembly line balancing problem in the presence of task failures, *International Journal of Production Research*, 39 (7), 1427-1467.
- Guo, X., Zhou, M., Liu, S. ve Qi, L., 2019, Lexicographic Multiobjective Scatter Search for the Optimization of Sequence-Dependent Selective Disassembly Subject to Multiresource Constraints, *IEEE Trans Cybern.*
- Gungor, A. ve Gupta, S. M., 2002, Disassembly line in product recovery, *International Journal of Production Research*, 40 (11), 2569-2589.
- Habibi, M. K. K., Battaia, O., Cung, V.-D., Dolgui, A. ve Tiwari, M. K., 2018, Sample average approximation for multi-vehicle collection–disassembly problem under uncertainty, *International Journal of Production Research*, 57 (8), 2409-2428.
- Hasegawa, S., Kinoshita, Y., Yamada, T. ve Bracke, S., 2019, Life cycle option selection of disassembly parts for material-based CO2 saving rate and recovery cost: Analysis of different market value and labor cost for reused parts in German and Japanese cases, *International Journal of Production Economics*, 213, 229-242.
- Hezer, S. ve Kara, Y., 2015, A network-based shortest route model for parallel disassembly line balancing problem, *International Journal of Production Research*, 53 (6), 1849-1865.
- Hezer, S., 2017, Proses Alternatifli Paralel Demontaj Hattı Dengeleme Problemi ve Çözüm Yaklaşımları, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Hu, B., Feng, Y., Zheng, H. ve Tan, J., 2018, Sequence Planning for Selective Disassembly Aiming at Reducing Energy Consumption Using a Constraints Relation Graph and Improved Ant Colony Optimization Algorithm, *Energies*, 11 (8).
- Igarashi, K., Yamada, T., Gupta, S. M., Inoue, M. ve Itsubo, N., 2016, Disassembly system modeling and design with parts selection for cost, recycling and CO2 saving rates using multi criteria optimization, *Journal of Manufacturing Systems*, 38, 151-164.
- Ilgin, M. A., 2018, A DEMATEL-Based Disassembly Line Balancing Heuristic, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 141 (2).
- Jia, L. ve Shuwei, W., 2017, A Proposed Multi-objective Optimization Model for Sequence-dependent Disassembly Line Balancing Problem, *3rd International Conference on Information Management*.
- Kalayci, C. B., Gupta, S. M. ve Nakashima, K., 2012, A Simulated Annealing Algorithm for Balancing a Disassembly Line, In: *Design for Innovative Value Towards a Sustainable Society*, Eds: Matsumoto M, U. Y., Masui K, Fukushima Springer Netherlands, p. 714-719.
- Kalayci, C. B., Shaaban, S. ve Gupta, S. M., 2013, Ant colony optimization for sequence-dependent disassembly line balancing problem, *Journal of Manufacturing Technology Management*, 24 (3), 413-427.
- Kalaycilar, E. G., Azizoglu, M. ve Yeralan, S., 2016, A disassembly line balancing problem with fixed number of workstations, *European Journal of Operational Research*, 249 (2), 592-604.
- Kara, Y., Gokcen, H. ve Atasagun, Y., 2009, Balancing parallel assembly lines with precise and fuzzy goals, *International Journal of Production Research*, 48 (6), 1685-1703.



- Kara, Y., Ozguven, C., Yalcin, N. ve Atasagun, Y., 2011, Balancing straight and U-shaped assembly lines with resource dependent task times, *International Journal of Production Research*, 49:21.
- Kim, H.-W., Park, C. ve Lee, D.-H., 2018, Selective disassembly sequencing with random operation times in parallel disassembly environment, *International Journal of Production Research*, 56 (24), 7243-7257.
- Kim, Y. K., Song, W. S. ve Kim, J. H., 2009, A mathematical model and a genetic algorithm for two-sided assembly line balancing, *Computers & Operations Research*, 36 (3), 853-865.
- Koc, A., Sabuncuoglu, I. ve Erel, E., 2009, Two exact formulations for disassembly line balancing problems with task precedence diagram construction using an AND/OR graph, *Iie Transactions*, 41 (10), 866-881.
- Laili, Y., Tao, F., Pham, D. T., Wang, Y. ve Zhang, L., 2019, Robotic disassembly re-planning using a two-pointer detection strategy and a super-fast bees algorithm, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 59, 130-142.
- Lambert, A. ve Gupta, S. M., 2004, Disassembly Modelling for Assembly, Maintenance, Reuse, and Recycling, 419.
- Li, J., Chen, X., Zhu, Z., Yang, C. ve Chu, C., 2019, A branch, bound, and remember algorithm for the simple disassembly line balancing problem, *Computers & Operations Research*, 105, 47-57.
- Liu, J. Y., Zhou, Z. D., Pham, D. T., Xu, W. J., Yan, J. W., Liu, A. M., Ji, C. Q. ve Liu, Q., 2018, An improved multi-objective discrete bees algorithm for robotic disassembly line balancing problem in remanufacturing, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 97 (9-12), 3937-3962.
- McGovern, S. M. ve Gupta, S. M., 2004a, Combinatorial optimization methods for disassembly line balancing, *Environmentally Conscious Manufacturing Iv*, 5583, 53-66.
- McGovern, S. M. ve Gupta, S. M., 2004b, 2-opt heuristic for the disassembly line balancing problem, *Environmentally Conscious Manufacturing Iii*, 5262, 71-84.
- McGovern, S. M. ve Gupta, S. M., 2005, Ant colony optimization for disassembly sequencing with multiple objectives, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 30 (5-6), 481-496.
- McGovern, S. M. ve Gupta, S. M., 2007a, Combinatorial optimization analysis of the unary NP-complete disassembly line balancing problem, *International Journal of Production Research*, 45 (18-19), 4485-4511.
- McGovern, S. M. ve Gupta, S. M., 2007b, A balancing method and genetic algorithm for disassembly line balancing, *European Journal of Operational Research*, 179 (3), 692-708.
- Mete, S., Cil, Z. A., Agpak, K., Ozceylan, E. ve Dolgui, A., 2016, A solution approach based on beam search algorithm for disassembly line balancing problem, *Journal of Manufacturing Systems*, 41, 188-200.
- Mete, S., Cil, Z. A., Ozceylan, E., Agpak, K. ve Battaïa, O., 2018, An optimisation support for the design of hybrid production lines including assembly and disassembly tasks, *International Journal of Production Research*, 56 (24), 7375-7389.
- Mete, S., Cil, Z. A., Celik, E. ve Ozceylan, E., 2019, Supply-driven rebalancing of disassembly lines: A novel mathematical model approach, *Journal of Cleaner Production*, 213, 1157-1164.
- Ozcan, U. ve Toklu, B., 2009, Balancing of mixed-model two-sided assembly lines, *Computers & Industrial Engineering*, 57 (1), 217-227.

- Paksoy, T., Güngör, A., Özceylan, E. ve Hancılar, A., 2013, Mixed model disassembly line balancing problem with fuzzy goals, *International Journal of Production Research*, 51 (20), 6082-6096.
- Pistolesi, F., Lazzerini, B., Mura, M. D. ve Dini, G., 2018, EMOGA: A Hybrid Genetic Algorithm with Extremal Optimization Core for Multiobjective Disassembly Line Balancing, *Ieee Transactions on Industrial Informatics*, 14 (3), 1089-1098.
- Pistolesi, F. ve Lazzerini, B., 2019, TeMA: a Tensorial Memetic Algorithm for Many-Objective Parallel Disassembly Sequence Planning in Product Refurbishment, *Ieee Transactions on Industrial Informatics*, 1-1.
- Ren, Y., Zhang, C., Zhao, F., Tian, G., Lin, W., Meng, L. ve Li, H., 2018a, Disassembly line balancing problem using interdependent weights-based multi-criteria decision making and 2-Optimal algorithm, *Journal of Cleaner Production*, 174, 1475-1486.
- Ren, Y., Zhang, C., Zhao, F., Triebe, M. J. ve Meng, L., 2018b, An MCDM-Based Multiobjective General Variable Neighborhood Search Approach for Disassembly Line Balancing Problem, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*.
- Ren, Y., Zhang, C., Zhao, F., Xiao, H. ve Tian, G., 2018c, An asynchronous parallel disassembly planning based on genetic algorithm, *European Journal of Operational Research*, 269 (2), 647-660.
- Ren, Y. P., Zhang, C. Y., Zhao, F., Tian, G. D., Lin, W. W., Meng, L. L. ve Li, H. L., 2018d, Disassembly line balancing problem using interdependent weights-based multi-criteria decision making and 2-Optimal algorithm, *Journal of Cleaner Production*, 174, 1475-1486.
- Shuwei, W., Xiuping, G. ve Jia, L., 2018, The disassembly line balancing problem of type II, *3rd Joint International Information Technology, Mechanical and Electronic Engineering Conference (JIMEC 2018)*, 3.
- Tao, Y., Meng, K., Lou, P., Peng, X. ve Qian, X., 2018, Joint decision-making on automated disassembly system scheme selection and recovery route assignment using multi-objective meta-heuristic algorithm, *International Journal of Production Research*, 57 (1), 124-142.
- Tian, G., Zhou, M. ve Li, P., 2018, Disassembly Sequence Planning Considering Fuzzy Component Quality and Varying Operational Cost, *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 15 (2), 748-760.
- Tian, X. ve Zhang, Z.-H., 2019, Capacitated disassembly scheduling and pricing of returned products with price-dependent yield, *Omega*, 84, 160-174.
- Tuncel, E., Zeid, A. ve Kamarthi, S., 2014, Solving large scale disassembly line balancing problem with uncertainty using reinforcement learning, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 25 (4), 647-659.
- Wan, H.-d. ve Krishna Gonnuru, V., 2013, Disassembly planning and sequencing for end-of-life products with RFID enriched information, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 29 (3), 112-118.
- Wang, K., Li, X. ve Gao, L., 2019a, Modeling and optimization of multi-objective partial disassembly line balancing problem considering hazard and profit, *Journal of Cleaner Production*, 211, 115-133.
- Wang, K., Li, X. ve Gao, L., 2019b, A multi-objective discrete flower pollination algorithm for stochastic two-sided partial disassembly line balancing problem, *Computers & Industrial Engineering*, 130, 634-649.

- Wang, S., Guo, X. ve Liu, J., 2019c, An efficient hybrid artificial bee colony algorithm for disassembly line balancing problem with sequence-dependent part removal times, *Engineering Optimization*, 1-18.
- Xia, X., Liu, W., Zhang, Z., Wang, L., Cao, J. ve Liu, X., 2019, A Balancing Method of Mixed-model Disassembly Line in Random Working Environment, *Sustainability*, 11 (8).
- Xiao, S. L., Wang, Y. J., Yu, H. ve Nie, S. K., 2017, An Entropy-Based Adaptive Hybrid Particle Swarm Optimization for Disassembly Line Balancing Problems, *Entropy*, 19 (11).
- Zheng, F., He, J., Chu, F. ve Liu, M., 2018, A new distribution-free model for disassembly line balancing problem with stochastic task processing times, *International Journal of Production Research*, 1-13.
- Zhu, L., Zhang, Z. ve Wang, Y., 2018, A Pareto firefly algorithm for multi-objective disassembly line balancing problems with hazard evaluation, *International Journal of Production Research*, 1-21.



**EKLER**

**EK-1** Tek Taraflı demontaj hattı dengeleme problemlerinin her biri için deneysel sonuçlar

Tek Taraflı Demontaj Hatları									
Problemler	Alt Sınır	Üst Sınır	CPU	YSD	Problemler	Alt Sınır	Üst Sınır	CPU	YSD
G10_1_1_1	1551	1551	0,66	0	G10_3_2_2	2389	2389	0,3	0
G10_1_1_2	2612	2612	0,66	0	G10_3_2_3	2872	2872	0,23	0
G10_1_1_3	3872	3872	0,53	0	G10_3_3_1	4406	4406	0,36	0
G10_1_2_1	0	0	0,67		G10_3_3_2	5906	5906	0,23	0
G10_1_2_2	996	996	0,78	0	G10_3_3_3	6406	6406	0,39	0
G10_1_2_3	1572	1572	0,84	0	G10_3_4_1	3801	3801	0,23	0
G10_1_3_1	2446	2446	0,42	0	G10_3_4_2	5301	5301	0,19	0
G10_1_3_2	4127	4127	0,55	0	G10_3_4_3	5481	5481	0,2	0
G10_1_3_3	4706	4706	0,37	0	G10_3_5_1	4221	4221	3,13	0
G10_1_4_1	2937	2937	0,78	0	G10_3_5_2	5921	5921	0,56	0
G10_1_4_2	3801	3801	0,82	0	G10_3_5_3	6821	6821	0,22	0
G10_1_4_3	5301	5301	0,87	0	G10_3_6_1	1786	1786	0,23	0
G10_1_5_1	3821	3821	1,62	0	G10_3_6_2	2800	2800	0,35	0
G10_1_5_2	5721	5721	0,42	0	G10_3_6_3	18231	18231	5,58	0
G10_1_5_3	6821	6821	0,14	0	G20_1_1_1	11524	11524	125,77	0
G10_1_6_1	1358	1358	0,35	0	G20_1_1_2	16080	16080	36,08	0
G10_1_6_2	2533	2533	0,42	0	G20_1_1_3	18134	18134	15,16	0
G10_1_6_3	2704	2704	0,59	0	G20_1_2_1	11066	11066	51,51	0
G10_2_1_1	2282	2282	0,11	0	G20_1_2_2	15566	15566	64,85	0
G10_2_1_2	2612	2612	0,25	0	G20_1_2_3	18281	18281	17,96	0
G10_2_1_3	3542	3542	0,19	0	G20_1_3_1	13182	13182	47,14	0
G10_2_2_1	0	0	0,2		G20_1_3_2	16949	16949	8,25	0
G10_2_2_2	1700	1700	0,81	0	G20_1_3_3	19575	19575	7,89	0
G10_2_2_3	1572	1572	0,61	0	G20_1_4_1	8758	8758	68,58	0
G10_2_3_1	3706	3706	0,27	0	G20_1_4_2	13874	13874	30,51	0
G10_2_3_2	5006	5006	0,52	0	G20_1_4_3	16016	16016	9,77	0
G10_2_3_3	5506	5506	0,47	0	G20_1_5_1	15796	15796	42,01	0
G10_2_4_1	3801	3801	0,2	0	G20_1_5_2	19700	19700	16,34	0
G10_2_4_2	5301	5301	0,34	0	G20_1_5_3	21388	21388	6,73	0
G10_2_4_3	5644	5644	0,19	0	G20_1_6_1	12327	12327	82,28	0
G10_2_5_1	4181	4181	0,59	0	G20_1_6_2	16195	16195	13,92	0
G10_2_5_2	5921	5921	0,45	0	G20_1_6_3	18231	18231	6,61	0
G10_2_5_3	6821	6821	0,43	0	G20_2_1_1	11285	11285	476,05	0
G10_2_6_1	1786	1786	0,45	0	G20_2_1_2	15596	15596	71,67	0
G10_2_6_3	2629	2629	0,6	0	G20_2_1_3	18042	18042	55,74	0
G10_2_6_3	3286	3286	0,67	0	G20_2_2_1	8899	8899	1059,79	0
G10_3_1_1	2282	2282	0,12	0	G20_2_2_2	14677	14677	109,42	0
G10_3_1_2	3542	3542	0,11	0	G20_2_2_3	17425	17425	33,2	0
G10_3_1_3	3872	3872	0,11	0	G20_2_3_1	13180	13180	38,74	0
G10_3_2_1	1779	1779	0,25	0	G20_2_3_2	16749	16749	74,83	0

## EK-1 (Devamı)

Tek Taraflı Demontaj Hatları									
Problemler	Alt Sınır	Üst Sınır	CPU	YSD	Problemler	Alt Sınır	Üst Sınır	CPU	YSD
G20_2_3_3	18649	18649	29,78	0	G30_1_5_2	18510	18510	4554,18	0
G20_2_4_1	8581	8581	549,5	0	G30_1_5_3	22337	22337	436,76	0
G20_2_4_2	13481	13481	73,66	0	G30_1_6_1	8353	11701,37	10800	28,62
G20_2_4_3	16081	16081	18,8	0	G30_1_6_2	16376	16941,74	10800	3,34
G20_2_5_1	16169	16169	83,1	0	G30_1_6_3	20745	20745	524,45	0
G20_2_5_2	19818	19818	18,68	0	G30_2_1_1	12457	13274,45	10800	6,16
G20_2_5_3	21588	21588	3,96	0	G30_2_1_2	17749	18085,43	10800	1,86
G20_2_6_1	12479	12479	137,61	0	G30_2_1_3	21304	21304	644,83	0
G20_2_6_2	16059	16059	79,22	0	G30_2_2_1	5233	7248,3	10800	27,80
G20_2_6_3	17855	17855	23,17	0	G30_2_2_2	13118	13592,49	10800	3,49
G20_3_1_1	12306	12306	107,89	0	G30_2_2_3	17106	17106	827,24	0
G20_3_1_2	16256	16256	45,8	0	G30_2_3_1	19112	22369,87	10800	14,56
G20_3_1_3	18334	18334	34,45	0	G30_2_3_2	26818	27921,87	10800	3,95
G20_3_2_1	11225	11225	253,91	0	G30_2_3_3	31234	31234	1088,33	0
G20_3_2_2	15925	15925	42,36	0	G30_2_4_1	9422	11387,65	10800	17,26
G20_3_2_3	18925	18925	11,87	0	G30_2_4_2	16638	16638	4431,75	0
G20_3_3_1	13575	13575	43,35	0	G30_2_4_3	20150	20150	731,86	0
G20_3_3_2	17415	17415	33,15	0	G30_2_5_1	10351	13565,87	10800	23,70
G20_3_3_3	19775	19775	14,01	0	G30_2_5_2	19065	19291,77	10800	1,18
G20_3_4_1	11098	11098	44,6	0	G30_2_5_3	22412	22412	4481,86	0
G20_3_4_2	14516	14516	22,62	0	G30_2_6_1	9078	12011,39	10800	24,42
G20_3_4_3	16081	16081	63,27	0	G30_2_6_2	16618	17485,91	10800	4,96
G20_3_5_1	16700	16700	59,45	0	G30_2_6_3	20997	20997	965,66	0
G20_3_5_2	20088	20088	15,55	0	G30_3_1_1	14860	14860	2922,02	0
G20_3_5_3	21588	21588	16,59	0	G30_3_1_2	20445	20445	459,94	0
G20_3_6_1	13167	13167	99,53	0	G30_3_1_3	22937	22937	673,29	0
G20_3_6_2	16647	16647	23,59	0	G30_3_2_1	8029	8579,99	10800	6,42
G20_3_6_3	18231	18231	9,91	0	G30_3_2_2	13635	13828,08	10800	1,40
G30_1_1_1	11118	12596,84	10800	11,74	G30_3_2_3	17306	17306	2691,14	0
G30_1_1_2	17436	17436	874,84	0	G30_3_3_1	20587	22270,99	10800	7,56
G30_1_1_3	20667	20667	787,84	0	G30_3_3_2	28034	28034	4461,36	0
G30_1_2_1	4381	8479,73	10800	48,34	G30_3_3_3	31718	31718	421,75	0
G30_1_2_2	13030	13530	10800	3,70	G30_3_4_1	11300	12893,83	10800	12,36
G30_1_2_3	16906	16906	897,43	0	G30_3_4_2	16946	17614,31	10800	3,79
G30_1_3_1	18398	22180,14	10800	17,05	G30_3_4_3	20350	20350	453,39	0
G30_1_3_2	26714	27800,7	10800	3,91	G30_3_5_1	12280	13581,06	10800	9,58
G30_1_3_3	31034	31034	1908,45	0	G30_3_5_2	19412	19590,87	10800	0,91
G30_1_4_1	8959	11003,07	10800	18,58	G30_3_5_3	23097	23097	363,67	0
G30_1_4_2	16238	16527,08	10800	1,75	G30_3_6_1	9969	12091,78	10800	17,56
G30_1_4_3	19750	19750	944,77	0	G30_3_6_2	17516	17759,54	10800	1,37
G30_1_5_1	10057	14056,51	10800	28,45	G30_3_6_3	21086	21086	3986,93	0

**EK-2** Çift taraflı demontaj hattı dengeleme problemlerinin her biri için deneysel sonuçlar

Çift Taraflı Demontaj Hatları									
Problemler	Alt Sınır	Üst Sınır	CPU	YSD	Problemler	Alt Sınır	Üst Sınır	CPU	YSD
G10_1_1_1	2270	2270	1,42	0	G10_3_2_2	3072	3072	5,89	0
G10_1_1_2	3872	3872	1,64	0	G10_3_2_3	4089	4089	8,66	0
G10_1_1_3	3970	3970	1,5	0	G10_3_3_1	5906	5906	10,92	0
G10_1_2_1	996	996	12,97	0	G10_3_3_2	7406	7406	1,08	0
G10_1_2_2	1572	1572	29,3	0	G10_3_3_3	7906	7906	0,48	0
G10_1_2_3	3072	3072	1,78	0	G10_3_4_1	5481	5481	3,48	0
G10_1_3_1	3706	3706	20,63	0	G10_3_4_2	5481	5481	8,81	0
G10_1_3_2	4706	4706	24,81	0	G10_3_4_3	6981	6981	0,45	0
G10_1_3_3	6206	6206	7,56	0	G10_3_5_1	6621	6621	20,25	0
G10_1_4_1	3801	3801	34,31	0	G10_3_5_2	6821	6821	6,53	0
G10_1_4_2	5101	5101	13,8	0	G10_3_5_3	8321	8321	0,58	0
G10_1_4_3	5301	5301	7,23	0	G10_3_6_1	2968	2968	14,18	0
G10_1_5_1	5321	5321	29,88	0	G10_3_6_2	3898	3898	4,96	0
G10_1_5_2	6821	6821	4,2	0	G10_3_6_3	4468	4468	2,34	0
G10_1_5_3	7421	7421	4,3	0	G20_1_1_1	14555	14555	374,88	0
G10_1_6_1	2533	2533	4,44	0	G20_1_1_2	18396	18396	218,2	0
G10_1_6_2	3338	3338	9,98	0	G20_1_1_3	19896	19896	97,25	0
G10_1_6_3	4204	4204	2,11	0	G20_1_2_1	14066	14066	255,69	0
G10_2_1_1	2380	2380	7,17	0	G20_1_2_2	18725	18725	117,61	0
G10_2_1_2	3640	3640	6,83	0	G20_1_2_3	20425	20425	41,33	0
G10_2_1_3	3970	3970	4,22	0	G20_1_3_1	16749	16749	58,59	0
G10_2_2_1	1065	1065	130,33	0	G20_1_3_2	20149	20149	24,5	0
G10_2_2_2	3200	3200	5,19	0	G20_1_3_3	21649	21649	29,86	0
G10_2_2_3	3072	3072	6,42	0	G20_1_4_1	13081	13081	153,27	0
G10_2_3_1	4227	4227	40,45	0	G20_1_4_2	16281	16281	88,83	0
G10_2_3_2	6406	6406	6,08	0	G20_1_4_3	17781	17781	99	0
G10_2_3_3	6406	6406	2,36	0	G20_1_5_1	19342	19342	362,39	0
G10_2_4_1	5301	5301	3,2	0	G20_1_5_2	21909	21909	313,95	0
G10_2_4_2	5644	5644	9,38	0	G20_1_5_3	23088	23088	124,88	0
G10_2_4_3	6801	6801	1,91	0	G20_1_6_1	15955	15955	137,55	0
G10_2_5_1	6621	6621	42,58	0	G20_1_6_2	19155	19155	36,33	0
G10_2_5_2	6821	6821	13,33	0	G20_1_6_3	19933	19933	186,28	0
G10_2_5_3	8321	8321	1,14	0	G20_2_1_1	16742	16742	3246,91	0
G10_2_6_1	2704	2704	27,82	0	G20_2_1_2	19404	19404	4447,63	0
G10_2_6_2	3929	3929	8,75	0	G20_2_1_3	20296	20296	5359,91	0
G10_2_6_3	4204	4204	11,39	0	G20_2_2_1	15150	15150	455,97	0
G10_3_1_1	2508	2508	13,34	0	G20_2_2_2	18725	18725	311,72	0
G10_3_1_2	3970	3970	1	0	G20_2_2_3	20425	20425	225,22	0
G10_3_1_3	4208	4208	1,14	0	G20_2_3_1	16942	16942	416,66	0
G10_3_2_1	2872	2872	23,61	0	G20_2_3_2	20149	20149	705,5	0

## K-2 (Devamı)

Çift Taraflı Demontaj Hatları									
Problemler	Alt Sınır	Üst Sınır	CPU	YSD	Problemler	Alt Sınır	Üst Sınır	CPU	YSD
G20_2_3_3	21849	21849	98,30	0	G30_1_5_2	22697	32360,17	10800	29,86
G20_2_4_1	14316	14316	676,47	0	G30_1_5_3	25620	32485,72	10800	21,13
G20_2_4_2	16481	16518	10800	0,22	G30_1_6_1	15393	30026,69	10800	48,74
G20_2_4_3	18181	18181	233,42	0	G30_1_6_2	20686	30002,28	10800	31,05
G20_2_5_1	20088	20088	4503,81	0	G30_1_6_3	24056	30239,56	10800	20,45
G20_2_5_2	22888	22888	603,47	0	G30_2_1_1	19232	30408,44	10800	36,75
G20_2_5_3	23854	24200	10800	1,43	G30_2_1_2	23187	30313,87	10800	23,51
G20_2_6_1	17515	17515	2290,06	0	G30_2_1_3	25167	30372,46	10800	17,14
G20_2_6_2	19215	19350,15	10800	0,70	G30_2_2_1	13426	13426	9498,88	0
G20_2_6_3	20715	20715	2822,03	0	G30_2_2_2	18606	26805,29	10800	30,59
G20_3_1_1	17780	18800	10800	5,43	G30_2_2_3	20596	27239,32	10800	24,39
G20_3_1_2	19896	21086,67	10800	5,65	G30_2_3_1	25699	41169,36	10800	37,58
G20_3_1_3	21242	21796	10800	2,54	G30_2_3_2	31518	40993	10800	23,11
G20_3_2_1	17425	17425	5787,00	0	G30_2_3_3	34518	40992,39	10800	15,79
G20_3_2_2	20425	20425	2851,17	0	G30_2_4_1	16541	29748,93	10800	44,40
G20_3_2_3	20625	22125	10800	6,78	G30_2_4_2	21650	29550	10800	26,73
G20_3_3_1	18649	19578,04	10800	4,75	G30_2_4_3	23350	29646,71	10800	21,24
G20_3_3_2	21449	21649	10800	0,92	G30_2_5_1	18059	32497	10800	44,43
G20_3_3_3	22266	23149	10800	3,81	G30_2_5_2	24397	32281,16	10800	24,42
G20_3_4_1	15816	16399,59	10800	3,56	G30_2_5_3	26097	32381,22	10800	19,41
G20_3_4_2	17781	18278,07	10800	2,72	G30_2_6_1	16827	29961,53	10800	43,84
G20_3_4_3	19016	19481	10800	2,39	G30_2_6_2	22297	30084,99	10800	25,89
G20_3_5_1	21588	22384,92	10800	3,56	G30_2_6_3	24197	30277,8	10800	20,08
G20_3_5_2	23088	24359,1	10800	5,22	G30_3_1_1	21545	30779,6	10800	30,00
G20_3_5_3	24588	24588	119,94	0	G30_3_1_2	25326	30444,88	10800	16,81
G20_3_6_1	17655	19205,68	10800	8,07	G30_3_1_3	27026	30613,75	10800	11,72
G20_3_6_2	19355	20855	10800	7,19	G30_3_2_1	15442	26905,32	10800	42,61
G20_3_6_3	20915	20915	867,89	0	G30_3_2_2	20026	27102,05	10800	26,11
G30_1_1_1	17436	30712,68	10800	43,23	G30_3_2_3	21806	27189,11	10800	19,80
G30_1_1_2	22274	30416,99	10800	26,77	G30_3_3_1	29012	41117,94	10800	29,44
G30_1_1_3	24487	30429,31	10800	19,53	G30_3_3_2	33218	41076,78	10800	19,13
G30_1_2_1	7945	27215,37	10800	70,81	G30_3_3_3	36114	41053,99	10800	12,03
G30_1_2_2	18126	27163,73	10800	33,27	G30_3_4_1	17726	29749,54	10800	40,42
G30_1_2_3	20106	27196,55	10800	26,07	G30_3_4_2	22050	29635,17	10800	25,60
G30_1_3_1	25731	41118	10800	37,42	G30_3_4_3	25050	29706,41	10800	15,67
G30_1_3_2	31318	41113,96	10800	23,83	G30_3_5_1	19670	32070,03	10800	38,67
G30_1_3_3	34318	41096,03	10800	16,49	G30_3_5_2	24597	32376,62	10800	24,03
G30_1_4_1	13615	29750	10800	54,24	G30_3_5_3	27797	32428,46	10800	14,28
G30_1_4_2	20450	29733,46	10800	31,22	G30_3_6_1	17597	30110,11	10800	41,56
G30_1_4_3	23150	29720,15	10800	22,11	G30_3_6_2	22697	30299,49	10800	25,09
G30_1_5_1	16131	32497	10800	50,36	G30_3_6_3	25497	30345,21	10800	15,98

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Yüksel DEĞİRMENCİOĞLU  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Niğde/Merkez  
**Telefon** : 05398174858  
**Faks** : 0 332 241 06 35  
**E-Posta** : ydegirmencioglu@ktun.edu.tr

### EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	: Niğde Anadolu Lisesi, Merkez,	Niğde		2011
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Selçuklu, Konya			2016
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği AnaBilim Dalı, Selçuklu, Konya			
Doktora	:			

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2017-2018	Niğtaş A.Ş. Konya Teknik Üniversitesi	İş Analisti
2019-	Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Yöneylem Araştırması Anabilim Dalı	Araştırma Görevlisi

### UZMANLIK ALANI

Demontaj Hattı Dengeleme, Matematiksel Modelleme

### YABANCI DİLLER

İngilizce (YökDil) – 82,50

### YAYINLAR

[1] Değirmencioğlu, Y., Kara, Y., “Kâr Amaçlı Çift Taraflı Demontaj Hattı Dengeleme Problemi”, V.INES Uluslararası Bilim, Teknoloji ve İnovasyon Kongresi, Alanya, Antalya.