



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



**ÇOK SAYIDA DÜZ MONTAJ  
HATTININ BÜTÜNLEŞİK DENGELENMESİ:  
OTOMATİK KAPI SİSTEMLERİ  
ÜRETİMİNDE BİR UYGULAMA**

**Ayşen AYKOL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Ocak-2023**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Ayşen AYKOL tarafından hazırlanan “Çok Sayıda Düz Montaj Hattının Bütünleşik Dengelenmesi: Otomatik Kapı Sistemleri Üretiminde Bir Uygulama” adlı tez çalışması 23/01/2023 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. Yakup KARA

#### Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Yakup ATASAGUN

#### Üye

Dr. Öğr. Üyesi Kemal ALAYKIRAN

### İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN  
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.

İmza

Ayşen AYKOL

Tarih: 23.01.2023

# ÖZET

## YÜKSEK LİSANS TEZİ

### ÇOK SAYIDA DÜZ MONTAJ HATTININ BÜTÜNLEŞİK DENGELENMESİ: OTOMATİK KAPI SİSTEMLERİ ÜRETİMİNDE BİR UYGULAMA

Ayşen AYKOL

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

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Yakup ATASAGUN**

**2023, 51 Sayfa**

**Jüri**

**Dr. Öğr. Üyesi Yakup ATASAGUN**

**Prof. Dr. Yakup KARA**

**Dr. Öğr. Üyesi Kemal ALAYKIRAN**

Bu tez çalışmasında, Konya'da faaliyet gösteren ve otomatik kapı sistemleri üreten firmada bulunan çok sayıda düz montaj hattının bütünleşik olarak dengelenmesi uygulaması gerçekleştirilmiştir. Gökçen ve ark., (2010) tarafından geliştirilen matematiksel model kullanılarak dengeleme çalışması yapılmıştır. Öncelikle çalışma kapsamında ele alınan montaj hatları tanıtılmış olup montaj hatlarındaki görev ve öncelik ilişkileri belirlenmiştir. Daha sonra, geçmiş yıllardaki satış miktarları baz alınarak belirlenen çevrim zamanı ile bu hatların bütünleşik olarak dengelenmesi gerçekleştirilmiştir. Montaj hatlarının, belirlenen çevrim zamanı değeri için bütünleşik olarak dengelenmesinde gerçekleşen optimum atama bilgileri aktarılmıştır. Dengeleme öncesi mevcut durumda 9 kişi ile gerçekleştirilen üretim için ihtiyaç duyulan işçi sayısı dengeleme sonucunda 3 kişiye düşürülerek %66 oranında iyileşme elde edilmiştir. Mevcutta 400 m<sup>2</sup>'lik alanda yapılan üretim uygulama sonucunda ortak istasyonlar elde ederek %80'lik kazançla 80 m<sup>2</sup>'lik alana düşürülmüştür. Sekiz farklı çevrim zamanı değeri için yapılan senaryo analizinde çözümlerin yedisinde bütünleşik dengeleme yaklaşımı ile elde edilen istasyon sayılarının hatların birbirinden bağımsız dengelenmesi durumuna göre daha düşük olduğu görülmüştür. Bütünleşik dengeleme yaklaşımı sonucu açılacak ortak istasyonlar sayesinde toplam istasyon sayısının minimize edilmesi açısından önemli bir esneklik kazanılmıştır. Bu çalışma literatürde yer alan bir problemin gerçek hayat uygulamasının gerçekleştirilmesi açısından son derece önemlidir.

**Anahtar Kelimeler:** Bütünleşik Dengeleme, Çok Sayıda Düz Hat, Doğrusal Programlama, Gerçek Hayat Uygulaması, Montaj Hattı Dengeleme

**ABSTRACT**

**MS THESIS**

**INTEGRATED BALANCING OF MULTIPLE STRAIGHT ASSEMBLY LINES:  
A CASE STUDY IN MANUFACTURING OF AUTOMATIC DOOR SYSTEMS**

**Ayşen AYKOL**

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

**Advisor: Asst.Prof.Dr. Yakup ATASAGUN  
2023, 51 Pages**

**Jury  
Asst.Prof.Dr. Yakup ATASAGUN  
Prof.Dr. Yakup KARA  
Asst.Prof.Dr. Kemal ALAYKIRAN**

In this thesis, the application of integrated balancing of multiple straight assembly lines in the company operating in Konya and producing automatic door systems has been carried out. The lines have been balanced using the mathematical model developed by Gökçen et al., (2010). First of all, the assembly lines, which was considered within the scope of the study, was introduced and the task and priority relations in the assembly lines were determined. Then, an integrated balancing was performed with the cycle time determined based on the sales of the previous years. Optimum assignment information is given in the integrated balancing of assembly lines for the determined cycle time. The number of workers needed for the production, which was carried out with 9 workers in the current situation before balancing, was reduced to 3 workers as a result of balancing, resulting in an improvement of 66%. As a result of the implementation, the production made on an area of 400 m<sup>2</sup> at present was reduced to an area of 80 m<sup>2</sup> with a gain of 80% by obtaining common stations. In the scenario analysis made for eight different cycle time values, it was seen that the number of stations obtained with the integrated balancing approach in seven of the solutions was lower than the case of independent balancing of the lines. Thus, thanks to the common stations to be opened as a result of the Integrated balancing approach, a significant flexibility has been gained in terms of minimizing the total number of stations. This study is extremely important in terms of real-life application of a problem in the literature.

**Keywords:** Integrated Balancing, Multiple Straight Lines, Linear Programming, Real Life Application, Assembly Line Balancing

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmamın hazırlanmasında katkıları ile emeği geçen, değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Yakup Atasagun'a, tez yazımında her türlü anlayışı gösteren ve yardımlarını esirgemeyen Ayhan Tufan Ayan'a teşekkürlerimi sunarım.

Maddi ve manevi anlamda her zaman desteklerini esirgemeyen aileme özellikle de bugün yanımızda olmayan babam Zihni Aykol'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayşen AYKOL  
KONYA-2023



## 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>3</b>
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>8</b>
3.1. Materyal .....	8
3.1.1. Montaj Hattı Dengeleme Problemi .....	8
3.1.1.1. Montaj Hattı Dengeleme İle İlgili Temel Kavramlar .....	10
3.1.1.2. Montaj Hattı Dengeleme Probleminin Amaçları ve Kısıtları .....	12
3.1.1.3. Montaj Hattı Dengeleme Probleminin Sınıflandırılması .....	14
3.1.2. Çok Sayıda Düz Montaj Hattının Bütünleşik Dengelenmesi Problemi.....	15
3.1.3. Uygulama Yapılan İşletmenin Tanıtımı .....	19
3.1.4. Uygulamanın Yapıldığı Montaj Hattının Tanıtımı .....	20
3.2. Yöntem.....	29
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>33</b>
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>38</b>
5.1 Sonuçlar .....	38
5.2 Öneriler .....	39
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>40</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

$S_n$	Saniye
MHD	Montaj Hattı Dengeleme
PMHD	Paralel Montaj Hattı Dengeleme
ÜS	Ürün Sayısı
$i, r, s, k, l$	Görev
$j$	İstasyon
$h, g, a, b, p, q$	Hat
$S$	Öncelik ilişkileri kümesi
$I_h$	$h$ hattının görevler kümesi
$J$	İstasyonlar kümesi
$A$	Hatlar kümesi
$R$	Aralarında bağlantı sağlanamayan hat ikilileri kümesi
$F$	Aralarında bağlantı sağlanabilen hat ikilileri kümesi
$Y$	Pres makinesinde yapılması gereken görevler kümesi
$H$	Toplam hat sayısı
$N$	Toplam görev sayısı
$M$	Büyük bir sayı
$n_h$	$h$ hattındaki görev sayısı
$n$	Toplam görev sayısı
$m_{max}$	Maximum istasyon sayısı
$C$	Çevrim zamanı
$t_i$	$i$ görevinin tamamlanma süresi
$(r, s) \in S$	$h$ hattına ait bir öncelik ilişkisi; $r$ görevi $s$ görevinin komşu öncülüdür
$(p, q) \in R$	Bir hat ikilisi; $p$ hattı ile $q$ hattı arasında bağlantı sağlanamaz
$(a, b) \in F$	Bir hat ikilisi; $a$ (tedarikçi hat) hattı ile $b$ (müşteri hat) hattı arasında dikey bağlantı sağlanabilir
$k_{ij}$	1, $i$ görevi $j$ istasyonuna atanırsa; 0, aksi durumda
$K_{max}$	En büyük istasyon sayısı
$C_h$	$h$ hattının çevrim zamanı
$k$	$a$ (tedarikçi hat) hattının öncelik diyagramındaki son görev
$l$	$a$ (tedarikçi hat) hattının çıktısının $b$ (müşteri hat) hattında kullanılacağı görev
$x_{hij}$	1, $h$ hattındaki $i$ görevi $j$ istasyonuna atanırsa; 0, aksi durumda
$O_j$	1, pres makinesinde yapılması gereken görevler $j$ istasyonuna atanırsa; 0, aksi durumda
$U_{hj}$	1, $j$ istasyonu $h$ hattında kullanılmışsa; 0, aksi durumda
$z_j$	1, $j$ istasyonu kullanılmışsa; 0, aksi durumda
$W_{(a,b)j}$	: 1, $j$ istasyonu $a$ hattı ile $b$ hattının her ikisinden de görevler bulunduran bir istasyonsa; 0, aksi durumda
$V_{(a,b)j}$	: 1, $j$ istasyonu $a$ hattı ile $b$ hattının yalnızca birinden görevler bulunduran bir istasyonsa; 0, aksi durumda



## 1. GİRİŞ

Endüstrinin giderek artan rekabetçi doğası işletmelerin hizmetlerini iyileştirmelerini, kaynaklarını etkin ve verimli kullanmasını zorunlu hale getirmiştir. Endüstrideki acımasız rekabet, üretim maliyetlerini önemli kılmış ve üretim maliyetlerinin indirilmesi için işletmelerin birtakım iyileştirmeler yapmaları gerçeğini ortaya çıkarmıştır. Montaj hattı dengeleme, verimliliği arttırmak amacıyla üretim hatlarında yapılan çalışmaların önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Montaj hatlarındaki israfların belirlenmesi ve yok edilmesi, işletmelere ciddi oranda maliyet kazancı sağlamaktadır (Gündoğdu,2019).

Montaj hattı, nihai ürünü elde edebilmek için gereken görevlerin öncelik ilişkilerine göre sıralanmış istasyonlar boyunca yapıldığı sistem olarak bilinmektedir. (Gökçen, 1997)

Montaj hatlarından maksimum seviyede faydalanmak için montaj hatları birtakım metotlar ile sınıflandırılmıştır. Bu metotlar model sayısı ve yerleşim tipi olmak üzere 2 ana grupta ele alınmaktadır. Hatta üretilen model sayısı baz alındığında; tek modelli, karma modelli ve çok modelli olmak üzere üç grupta sınıflandırılmaktadır. Tek modelli montaj hattı; tek bir ürünün devamlı ve çok miktarda üretiminin yapıldığı montaj hatlarıdır. Karma modelli; farklı türde ürünler ya da bir ürünün farklı modellerinin aynı anda üretildiği montaj hatlarıdır. Karma modelli montaj hattının en büyük avantajı, farklı türde müşteri taleplerini büyük nihai ürün stokları gerektirmeden devamlı üretilerek karşılanmasıdır. Çok modelli; bir ürünün farklı modelleri ya da farklı ürünlerin aynı hat üzerinde farklı zamanlarda üretildiği montaj hatlarıdır. Çok modelli montaj hatlarında hazırlık süresi ve maliyeti yüksektir (Tanyaş ve Baksak 2003; Öksüz, 2015).

Montaj hatlarının yerleşim tipi baz alındığında; düz ve u-tipi olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Düz montaj hatları, art arda düz bir şekilde sıralanmış istasyonlardan oluşmaktadır. U-tipi hatlar ise u şeklinde yerleşimi yapılmış montaj hatlarıdır. Talepteki değişime, üretim hızına göre çalışan sayısı uyumu sağlar. Fiziksel alan olarak daha dar alanda çalıştıklarından dolayı operatörlerin iletişimleri kuvvetlidir. Birden fazla iş bölgesinde çalışma fırsatı ile daha az işçiye ihtiyaç duyulmaktadır (Tanyaş ve Baksak 2003).

Montaj hattı dengeleme; istasyonlarda görev süreleri ve aralarındaki öncelik ilişkileri dikkate alınarak hangi istasyonlara hangi görevlerin atanacağını belirlemenin problemi olarak tanımlanmaktadır. Hat dengeleme problemi, hattın üretim hızının

belirlenmesine ve kaynakların verimli kullanılmasına ilişkin bir çalışma olması nedeniyle üretim sektöründe önemli hale gelmektedir (Scholl ve Klein, 1999).

İmalat sanayinde çok sayıda montaj hattına sahip üretim sistemleriyle sıklıkla karşılaşılmaktadır. Çok sayıda birbirlerine paralel olarak yerleştirilmiş hatların bütünleşik dengelenmesi ilk kez Gökçen ve ark. (2006) tarafından ele alınmıştır. Çalışanların yürüme mesafeleri dikkate alınarak hatlar birbirlerine paralel ve yakın tasarlanarak bütünleşik dengelenmesi gerçekleştirilmektedir. Böylece, herhangi bir hattaki çalışanın boş zamanını, bir başka hattan görev atamasıyla azaltarak operatör kullanım oranı artırılmaktadır. Komşu hatlar arasında ortak istasyonlar açarak ihtiyaç duyulan işçi sayısı azaltılmaktadır. Sonuç olarak hatların bütünleşik dengelenmesi ile kaynak kullanımı minimizasyonunda büyük avantajlar sağlanmaktadır (Gökçen ve Ağpak, 2004).

Bu tez çalışmasında endüstriyel kapı motoru üretimi gerçekleştiren bir işletmede çok sayıda düz montaj hattının bütünleşik dengelenmesi uygulaması ele alınmıştır. Çalışmada problemin çözümü için Gökçen ve ark. (2010) tarafından önerilen matematiksel model kullanılmıştır. Probleme ait varsayımlar tanımlanmıştır. Öncelikli olarak montaj hatlarına ait görev tanımları net olarak ortaya koyulmuştur. Daha sonra görevlerin süre ve öncelik ilişkilerini belirlemek amacıyla zaman etüdü uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında ele alınan ürünün ana bileşenlerinden biri olan Redüktör ana bileşenine ait bazı görevlerin ortak bir ekipman kullanılarak yapılması gerektiğinden aynı istasyonda gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle Gökçen ve ark. (2010) tarafından önerilen matematiksel modele ek bir kısıt tanımlanmıştır. Ele alınan uygulama ile, üretim hızı artışı, istasyon sayısı ve istasyon boş zaman minimizasyonu olarak birçok hedeflere ulaşmak için hat tasarımı yapılmış ve görevlerin istasyonlara ataması gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın; ikinci bölümünde kaynak araştırması kapsamında bütünleşik hat dengeleme ile ilgili literatür araştırmasına, üçüncü bölümünde montaj hattı ile ilgili temel kavramlar, ele alınan problemin tanıtılması ve önerilen matematiksel modelin detayları, dördüncü bölümünde önerilen model ile elde edilen hat dengeleme sonuçlarına yer verilmiş, beşinci bölümünde ise elde edilen sonuçlar yorumlanmış ve ileride yapılabilecek iyileştirme çalışmaları önerilerine yer verilmiştir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Montaj hattı dengeleme (MHD) problemi literatürde ilk kez Bryton tarafından (1954) yapılan bitirme teziyle yer almıştır. Salveson tarafından (1955) yazılan makale, montaj hattı dengeleme problemi konusunda yayımlanan ilk makaledir. Bu makalede, tek modelli deterministik süreli montaj hattı dengeleme problemi için çözüm yöntemleri geliştirmiştir. Bu problem basit montaj hattı dengeleme problemi olarak da bilinmektedir. Talbot ve Patterson (1984) tarafından basit montaj hattı dengeleme problemi için ilk tamsayı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir.

Literatürde 1955 yılından bu yana kadar MHD problemleri ile ilgili çok sayıda çalışma yer almaktadır.. MHD problemi konusuna yoğunlaşan araştırmacılar; Baybars (1986), Ghosh ve Gagnon (1989), Erel ve Sarin (1998), Becker ve Scholl (2006), Scholl ve Becker (2006), Battaia ve Dolgui (2013) , Sivasankaran ve Shahabudeen (2014) ve Aguilar ve ark. (2020) tarafından yapılmış literatür inceleme çalışmalarını inceleyebilirler (Atasagun, 2016).

Sanayi işletmeleri farklı türde ürünler üretebilmektedir ve bir montaj sisteminin çok sayıda montaj hattına sahip olması sık karşılaşılan bir durumdur. Birden fazla montaj hattını bütünlük dengeleme ile toplam istasyon sayısı en aza indirilebilir böylece işgücü maliyetleri düşürülebilir. Fakat birden fazla hat tasarımı durumunda makine, ekipman gibi ek maliyet unsurları ortaya çıkacaktır.

Gökçen ve Ağpak (2004) çalışmasında çok sayıda eş ya da benzer hatların dengelenmesi için bütünlük dengeleme felsefesini ortaya koymuştur. Önerilen yaklaşımda, birbirine paralel hatların bağımsız olarak değil, bütünlük dengeleme ele alınmıştır ve bazı çalışanların boşta kalma zamanını azaltarak hattın etkinliği artırılmıştır. Hatlar için pasif ve aktif durum varsayımları geliştirilmiştir. Pasif durum varsayımında; aynı ürünlerin iki ayrı montaj hattında aynı çevrim zamanı ile montajı gerçekleştirilmektedir. İstasyon boş zamanı, çevrim zamanının yarısına eşit ya da daha yüksek olan istasyon bulunur ve diğer paralel hattın uygun görevleri bu istasyona atanmaktadır. Aktif durum varsayımında birbirinden farklı ya da benzer ürünleri montajı gerçekleştirilmektedir. Görevler pozisyon ağırlığına göre sıralanır ve boş bekleme zamanı sıfır oluncaya kadar görev atamaları gerçekleştirilmektedir.

Gökçen ve ark. (2006) tarafından birden fazla hattın bütünlük dengelenmesi problemi ele alınmış, paralel montaj hattı dengeleme (PMHD) olarak isimlendirilmiştir.

Minimum istasyon sayısına ulaşılması hedeflenen problem için, ikili tamsayı programlama yaklaşımı geliştirilmiştir. Hatlar için pasif ve aktif durum varsayımlarına odaklanılmıştır. Pasif durumda; montaj hatlarını tek modellenmiş montaj hattı dengeleme metodunu kullanılarak dengelenmektedir. Her bir istasyon için istasyon boş zamanları hesaplanmaktadır. İstasyon boş zamanı çevrim zamanının yarısına eşit ya da daha fazla olan istasyonlar belirlendikten sonra görev atamaları gerçekleştirilmektedir.

Vilarinho ve Simaria, (2006) tarafından paralel karma modellenmiş montaj hatlarında konum ve paralel istasyon kısıtlarına önem veren bir karınca kolonisi optimizasyonu algoritması ele alınmıştır. Çalışmada belirlenmiş bir çevrim zamanı için hattaki çalışan sayısı minimizasyonu amaçlanmıştır.

Lan (2007) tarafından ele alınan çalışmada mevcut makineler, sipariş miktarı ve üretim termin süresi dikkate alınarak paralel olarak birden fazla üretim hattından oluşan sisteminin kar maksimizasyonu için bir matematiksel model sunulmaktadır.

Lusa (2008) çalışması birden çok paralel montaj hattından oluşan üretim sistemlerine odaklanmaktadır. Çoklu montaj hattı dengeleme problemi, ilgili özellikleri ve literatüre katkıları üzerinde durulmaktadır.

Çerçioğlu ve ark. (2009) çalışması temel olarak Gökçen ve ark. (2006) çalışmasını ele alarak geliştirilmiştir. Ortaya konan yöntem, sayısal verilerle örneklendirilmiş ve bu yöntemin verimi Gökçen ve ark. (2006) çalışmasına ait test verileri üzerinde sınanmıştır. Öncelikle tüm görevler farklı istasyonlara sırasıyla atanmakta ve çevrim zamanını aşmayacak toplam en küçük iş yükünü sağlayacak kadar istasyon sayısını azaltmak için komşu olan iki istasyon birleştirilmektedir. Başlangıç parametreleri ile başlangıç çözümü elde edilir. Başlangıçta elde edilen bu çözüm, güncel çözüm olarak kabul edilmektedir. Güncel çözüm üzerinden komşuluk çözümü elde edilir. Komşu çözümünün maliyet değeri hesaplandıktan sonra güncel çözüm ile karşılaştırması yapılmaktadır. Elde edilen çözümün maliyeti mevcut çözümden düşük ise, elde edilen çözüm güncel çözüm olarak kabul edilmektedir. Eğer komşu çözümü daha kötü ise, uygun çözüm bulunana kadar süreç devam etmektedir. Çalışmanın sonunda referans alınan çalışmadan daha iyi altı adet sonuç bulunmuştur.

Scholl ve Boysen (2009) tarafından ele alınan çalışmada çok sayıda paralel montaj hattından oluşan üretim sistemine odaklanılmıştır. Belirli bir çevrim zamanı içinde istasyon sayısı minimizasyonu amaçlanmıştır. Gökçen ve ark. (2006) çalışmasına ait ikili doğrusal programlama modeli üzerinde çalışmalarını gerçekleştirmiştir. Ayrıca,

optimum çözüm yöntemlerinden dal-sınır prosedürüne dayanan kesin bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir

Kara ve ark. (2010) paralel montaj hatlarının bütünleşik dengelenmesi amacıyla kesin ve bulanık hedef programlama yaklaşımları önermişlerdir. İş istasyonu sayısı, çevrim zamanı ve bir iş istasyonuna atanan görev sayısı olmak üzere üç amacın çözümü hedef programlama yaklaşımı ile ele alınmıştır.

Gökçen ve ark. (2010) tarafından birden çok düz montaj hattının bütünleşik dengelenmesi için ikili bir tamsayı modeli geliştirilmiştir. Talep değişkenliklerine karşı esnek hat sistemini çok sayıda düz montaj hatlarında elde etmek için bütünleşik dengelenmesi problemi ele alınmıştır. Bu çalışmada, montaj hattı tesisinde gerekli olan hatların toplam boşa kalma sürelerini ve toplam istasyon sayısını en aza indirmek amaçlanmıştır. Çok sayıda montaj hattını paralel, ardışık ve dikey bağlantılar ile birleştirilerek ortak istasyonlar elde edilmiştir.

Kara ve Atasagun (2013), kaynak bağımlı görev sürelerine sahip paralel montaj hatlarının bütünleşik dengelenmesi için bir ikili tamsayılı doğrusal matematiksel model geliştirmişler ve matematiksel modeli örnek bir problem üzerinde doğrularak, örnek problemin farklı çevrim süreleriyle çözümlerinden oluşan bir senaryo analizi gerçekleştirmişlerdir. Bu senaryo analizine göre, paralel iki hattın bütünleşik dengelenmesi yaklaşımının bağımsız dengelemeye göre toplam maliyeti iyileştirme oranları ortalaması ise %8,8 olarak elde edilmiştir.

Atasagun ve ark. (2019) tarafından görev sürelerinin kaynağa bağlı olduğu varsayılarak, çok sayıda düz montaj hatlarının bütünleşik dengelenmesi için bir ikili tamsayılı matematiksel model önerilmiştir. Çalışma kapsamındaki uygulamada ekipman, işçi gibi kaynakların farklı alternatifleri mevcuttur. Böylece bir görevin gerçekleşmesinde farklı süreler elde edilmektedir. Toplam maliyet minimizasyonu sağlayacak şekilde istasyonlara görev ve kaynak atamaları gerçekleştirilmiştir. Hatların birbirinden bağımsız ve bütünleşik dengelenmesi sonuçları karşılaştırılmıştır. Kaynağa bağlı görev süreleri ile çok sayıda düz montaj hattının bütünleşik dengelenmesinde, bağımsız dengelemeye kıyasla toplam maliyette yaklaşık %23 iyileşme elde edilmiştir.

Atasagun ve Kara (2021) tarafından ele alınan çalışmada Konya'da faaliyet gösteren ve güneş enerjisi kolektörü üreten bir firmanın montaj hatlarında paralel montaj

hattı dengeleme yaklaşımı ile bütünleşik olarak dengelenmesi uygulaması yapılmıştır. Birbiriyle özdeş özellikte iki montaj hattı kurularak birbirlerine paralel bir şekilde yerleştirilmiştir. Kara ve Atasagun (2013) tarafından geliştirilen matematiksel model ile paralel hatların kaynağa bağlı görev süreleriyle dengelenmesi sağlanmıştır. Talebin değişmesi durumu da göz önüne alarak ele alınan iki montaj hattının farklı çevrim süreleri için, bütünleşik ve birbirinden bağımsız şekilde dengelenmesi gerçekleştirilmiştir. Paralel dengeleme ve bağımsız dengeleme sonuçları karşılaştırılmış olup uygulama yapılan montaj hattında bütünleşik dengeleme yaklaşımı, bağımsız dengelemeye kıyasla toplam maliyette %5,67'lik daha iyi sonuç ortaya koymuştur. Farklı çevrim zamanlarıyla yapılan senaryo analizinde de bütünleşik dengeleme yaklaşımının bağımsız dengelemeye kıyasla toplam maliyette yaklaşık %8'lik iyileşme sağladığı belirtilmiştir.

Montaj hatları yerleşim açısından düz ve u-tipi olmak üzere iki grupta ele alınmaktadır. Montaj hattı yerleşiminde U-tipi hatların düz hatlara göre birçok avantajı bulunmaktadır. İki veya daha fazla komşu hatlar birleştirilerek istasyon boş zaman süresi azaltılabilir. U-tipi montaj hatlarında çalışanlar arasında iletişim daha güçlüdür. Gerekli olan çalışan sayısı U-tipi hatlarda daha azdır.

Bu bölüme kadar birden fazla düz montaj hattının bütünleşik dengelenmesine yönelik literatürde yer alan çalışmalara yer verilmiştir. Literatürde birden fazla u-tipi hattın bütünleşik dengelenmesine yönelik olarak çalışmalar da yer almaktadır. İş istasyonlarına operasyon atama problemi U-tipi hatlar üzerinde ilk olarak Miltenburg (1994) tarafından çalışılmıştır. (Miltenburg ve Wijngaard, 1994). Literatürde ilk kez çok sayıda U- tipi montaj hattı dengeleme problem için ele alınan çalışma Miltenburg'a (1998) aittir. Birden fazla sayıda u-tipi hattın bütünleşik dengelenmesine yönelik çalışmalardan bazıları; Sparling ve Miltenburg (1998), Sparling (1998), Chiang ve ark. (2007), Kucukkoc ve Zhang (2015) ve Atasagun (2016) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Çok sayıda düz ve paralel montaj hatları ile ilgili literatürde yer alan problemler ait özet bilgileri Çizelge 2.1’de yer almaktadır.

**Çizelge 2.1.** Bütünleşik hat dengeleme literatürüne dair özet bilgiler

<b>Yazar</b>	<b>Problem</b>	<b>Amaç</b>	<b>Metot</b>
Miltenburg (1998)	Deterministik, U-Tipi	Tip-I	Dinamik Programlama
Sparling (1998)	Deterministik, U-Tipi	Tip-I	Dal-Sınır Algoritması
Sparling ve Miltenburg (1998)	Deterministik, U-Tipi	Tip-I	Dal-Sınır Algoritması
Gökçen ve ark. (2006)	Deterministik, Düz	Tip-I	Tavlama Benzetimi
Vilarinho ve Simaria, (2006)	Deterministik, Düz	Tip-I	Karınca Kolonisi Optimizasyonu
Chiang ve ark. (2007)	Deterministik, U-Tipi	Tip-I	Dal-Sınır Algoritması
Çerçioğlu ve ark. (2009)	Deterministik, Düz	Tip-I	Tavlama Benzetimi
Scholl ve Boysen (2009)	Deterministik, Düz	Tip-I	Doğrusal Programlama ve Dal-Sınır Algoritması
Gökçen ve ark. (2010)	Deterministik, Düz	Tip-I	Tamsayılı Programlama
Tiacci (2015)	Stokastik,Düz	Tip-E	Genetik Algoritma
Kucukkoc ve Zhang (2015)	Deterministik, U-tipi	Tip-I	Sezgisel Yaklaşım
Atasagun (2016)	Deterministik, U-tipi	Tip-I	Genetik Algoritma
Atasagun ve ark. (2019)	Deterministik, Düz	Tip-I	Karma Tamsayılı Programlama
Atasagun ve Kara (2021)	Deterministik, Düz	Tip-I	Tamsayılı Programlama

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Montaj Hattı Dengeleme Problemi

Üretim miktarının artmasıyla kapasite kullanım oranı hızlı bir şekilde düşer ve ilave maliyetlere yol açar. Bunun sonucunda kapasitenin etkili biçimde kullanılmaması nedeniyle ürün tedarik süresi uzar ve müşteri memnuniyetsizliğine neden olur. Rekabetin artmasıyla kaynakların verimli kullanılarak müşteri taleplerinin zamanında karşılanma hedefi hat tasarımı ve dengesini önemli kılmaktadır (Scholl ve Klein,1999).

Bir montaj hattı sisteminde görevlerin belirli kısıtlar altında bir veya daha fazla amaca göre istasyonlara uygun atamalarının yapılması problemine montaj hattı dengeleme problemi denmektedir (Özcan ve Toklu, 2009).

Montaj hattı dengeleme problemi çözümünde ele alınan yöntemler; optimum, sezgisel ve metasezgisel olmak üzere üç başlık altında incelenmektedir. Çizelge 3.1' de literatürde kullanılan çözüm yöntemlerinin sınıflandırılması görülmektedir (Tanyaş ve Baskak, 2003).

*Optimum Yöntemler:* Optimum çözüm yönteminde amaç, probleme yönelik işgücü, zaman, kapasite vb kaynakların en verimli şekilde kullanılarak maliyet minimizasyonu veya kapasite maksimizasyonu gibi amaçlara ulaşılmasıdır. Problemin boyutu büyüdükçe, problemin çözüm süresi de doğru orantılı bir şekilde artmaktadır. Çözümler genellikle uzun bir zaman gerektirir fakat kesin sonuca ulaşılır. Optimum yöntemlerden bazıları aşağıdaki gibidir (Tanyaş ve Baskak, 2003).

- Matematiksel Programlama
- Dinamik Programlama
- Gevşetilmiş Lagrange Yöntemi
- Konum Ağırlık Tekniği
- Dal-Sınır Algoritması
- Yerel Alt Sınır Yöntemi

*Sezgisel Yöntemler:* Sezgisel yöntemler, problemin yapısına göre gerçekleştirilen uygulamalardır. Sezgisel yöntemler, her zaman aynı verimle çalışmaz, her zaman sonuç



almayı ya da elde edilen sonucun en iyi sonuç olduğunu güvencesini vermez. Ancak sezgisel yöntemde en iyi çözümü; belirlenen kısıtlar doğrultusunda daha az çözüm zamanı ile bulmayı hedefler. Sezgisel yöntemler çözüm tekniklerine göre iki gruba ayrılır. İlk grupta; problem çözümünden önce kurallar belirlenir. Çözüm belirlenmiş kurallara uygun gerçekleşir. Devamında da istasyonlara atamalar gerçekleşir. Bu tür yöntemlerden bazıları aşağıdaki gibidir (Tanyaş ve Baskak, 2003);

- Bölgeleme Yöntemi (Kilbridge-Wester)
- Pozisyon Ağırlığı Yönetimi (Helgeson-Birnie)
- Moodie-Young Yöntemi
- COMSOAL
- Kritik Yol Yöntemi
- Hoffmann Sezgisel Yöntemi

*Metasezgisel Yöntemler:* Öncelikle başlangıç çözüm yöntemi belirlenir ve tam bir çözüm elde edilinceye kadar adım adım elde edilen çözümler kısmi çözüme eklenir. Belirlenen kurallara uygun istasyonlara atamalar yapılır. Bu tür sezgisel algoritmalar bazıları aşağıdaki gibidir (Tanyaş ve Baskak, 2003);

- Genetik Algoritmalar
- Benzetim Tavlama
- Tabu Arama
- Parçacık Sürü Optimizasyonu
- Karınca Kolonisi Optimizasyonu
- Yapay Arı Kolonisi

**Çizelge 3.1.** Montaj Hattı Dengelemede Kullanılan Çözüm Yöntemlerinin Sınıflandırılması

Montaj Hattı Dengeleme Çözümünde Kullanılan Yöntemler		
Optimum Yöntemler	Sezgisel Yöntemler	Metasezgisel Yöntemler
Matematiksel Programlama	Bölgeleme Yöntemi (Kilbridge-Wester)	Genetik Algoritmalar
Dinamik Programlama	Pozisyon Ağırlığı Yönetimi (Helgeson-Birnie)	Benzetim Tavlama
Gevşetilmiş Lagrange Yöntemi	Moodie-Young Yöntemi	Tabu Arama
Konum Ağırlık Tekniği	COMSOAL	Parçacık Sürü Optimizasyonu
Dal-Sınır Algoritması	Kritik Yol Yöntemi	Karınca Kolonisi Optimizasyonu
Yerel Alt Sınır Yöntemi	Büyükten Küçüğe Sıralanmış Puanlara Göre Atama	Yapay Arı Kolonisi
	Hoffmann Sezgisel Yöntemi	

### 3.1.1.1. Montaj Hattı Dengeleme İle İlgili Temel Kavramlar

Temel terminoloji konusunda Scholl (1999), Tanyaş ve Baskak (2003), Kara (2004), Kucukkoc (2011) ve Atasagun (2016) çalışmaları temel alınmıştır.

**Montaj:** Değişik kaynaklardan alınan öğeleri bir bütün oluşturmak için uygun tekniklerle bir araya getirmedir (Scholl,1999).

**Görev:** Toplam işin, bölünebilir mantıksal her bir parçasına görev denir. Bir görevin yerine getirilebilmesi için ihtiyaç duyulan süreye **görev süresi** denir. (Atasagun, 2016).

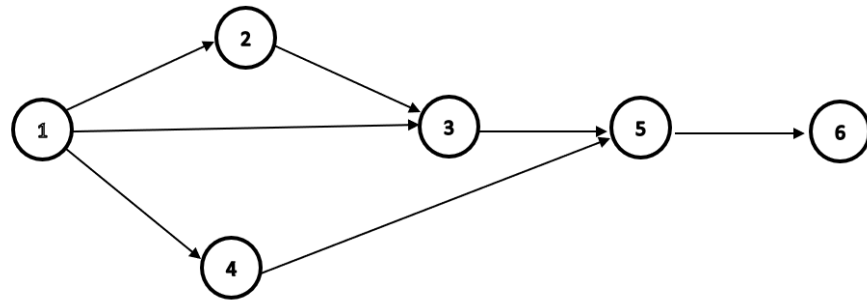
**İstasyon:** Operatörün bir işlem için kendisine ayrılan zaman içerisinde gerekli ekipmanlar ile çalıştığı alana denir (Atasagun,2016).

**Toplam görev süresi:** Ürünün nihai ürüne dönüşmesi için ihtiyaç duyulan olan tüm görevlerin standart sürelerinin toplamına denir (Tanyaş ve Baskak, 2003).

**İstasyon Süresi:** Bir montaj hattı yapısında, parçanın istasyona giriş zamanından, görevleri sonlanıp istasyondan çıkış zamanına kadar geçen zaman farkına denir (Tanyaş ve Baskak, 2003).

**Çevrim Zamanı:** Montaj hattındaki her bir istasyona atanan görevlerin ne kadar sürede tamamlanması gerektiğinin ölçüsüdür. Diğer bir deyişle, iki ürün çıkışı arasında geçen süredir. Kullanılabilir üretim süresi T, üretilmek istenen ürün sayısını ÜS olarak ifade edersek çevrim zamanı şu şekilde hesaplanır:  $C = T / \text{ÜS}$  (Tanyaş ve Baskak, 2003).

**Öncelik Diyagramı:** Ürünün üretiminde gerçekleştirilmesi gereken görevleri öncelik ilişkileri doğrultusunda gösteren diyagrama denir. Daireler görevleri, oklar sürecin yönünü göstermektedir (Tanyaş ve Baskak, 2003).



Şekil 3.1. Örnek bir öncelik diyagramı

Şekil 3.1’ de gösterilen diyagram görev tabanlı öncelik diyagramıdır. 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 ile numaranlandırılan daireler görevleri temsil etmektedir. 5 nolu görevin gerçekleştirilebilmesi için 3 ve 4 nolu görevlerin tamamlanmış olması gerekmektedir.

**Öncelik Matrisi:** Görevler arasındaki öncelik ilişkilerinin belirtilmesini sağlayan diyagramdır. Öncelik matrisinde her bir görev için öncesinde zorunlu olarak yapılması gereken diğer görevleri belirtir. Herhangi bir görevin öncülü var ise öncelik matrisinin ilgili elemanı 1, diğer durumda 0 değerini alır. Örnek öncelik matrisi Şekil 3.2’de gösterilmiştir (Kuvvetli, 2010).

	1	2	3	6	7	8	9
1	-	1	1	1	1	1	1
2		-	0	1	0	0	1
3			-	1	0	0	1
6				-	0	0	1
7					-	1	1
8						-	1
9							-

Şekil 3.2. Örnek bir öncelik matrisi

**Esneklik Oranı:** Montaj hattında, elde edilebilen uygun sıraların sayısını ifade etmektedir (Tanyaş ve Baskak, 2003).

Esneklik oranı 0 ile 1 arasında değer almaktadır. Montaj hattı dengeleme probleminin zorluk derecesini ifade etmektedir. Esneklik oranının “0” olması durumunda istasyondaki tüm görevler arasında öncelik ilişkisi bulunduğunu ifade etmektedir. Esneklik oranının “1” olmasında ise görevler arasında öncelik ilişkisinin bulunmamasını ifade etmektedir. Esneklik oranı “0” olduğunda problem daha kolay çözülür ve daha az çözüm sayısı elde edilir. Esneklik oranı “1” olduğunda ise problem daha zor çözülür ve daha fazla çözüm sayısı elde edilir. Öncelik matrisindeki sıfırların sayısı Y, görev sayısı da N ile ifade edilirse esneklik oranı hesabı şu şekildedir:  $E = (2 \times Y) / (N^2 - N)$  (Atasagun,2016).

**Düzensizlik İndeksi:** Montaj hattındaki istasyonlara atanan görev sürelerinin eşit dağılımını ifade etmektedir. Görevlerin istasyonlara düzgün atama yapılıp yapılmadığını gösterir. İndeks oranı ne kadar düşükse, hat o kadar düzgün dengelenmiştir (Tanyaş ve Baskak, 2003).

**Kuramsal Etkinlik:** Bir montaj hattı yapısında aktif olarak gerçekleştirilen işlerin, toplam süreye oranına kuramsal etkinlik denir (Tanyaş ve Baskak, 2003).

**Hat Etkinliği:** Bir montaj hattında, görev süreleri toplamının, parçanın hat boyunca kullandığı zamana oranına denir. Başka bir ifadeyle toplam iş yükünün ne kadarlık kısmının kullanıldığını gösterir (Tanyaş ve Baskak, 2003).

**Denge Gecikmesi Oranı:** Hattaki görevlerin gerçekleştirilememesinden dolayı hattın boş süresinden kaynaklanan hat verimliliğini ifade eder (Kucukkoc, 2011).

**Pozitif Bölgeleme Kısıtı:** Bir montaj hattındaki görevlerin aynı istasyonda yapılması zorunluluğudur (Kucukkoc, 2011).

**Negatif Bölgeleme Kısıtı:** Bir montaj hattındaki görevlerin farklı istasyonda yapılması zorunluluğudur (Kucukkoc, 2011).

### 3.1.1.2. Montaj Hattı Dengeleme Probleminin Amaçları ve Kısıtları

Endüstrileşme sürecinin başından bu yana, ürüne ait görevler elemanlarına bölünerek ve bu görevlerinde farklı çalışanlar tarafından yerine getirilmesiyle daha hızlı, maliyeti düşük ve kitle tipi üretim yapılabileceği görüşü doğmuştur. Böylece ürünün üretimi, farklı istasyonlara sahip bir hat üzerinden malzemelerin iletilmesi yöntemiyle yapılmaya başlanmıştır (Kayar, 2012).

Montaj hattı dengeleme problemleri görev süresi ve kaynak kullanımı üzerinde çözümleme yapmaktadır. Ürün maliyeti ve talebin doğru ve vaktinde kullanılmasını etkileyen ana faktör süre ve kaynak kullanımı olduğu için MHD problemi için değerlidir (Hıdımoğlu, 2019; Tanyaş ve Baskak, 2003).

Montaj hattı dengeleme probleminde ulaşılmaları gereken amaçlar şunlardır (Öksüz, 2015):

- Düzenli malzeme akışı
- İstasyon sayısını en aza indirmek
- Boş zamanları en küçüklemek
- Görevleri en kısa zamanda tamamlamak
- Kaynak maliyetlerini düşürmek
- Dengeleme kayıplarını en küçüklemek
- Makine kapasitesini en üst seviyeye çıkarmak
- İş gücü kapasitesini en üst seviyeye çıkarmak
- Hat etkinliğini en üst düzeye çıkarmak

Montaj hattı dengeleme probleminin en temel kısıtları öncelik ilişkileri, çevrim zamanı ve atama kısıtlarıdır (Pınarbaşı ve Alakaş, 2021).

**Çevrim Zamanı Kısıtı:** İş birimlerindeki görevlerin tamamlanması için gerekli olan süre olarak tanımlanmaktadır. Montaj hattında bir istasyona atanan görev süreleri toplamının, çevrim süresini aşmaması zorunluluğu vardır (Tanyaş ve Baskak, 2003).

**Atama Kısıtı:** Montaj hattındaki tüm görevlerin istasyonlara atanması zorunluluğudur ve bir görev yalnızca bir istasyona atanabilir (Atasagun, 2010).

**Öncelik İlişkileri Kısıtı:** Bir görevin yerine getirilmesi için, bu görevin öncüllerinin tamamlanmış olması gerekir. Bu nedenle bir görevin bütün öncülleri ya bu görevle aynı istasyona ya da bu görevden önceki istasyonlara atanmış olmalıdır. (Tanyaş ve Baskak, 2003).

Temel kısıtların yanı sıra, endüstri sektörünün koşullarına göre teknolojik, operasyonel, teknik ve yerleşim kaynaklı birçok kısıtlar ile de karşılaşmaktadır. Bu kısıtlardan dolayı işe ait görevler muhtelif koşullar altında belirli istasyonlara atanmak zorunda kalırlar. Montaj hattının durumuna göre dikkat edilmesi gereken ek kısıtlardır (Pınarbaşı ve Alakaş, 2021).

**Bölgelendirme kısıtları:** Uyumlu ve uyumsuz görevler olmak üzere iki farklı görev kısıtı mevcuttur. Uyumlu görevler yüksek maliyetli ekipman vb. kaynak gereksiniminden dolayı aynı istasyona atanması gerekmektedir. Uyumsuz görevler ise farklı ekipman ihtiyacı nedeniyle farklı istasyonlara atanması gerekmektedir (Purnomo ve ark., 2013; Tuncel ve Topaloğlu ,2013; Pınarbaşı ve Alakaş, 2021).

**Kaynak kısıtları:** Makine ve ekipmanların büyük boyutları veya teknik olarak göreve özgü işlemler gerçekleştirmesinden kaynaklı hatta özel bir çalışma alanı ihtiyacı ortaya çıkar (Boysen ve Flidner, 2008; Liu ve Chen 2002; Pınarbaşı ve Alakaş, 2021).

**İstasyon kısıtları:** Bazı görevlerin önceden belirlenmiş istasyonlara atanması kısıtlarıdır. İki ayrı istasyon kısıtı vardır. Birincisi özel bir ekipman veya donanım ihtiyacından dolayı belirli bir istasyona atanmak zorundadır. İkincisi, belirli bir istasyona atanmamalıdır. Aşırı fiziksel güç ihtiyacı duyulan görevlerde çalışanların uzun süreli ergonomik açıdan zorlanmasına neden olup hattın dengesini bozmaktadır. (Tuncel ve Topaloğlu ,2013; Tanyaş ve Baskak, 2003).

**Uzaklık kısıtları:** Montajlanan ürünün konumu ile operatörün konumu arasındaki görevler arasında minimum veya maksimum uzaklık kısıtları gerekebilir. Burada amaç montajı yapılacak ürünün en kolay şekilde montajlanmasıdır (Purnomo ve ark., 2013; Pastor ve Corominas, 2000; Pınarbaşı ve Alakaş, 2021).

### 3.1.1.3. Montaj Hattı Dengeleme Probleminin Sınıflandırılması

Montaj hattı dengeleme problemleri; problem tipi, otomasyon düzeyi, problemin amacı, kontrol yapısı, yerleşim şekli, model sayısı ve işlem zamanına göre ele alınmaktadır (Baybars, 1986; Tanyaş ve Baskak, 2003).

Çizelge 3.2’de montaj hattı dengeleme problemlerinin sınıflandırılmasına ait detaylı bilgiler gösterilmiştir (Baybars,1986; Alağaç ve ark., 2016; Atasagun, 2016).

**Çizelge 3.2.** Montaj Hattı Dengeleme Probleminin Sınıflandırılması (Atasagun,(2016)’dan uyarlanmıştır)

Sınıflandırma	Problem	Açıklama
Problem Tipi	Basit	Çevrim zamanının sabit ve hesaplanabilir olduğu, seri ve tek yönlü yerleşimli, tek modelli montaj hattı dengeleme problemidir
	Genel	Basit montaj hattı dengelemeye ait varsayımlardan birkaçının gevşetilmesiyle elde edilen dengeleme problemidir.
Görev Süreleri	Deterministik	Görev sürelerinin belirli olduğu ve bu sürenin herhangi bir değişim göstermediği dengeleme problemidir.
	Stokastik	Görev sürelerinin bir olasılık dağılımına uyduğu durumlardaki dengeleme problemidir.
Amaç	Tip-I	Sabit çevrim zamanında hat boyunca açılan istasyon sayısı minimizasyonun amaçlandığı dengeleme problemidir.
	Tip-II	Sabit istasyon sayısında hattın çevrim zamanı minimizasyonun amaçlandığı dengeleme problemidir.
	Tip-E	Hat boyunca açılan istasyon sayısı ve çevrim zamanının eş zamanlı olarak minimizasyonun amaçlandığı dengeleme problemidir.
	Tip-F	Problemdeki tüm kısıtları sağlayan uygun bir çözümün bulunmaya çalışıldığı problemidir.
Model Sayısı	Tek	Tek tip ürünün üretiminin gerçekleştiği montaj hatlarının dengelenmesi problemidir.
	Çok	Bir ürünün farklı modelleri aynı hat üzerinde partiler halinde ve farklı zamanlarda üretildiği hatların dengelenmesi problemidir.
	Karma	Benzer veya farklı tipteki modellerin aynı anda üretiminin yapıldığı hatların dengelenmesi problemidir.

<b>Çizelge 3.2 (Devam)</b>		
Yerleşim Şekli	Düz	Art arda seri olarak sıralanmış şekilde yerleşimi yapılan istasyonlardan oluşan dengeleme problemidir.
	U-tipi	U tipinde yerleşim tasarımı yapılmış istasyonlardan oluşan dengeleme problemidir.
	Paralel	İkinci bir hattın ana hatta paralel şekilde yerleştirilmesi ile oluşturulan dengeleme problemidir.
Otomasyon	Manuel	Emek yoğun iş gücünün fazlaca kullanıldığı hatların dengelenmesi problemidir.
	Otomatik	İstasyondaki görevler ve istasyonlar arasındaki geçişlerin otomatik malzeme taşıma sistemleri ile gerçekleştiği hatların dengelenmesi problemidir.
Kontrol Yapısına	Gecikmeli	İş istasyonuna işlerin, bir önceki istasyonda tamamlandıkça iletildiği hatlardan oluşan dengeleme problemidir.
	Gecikmesiz	Her istasyonun çevrim zamanlarının eşit olduğu hatlardan oluşan dengeleme problemidir.

### 3.1.2. Çok Sayıda Düz Montaj Hattının Bütünleşik Dengelenmesi Problemi

Basit montaj hattı dengeleme; çevrim süresinin hesaplanabilir ve sabit olduğu, seri ve tek yönlü hat yerleşimli, tek modelli montaj hattı dengeleme olarak tanımlanmaktadır. Montaj hattı dengeleme probleminin en sade hali olarak bilinmektedir. Basit montaj hattı dengeleme varsayımları aşağıda ifade edilmiştir: (Baybars,1986).

1. Girdi parametrelerinin tümü önceden belirlidir.
2. Tek çeşit ürün büyük miktarlarda üretilir.
3. Bir görev bir istasyona atanabilir ve iki veya ikiden fazla istasyon arasında bölünemez.
4. Görevler, teknolojik önceliklerine göre sıralanır.
5. Bütün görevler işlem görmelidir.
6. İstasyonlar, görevlerin tamamının yapılması için gereken işgücü ve ekipmanı elinde buldurmali ve eşit kapasiteye sahip olmalıdır.
7. Görev süreleri, işlem gördükleri istasyonlardaki önceki ve sonraki görevinden bağımsızdır.
8. Her istasyonda her görev yerine getirilebilir.
9. Paralel ya da besleyici hatlı olmayacak biçimde hattın tümü seri ve sabit çevrimzamanlı olacak şekilde tasarlanmalıdır.
10. Çevrim zamanı sabittir.
11. İstasyon sayısı sabittir.

İlk dokuz varsayım Tip-I ve Tip-II türündeki basit montaj hatlarının dengelenmesinde yararlanılmakta, onuncu ya da on birinci varsayım problemin çözüm türüne göre ele alınmaktadır. Yani Tip-I basit montaj hattı dengeleme probleminde ilk on varsayım, Tip-II basit montaj hattı dengeleme probleminde ise ilk dokuz varsayım ve on birinci varsayımdan yararlanılmaktadır (Baybars,1986).

Basit düz montaj hattı dengeleme probleminin Talbot ve Patterson (1984) tarafından önerilen tamsayı programlama modeli aşağıdaki verilmiştir. Çizelge 3.3'te modelde kullanılan kısaltmalar ve açıklamaları görülmektedir.

**Çizelge 3.3.** Talbot ve Patterson (1984) tarafından önerilen matematiksel modelin kısaltmaları

Kısaltma	Açıklama
İndisler	
$i, r, s$	: Görev
$j$	: İstasyon
Kümeler	
$S$	: Öncelik ilişkileri kümesi
Parametreler	
$n$	: Toplam görev sayısı
$m_{max}$	: Maximum istasyon sayısı
$C$	: Çevrim zamanı
$t_i$	: $i$ görevinin tamamlanma süresi
$(r, s) \in S$	: $h$ hattına ait bir öncelik ilişkisi; $r$ görevi $s$ görevinin komşu öncülüdür
Karar Değişkenleri	
$k_{ij}$	: 1, $i$ görevi $j$ istasyonuna atanırsa; 0, aksi durumda

### Matematiksel Model (Talbot ve Patterson, 1984);

$$\text{Minimize } \sum_{j=1}^{m_{max}} j k_{nj} \quad (3.1)$$

$$\sum_{j=1}^{m_{max}} k_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (3.2)$$

$$\sum_{j=1}^{m_{max}} j(k_{rj} - k_{sj}) \leq 0 \quad \forall r, s \in S \quad (3.3)$$

$$\sum_{i=1}^n t_i k_{ij} \leq C \quad \forall j \in J \quad (3.4)$$

$$k_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \quad (3.5)$$

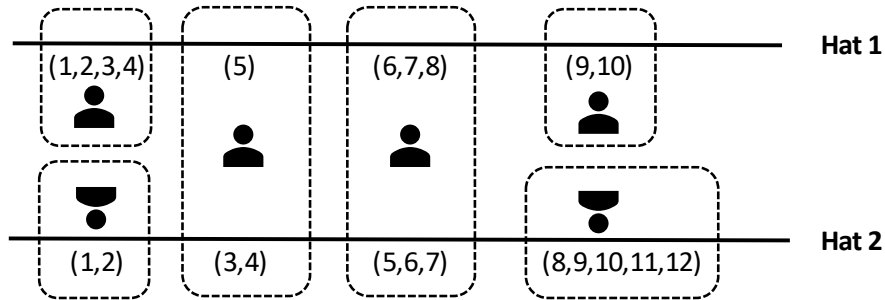


Bu modelde, amaç fonksiyonu (3.1) istasyon sayısını minimize etmeye yöneliktir. (3.2) kısıtı her bir görevin sadece bir istasyona atanması şartını sağlar. (3.3) kısıtı, istasyonun görev süreleri toplamının çevrim zamanını aşmamasını sağlamaktadır. (3.4) kısıtı öncelik ilişki kısıtlarını ifade etmektedir.  $j$  görevinin öncelikli görevlerinin  $j$  ile aynı istasyona veya daha önceki bir istasyona atanmasını sağlamaktadır. (3.5) kısıtı karar değişkenlerinin ikili düzende 0 veya 1 değerlerini alabileceğini göstermektedir (Atasagun, 2010).

Çok sayıda düz montaj hatları bir veya daha fazla ortak istasyonlar ile birbirlerine bağlanarak birleştirilebilir. Gerekli olan istasyon sayısında ve hatların toplam boş zamanlarında önemli derecede iyileştirme fırsatı kazandırmaktadır (Atasagun,2016, Gökçen ve ark., 2006).

Bütünleşik hat dengeleme probleminde ortak istasyonlar elde ederek istasyon sayısını minimize etmek amaçlanmaktadır. Bağlantı türleri paralel, ardışık ve dikey olmak üzere üç ana kategoride ele alınmaktadır (Gökçen ve ark., 2010).

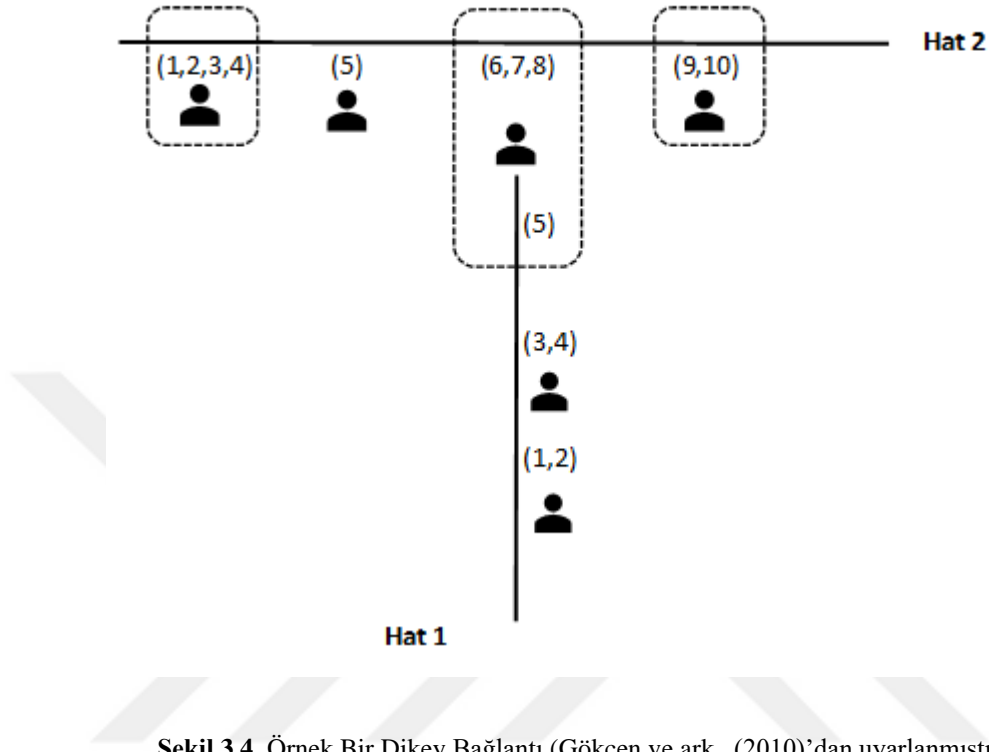
*Paralel bağlantı:* İki veya daha fazla hattın birbirlerine paralel ve yeterince yakın yerleştirildiği durumlarda kullanılabilir. Operatör yürüme mesafesinde diğer hattaki görevlerini yerine getirebilmektedir. Şekil 3.3'te paralel bağlantı örneği gösterilmektedir (Gökçen ve ark., 2010).



Şekil 3.3. Örnek Bir Paralel Bağlantı (Gökçen ve ark., (2010)'dan uyarlanmıştır)

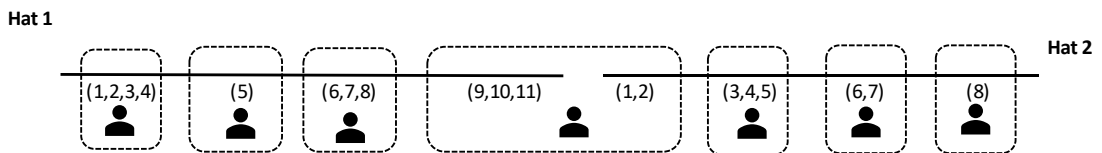
*Dikey bağlantı:* Montaj hatlarının konumlarına bağlı olarak iki veya daha fazla hattın birbirine dik bir şekilde yerleştirildiği durumlarda kullanılmaktadır. Bu bağlantı türünde hatlardan birinin çıktısı olan bileşenin diğer hattın en başından itibaren değil ilerleyen aşamalarında girdi olarak kullanıldığı durum düşünülebilir. Şekil 3.4'te dikey bağlantı örneği gösterilmektedir (Gökçen ve ark., 2010).

Şekil 3.4'te görülen hat 1, hat 2'i beslemektedir. Hat 1'in çıktısı olan bileşene, hat 2'de ilk görevden itibaren değil 6,7 ve 8 numaralı görevlerin atandığı istasyonda ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 3.4. Örnek Bir Dikey Bağlantı (Gökçen ve ark., (2010)'dan uyarlanmıştır)

*Ardışık bağlantı:* İki veya daha fazla hattın birbirlerine ardışık yerleştirildiği durumlarda kullanılabilir. Hat 1'in çıktısı hat 2'nin girdisi olmaktadır. Yukarıda anlatıdan dikey bağlantıdan farklı olarak bu bağlantı türünde hat 1'in çıktısı olan bileşenin hat 2'nin ilk görevinden itibaren kullanılmaya başlanacağı düşünülebilir. Şekil 3.5'te ardışık bağlantı örneği gösterilmektedir (Gökçen ve ark., 2010).



Şekil 3.5. Örnek Bir Ardışık Bağlantı (Gökçen ve ark., (2010)'dan uyarlanmıştır)

Burada ifade edilen ardışık ve dikey bağlantı türlerinin en önemli ortak özelliği; aralarında böyle bir bağlantı olduğu düşünülen iki hattın birinde tamamlanan yarı mamulün (çıktının) diğer hattın en başında veya ilerleyen aşamalarında girdi olarak

kullanılmasıdır. Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde ardışık veya dikey bağlantıya sahip hat ikililerinden, çıktısı diğer hatta girdi olarak kullanılan hat için **tedarikçi hat**, tedarikçi hattın çıktısının girdi olarak kullanıldığı hat içinse **müşteri hat** ifadesi kullanılacaktır.

### 3.1.3. Uygulama Yapılan İşletmenin Tanıtımı

Çalışma yapılacak firma 1988 yılında otomatik kapı sistemleri alanında yerini alarak satış, servis ve montaj hizmetlerinde faaliyetine devam etmektedir. Firma endüstriyel kapı, hızlı kapı, kayar kapı, askı tip ve asma kapı, otomatik kapı donanım ve yedek parçaları ürün grubunda üretimini gerçekleştirmektedir. Kalıphane, talaşlı imalat, montaj hattı ve elektronik olmak üzere 4 temel imalat biriminden oluşmaktadır. 2000 m<sup>2</sup>'lik alan üzerinde 50 çalışan ile faaliyetlerini sürdürmektedir. Firmanın satışa sunduğu bazı ürünler Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



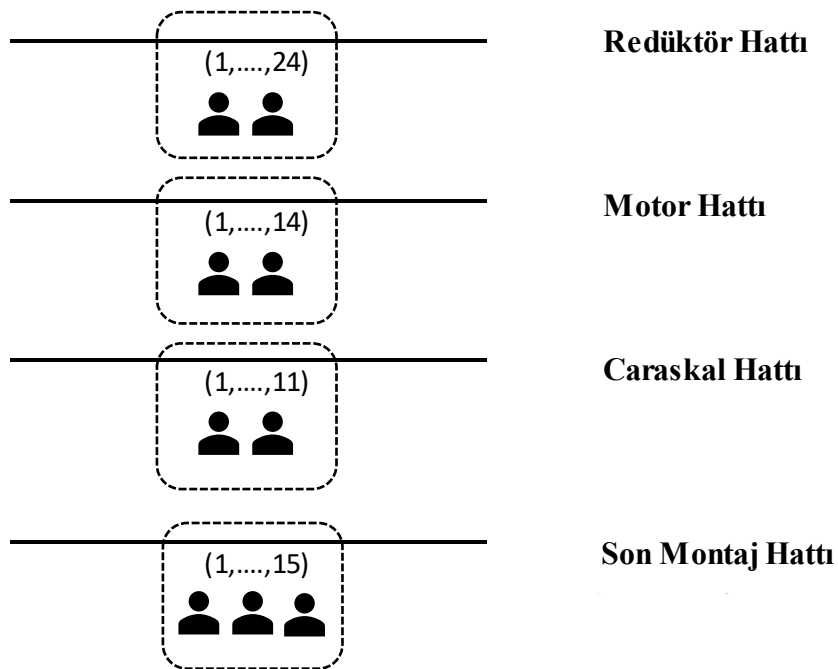
Şekil 3.6. Üretimi gerçekleştirilen bazı ürünlerin fotoğraf görüntüleri

### 3.1.4. Uygulamanın Yapıldığı Montaj Hattının Tanıtımı

Tez çalışması kapsamında ele alınan problemin amacı; müşterinin talep ettiği üretim adedini karşılayacak şekilde görevlerin istasyonlarına atanması, bu iki nokta uygulanırken de istasyon sayısını en az sayıda tutacak şekilde görevlerin hat çalışanlarına dağıtılmasıdır.

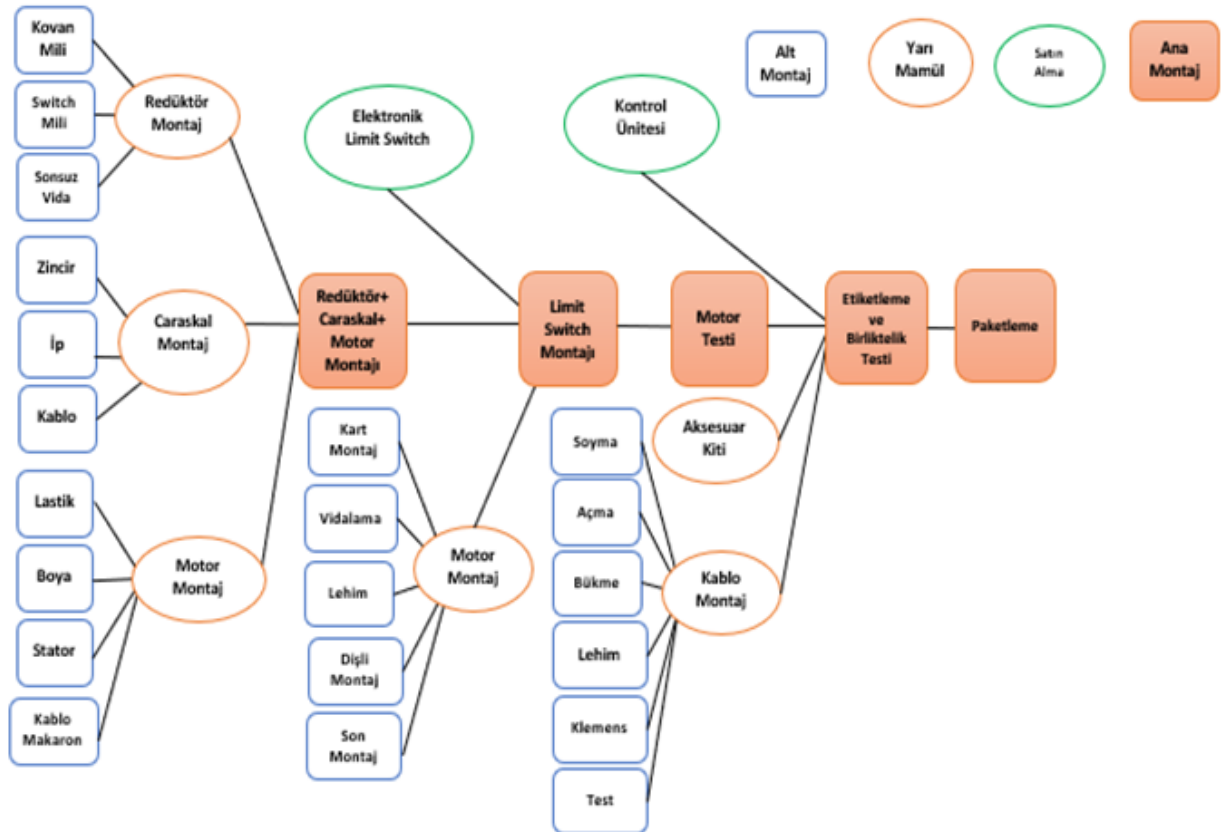
Çalışma kapsamında ele alınan ürün; enkoderli kapı motorudur. Bu ürün redüktör, motor, caraskal ve son montaj olmak üzere dört ana bileşenden oluşmaktadır.

Birbirine paralel düz dört adet montaj hattında enkoderli ve mekanik kapı motoru montajı gerçekleştirilmektedir. Mevcut hat 400 m<sup>2</sup>'lik alanı kaplamaktadır. Redüktör montaj , motor montaj, caraskal montaj ve son montaj istasyonu şeklinde toplamda dört adet montaj hattında dokuz personel ile üretimini gerçekleştirmektedir. Mevcut durumda hatlarda tek parça akış sistemi bulunmamaktadır. Ürüne ait ana bileşenlerin üretim sistemi biriktir-beklet-ilet şeklindedir. Böylece aşırı ve dengesiz mamul ve yarı mamul stokları ortaya çıkmaktadır. Kitlesel üretim sisteminden kaynaklı sağlıklı bir planlama faaliyetleri bulunmamaktadır. Üretime dair planlama faaliyetleri çalışanlar tarafından subjektif bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Çalışanlar stokta fazla gördüğü hammadde ve malzemeyi kullanarak büyük hacimlerle yarı mamül üretimi gerçekleştirmektedir. Hatların mevcut yerleşimi Şekil 3.7. gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Hattın Mevcut Yerleşimi

Uygulama yapılan firmanın mevcut durumu; kitle tipi üretim yapan bir üretim sistemidir. Montaj hattı mantığı olmadığından net ve tanımlı istasyonlar bulunmamaktadır. Dolayısıyla iş bölümü ve görev paylaşımı yapılamamaktadır. Yarı mamuller üretim süreçlerini tamamlamak için birden fazla bölümü gezmektedir. Genellikle tek bir çeşit yarı mamülün üretimi bir anda gerçekleştirilmektedir. Redüktör, motor, ve caraskal yarı mamulleri ile son montaj sürecinde kullanılan switch parçasının hazırlıkları eş zamanlı bir şekilde gerçekleşmemektedir. Yarı mamüllerin hazırlıkları tamamlandıktan sonra montaj sürecine geçmekte ve süreçler arasında büyük miktarlarda stok ve bekleme zamanı ortaya çıkmaktadır. Kitleli üretimden kaynaklı uzun ve tutarsız termin sürelerine sahiptirler. Hattın mevcut yerleşiminde fazla alan kullanımı gözlemlenmiştir. Çalışanların malzeme arama ve taşıma faaliyetlerinin çok fazla olduğu gözlemlenmiştir. Ortak ekipman kullanımından kaynaklı çalışanlar birbirlerini beklemektedir. Hatta çalışanlar arasında iş gücü açısından dengesizlikler ortaya konmuştur. Verimsizlik ve israflar kaynaklı günlük üretim hedeflerine ulaşamadığı için sıklıkla fazla mesai yapılmaktadır. Nihai ürünlerin müşteriye teslimatları gecikmektedir.



Şekil 3.8. Ürünün Temel Görev Adımları

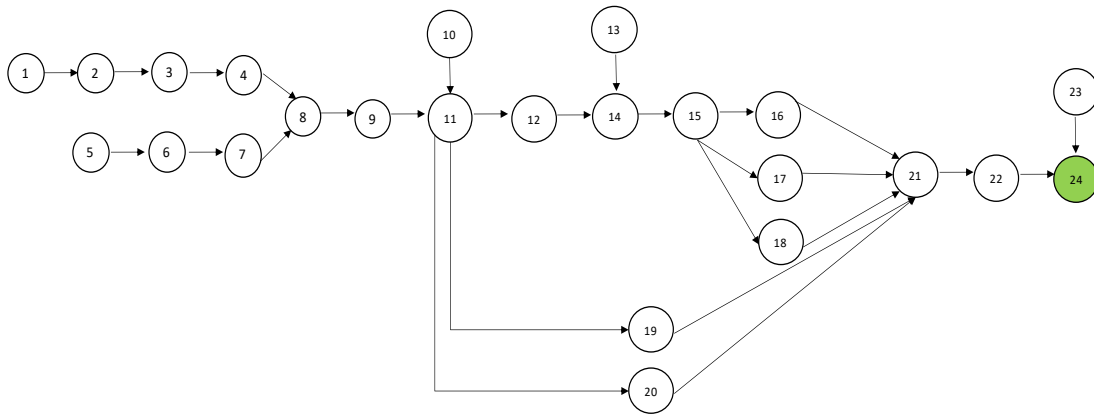
Çalışma kapsamında ele alınan ürünün montaj hattında toplam 64 görevi bulunmaktadır. Ürünün temel görev adımları Şekil 3.8’de gösterilmektedir. Ana bileşenlerin görev tanımları ve öncelik ilişkileri detaylı bir şekilde analiz edilmiştir.

Redüktör ana bileşenine ait görev adımları ve öncelik ilişkileri Çizelge 3.4’te gösterilmiştir. Sarı ile gösterilmiş görev adımlarında ortak ekipman kısıtı vardır. Bu görevlerde pres makinesi kullanılmaktadır ve mevcutta pres makinesinden bir adet bulunmaktadır.

**Çizelge 3.4.** Redüktör Ana Bileşenine Ait Görev Tanımları ve Öncülleri

Görev No	Faaliyet (Redüktör)	Öncül	Süre (Sn)
1	Gövde, kovan mili temizliği	-	25
2	Kovan miline 16009 ve 16010 rulmanların takılması	1	20
3	Kovan milinin redüktör gövdesine montajı	2	15
4	16010 rulmanın üzerine segman tak	3	15
5	6205 rulmanın paketinden çıkarılması	-	5
6	Sonsuz vidaya 6205 rulman takılması	5	18
7	6205 rulmanın üzerine 25'lik pul ve segman takılması	6	15
8	Sonsuz vidanın redüktör gövdesine montajı	4,7	13
9	6205 rulmanın üzerine 52'lik pul ve segman takılması	8	18
10	6203 rulmanın ve plastik kapaklarının paketinden çıkarılması	-	10
11	6203 rulmanın sonsuz vidaya takılması	9,10	15
12	6203 rulmana 40'lık segman takılması	11	13
13	Switch miline segmanlar, rulmanın takılması	-	38
14	Switch milinin redüktör gövdesine montajı	12,13	7
15	Switch miline 22'lik segman takılması	14	10
16	Switch miline keçe takılması	15	13
17	Kovan mili 16009 rulmanın üzerine keçe takılması	15	11
18	Kovan mili 16010 rulmanın üzerine keçe takılması	15	14
19	Sonsuz vida 6205 rulmanın üzerine keçe takılması	12	16
20	Sonsuz vida 6205 rulmanın yuvasına Kama plastiğinin takılması	12	16
21	Redüktöre 100 cc yağ verilmesi	16,17,18,19,20	12
22	Sonsuz vidanın 6203 rulmanlı tarafına 40'lık tapanın takılması	21	7
23	Kör tapaya oring takılması	-	6
24	Kör tapanın redüktöre takılması	22,23	12

Redüktör ana bileşenine ait öncelik diyagramı Şekil 3.9'da gösterilmiştir.

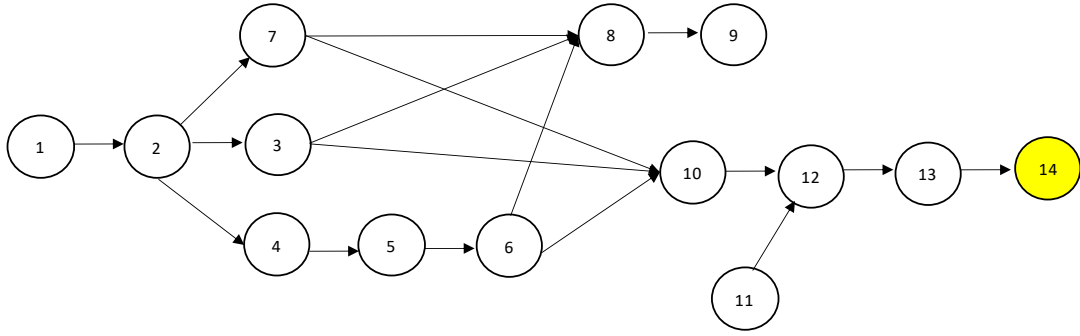


**Şekil 3.9.** Redüktör Ana Bileşenine Ait Öncelik Diyagramı

Motor ana bileşenine ait görev adımları ve öncelik ilişkileri Çizelge 3.5 ve Şekil 3.10'da gösterilmiştir.

**Çizelge 3.5.** Redüktör Ana Bileşenine Ait Görev Tanımları ve Öncülleri

Görev No	Faaliyet (Motor)	Öncül	Süre (Sn)
1	Statör kablolarının test edilmesi	-	35
2	Statör kablolarının boyunun kısaltılması	1	17
3	5 mm makaron takma	2	30
4	Statör kablolarının uçlarının açılması	2	24
5	Kablolarına kablo ucu takılması	4	29
6	Kablo uçlarının kağıt bantla sarılması	5	13
7	8 mm makaron takma	2	25
8	Ön flanşın takılması	3,6,7	22
9	Pul ve rötorun takılması	8	17
10	Arka flanşın oturtulması	3,6,7	15
11	Rondelanın vidaya geçirilmesi	-	15
12	Vidanın arka flanşa takılması	10,11	20
13	İtalyan masura pim ve setskurun takılması	12	15
14	Kamanın takılması	13	25

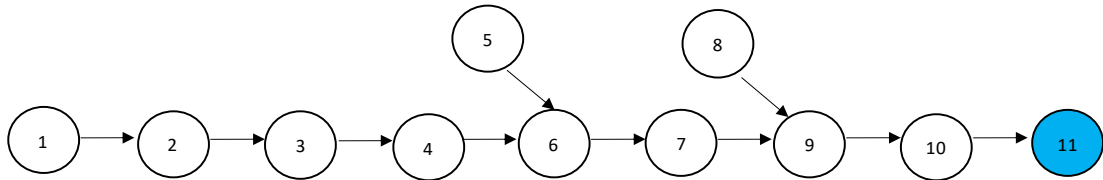


Şekil 3.10. Motor Ana Bileşenine Ait Öncelik Diyagramı

Caraskal ana bileşenine ait görev adımları ve öncelik ilişkileri Çizelge 3.6 ve Şekil 3.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.6. Caraskal Ana Bileşenine Ait Görev Tanımları ve Öncülleri

Görev No	Faaliyet (Caraskal)	Öncül	Süre (Sn)
1	Caraskal gövdesine yay yerleştirme	-	7
2	Yay üzerine dişliyi çakma	1	10
3	Dişliye sabitleme dayaması takma	2	9
4	Dayamayı dişliye vida ile sabitleme	3	6
5	Kumanda kablosunu gövdeye yerleştirme	-	14
6	Switchi vida ile gövdeye sabitleme	4,5	7
7	Gövdeye ayar pimini yerleştirme	6	6
8	İpin iki ucuna plastik bağlama	-	25
9	ayar pimine yerleştirme	7,8	5
10	Gövde kapağını yerleştirip vida ile sabitleme	9	20
11	Zinciri dişliye geçirip ortalı hale getirme	10	20



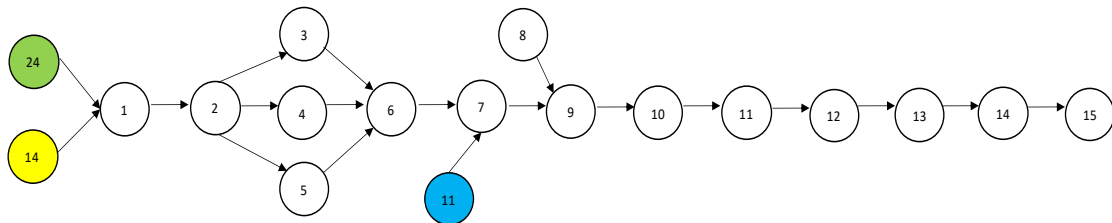
Şekil 3.11. Caraskal Ana Bileşenine Ait Öncelik Diyagramı



Son montaj hattına ait görev adımları ve öncelik ilişkileri Çizelge 3.7 ve Şekil 3.12’de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.7.** Son Montaj Hattına Ait Görev Tanımları ve Öncülleri

Görev No	Faaliyet (Son Montaj)	Öncül	Süre (Sn)
1	Motor redüktör bağlantısının yapılması		70
2	Topraklama kablosunun bağlanması	1	15
3	4'lü klemense faz kabloların takılması	2	60
4	3'lü kompakt klemense topraklama kabloların takılması	2	35
5	Küçük dörtlü klemense termik kabloların takılması	2	40
6	Encoderin takılması	3,4,5	24
7	Caraskalın takılması	6	10
8	Cıvatalara rondela takılması	-	15
9	Cıvataların caraskala takılması	7,8	18
10	Caraskal kablosunun motor gövdesine sabitlenmesi	9	18
11	Kabloya rakor takılması	10	8
12	Rakorun redüktör alt kapağına sabitlenmesi	11	21
13	Caraskal kablolarının 4'lü klemense takılması	12	60
14	4'lü klemensin encoder soketine takılması	13	10
15	Test	14	110



**Şekil 3.12.** Son Montaj Hattına Ait Öncelik Diyagramı

Şekil 3.12’de renkli olarak gösterilen 11, 14 ve 24 görev numaraları redüktör, motor ve caraskal hattına ait son görevleri ifade etmektedir. Redüktör ve motor hattından çıkan parçaların birleştirilmesi son montaj hattının 1 no’lu görevinde yapılmaktadır. Son montaj hattının 7 no’lu görevinde caraskal hattından çıkan parçanın montajı gerçekleştirilmektedir.

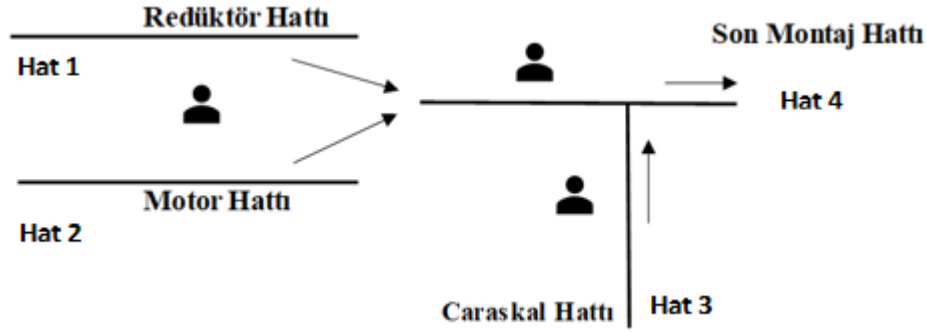
Faydalanılan modelde (Gökçen ve ark. 2010) görevler ve öncelik ilişkileri tek bir diyagram halinde gösterilmiştir. Bu nedenle çalışma kapsamında ele alınan ürünün ana bileşenlerine ait görev adımları ve öncelik ilişkileri birleştirilerek tek bir diyagram şeklinde Çizelge 3.8'de verilmiştir.

**Çizelge 3.8.** Enkoderli Kapı Motoru Montajına Ait Görev Tanımları ve Öncülleri

Hat	Görev No	Faaliyet	Öncül	Süre (Sn)
Redüktör	1	Gövde, kovan mili temizliği	-	25
	2	Kovan miline 16009 ve 16010 rulmanların takılması	1	20
	3	Kovan milinin redüktör gövdesine montajı	2	15
	4	16010 rulmanın üzerine segman tak	3	15
	5	6205 rulmanın paketinden çıkarılması	-	5
	6	Sonsuz vidaya 6205 rulman takılması	5	18
	7	6205 rulmanın üzerine 25'lik pul ve segman takılması	6	15
	8	Sonsuz vidanın redüktör gövdesine montajı	4,7	13
	9	6205 rulmanın üzerine 52'lik pul ve segman takılması	8	18
	10	6203 rulmanın ve plastik kapaklarının paketinden çıkarılması	-	10
	11	6203 rulmanın sonsuz vidaya takılması	9,10	15
	12	6203 rulmana 40'lık segman takılması	11	13
	13	Switch miline segmanlar, rulmanın takılması	-	38
	14	Switch milinin redüktör gövdesine montajı	12,13	7
	15	Switch miline 22'lik segman takılması	14	10
	16	Switch miline keçe takılması	15	13
	17	Kovan mili 16009 rulmanın üzerine keçe takılması	15	11
	18	Kovan mili 16010 rulmanın üzerine keçe takılması	15	14
	19	Sonsuz vida 6205 rulmanın üzerine keçe takılması	12	16
	20	Sonsuz vida 6205 rulmanın yuvasına Kama plastiğinin takılması	12	16
	21	Redüktöre 100 cc yağ verilmesi	16,17,18,19,20	12
	22	Sonsuz vidanın 6203 rulmanlı tarafına 40'lık tapanın takılması	21	7
	23	Kör tapaya oring takılması	-	6
	24	Kör tapanın redüktöre takılması	22,23	12
Motor	25	Statör kablolarının test edilmesi	-	35
	26	Statör kablolarının boyunun kısaltılması	25	17
	27	5 mm makaron takma	26	30
	28	Statör kablolarının uçlarının açılması	26	24
	29	Kabloları kabloya ucu takılması	28	29
	30	Kablo uçlarının kağıt bantla sarılması	29	13
	31	8 mm makaron takma	26	25
	32	Ön flanşın takılması	27,30,31	22
	33	Pul ve rötorun takılması	32	17

Çizelge 3.8 (Devam)				
Motor	34	Arka flanşın oturtulması	27,30,31	15
	35	Rondelanın vidaya geçirilmesi	-	15
	36	Vidanın arka flanşa takılması	34,35	20
	37	İtalyan masura pimin ve setskurun takılması	36	15
	38	Kamanın takılması	37	25
Caraskal	39	Caraskal gövdesine yay yerleştirme	-	7
	40	Yay üzerine dişliyi çakma	39	10
	41	Dişliye sabitleme dayaması takma	40	9
	42	Dayamayı dişliye vida ile sabitleme	41	6
	43	Kumanda kablosunu gövdeye yerleştirme	-	14
	44	Switchi vida ile gövdeye sabitleme	42,43	7
	45	Gövdeye ayar pimini yerleştirme	44	6
	46	İpin iki ucuna plastik bağlama	-	25
	47	ayar pimine yerleştirme	45,46	5
	48	Gövde kapağını yerleştirip vida ile sabitleme	47	20
	49	Zinciri dişliye geçirip ortala hale getirme	48	20
Son Montaj	50	Motor redüktör bağlantısının yapılması	-	70
	51	Topraklama kablosunun bağlanması	50	15
	52	4'lü klemense faz kabloların takılması	51	60
	53	3'lü kompakt klemense topraklama kabloların takılması	51	35
	54	Küçük dörtlü klemense termik kabloların takılması	51	40
	55	Encoderin takılması	52,53,54	24
	56	Caraskalın takılması	55	10
	57	Cıvatalara rondela takılması	-	15
	58	Cıvataların caraskala takılması	56,57	18
	59	Caraskal kablosunun motor gövdesine sabitlenmesi	58	18
	60	Kabloya rakor takılması	59	8
	61	Rakorun redüktör alt kapağına sabitlenmesi	60	21
	62	Caraskal kablolarının 4'lü klemense takılması	61	60
	63	4'lü klemensin encoder soketine takılması	62	10
	64	Test	63	110

Ele alınan ürünün öncelik ilişkileri incelendiğinde redüktör ve motor ana bileşenlerinin son görevlerinin, son montaj hattının ilk görevinin öncülü olduğu ortaya konmuştur. Caraskal ana bileşenine ait görevler de son montaj hattının 56 no'lu görevinden önce tamamlanmalıdır. Görevlerin öncelik ilişkileri dikkate alınarak yeni yerleşim önerisinde bulunulmuştur. Yeni yerleşime ait görsel aşağıdaki Şekil 3.13'te gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Dengeleme Sonucu Önerilen Yeni Yerleşim

Önerilen yeni yerleşim ile operatörlerin, birbirine yakın ve dik konumlandırılmış istasyonlar ile ortak çalışma imkanı doğmaktadır. Şekil 3.13'te önerilen yeni yerleşimin avantajları aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Kara,2004):

- İhtiyaç duyulan istasyon sayısı azlığı
- Düşük stok seviyeleri
- Malzeme taşıma kolaylığı
- Kolay planlama ve kontrol
- Ekip çalışması
- Değişken taleplere uyum

Görev adımları ve öncelik ilişkilerine göre belirlenen, yukarıda tanımlanan bağlantı türlerine göre bağlantılı olabilecek hat ikilileri Çizelge 3.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.9. Bağlantılı Olabilecek Hat İkilileri

	Redüktör Hattı	Motor Hattı	Caraskal Hattı	Son Montaj Hattı
Redüktör Hattı	-	Paralel	-	-
Motor Hattı		-	-	Ardışık
Caraskal Hattı			-	Dikey
Son Montaj Hattı				-

Şekil 3.13'te önerilen yerleşime göre yeterince yakın yerleştirilmediği için işçi yürüme sürelerine yapacağı olumsuz etki de düşünülerek aralarında bağlantı olmayan ve ortak istasyon açılmaması gereken hat ikilileri ise (1,3) ve (2,3) yani (Redüktör, Caraskal) ve (Motor, Caraskal) olarak düşünülmüştür.

### 3.2. Yöntem

Çalışma kapsamında çok sayıda düz montaj hattının bütünleşik dengelenmesi için Gökçen ve ark. (2010) tarafından geliştirilen matematiksel modelden faydalanılmıştır.

Problemin varsayımları aşağıda verildiği gibidir (Gökçen ve ark., (2010):

- Montaj hatlarında yalnızca bir çeşit ürün üretilmektedir.
- Her bir ürünün öncelik ilişkileri bilinmektedir.
- Her bir ürün için görev süreleri tanımlıdır.
- Her hattın her istasyonunda çalışan operatörlere her türlü iş yaptırılabilir.
- Aralarında ortak istasyon açılabilen ve açılmayan hat ikilileri bellidir.
- Bir görev sadece bir istasyona atanmalıdır.

Ele alınan doğrusal programlama modelinde kullanılan kısaltmalar, model ve kısıtların açıklamaları Çizelge 3.10'da detaylarıyla aktarılmıştır (Gökçen ve ark., 2010).

**Çizelge 3.10.** Ele Alınan Doğrusal Programlama Modeli Kısaltmaları

Kısaltma	Açıklama
İndisler	
$i, r, s, k, l$	: Görev
$j$	: İstasyon
$h, g, a, b, p, q$	: Hat
Kümeler	
$I_h$	: $h$ hattının görevler kümesi
$J$	: İstasyonlar kümesi
$A$	: Hatlar kümesi
$S$	: Öncelik ilişkileri kümesi
$R$	: Aralarında bağlantı sağlanamayan hat ikilisi kümesi
$F$	: Aralarında bağlantı sağlanabilen hat ikilisi kümesi
Parametreler	
$n_h$	: $h$ hattındaki görev sayısı
$H$	: Toplam hat sayısı
$N$	: Toplam görev sayısı
$K_{max}$	: En büyük istasyon sayısı
$C_h$	: $h$ hattının çevrim zamanı
$t_i$	: $i$ görevinin tamamlanma süresi
$M$	: Büyük bir sayı
$(r, s) \in S$	: $h$ hattına ait bir öncelik ilişkisi; $r$ görevi $s$ görevinin komşu öncülüdür
$(p, q) \in R$	: Bir hat ikilisi; $p$ hattı ile $q$ hattı arasında bağlantı sağlanamaz
$(a, b) \in F$	: Bir hat ikilisi; $a$ (tedarikçi hat) hattı ile $b$ (müşteri hat) hattı arasında dikey bağlantı sağlanabilir
$k$	: $a$ (tedarikçi hat) hattının öncelik diyagramındaki son görev
$l$	: $a$ (tedarikçi hat) hattının çıktısının $b$ (müşteri hat) hattında kullanılacağı görev

Karar Değişkenleri	
$x_{hij}$	: 1, $h$ hattındaki $i$ görevi $j$ istasyonuna atanırsa; 0, aksi durumda
$U_{hj}$	: 1, $j$ istasyonu $h$ hattında kullanılmışsa; 0, aksi durumda
$z_j$	: 1, $j$ istasyonu kullanılmışsa; 0, aksi durumda
$W_{(a,b)j}$	: 1, $j$ istasyonu $a$ hattı ile $b$ hattının her ikisinden de görevler bulunduran bir istasyonsa; 0, aksi durumda
$V_{(a,b)j}$	: 1, $j$ istasyonu $a$ hattı ile $b$ hattının yalnızca birinden görevler bulunduran bir istasyonsa; 0, aksi durumda

**Matematiksel model (Gökçen ve ark., 2010):**

$$\text{Minimize} = \sum_{j=1}^{K_{max}} z_j \quad (3.6)$$

$$\sum_{j=1}^{K_{max}} x_{hij} = 1 \quad \forall h \in A; \forall i \in I_h \quad (3.7)$$

$$\sum_{j=1}^{K_{max}} (K_{max} - j + 1)(x_{hrj} - x_{hsj}) \geq 0 \quad \forall r, s \in S \quad (3.8)$$

$$\sum_{i=1}^N t_i x_{hij} \leq M(M - C_g) U_{gj} \quad \forall j \in J; \forall g \in A \quad (3.9)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{hij} - n_h U_{hj} \leq 0 \quad \forall j \in J; \forall h \in A \quad (3.10)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{hij} - n_h U_{hj} \geq 1 - n_h \quad \forall j \in J; \forall h \in A \quad (3.11)$$

$$U_{pj} + U_{qj} \leq 1 \quad \forall j \in J; \forall (p, q) \in R \quad (3.12)$$

$$U_{aj} + U_{bj} - 2W_{(a,b)j} - V_{(a,b)j} = 0 \quad \forall j \in J; \forall (a, b) \in F \quad (3.13)$$

$$\sum_{j=1}^{K_{max}} W_{(a,b)j} \leq 1 \quad \forall (a, b) \in F \quad (3.14)$$

$$x_{akj} + x_{bj} - 2W_{(a,b)j} \geq 0 \quad \forall j \in J; \forall (a, b) \in F \quad (3.15)$$

$$\sum_{j=1}^H U_{hj} - Hz_j \leq 0 \quad \forall j \in J ; \forall h \in A \quad (3.16)$$

Amaç fonksiyonu (3.6) sistemdeki toplam istasyon sayısı minimizasyonunu ifade etmektedir. (3.7) numaralı kısıt atama kısıtı olup, her görevin sadece bir istasyona atanmasını sağlayan kısıttır. (3.8) numaralı kısıt görevlerin istasyonlara atanırken aralarındaki öncelik ilişkilerine göre atanması şartını sağlar. (3.9) numaralı kısıt, çevrim zamanının aşılmasını engelleyen kısıttır. Bununla birlikte, çok sayıda hattın görevi olan ortak istasyonların, görevlerini içerdiği hatların çevrim sürelerinin en küçüğü ile işletilmesini sağlar. (3.10) ve (3.11) numaralı kısıtlar,  $j$  istasyonun  $h$  montaj hattında kullanılıp kullanılmadığını belirlemektedir. Herhangi bir bağlantı türüyle iki montaj hattını birbirine bağlamak her zaman mümkün olmayabilir. Bu nedenle, bir veya daha fazla ortak istasyon ile bağlanamayan iki montaj hattının bağlantısını kesmek için (3.12) numaralı kısıt kullanılmaktadır.  $(a,b)$  hat ikilisinde bağlantı ilişkisi için,  $a$  ve  $b$  hatları arasında herhangi bir ortak  $j$  istasyonun kullanılıp kullanılmadığı (3.13) numaralı kısıt ile belirlenmektedir. (3.14) numaralı kısıt  $(a,b)$  hat ikilisi arasında en fazla bir ortak istasyon açılmasını sağlar. (3.15) numaralı kısıt  $a$  hattı ile  $b$  hattı arasında bir ortak istasyon açılacaksa  $a$  (tedarikçi hat) hattının son görevi ile  $b$  (müşteri hat) hattının ilgili görevinin bu ortak istasyona atanmasını garantiler. (3.16) numaralı kısıt bir istasyonun açılıp açılmadığını belirlemektedir.

Matematiksel modelin doğru çalışabilmesi için hatların öncelik ilişkileri diyagramında son görev olarak ilgili hattaki diğer tüm görevlerin ardılı durumda olan bir görev bulunmasına dikkat edilmelidir.

Tez çalışmasında ele alınan problemde bazı görevlerin aynı istasyonda yapılması zorunluluğu vardır. Gökçen ve ark., (2010) tarafından geliştirilen modele ek bir kısıt ekleyerek problem gerçek hayata uyarlanmıştır. (3.17) numaralı kısıt belirli görevlerin aynı istasyonda yapılması gerektiğini ifade etmektedir.

Kısaltma	Açıklama
Kümeler	
$Y$	: Pres makinesinde yapılması gereken görevler kümesi
Karar Değişkenleri	
$O_j$	: 1, pres makinesinde yapılması gereken görevler $j$ istasyonuna atanırsa; 0, aksi durumda

$$\sum_{i \in Y} X_{ij} - \|Y\| O_j \leq 0 \quad \forall j \in J \quad (3.17)$$

(3.17) numaralı kısıtı redüktör hattında yer alan pres makinesinde yapılması gereken görevler için tanımlanmıştır. Firma bünyesinde pres makinesinden bir adet bulunmaktadır. Kaynak kısıtı nedeniyle bu görevler aynı istasyona atanmalıdır. Burada  $Y$ ; pres makinesinde yapılması gereken görevler kümesini ifade etmektedir.  $O_j$ , pres makinesinde yapılması gereken görevler  $j$  istasyonuna atanırsa 1, diğer durumda 0 değerini alan bir ikili karar değişkenidir. Bu kısıt sayesinde herhangi bir  $j$  istasyonuna pres makinesinde yapılması gereken görevlerin ya tamamının atanması ya da hiçbirinin atanmaması sağlanmış olur.



#### 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde, problemin Gökçen ve ark. (2010) tarafından önerilen doğrusal programlama modeliyle çözülen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Tez çalışmasında ele alınan problemin doğrusal programlama modelinin çözümü, GAMS 24.1 programı kullanılarak CPLEX çözücüsü ile ortaya konmuştur.

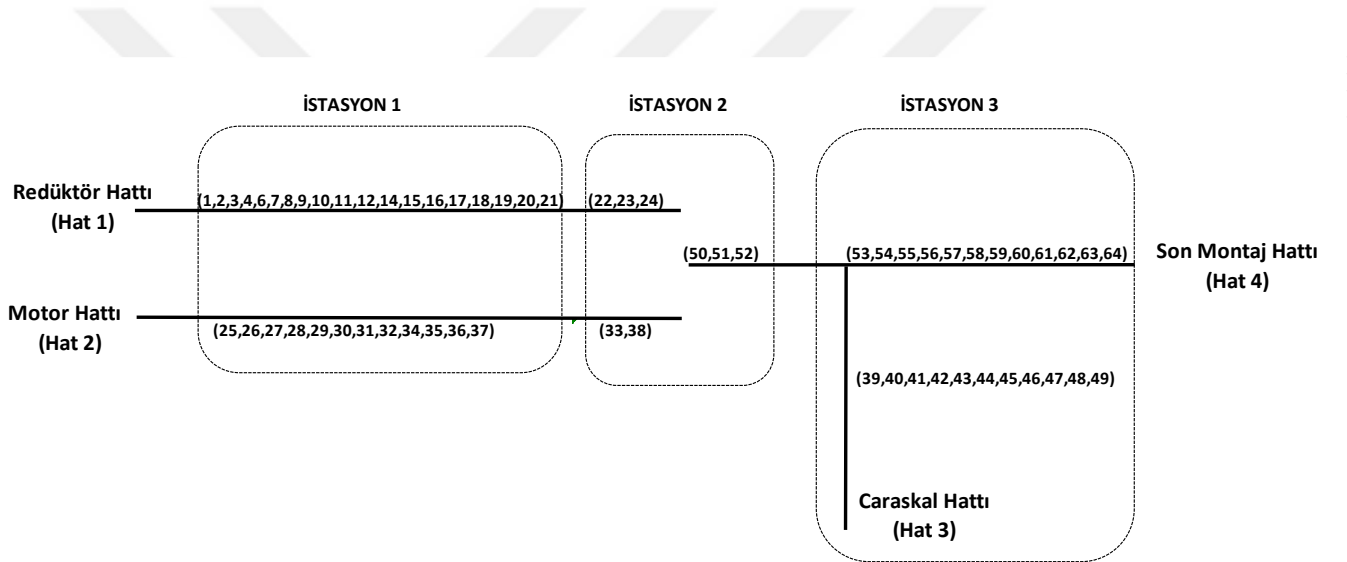
Ele alınan montaj hattının görev adımları ve süreleri ile yine bunlar arasındaki öncelik ilişkileri belirlenmemiş olmasından kaynaklı öncelikli olarak zaman etüdü çalışması yapılmıştır. Her bir ana bileşen için 25 adet gözlem yapılmıştır. Çizelge 3.4 – 3.8’de verilen görev adımları ve öncelik ilişkileri bu gözlemlerle belirlenmiştir.

Tez kapsamındaki montaj hattının çalışma hızını belirlemek amacıyla işletmenin çalışma süresi ve talep miktarları analizi yapılmıştır. İşletme ayda 20 işgünü tek vardiya olarak çalışmaktadır. Bir iş günü 9 saatlik çalışma zamanından oluşmaktadır. 1 saatten oluşan yemek ve çay molaları toplam çalışma zamanından çıkarılmasıyla net çalışma zamanı hesaplanmıştır. Net çalışma zamanı 28.8000 sn/gün olarak elde edilmiştir. İşletmenin geçmiş yıllardaki satış miktarı aylık bazda incelenmiş olup çizelge 4.2’de verilmiştir. Çizelge 4.1’e göre yıllık toplam satış miktarı 11.045 adettir. Günlük talep =  $11.045/(20*12)=46,02\sim 46$  adet/gün’dür. Buna göre; Çevrim Zamanı =  $28.800 \text{ sn} / 46 \text{ adet} = 626,08 \text{ sn/adet}$  olarak hesaplanmıştır.

**Çizelge 4.1.** 2022 Yılı İçin Satış Miktarları

Aylar (2022)	Satış Miktarı
Ocak	559
Şubat	657
Mart	854
Nisan	662
Mayıs	974
Haziran	847
Temmuz	112
Ağustos	1150
Eylül	1094
Ekim	1415
Kasım	1371
Aralık	1350
<b>TOPLAM</b>	<b>11045</b>

Yukarıda gösterilen yaklaşık 626 sn'lik çevrim zamanı hesabı dikkate alınarak, arıza, duruş vb. beklenmeyen kayıplar da düşünülerek hatların 600 sn'lik çevrim zamanı ile dengelenmesi uygun görülmüştür. Ele alınan problemin optimal çözümü Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Çevrim süresini aşmayacak şekilde açılan istasyon ve istasyonlara atanan görevlere ait detaylar Çizelge 4.2'de verilmiştir. Optimal çözümde toplam 3 adet istasyon açılmıştır. Açılan istasyonlarının tamamının birden fazla hattın görevleri içeren ortak istasyonlar olduğu görülmektedir. Redüktör montaj hattında yer alan pres makinesinde yapılması gereken 2,3,6,8,14 ve 22'nolu görevler aynı istasyona atanmıştır. Böylece ilave ekipmana ihtiyaç duyulmamaktadır. Mevcutta 9 kişi ile 400 m<sup>2</sup>'lik alanda üretimini gerçekleştiren firma, dengeleme sonucunda önerilen hat tasarımı ile 80 m<sup>2</sup>'lik alanda 3 işçi ile üretimine devam etme fırsatı elde edilmiştir.



Şekil 4.1. Montaj Hatlarının 600 Saniye Çevrim Zaman ile Dengeleme Sonucu

Çizelge 4.2'de görüldüğü gibi yapılan atama sonucunda istasyon 2'nin boş zamanı diğer istasyonlara göre fazladır. Boş zamanın yüksek olması hat etkinliğini etkilemektedir.

Çizelge 4.2. İstasyonlara Atanan Görevlerin Detayları

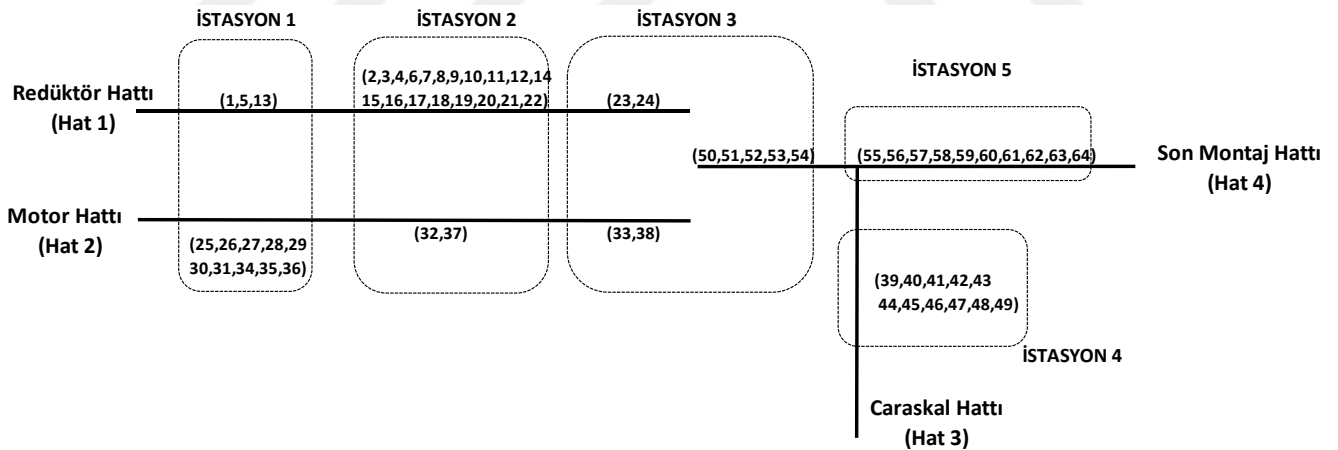
	Görevler				İş Yüğü (sn)	Boş Zaman (sn)
	Redüktör Hattı	Motor Hattı	Caraskal Hattı	Son Montaj Hattı		
İstasyon 1	(1-21)	(22-32),(34-37)			579	21
İstasyon 2	(22,23,24)	(33,38)		(50,51,52)	212	388
İstasyon 3			(39-49)	(53-64)	498	102

Çözüme ait hat etkinliği aşağıda yer alan denkleme (4.1) göre %71 olarak hesaplanmıştır (Tanyaş ve Baskak, 2003).

$$\text{Hat Etkinliği} = \frac{100 \times \text{Toplam Görev Süresi}}{\text{İstasyon Sayısı} \times \text{Çevrim Zamanı}} \quad (4.1)$$

Küresel rekabet ortamında talep değişkenliklerine karşı esneklik kazanmak çok büyük avantaj sağlamaktadır. Tez kapsamında ele alınan ürün için talep verileri analiz edildiğinde talebin artış eğiliminde olduğu ortaya çıkmaktadır. Böylece üretim kapasitesinin artması durumunda farklı çevrim zamanıyla hattı çalıştırmak gerekebilir. Önerilen çözüm yönteminde hatların farklı çevrim zamanlarıyla çalıştırılması durumu da dikkate alınmıştır.

Firma yetkilileri ile yapılan görüşmeler sonucunda yeni bir müşteri bağlantısı bilgisi alınmıştır. Potansiyel müşteri bağlantısının mevcut talebi iki katına çıkaracağı düşünülmektedir. Talebin iki katına çıktığı çevrim zamanının 300 sn/adet belirlendiği senaryoya ait optimal çözüm Şekil 4.2 ve Çizelge 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.2. 300 Saniye Çevrim Zamanlı Dengeleme Sonucu

Şekil 4.2 ve Çizelge 4.3 incelendiğinde hattın 300 sn'lik çevrim zamanı ile dengelenmesi durumunda görevlerin 5 istasyona atandığı görülmektedir. 1, 2 ve 3 numaralı istasyonlar, farklı hatlardan görev içeren ortak istasyonlardır. Redüktör montajındaki pres makinesinde yapılması gereken 2,3,6,8,14 ve 22'nolu görevler aynı istasyonlara atanmıştır. Böylece ekipman tedariki ihtiyacı ortaya çıkmamaktadır.

**Çizelge 4.3.** 300 Saniye Çevrim Zamanlı Çözüme Ait Atamalar

	Redüktör Hattı	Motor Hattı	Caraskal Hattı	Son Montaj Hattı	İş Yüğü (sn)	Boş Zaman (sn)
İstasyon 1	-	-	(39-49)	-	129	171
İstasyon 2	(1,5,13)	(25,31),(34,35,36)	-	-	291	9
İstasyon 3	(2-14),(15-22)	(32,37)	-	-	295	5
İstasyon 4	(23,24)	(33,38)	-	(50-54)	280	20
İstasyon 5	-	-	-	(55-64)	294	6

İstasyonların doluluk ve boş zamanlarına ait bilgiler Çizelge 4.3'te verilmiştir. Çözüme ait hat etkinliği yukarıda belirtilen denkleme (4.1) göre %85 olarak hesaplanmıştır (Tanyaş ve Baskak, 2003).

Firma mevcut durumunda 400 m<sup>2</sup>'lik alanda 9 çalışan ile faaliyetlerini gerçekleştirmektedir. Mevcut talep verileri dikkate alınarak 600 saniye olarak belirlenen çevrim zamanına göre bütünleşik dengelenmesi sonucunda çalışan sayısı 3 kişiye düşebilmektedir. Hatların bütünleşik dengelenmesi ile alan kullanımında %80 oranında bir iyileşme sağladığı ortaya konmuştur. Talebin iki katına çıktığı durum da ele alınarak sonuçlar kıyaslanmıştır. 300 ve 600 saniye çevrim zamanlarıyla yapılan dengelemeye ait sonuçların özeti ve mevcut durum ile karşılaştırılması Çizelge 4.4'te verilmiştir.

**Çizelge 4.4.** 300 ve 600 Saniye Çevrim Zamanlı Dengeleme Sonuçlarının Mevcut Durum ile Karşılaştırılması

	Mevcut Durum	Bütünleşik Dengeleme	
Çevrim Zamanı	Belirli değil	600 sn	300 sn
İstasyon Sayısı	-	3	5
Çalışan Sayısı	9	3	5
Hat Etkinliği	-	%71	%85
Kapladığı Alan	400m <sup>2</sup>	80m <sup>2</sup>	80m <sup>2</sup>

Ayrıca, farklı dönemlerde ortaya çıkabilecek farklı talep senaryoları da dikkate alınarak çalışma kapsamında ele alınan montaj hatlarının 300,400,500,600,700, 800, 900, 1000 saniye olmak üzere sekiz farklı çevrim zamanı için dengelemesinin yapıldığı, bunula birlikte hatlar arasında ortak istasyon açılmasına izin verilmeden bağımsız dengelenmeleri durumunun karşılaştırıldığı bir senaryo analizi yapılmıştır. Senaryo analizi ile elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5'te özetlenmiştir.

**Çizelge 4.5.** 300 ve 600 Saniye Çevrim Zamanlı Bütünleşik ve Bağımsız Dengeleme Sonuçları

Çevrim Zamanı (sn)	Teorik Minimum İstasyon Sayısı	İstasyon Sayısı (Bütünleşik Dengeleme)	İstasyon Sayısı (Bağımsız Dengeleme)
300	5	5	5
400	4	4	5
500	3	3	5
600	3	3	4
700	2	2	4
800	2	2	4
900	2	2	4
1000	2	2	4

Çizelge 4.5 incelendiğinde, ele alınan montaj hatlarının bütünleşik dengelenmesi sonucunda sekiz farklı çevrim zamanı senaryosunun tamamında teorik minimum istasyon sayısı elde edilmiştir. Bu durum, Şekil 3.13'te önerilen hat yerleşiminden farklı yerleşim alternatifleri değerlendirilse de senaryo analizine dahil edilen çevrim zamanı değerleri için daha düşük istasyon sayıları elde edilemeyeceğini göstermektedir. Burada ele alınmayan farklı çevrim zamanı değerleri için yapılacak çözümlerde Şekil 3.13'te önerilen hat yerleşimi değiştirilerek aralarında ortak istasyonlar kurulabilecek hat ikilileri tekrar düzenlendiği farklı yerleşim senaryoları değerlendirilebilir. Ayrıca Çizelge 4.5'teki sonuçlar dikkate alındığında, sekiz senaryonun yedisinde bağımsız dengelemede toplam istasyon sayısının bütünleşik dengelemeye göre fazla olduğu görülmektedir. Bu durum birden fazla hattın oluşan sistemin bütünleşik dengelenmesinin avantajlarını ortaya koymaktadır.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, Konya’da faaliyet gösteren otomatik kapı sistemleri üreten firmada bulunan çok sayıda düz montaj hattının bütünleşik olarak dengelenmesi uygulaması gerçekleştirilmiştir. Literatürde bilinen bütünleşik hat dengeleme problemi için Gökçen ve ark., (2010) tarafından geliştirilen matematiksel model kullanılarak gerçek hayat uygulaması yapılmıştır.

Uygulama kapsamında elde edilen kazanımlar mevcut durumu ile kıyaslandığında; mevcut durumda belirli bir çevrim süresi bulunmamaktadır. Zaman etüdü çalışmaları ile montaj hattının görevlerine ait standart zamanlar belirlenmiştir. Ortak istasyonlar elde ederek istasyon boş zamanlarının ve toplam istasyon sayısının minimize edilmesi açısından önemli bir esneklik kazanılmıştır. 600 sn’lik çevrim zamanı ile mevcutta 9 işçi ile çalışan sistemde istasyon sayısı 3’e düşürülmüştür. Akışa uygun yeni yerleşim ile %80 oranında bir alan kazanımı sağlanmıştır. Taşıma ve stok alanı israfi büyük ölçüde azaltılmıştır. Yeni yerleşim ile çalışanlar birbirlerine yakınlaşmış olup problem anında hızlı bir aksiyon ile çözüm gerçekleştirme fırsatı ortaya konulmuştur. Belirli aralıklarla yapılacak rotasyonlar ile operatörlerin farklı istasyonlarda çalışmasıyla yeni yetkinlikler kazanmaları amaçlanmıştır. Talep değişkenliklerine uyum artırılmıştır.

Ayrıca, farklı çevrim zamanı değerleri için yapılan senaryo analiziyle, birden fazla sayıda hattın oluşan sistemlerin bütünleşik dengeleme yaklaşımıyla dengelenmesinin hatların bağımsız dengelenmesi durumuna göre açılacak toplam istasyon sayısı açısından avantajı ortaya koyulmuştur.

Otomatik kapı sistemleri üzerine faaliyet gösteren bir firmada, subjektif yaklaşımlarla dengelenen verimsiz hattın bilimsel yöntemlerle daha verimli hale getirilerek düzenli malzeme akışının sağlandığı, israfların elimine edildiği, maliyetlerin azaldığı üretim sistemine dönüştürülmesi açısından bu tez çalışması son derece önemlidir.

## 5.2 Öneriler

Bu tez çalışmasında ele alınan problemin ilerleyen zamanlarda yeni uygulama konuları belirlenebilir. Örneğin istasyonların boş zamanlarını düşürmek ve daha dengeli bir atama çalışması için iyileştirme fırsatları üzerinde durulabilir. Hattan farklı türde ürünlerin akışının sağlanması ile karma modelli montaj hattı yapısına dönüştürülebilir.

Gelecekte bir başka çalışma konusu da amaç fonksiyonu üzerinde yapılabilir. İstasyon sayısı minimizasyonuna ek olarak maliyet kriteri de eklenerek çok amaçlı hale getirilebilir.



## KAYNAKLAR

- Aase, G.R., Olson, J.R. and Schniederjans, M.J., 2004, U-shaped assembly line layouts and their impact on labor productivity: An experimental study, *European Journal of Operational Research*, 156 (3), 698–711.
- Aguilar, H., Garcia-Villoria, A. and Pastor, R., 2020, A survey of the parallel assembly lines balancing problem, *Computers & Operations Research*, 124.
- Altuntaş, S. ve İşlier, A., 2010, Birliktelik Kısıtları Altında Montaj Hattı Dengeleme Problemi İçin Bir Çözüm Yaklaşımı Önerisi ve Bir İşletmede Uygulama, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(1), 29-44.
- Alağaç, H., Pınarbaşı, M., Yüzükırmızı, M. ve Toklu, B., 2016, Karma modellenli tip-2 montaj hattı dengeleme problemi için bir kısıt programlama modeli, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(4), 340-348.
- Atasagun, Y., 2010, Bakteriyel Besin Arama Optimizasyonu Algoritması İle Montaj Hattı, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Atasagun, Y., 2016, Tam Zamanında Üretim Ortamlarında Çok Sayıda U -Tipi Hattın Bütünleşik Dengelenmesi İçin Yeni Modeller ve Çözüm Yaklaşımları, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Atasagun, Y., Kara, Y., ve Atasagun, C.G., 2019, Achieving Shojinka by Integrated Balancing of Multiple Straight Lines with Resource Dependent Task Times, *Lean and Green Supply Chain Management*, 253-273.
- Atasagun, Y. ve Kara, Y., 2021, Güneş Enerjisi Kolektörü Üretiminde Kaynak Bağımlı Görev Süreleri ile Paralel Montaj Hattı Dengeleme, *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9 (2), 314-326.
- Battaia, O. ve Dolgui, A., 2013, A taxonomy of line balancing problems and their solution approaches, *International Journal of Production Economics*, 142 (2), 259-277.
- Battini, D., Otto, A. and Sgarbossa F., 2016, The Integrated Assembly Line Balancing and Parts Feeding Problem with Ergonomics Considerations, *IFAC-Papersonline*, 49(12), 191-196.
- Baybars, I., 1986, A Survey of Exact Algorithms For The Simple Assembly Line Balancing Problem, *Management Science*, 32 (8), 909-932.
- 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.
- Buxey G. M., 1974, Assembly Line Balancing With Multiple Stations, *Management Science*, 20(6), 1010-1021.
- Boysen N. ve Fliedner M., 2008, A versatile algorithm for assembly line balancing, *European Journal of Operational Research*, 184(1), 39-56.
- Bryton, B., 1954, Balancing of a Continuous Production Line, Northwestern University.
- Chiang, W. C., Kouvelis, P. ve Urban, T., 2007, Line balancing in a just-in-time production environment: Balancing multiple U-lines, *IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)*, 39 (4), 347-359.
- Çerçioğlu, H. , Özcan, U. , Gökçen, H. & Toklu, B., 2009, Paralel Montaj Hattı Dengeleme Problemleri İçin Bir Tavlama Benzetimi Yaklaşımı, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24(2), 331-341.
- Erel, E., Sabuncuoğlu, I. Ve Aksu, B.A., 2001. Balancing of U-type assembly systems using simulated annealing, *International Journal of Production Research*, 39 (13), 3003–3015.
- Erel, E. ve Sarin, S. C., 1998, A survey of the assembly line balancing procedures, *Production Planning and Control*, 9 (5), 414-434.



- Foroughi, A. ve Gökçen, H., 2014, Maliyet Tabanlı Stokastik Montaj Hattı Dengeleme Problemi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(3), 469-476.
- Gökçen, H., 1997, Çok Modelli Montaj Hatlarında Model Parti Sıralarının Belirlenmesi: Dal ve Sınır Yaklaşımı, *Gazi Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10 (1), 34-45.
- Gökçen, H., Ağpak, K. ve Benzer, R., 2006, Balancing of parallel assembly lines, *International Journal of Production Economics*, 103 (2), 600–609.
- Gökçen, H. ve Ağpak, K., 2004, Hat Dengelemede Yeni Bir Felsefe: Paralel Montaj Hatlarının Eşzamanlı Dengelenmesi, *Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Teknoloji Dergisi*, 7(1), 181-188.
- Gökçen, H., Kara, Y. and Atasagun, Y., 2010, Integrated line balancing to attain Shojinka in a multiple straight line facility, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 23(5), 402-411.
- Gündoğdu, G.G., 2019, Karışık Modelli Montaj Hattı Dengeleme Problemi ve Bir İşletmede Uygulanması, *Journal of Academic Value Studies*, 5(4), 651-665.
- Ghosh, S. ve Gagnon, R. J., 1989, A comprehensive literature review and analysis of the design, balancing and scheduling of assembly systems, *International Journal of Production Research*, 27 (4), 637-670.
- Hıdımoğlu, M., 2019, Montaj Hattında Kapasite Dengeleme ve Verimlilik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Hwank, R. K., Katayama, H. ve Gen, M., 2008, U-shaped assembly line balancing problem with genetic algorithm, *International Journal of Production Research*, 46,4637-4649.
- Kara, Y., 2004, U-Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemleri İçin Yeni Modeller Ve Otomotiv Yan Sanayiinde Bir Uygulama, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Konya
- Kara, Y., Gökçen, H., Atasagun, Y., 2010, “Balancing Parallel Assembly Lines with Precise and Fuzzy Goals”, *International Journal of Production Research*, 48 (6), 1685-1703.
- Kara, Y., Atasagun, Y., 2013, “Assembly Line Balancing with Resource Dependent Task Times: An Application to Parallel Assembly Lines”, IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management and Control (MIM ‘2013), June 19-21, Saint Petersburg, RUSSIA, 875-880.
- Kayar, M. 2012, *Production and Productivity - Basic Principles and Application*, Ekin Yayınevi, Bursa.
- Kucukkoc, İ., 2011, Karışık modelli montaj hattı dengeleme problemleri ve genetik algoritmalar ile bir uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kucukkoc, I. and Zhang, D. Z., 2015, Balancing of parallel U-shaped assembly lines, *Computers & Operations Research*, 64, 233-244.
- Kuvvetli, Y., 2010, Karma modelli montaj hattı dengeleme ve işgücü atama problemi için yeni bir yaklaşım, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Lan, C-H., 2007, The design of multiple production lines under deadline constraint, *International Journal of Production Economics*, 106(1) , 191-203
- Lusa, A., 2008, A survey of the literature on the multiple or parallel assembly line balancing problem, *European Journal of Industrial Engineering*, 2 (1), 50-72.
- Liu, CM. ve Chen, CH., 2002, Multi-section electronic assembly line balancing problems: A case study, *Production Planning & Control*, 13(5), 451-461.

- Miltenburg, J., 1998, Balancing U-lines in a multiple U-line facility, *European Journal of Operational Research*, 109 (1), 1-23.
- Miltenburg, J. and Wijngaard, J., 1994, The U-line balancing problem, *Management Science*, 40 (10), 1378–1388.
- Moon I., Logendran R. ve Lee J., (2009) Integrated assembly line balancing with resource restrictions, *International Journal of Production Research*, 47(19), 5525-5541.
- Öksüz, M. K., 2015, İş Gören Performansı Dikkate Alınarak U-Tipi Montaj Hatlarının Dengelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özcan, U. ve Toklu, B., 2009, Balancing of mixed-model two-sided assembly lines, *Computers and Industrial Engineering*, 57(1), 217-227.
- Pastor, R. ve Corominas, A., 2000, Assembly line balancing with incompatibilities and bounded workstation loads, *Ricerca Operativa*, 30(1), 23-45.
- Pınarbaşı, M. ve Alakaş, H. M., 2021, Atama kısıtlı tip-1 montaj hattı dengeleme problemi: Bir kısıt programlama modeli yaklaşımı, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27 (4), 532-541.
- Purnomo, HD., Wee, HM. ve Rau, H., 2013, Two-sided assembly lines balancing with assignment restrictions, *Mathematical and Computer Modelling*, 57(1/2), 189-199.
- Salveson, M. E., 1955, The assembly line balancing problem, *Journal of Industrial Engineering*, 6 (3), 18-25.
- Salveson, M. E., 1955, The assembly line balancing problem, *Journal of Industrial Engineering*, 6 (3), 18-25.
- Scholl, A. ve Klein, R., 1999, ULINO: Optimally Balancing U-Shaped JIT Assembly Lines, *International Journal of Production Research*, 37 (4), 721-736.
- Scholl, A., 1999, Balancing and sequencing of assembly lines, Physica-Verlag Heidelberg, Darmstadt.
- Scholl, A. and Klein, R., 1999, Ulino: Optimally balancing U-shaped JIT assembly lines, *International Journal of Production Research*, 37 (4), 721–736.
- Scholl, A. ve Becker, C., 2006, State-of-the-art exact and heuristic solution procedures for simple assembly line balancing, *European Journal of Operational Research*, 168 (3), 666-693.
- Scholl, A. ve Boysen, N., 2009, Designing parallel assembly lines with split workplaces: Model and optimization procedure, *International Journal of Production Economics*, 119(1), 90-100.
- Süer, A. G., 1998, Designing parallel assembly lines, *Computers & Industrial Engineering*, 35(3-4), 467-470.
- Sivasankaran P. ve Shahabudeen P., 2014, Literature review of assembly line balancing problems, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 73 (9), 1665-1694.
- Sparling, D., 1998, Balancing just-in-time production units: The N U-line balancing problem, *INFOR*, 36 (4), 215-237.
- Sparling D., Miltenburg, J., (1998) The mixed-model U-line balancing problem, *International Journal of Production Research*, 36(2), 485-501.
- Tanyaş, M. ve Baskak M., 2003, Üretim Planlama ve Kontrol, İrfan Yayıncılık, İstanbul.
- Talbot, F. B. and Patterson, J. H., 1984, An Integer Programming Algorithm with Network Cuts for Solving the Single Model Assembly Line Balancing Problem, *Management Science*, 30 (1), 85-99.

- Tuncel, G. ve Topaloğlu, S., 2013, Assembly line balancing with positional constraints task assignment restrictions and station paralleling: A case in an electronics company, *Computers & Industrial Engineering*, 64(2), 602-609.
- Tiacci L., 2015, Simultaneous balancing and buffer allocation decisions for the design of mixed-model assembly lines with parallel workstations and stochastic task times, *International Journal of Production Economics*, 162, 201-215.
- Vilarinho, P. M. ve Simaria, A. S., 2006, ANTBAL: an ant colony optimization algorithm for balancing mixed-model assembly lines with parallel workstations, *International Journal of Production Research*, 44 (2), 291–303.

