

Çok İşçili Hat Dengeleme Problemi İçin Bir Çözüm Yaklaşımı ve

Boji Şasesi İmalat Hattı Tasarımı İçin Uygulaması

Osman Serdar FİLİZAY

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Ekim 2008

A Heuristic for Multi-Manned Assembly Line Balancing Problem and  
Its Application for Designing Bogie Frame Production Line

Osman Serdar FİLİZAY

**MASTER of SCIENCE THESIS**

Department of Industrial Engineering

October 2008

Çok İşçili Hat Dengeleme Problemi İçin Bir Çözüm Yaklaşımı ve  
Boji Şasesi İmalat Hattı Tasarımı İçin Uygulaması

Osman Serdar Filizay

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı  
Endüstri Mühendisliği Bilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Nihat Yüzügüllü

Ekim, 2008

Osman Serdar FİLİZAY'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Çok İşçili Hat Dengeleme Problemi İçin Bir Çözüm Yaklaşımı ve Boji Şasesi İmalat Hattı Tasarımı İçin Uygulaması” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye : Prof. Dr. Nihat YÜZÜGÜLLÜ (Danışman)

Üye : Prof Dr. Atilla İŞLİER

Üye : Yrd. Doç. Dr. Nuray GİRGINER

Üye : Yrd. Doç. Dr. Servet HASGÜL

Üye : Yrd. Doç. Dr. Aykut ARAPOĞLU

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

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

## ÖZET

Bu çalışmada montaj hattı dengeleme probleminin özel bir türü olan ve bir istasyonda birden fazla işçinin bir arada çalışmasına izin veren çok işçili montaj hattı dengeleme problemi ele alınmıştır. Söz konusu yaklaşım özellikle çok yer kaplayan ürünlerin imalatının yapıldığı üretim tesislerinde bir iş istasyonunda birden çok işçinin bir arada çalışmasının teknik olarak mümkün olması durumunda uygulanabilmektedir. İstasyonlardaki paralel çalışma sayesinde, çözümdeki istasyon sayısının azalması nedeniyle hattın eldeki kısıtlı alana sığması sağlanabilmektedir. Böylece, çok işçili montaj hattı dengeleme modelinde değerli bir kaynak olan üretim alanı daha verimli olarak kullanılabilir.

Literatürde montaj hattı dengelenmesi problemiyle ilgili bir çok çalışma olmasına karşılık çok işçili montaj hattı dengeleme problemiyle ilgili kısıtlı sayıda çalışmaya ulaşılabilmektedir.

Çalışmada çok işçili montaj hattı dengeleme problemiyle ilgili olarak literatürde geçen bir model temel alınarak yeni bir sezgisel çözüm algoritması geliştirilmiştir. Literatürde bulunan problemler üzerinde geçerliliği test edilen yöntem boji şasesi imalat hattının dengelenmesi probleminin çözümünde kullanılmıştır. Çözüm sonucunda üretim alanından tasarruf sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler :** Montaj hattı dengeleme; Sezgisel yöntemler

## ABSTRACT

A special kind of assembly line balancing problem with multi-manned workstations allowing workers to perform simultaneously different assembly tasks on the same workstations is examined in this study. This approach is particularly appropriate for those production lines where assembling of bulky products is technically feasible by groups of workers simultaneously in larger workstations. Resultant number of workstations is reduced due to parallel working, so the line is fitted to compact locations. As a result, the production area as a valuable resource is utilized more efficiently than simple assembly line balancing solutions.

Although a huge mass of research on simple assembly line balancing problem is available in related literature, only a few papers on multi-manned model are reached.

In this study, a new heuristic, based on a present one, to solve the multi-manned assembly line balancing problem is developed and tested on problems taken from the literature. This new heuristic is used to balance the boggie frame line. Solution provides a better production line.

**Key Words:** Assembly line balancing; Heuristic methods

## TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasıyla ilgili çalışmalarında bana danışmanlık ederek, beni yönlendiren ve her türlü olanağı sağlayan danışmanım Prof. Dr. Nihat Yüzügüllü'ye, değerli hocam Prof. Dr. Atilla İşlier'e, tezle ilgili uygulamamı yapmamda her türlü kolaylığı sağlayan Tülomsaş'ın değerli yöneticilerine en içten teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	v
<b>ABSTRACT</b> .....	vi
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	vii
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	viii
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	x
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	xi
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. MONTAJ HATTI Dengeleme Problemleri</b> .....	4
<b>3. MONTAJ HATTI Dengeleme Problemiyle İlgili Literatür İncelemesi</b> .....	8
<b>4. Çok İşçili Montaj Hattı Dengeleme Problemi</b> .....	10
4.1. Çok İşçili Hat Dengeleme Problemi İçin Çözüm Algoritmaları :.....	12
4.1.1. Literatürden Alınan Sezgisel Yöntem.....	12
4.1.2. En Büyük Aday Küme Ölçütüne Göre Uyarlanan Sezgisel Yöntem	17
<b>5. Çok İşçili Montaj Hattı Problemi İçin Sezgisel Yöntemlerin Karşılaştırılması</b> .....	20
5.1. Literatürden Alınan Problemler.....	20
5.2. Otomobil Üretim Tesisi Problemi.....	27
5.2.1. Literatürden Alınan Sezgisel Yöntemle Problemin Çözümü.....	28
5.2.2. En Büyük Aday Küme Ölçütüne Göre Uyarlanan Sezgisel Yöntemle Problemin Çözümü.....	29
5.2.3. Sonuçların Karşılaştırılması.....	32



<b>6. BOJİ ŞASESİ İMALAT HATTI DENGELENMESİ'NDE GELİŞTİRİLEN SEZGİSEL YÖNTEMİN UYGULAMASI.....</b>	<b>34</b>
6.1. Boji Şasesi Mevcut Üretim Süreci ve Karşılaşılan Problemler.....	34
6.2. Boji Şasesi Montaj Hattının Dengelenmesi .....	45
6.3.Boji Şase Problemi için Mevcut Durum ve Yeni Çözümlerin Karşılaştırılması.....	51
<b>7. SONUÇ VE TARTIŞMA.....</b>	<b>53</b>
<b>8. KAYNAKLAR DİZİNİ.....</b>	<b>54</b>

## **EKLER**

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>		<u>Sayfa</u>
5.1	Bowman Problemi Görev Zamanları ve Öncelikler Şeması.....	20
5.2	Jackson Problemi Görev Zamanları ve Öncelikler Şeması.....	21
5.3	Jaeschke Problemi Görev Zamanları ve Öncelikler Şeması.....	22
5.4	Merten Problemi Görev Zamanları ve Öncelikler Şeması.....	23
5.5	Mitchell Problemi Görev Zamanları ve Öncelikler Şeması.....	24
5.6	Otomobil İmalat Hattı İş Akış Şeması.....	26
6.1	Yan Kiriş Alt Plaka.....	33
6.2	Yan Kiriş Yan Plakasının Alt Plakaya Montajı .....	33
6.3	Yan Kiriş Üst Plakası Montajı. ....	34
6.4	Yan Kiriş.....	34
6.5	Alın Kirişi .....	35
6.6	100 lük U Kirişleri .....	35
6.7	Kare Klavuzun Kirişlere Montajı.....	36
6.8	Teyyaresiz Bağlantı Kirişi .....	36
6.9	Teyyareli Bağlantı Kirişi.....	37
6.10	Orta Travers Alt Sacı .....	37
6.11	Orta Travers Alt Sacı+Yan Sac .....	38
6.12	Orta Travers Alt Sacı+Yan Sac+Sportlar .....	38
6.13	Orta Travers Alt Sacı+Yan Sac+Sportlar+Kıbrıslar .....	39
6.14	Orta Travers Alt Sacı+Yan Saclar.....	39
6.15	Orta Travers Alt Sacı+Yan Saclar+Üst Sac+Göbek .....	40
6.16	Orta Travers .....	40
6.17	Boji Şasesi.....	41

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.1 Bowman Problemi için Dimitriadis Algoritması ve Geliştirilen Algoritma ile Çözüm Sonuçları.....	20
5.2 Jackson Problemi için Dimitriadis Algoritması ve Geliştirilen Algoritma ile Çözüm Sonuçları.....	21
5.3 Jaeschke Problemi için Dimitriadis Algoritması ve Geliştirilen Algoritma ile Çözüm Sonuçları.....	22
5.4 Merten Problemi için Dimitriadis Algoritması ve Geliştirilen Algoritma ile Çözüm Sonuçları.....	23
5.5 Mitchell Problemi için Dimitriadis Algoritması ve Geliştirilen Algoritma ile Çözüm Sonuçları.....	24
5.6 Otomobil Problemi Görev Zamanları ve Öncelikler Çizelgesi.....	25
5.7 Dimitriadis Yöntemine Göre Otomobil Probleminin Çözüm Sonuçları.....	26
5.8 Otomobil Problemi Geliştirilen Sezgisel Yöntem 1.Atama.....	27
5.9 Otomobil Problemi Geliştirilen Sezgisel Yöntem 2.Atama.....	28
5.10 Otomobil Problemi Geliştirilen Sezgisel Yöntem 3. Atama.....	28
5.11 Otomobil Problemi Geliştirilen Sezgisel Yöntem 4. Atama I.....	29
5.12 Otomobil Problemi Geliştirilen Sezgisel Yöntem 4. Atama II.....	29
5.13 Otomobil Problemi Geliştirilen Sezgisel Yöntem 5. Atama.....	29
5.14 Otomobil Probleminin Geliştirilen Algoritmaya Göre Çözüm Sonuçları.....	30
5.15 Dimitriadis Sezgiseli için Literatür Problemleri Karşılaştırılması....	30
5.16 Alternatif Sezgisel için Literatür Problemleri Karşılaştırılması.....	30
5.17 Otomobil Problemi için Dimitriadis Algoritması ve Geliştirilen Algoritma Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	31
6.1 Mevcut Üretim Değerleri.....	42
6.2 Boji Problemi Çözüm 1. Atama I.Adım.....	44
6.3 Boji Problemi Çözüm 1. Atama II.Adım.....	45

## ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
6.4	Boji Problemi Çözüm 1. Atama III.Adım.....45
6.5	Boji Problemi Çözüm 1. Atama Sonuç.....45
6.6	Boji Problemi Çözüm 2. Atama L=3 I. Adım.....46
6.7	Boji Problemi Çözüm 2. Atama L=3 II. Adım.....46
6.8	Boji Problemi Çözüm 2. Atama L=3 Sonuç.....46
6.9	Boji Problemi Çözüm 2. Atama L=2 I. Adım.....47
6.10	Boji Problemi Çözüm 2. Atama L=2 Sonuç.....47
6.11	Boji Problemi Çözüm 2. Atama L=1 Sonuç.....47
6.13	Boji Problemi Çözüm 3. Atama Sonuç .....48
6.14	Boji İmalat Hattı Dengeleme Probleminin Sezgisel Yönteme Göre Sonuçları.....49
6.15	Boji Çizelge 6.15: Mevcut Durum ve Çözüm Sonrası Boji Şasesi Hattı Başarım Verileri.....50

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

İşletmelerde ekonomik çalışma gereğinin büyük önem taşıdığı günümüzde, kaynakların etkin olarak kullanılıp değerlendirilmesi oldukça önemli bir konudur. Endüstrideki kaynakların etkin kullanımının tasarlanması endüstri mühendisliğinin temel araştırma konularının başında yer almaktadır. Ülkelerin gerçek ekonomik gücünün ifadesi durumunda olan endüstri sektörünün bir ülke için kalkınmasını sağlayan etmenlerin başında kaynak israfının azaltılması gelmektedir. İçinde bulunduğumuz çağda işletmelerin hayatta kalabilmeleri, rekabet güçlerini koruyabilmeleri ve bunun sonucunda başarılı olabilmeleri, onların sürekli iyileştirme süreci içinde yüksek kaliteli ürün üretmeyi ve maliyetlerini düşürmeyi ilke edinen bir yönetim sistemine sahip olmaları ve kaynak israfını azaltacak hatta yok edecek yöntemleri kullanmalarına bağlıdır. Kaynaklar denilince akla ham maddeden tüketim maddelerine, iş gücünden tesis alanlarına kadar birçok etmen düşünülmelidir. Bu kaynak israfının azaltılması etkin ve etkili üretim sistemlerinin tasarımıyla mümkündür. Bu noktada üretim yapacak tesislerin kurulmasında üretim hatlarının etkin ve verimli tasarımı ön plana çıkmakta ve önem kazanmaktadır. Üretim sistemlerindeki kaynak israfının azaltılması ve etkin tasarlanması için kullanılan yöntemlerden birisi de üretim sistemlerinde montaj hatları kurulması ve montaj hattı dengeleme teknikleri kullanılarak montaj hattının dengelenmesidir.

Bu çalışmada ele alınan bir üretim sisteminde kullanılan kaynakların etkin kullanılması hedeflenerek bir montaj hattı tasarımı geliştirilmiştir. Ele alınan üretim sistemi üretimin birimler halinde gerçekleştirildiği ve yüksek talebe sahip bir üretim sistemi yapısındadır. Bu nedenle bu yüksek talebin karşılanmasını kolaylaştıracak verimli bir montaj hattı kurulması düşünülmüştür.

Montaj hattı kurulması düşünülen üretim sisteminde ürünü oluşturan parçaların önceden belirlenmiş bir sıraya uygun olarak düzenli bir şekilde birleştirilmesi yerine

karışık bir üretim yaklaşımı gerçekleştirildiğinden üretim sisteminde şu problemlerle karşılaşmaktadır:

- Düzenli bir malzeme akışı sağlanamamaktadır,
- Kullanılmakta olan malzeme, insan gücü ve diğer kaynaklar verimli olarak kullanılamamaktadır,
- İstasyonlarda atıl bekleme zamanları ve iş istasyonu sayısı fazladır.

Mevcut sistemde bir montaj hattı kurularak aşağıda sayılan faydalar elde edilebilir:

- Düzenli bir malzeme akışı sağlamak,
- İşlemler için en az süreyi kullanmak,
- İşlemler için en az miktarda malzemeyi kullanmak,
- İnsan gücü kullanımını en üst düzeye ulaştırmak,
- Boş zamanları ( dengeleme kayıplarını ) en aza indirmek,
- İş istasyonu sayısını en aza indirmek,
- Denge kayıplarını, iş istasyonları arasında düzgün şekilde dağıtmak,
- Var olan tüm kısıtları, sınırları zorlamadan sağlamak,
- Makine sığalarını ( kapasitelerini ) en üst düzeyde kullanmak,
- Hat dengeleme maliyetini en az düzeyde tutmak.

Ele alınan üretim sisteminde üretilen ürün kütlece büyük bir ürün olan boji şasesidir. Ürün kütlece büyük olduğu için ürün üzerinde aynı anda eş zamanlı olarak birden fazla işçi bir arada çalışabilmektedir. Bu bakımdan üretim hattı için çok işçili montaj hattı yapısının kullanılması uygun görülmüştür.

Üretim hattının dengelenmesi probleminin çözümünde, literatürden alınmış çok işçili bir montaj hattı dengeleme sezgisel yöntemine dayanan ve çözüme daha pratik olarak ulaşılabilmesi için farklı bir sıralama ölçütü kullanan sezgisel bir yöntem kullanılmıştır.

Önerilen yöntemin geçerliliğinin test edilmesi için tanınmış montaj hattı dengeleme problemleri literatürden alınan yöntem ve önerilen yöntemle çözülmüş ve sonuçları

karşılaştırılmıştır. Önerilen yöntem, başarımlar ölçütleri bakımından literatürdeki yöntemle eşdeğer ve daha iyi sonuçlar vererek geçerliliğini göstermiştir.

Ele alınan üretim hattı için çok işçili montaj hattı dengelenmesi yapılarak 6 olan iş istasyonu sayısı 3 istasyona, 183 dk olan toplam boş zaman 67,5 dk'ya düşürülmüş, hat verimliliği ise % 63,42'den % 83,81 seviyesine çıkarılmıştır. Ayrıca üretim hattında düzenli bir malzeme akışı sağlanmış ve insan gücü kullanımı üst düzeye çıkarılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde montaj hattı dengeleme problemleri anlatılmıştır. Üçüncü bölümde montaj hattı dengeleme problemleriyle ilgili literatür taraması sunulmuştur. Dördüncü bölümde çok işçili montaj hattı yapısı anlatılmış, literatürden alınmış çok işçili bir montaj hattı sezgisel çözüm yaklaşımı ve literatürden alınan yöntemden yola çıkılarak geliştirilmiş olan yeni çözüm yöntemi tanıtılmıştır. Beşinci bölümde yeni yöntemin literatürden alınan yöntemle karşılaştırılmasının yapılarak geçerliliğinin test edilmesi için literatürden alınan tanınmış problemler üzerinde her iki yönetime göre çözümler yapılmıştır. Sezgisel yöntemler karşılaştırılırken toplam boş zaman, toplam istasyon sayısı, yerden faydalanma faktörü, işçi sayısı ve hat verimliliği başarı ölçütlerine göre karşılaştırma gerçekleştirilmiştir. Altıncı bölümde de sunulan sezgisel yöntem boji şasesi imalat hattı dengelenmesi probleminde uygulanmıştır. Yedinci bölüm ise sonuç ve tartışma bölümüdür.

## BÖLÜM 2

### MONTAJ HATTI Dengeleme Problemleri

Montaj hatları üzerinde işlemleri yapacak olanlar, hat boyunca sıralanmış olan istasyonlardır. Bir montaj hattının temel özelliği iş parçalarının bir istasyondan diğer bir istasyona hareket etmesidir. Bir montaj hattı üretimi planlandığında, üretim hattı için iş istasyonlarına ait işlem sürelerinin dengelenmesi problemi ortaya çıkar. Buradaki amaç kurulan montaj hattının verimli olarak çalışabilmesi için işlemlerin istasyonlara elden geldiğince eşit olarak dağıtılmasıdır. Bir başka deyişle, mevcut kısıtlar altında iş istasyonları arasındaki işlem zamanı farkları toplamının en küçüklenmesidir. İstasyonların oluşturulması, bu problemin çözümüne bağlı olduğu için hat dengeleme konusu, yerleşim düzenlemesiyle de yakından ilgilidir. Üretim hızının artırılması, kaynak israfının ve iş gücü kaybının en küçük düzeye indirilmesi, çok sayıda mamulün daha seri bir şekilde ve çok daha ucuz bir maliyetle üretilebilmesi, çalışma şartlarının iyileştirilmesi, çalışmaların fizyolojik ve psikolojik özelliklerine uygun bir çalışma ortamı oluşturulabilmesi amacıyla montaj hatlarının dengelenmesi yoluna gidilmektedir. Montaj işleminin yapılabilmesi için gerekli işler, bu işlerin aldıkları süreler ve aralarındaki öncelik ilişkileri verildiğinde, işlerin bir başarımlı ölçüsünü eniyileyecek şekilde sıralı iş istasyonlarına atanması, montaj hattı dengeleme problemi olarak tanımlanmaktadır (Ağpak ve Gökçen, 2002 ). Montaj hattı dengeleme problemi endüstri mühendisliğinin temel araştırma konularından birisidir. Etkin bir montaj hattı tasarımı üretim zamanının verimli kullanılması, iş gücünden iyi faydalanılması, ürün kalitesinin mükemmelere yükseltilmesi gibi pek çok konuda montaj işlemlerine yardımcı olmaktadır.

Geleneksel montaj hattı dengeleme problemlerinde kullanılan temel kavramlar aşağıda tanıtılmaktadır:

**İş ( Görev ) ( i ) :** Bir üretim sürecinde yapılması gereken işlemlerin gözlemlenebilir ve ölçüme izin verecek şekilde mantıksal olarak bölünmüş kısmıdır. Toplam görev sayısı N ile ifade edilir.



**İşlem Zamanı (  $t_i$  )** : İşçi tarafından elle gerçekleştirilen görevler ve makine tarafından otomatik gerçekleştirilen görevlerin süreleri toplamı olarak ifade edilir .

**İş İstasyonu (  $k$  )** : Üretim hattında yapılması gereken toplam iş miktarının bir bölümünün işçiler tarafından yerine getirildiği kısımdır. Toplam istasyon sayısı  $K$  ile ifade edilir.

**Çevrim Zamanı (  $C$  )** : Montaj hattında ürünün bir istasyonda kalabileceği en fazla süre veya bir iş istasyonundaki işçinin atanmış işleri tamamlaması için gerekli süredir.

**İş Hacmi** : Montaj hattı üzerinde üretilecek bir ürünün montajı için gerekli olan süre veya tüm iş elemanlarının süreleri toplamıdır.

**İstasyon Boş Zamanı (  $M_s$  )**: Her bir iş istasyonu için çevrim süresi ile o istasyona ait servis zamanı arasındaki farktır.

Montaj hattı dengeleme problemlerinde amaçlar;

9. Ögesel işler arasında bulunacak öncelik şartını sağlayacak,

10. Her istasyonda toplam iş yükü zamanı, verilen çevrim zamanından büyük olmayacak,

11. İstenilen başarı ölçütünü sağlayacak,

şekilde görevlerin iş istasyonlarına atanmasıdır. Elemanların istasyonlara eşit olarak atanması sonucunda boş zamanın (her ne kadar pratikte tamamen yok edilmesi mümkün olmasa da) en küçük seviyeye indirilmesiyle boş zamanın getirdiği maliyetten de kurtulmak mümkün olacaktır.

Montaj hattı dengelemenin amaçları birbiriyle çelişmektedirler. Bir amaç iyileştirilmeye çalışırken diğeri kötüleşebilmektedir. Bu amaçların hepsini birden en üst düzeye ulaştırmak mümkün olmayabilir. Burada amaçların dengelenmesi gerçekleştirilmelidir. Dengelemede amaç, bu çelişkiler göz önüne alınarak en uygun çözüme ulaşılması ve montaj maliyetlerinin de en aza indirilmesidir.

Ağpak ve Gökçen (2002), montaj hattı dengeleme problemlerinde genellikle iki başarı ölçütünden söz etmektedir. Bunlar:

1. Belirli bir istasyon sayısı verildiğinde çevrim zamanının en küçüklenmesi

2. Belirli bir çevrim zamanı verildiğinde iş istasyonlarının en küçüklenmesi

Sözü edilen ölçütlerden birincisi, genellikle ürün talep değişiklikleri ve üretim proseslerinde değişiklik söz konusu olduğunda kullanılırken; ikincisi, yeni bir hat tasarlamak amacıyla kullanılır. Bu çalışmada ele alınan modellerde çevrim zamanının verildiği durumda iş istasyonlarının en küçüklenmesi amacı üzerine çözüm gerçekleştirilerek yeni bir hat tasarlanmıştır.

Günümüzde üretim tesisi tasarımı ve planlama çalışmalarının en önemli konularından biri olarak kabul edilen montaj hattı dengeleme problemi için çözüm yöntemleri temel olarak eniyileme yöntemleri veya sezgisel yöntemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Montaj hattı dengeleme problemlerinin karmaşıklığı; çözüm uzaylarının büyük oluşu ve çözüm zamanının problem büyüdükçe üstel olarak artması; bu problemlerin çözümünde sezgisel teknikleri analitik tekniklere göre daha ön plana çıkarmıştır. Gerçek hayattaki montaj hattı dengeleme problemlerinin çoğu; iş sayıları, işler arasındaki öncelik ilişkilerinin sayıları ve iş istasyonları sayıları bakımından büyük ölçekli problemler olarak değerlendirilir ve birleştirilmiş (kombinatorial) NP-zor problem sınıfına girmektedir. N tane iş ve bu işler arasında r öncelik ilişkisinin olduğu bir montaj hattında  $N!/2^r$  sayıda uygun sıralama vardır. Arama uzayının büyüklüğünden de anlaşılacağı gibi bunlar arasında en düşük maliyetli olanı seçmek eniyileme teknikleriyle oldukça güçtür. Bu nedenle problemlerde sezgisel tekniklerin kullanımı daha fazladır. Bu çalışmada da eniyileme yöntemlerinin çözümsel zorluklarından dolayı etkin ve çağın gereklerine uygun yeni bir üretim hattı tasarlanması için sezgisel bir yöntemin kullanılması tercih edilmiştir.

Montaj hattı dengeleme problemleri görev zamanlarının yapısına ve model yapılarına göre sınıflandırılmaktadır.

Görev zamanlarının yapısına göre montaj hattı dengeleme problemleri belirlenmiş (deterministik) görev zamanlı ve rassal (stokastik) görev zamanlı montaj hattı dengeleme problemi olarak ikiye ayrılmaktadır. Belirlenmiş görev zamanlı montaj hattı dengeleme probleminde görev zamanları önceden belirlenmiş sabitlerdir. Rassal görev zamanlı modelde ise görev zamanları rassal bir dağılıma göre değişme gösterir.

Model yapılarına göre montaj hattı dengeleme problemi; tek modelli, çok modelli ve karışık modelli olarak üçe ayrılmaktadır. Tek modelli montaj hattı dengeleme probleminde montaj hattında üretilen tek sabit bir ürün varken çok modelli yapıda farklı ürünler sırayla üretim hattında imal edilmektedir. Karışık modelli montaj hattı dengeleme probleminin özelliği ise montaj hattında aynı ürünün değişik modellerinin aynı anda yapılmasıdır.

Çok işçili montaj hattı dengeleme problemi, montaj hattı dengeleme problemleri içinde özel bir yer tutmaktadır. Ele alınan model belirlenmiş görev zamanlı tek modelli montaj hattı dengeleme probleminin özel bir çeşidi olan çok işçili modeldir. Çok işçili montaj hattı dengeleme problemi özellikle büyük kütleli ürünlerin imalatının yapıldığı sanayilerde kullanılan bir istasyonda birden fazla işçinin bir arada çalışmakta olduğu montaj hatlarına yönelik bir modeldir. Bir istasyonda birden fazla işçinin bir arada çalışmakta olduğu montaj hattı yapısal olarak tek modelli belirli (deterministik) zamanlı montaj hattı dengeleme yaklaşımının özel bir şeklini oluşturmaktadır. Çok işçili montaj hatlarının basit montaj hatlarından yapısal olarak farkı bir istasyonda tek bir montaj işçisinin çalışması yerine birden fazla montaj işçisi eş zamanlı olarak bir arada çalışabilmesidir. Bu sayede istasyon sayısı azalmakta, bu da hat üzerinde yer kazancı sağlamaktadır. Çok işçili montaj hattı yapısının kullanıldığı kütlece büyük ürünlerin imalatını yapan atölyelerde yerden tasarruf edilmektedir.

## **BÖLÜM 3**

### **MONTAJ HATTI DENGELEME PROBLEMİYLE İLGİLİ LİTERATÜR İNCELEMESİ**

Çok işçili montaj hattı dengeleme problemi yapı olarak basit montaj hattı dengeleme probleminin bir istasyonda birden çok işçi içeren çeşididir. Çok işçili montaj hattı dengeleme probleminde istasyondaki işçilerin görevlere atanması basit sıralama ve çizelgeleme problemindeki gibidir.

Montaj hatları dengeleme problemiyle ilgili olarak literatürde bir çok çalışma bulunmaktadır. Çok işçili montaj hattı dengeleme problemi de basit montaj hattı dengeleme probleminin özel bir çeşidi olduğu için bu bölümde literatürdeki özellikle tek modelli basit montaj hattı dengeleme problemi ve basit sıralama ve çizelgeleme problemiyle ilgili olarak en çok bilinen çalışmalardan ve sınırlı sayıdaki çok işçili montaj hattı dengeleme problemiyle ilgili olarak yapılan çalışmalardan kısaca bahsedilecektir.

Basit montaj hattı dengeleme problemine yönelik çözüm yaklaşımları genel olarak iki kısma ayrılmaktadır. Bunların ilki en iyi çözüm yöntemleri, ikincisi de en iyi çözümü garanti etmemesine karşın en iyi çözüme yaklaşık çözüm veren sezgisel yöntemlerdir.

Basit montaj hattı dengeleme problemi için en iyi çözümü veren yöntemlerin çoğunluğunda dal-sınır algoritmaları kullanılmıştır. Tahngavelu ve Shetty (1971) montaj hattı dengelenmesinde sıfır-bir tam sayı programlama yöntemini kullanmıştır. Van Assche ve Herroelen'nin (1979) çalışması montaj hattı dengeleme probleminin en uygun çözüme dayalı dengelendiği başka bir çalışmadır. Johnson (1988) ve Hoffmann'in (1992) algoritmaları bilinen diğer dal sınır algoritmalarıdır. Bunların dışında Klein (1963) ile Gökçen ve Erel (1999) basit montaj hattı dengeleme problemini en kısa yol metodunu kullanarak çözmüşlerdir. Held ve arkadaşları (1963) basit montaj hattı dengeleme problemi için en iyi çözümü bulan bir dinamik programlama çalışması

yapmıştır. Bunların dışında montaj hattı dengelenmesi için çok yönlü bir çözüm yaklaşımı sunan Boysen ve Fliedner (2006) ile maliyet odaklı çözüm sunan Amen (2000) basit hat dengeleme problemiyle ilgili yapılmış diğer çalışmalardır.

Basit hat dengeleme probleminde problem boyutu büyüdükçe çözüm zorluğu üstel olarak arttığı için en iyi çözümü bulan yöntemlerin yerini sezgisel yöntemler almaya başlamış ve araştırmalar bu yöne kaymıştır. Sezgisel yöntemlerde çözüme ulaşmak için bir kurallar dizisi belirlenerek problem bu kurallar dizisine göre çözülür ve atamalar yapılır. Bununla ilgili olarak literatürde; Kilbridge ve Wester'in (1961) kendi adını taşıyan algortiması, Arcus'un (1966) geliştirmiş olduğu COMSOAL yöntemi ve Dar-El'in (1973) MALB yöntemi bilinen temel montaj hattı dengeleme problemi çözüm sezgiselleridir. Bunların dışında çözüm iyileştirici birtakım yaklaşımlara göre sonuç veren yöntemler genetik algoritmalar, tabu arama ve tavlama benzetimi ve bulanık küme yaklaşımıdır. Suresh ve Sahu (1996), Kim ve arkadaşları (2000), Sabuncuoğlu ve arkadaşları (2000) genetik algoritmaya dayalı çalışmışlardır. Scholl ve Vob (1996) ve Chiang (1998) tarafından tabu arama yöntemi, Suresh ve Sahu (1994) tarafından tavlama benzetimi yöntemi, Türkbey ve arkadaşları (2007) tarafından ise bulanık mantık yaklaşımı kullanılmıştır. Basit sıralama problemine yönelik yapılmış temel çalışmalar ise Baker'in (1974) ve Cheng ve Sin'in (1990) yaptığı çalışmalardır.

Çok işçili montaj hattı dengeleme problemi basit montaj hattı dengeleme probleminin bir istasyonda birden fazla işçinin bir arada çalışmasına izin verildiği şeklidir. Çok işçili montaj hattı modeli literatürde yeni bir kavram olup konu ile ilgili literatür henüz kapsamlı değildir. Akagi ve arkadaşlarının (1983) yapmış olduğu çalışma bir istasyonda birden fazla işçi içeren montaj hatlarına yönelik yapılmış ilk çalışmadır. Johnson RV (1991), takım çalışması ve iş gruplarına dayalı montaj hattı dengelemesine yönelik bilinen diğer bir çalışmadır. Bukchin ve Masin'in (2004) yaptıkları çalışma ise konu ile ilgili yapılmış güncel bir çalışmadır. Dimitriadis (2005) çok işçili montaj hattı probleminin çözümüne yönelik sezgisel bir çözüm yöntemi geliştirmiştir.

## BÖLÜM 4

### ÇOK İŞÇİLİ MONTAJ HATTI Dengeleme Problemi

Çok işçili montaj hattı modeli varsayımlar ve kısıtlar bakımından tek modelli belirlenmiş görev zamanlı montaj hattı dengeleme problemi ile aynı olup, istasyonlarda çalıştırılabilen işçi sayısı olarak farklıdır. Geleneksel montaj hattı dengeleme probleminde bir iş istasyonunda bir işçi çalıştırıldığı kabulü vardır. Hat dengeleme yöntemlerinin çoğunluğu bu varsayım üzerine kurulmuştur. Çok işçili istasyon yapılı montaj hattı dengeleme probleminde ise bir iş istasyonunda birden fazla işçinin bir arada çalışmasına izin verilmektedir. Bu bakımdan ele alınan çok işçili istasyon yapılı montaj hattı dengeleme problemi tek modelli belirli görev zamanlı montaj hattı dengeleme probleminin özel bir çeşidini oluşturmaktadır.

Büyük hacimli ürünlerin imalatının gerçekleştirildiği özellikle otomobil sanayi ve bu çalışmadaki uygulamanın yapıldığı lokomotif sanayisinde kütle ve hacim olarak büyük ürünlerin imalatı için büyük, boyca uzun montaj hatlarına gereksinim duyulmaktadır. Bu tür kütlece büyük ürün imalatı yapılan sanayilerde montaj hatlarının uzun olması ve fabrikalarda çok yer kaplaması büyük bir sorun oluşturmaktadır. Bu tür büyük kütleli ürünlerin montaj hattı tasarımında yer tasarrufu ölçütü ön plana çıkmaktadır. Bu noktada yer tasarrufunun sağlanması için bir istasyonda birden fazla işçinin bir arada çalışması önerisi getirilmiştir. Burada bir istasyonda birden fazla işçinin bir arada çalışmakta olduğu yapı için montaj hattı dengeleme problemi ortaya çıkmaktadır.

Bu tip montaj hatlarında ürün, her bir çevrim zamanı için aynı ürün üzerinde birden çok işçi tarafından çeşitli işlerin eş zamanlı olarak gerçekleştirildiği iş istasyonlarında çevrim zamanı boyunca durmaktadır. Her işçi teknik olarak mümkün olduğu sürece işin özel olarak ona ait olduğuna bakmaksızın montaj işlemlerini gerçekleştirmektedir. Bu şekildeki bir montaj hattının amacı, montaj hattının etkinliğini (hatta çalışmakta olan işçi sayısı ve toplam boş zaman) en uygun seviyede tutarak hattın boyunun kısaltılmaya çalışılmasıdır.

Bu amaç, işçilerin aynı istasyonda beraber çalışmasını ve ürünün yeterli büyüklükte olmasını gerektirmektedir. İşçiler ürünün montajı esnasında birbirlerini engellememelidir. Ürün bir istasyondan işçilerin tümü işini bitirdiğinde ayrılmaktadır. Normal bir montaj hattında öncelik ilişkileri uygun olarak tanımlandıysa bir işçiye atanmış olan iş hiç bir kesintiye uğramadan devam edebilmektedir. Fakat çok işçili istasyonlara sahip bir montaj hattına özgü olarak, bir işçiye verilmiş olan iş elemanı aynı istasyonda çalışan diğer bir işçinin işini geciktirmesinden etkilenmektedir. Diğer bir deyişle aynı istasyona atanmış görevler arasında oluşan boş zaman bazen kaçınılmaz olabilmektedir. Bu yüzden birden çok işçinin aynı istasyonda çalıştığı montaj hatlarının dengelenmesinde, iş elemanlarının sıralanmasının da düşünülmesi de gerekmektedir. Bu birden çok işçinin aynı istasyonda çalıştığı montaj hatlarına has bir durumdur. Bu yüzden birden çok işçinin aynı istasyonda çalıştığı montaj hatlarında karar verirken; a) her bir istasyona her ürün başına en büyük mümkün olan (çözümlelenebilir) işçi konsantrasyonu aşmayacak şekilde (işçiler birbirlerini engellememelidir), birlikte çalışacak kaç işçi atanmalıdır, b) hangi iş elemanları hangi işçiye atanmalıdır, soruları çözülecektir (Dimitriadis, 2005).

En büyük çözümlenebilir işçi yoğunluğunun, başka bir ifadeyle her bir istasyona verilebilecek en fazla işçi sayısının belirlenmesi çok önemli bir karardır. Bu karar, tasarımcı tarafından ön koşullara göre belirlenir. Bu ön koşullar; ürünün yapısı ve aynı istasyonda işçilerin birlikte çalışmasını sağlayacak olan ürün şekli, bekleme zamanını en küçükleyecek şekilde işçiler için gerekli olan takım sayısı, işçiler arasında iletişimi en iyi şekilde sağlayacak olan hat dizaynı, vb. dir (Dimitriadis, 2005).

Birden çok işçinin aynı istasyonda çalıştığı montaj hatlarının pratikte bir çok avantajı vardır. Hattın boyu daha kısadır, bu da daha az sayıda iş istasyonu demektir. Özellikle yerleşim tasarımına yer kısıtlamaları varsa bu şekildeki bir yer kazancı büyük montaj hatları için ek bir amaç kriteridir. Daha ötede daha kısa bir hat, akış zamanının kısa olmasını sağlar ve süreçte çalışma süresini de azaltır. Malzeme taşıma maliyetlerini de işçilerin manevralarını azalttığı için azaltmış olur. Ayrıca işçiler birlikte çalıştığı için paylaşım ve sinerji oluşumuyla zaman ve takım kazançları oluşur. Bu

avantajlar büyük ölçekli ürünlerin üretiminde birden çok işçinin aynı istasyonda çalıştığı montaj hatlarından yararlanılmasına iyi bir neden oluşturur.

#### 4.1 Çok İşçili Hat Dengeleme Problemi İçin Çözüm Algoritmaları

Kullanımı oldukça yaygın olmasına rağmen, literatürde iş istasyonlarında birden fazla işçinin birlikte çalışmakta olduğu büyük ölçekli ürünlerin üretildiği montaj hatlarına yönelik yapılmış çalışma sayısı oldukça kısıtlıdır. Çok işçili montaj hatlarının dengelenmesi konusunda ilgili olarak Sotirios G. Dimitriadis 2005 yılında yapmış olduğu çalışmada sezgisel bir yöntem geliştirmiştir. Birden çok işçinin aynı istasyonda çalıştığı montaj hatları aynı ürün üzerinde birbirlerine yardım ederek çalışan işçilerin bulunduğu modelden farklı olduğuna dikkat edilmelidir. Ayrıca bu model paralel hatlı modelden de işçilerin farklı ürün üzerinde çalışmaması yönüyle ayrılmaktadır.

Dimitriadis'in geliştirmiş olduğu yöntem, çok işçili istasyon yapılı montaj hattı dengeleme probleminin çözümü için konum ağırlığı sıralamasına dayalı sezgisel bir yöntemdir. Bu çalışmada da çok işçili istasyon yapılı montaj hattı dengeleme problemi için Dimitriadis'in sezgisel yöntemine alternatif olarak en büyük aday yöntemi sıralama ölçütüne dayanmakta olan sezgisel bir yöntem geliştirilmiştir. İlerleyen bölümlerde Dimitriadis'in sezgisel yöntemi ve buna alternatif olarak geliştirilen sezgisel tanıtılmış ve her iki yöntem literatür örnekleriyle sınanarak başarı ölçütleri karşılaştırılmıştır.

##### 4.1.1 Literatürden Alınan Sezgisel Yöntem

Dimitriadis sezgiselinde basit montaj hattı dengeleme yaklaşımını çok işçili istasyon yapısına sahip modele uyarlanmıştır. Yaklaşım temel olarak basit montaj hattı dengeleme tekniğini kullanmaktadır. Farklı olarak bir istasyondaki işçi sayısı kadar satır için aynı işlemi tekrar etmektedir. Yaklaşımında sıralama önceliği olarak ise konum ağırlığı yöntemi esas alınmıştır.

Modelde kullanılan simgeler aşağıdaki gibidir (Dimitriadis, 2005):

$W$  : görev sayısı

$t_w$  :  $w$  için görev zamanları



$P_w$  :  $w$  için hemen öncül kümesi

$w = 1, 2, \dots, W$  görev seri no

$t_{enb} = \text{enb}\{t_w, w = 1, \dots, W\}$  en büyük görev zamanı

$N$  : istasyon sayısı

$T$  : çevrim zamanı

$M$  : hattaki toplam işçi sayısı

$m_n$  : aynı  $n$  istasyonunda birlikte çalışmakta olan işçi sayısı

$n = 1, 2, \dots, N$  istasyon seri nosu

$M_{enb}$  her istasyonda müsaade edilen en büyük işçi sayısı

$$THL = \left[ \frac{\sum_{w=1}^W t_w}{T} \right]^+ : \text{Kuramsal olarak hattaki en küçük işçi sayısı,}$$

(  $[x]^+ \Rightarrow x'$  e büyük eşit olan en küçük tamsayı)

$$e = \frac{\sum_{w=1}^W t_w}{M \cdot T} : \text{Hattın denge verimliliği}$$

$f = \frac{N}{M}$  : Yer faydalanma faktörü ( Bu faktör gerekli toplam istasyon sayısının hattaki işçi sayısına oranını vermektedir. “normal hatlarda hattaki işçi sayısı istasyon sayısına eşittir.” Bu oran 1 den  $1/M$  e kadar değerler alabilmektedir).

$S$  : Atanabilir altküme

$L$  : Bir istasyonda bir arada çalışan işçiler kümesi

Modelde her bir görev  $w$ ,  $s$  kümesine ait olduğunda (öncülleri atanmış olduğunda veya öncüllü olmadığında) ve  $S$  kümesine ait görevlerin gerekli toplam tamamlanma süresi çevrim zamanı içinde  $L$  işçilerinin toplam uygun zamanından küçük eşitse, (örn.  $(\sum t_w \leq T \square L)$   $s$  ye ait tüm  $w$  görevler ), görevler alt kümesi  $S$ , aynı ürün üzerinde ve aynı iş istasyonunda bir arada çalışan işçiler kümesi  $L$  ye atanabilir olarak isimlendirilir.

Atanabilir altküme  $S'$  nin, aynı ürün üzerinde ve aynı iş istasyonunda birlikte çalışan işçiler kümesi  $L$  ye başarılı bir ataması,  $S$  alt kümesinin son gerçekleştirilmiş görevinin çevrim zamanı  $T$  içinde gerçekleştirilmesi durumunda gerçekleştirilebilir.  $S$

altkümelerinin L işçi kümelerine atamasındaki işçi başına ortalama boş zaman  $MS_{S-L}$  aşağıdaki şekilde gösterilir (Dimitriadis, 2005):

$$MS_{S-L} = \frac{L * T - \sum_{w \in S} t_w}{L} \quad 3.1$$

Basit montaj hattı dengeleme problemi için, ilk iş istasyonundan başlayan ve istasyon boş zamanını en küçükleyecek şekilde çözümlenebilir görev setlerini her bir iş istasyonuna sırayla atayan bir sezgisel geliştirilmiştir. Özgün yöntem numaralandırma yöntemine dayanmaktadır. Yöntem çevrim zamanını aşmayan bir istasyon için tüm çözümlenebilir, atanabilir altkümeleri üreten bir öncelik matrisi kullanır ve en az boş zaman bırakan görevler arasından bir görevler alt kümesi seçer. Bir kere en iyi altküme belirlendiğinde, ilgili görevler mevcut iş istasyonuna başarıyla atanırlar ve yöntem sıradaki istasyon için tüm görevler atanana kadar tekrar ettirilir. Yöntem mevcut istasyonun tüm çözümlenebilir yüklemeleri incelemek durumunda olduğu için uzun bir hesaplama zamanı gerektirebilir. Bu yüzden mevcut istasyon için belirli miktarda boş zamanın aşılmadığı bir yükleme kabulüyle problem ortalama büyüklüklere indirgenebilir.

Bir istasyon için toplam sıralama uzun bir hesaplama zamanı gerektirdiği için, işçi başına kabul edilebilir bir ortalama boş zaman için bir üst sınır kullanılmıştır. Daha özel olarak işçi başına ortalama boş zaman önceden belirlenmiş boş zaman üst sınırı  $UB_{MS}$ 'ye küçük eşitse, atanabilir S alt kümesinin, aynı ürün üzerinde ve aynı istasyonda çalışan işçiler kümesi L' ye başarılı bir ataması kabul edilebilir denilir. Bu üst sınır, tüm görevlerin hattaki teorik en küçük sayıda işçi sayısı  $THL$ ' ye atandığı zaman, işçi başına ortalama boş zamanın oranı şeklinde hesaplanabilir (Dimitriadis, 2005):

$$UB_{MS} = \theta * \frac{T * THL - \sum_{w=1}^W t_w}{THL} \quad 3.2$$

Boş zamanın kabul edilir oranı, kuramsal en az sayıda istasyon (veya işçi) için toplam müsait boş zamana bağlıdır ve de  $\theta$  parametresiyle kontrol edilebilir. Eğer toplam müsait boş zaman sıfıra eşitse, ( $T \square THL = \sum t_w$ ) denkleminde hesaplanmış kabul edilebilir boş zamanın üst sınırı  $UB_{MS}$  sıfıra eşittir ve büyük ve zorlu

problemlerde aramayı sonlandırmak için önceden düzeltilmiş hesaplama zamanı gerekli olabilir. Bu geliştirme hesaplama zamanının azalmasını sağlamanın yanında istasyonlara atanan iş yükünü de (benzer yükleri istasyonlara atayarak) dengelemiş olur.

Burada sunulan sezgisel yöntem yukarıdaki açıklamalardaki modele dayanarak hazırlanmış ve ayrıca problemimizdeki iki sınırlama durumunun birleşimi olan sezgisel yöntemler üzerine kurulmuştur. Bu iki durum; (a) basit montaj hattı dengeleme problemi, her istasyonda sadece bir işçinin çalışmasına izin verildiği model ve (b) üretim sistemlerinde birden çok paralel benzer makinelerin tekli safha sıralama problemi şeklindeki iş sıralama problemi, belli bir başarıım ölçütünü eniyileyecek iş akış sırasını “tezgahlara gelen işlerin yapılma sırasını” belirlemek olarak tanımlanır (Baksak ve Erol, 2004). Problem ele alınan istasyonda çalışan tüm işçilerin istasyon içerisindeki herhangi bir görevi yapabilmesi kabulüyle tek bir istasyona atandığı durumdur. Bu yüzden sunulan sezgisel iki aşamalı bir yöntemdir. Üst sınır aynı ürün üzerinde ve aynı istasyonda bir arada çalışan işçiler kümesi  $L$ 'ye atanabilir tüm çözümlenebilir görevlerin alt kümesini oluştururken, alt sınır da her işçiye tüm görevleri atama işlevini başarıyla sürdürmektedir.

Daha özel olarak sezgisel, ilk istasyondan başlayarak ve  $L=M_{enb}$  olacak şekilde verilen bir istasyona atanmış işçilerin sayısının her  $L$  muhtemel değeri için atanabilir altkümelerin tüm başarılı atamalarını, önceden düzeltilmiş en büyük çözümlenebilir ürün başına işçi konsantrasyonu  $M_{enb}$  ve 1 arasında üretir. Atanabilir görevlerin altkümesinin bir arada çalışan  $L$  işçi kümesine atanması sıralama metodu kullanılarak yapılır (  $t$  çevrim zamanı ve bir arada çalışan işçi kümesi  $L$  nin sayma yöntemini uygulamak için özel bir sıfır bir üçgensel öncelik matrisi ). Her bir çözümlenebilir atanabilir altkümenin iş içeriği çevrim zamanı  $T$ 'nin işçi sayısı  $L$  ile çarpımını aşmamalıdır. Sezgisel,  $L$  işçilerinin her birine görevleri atayarak ve tüm işin bitmesi için gerekli zaman içinde görevleri çizelgeleyerek ilerler (tek aşamalı sıralama problemi). Eğer son görev çevrim zamanı  $T$  içinde gerçekleşirse  $L$  işçilerine atanacak altküme bulunur. Sezgisel en büyük iş yüküne sahip atanabilir görevler arasından başarılı bir atama yapar (işçi başına ortalama boş zamanı en küçük olan veya işçi başına ortalama boş zamanı belirlenmiş kabul edilebilir boş zaman  $UB_{MS}$  üst sınırına küçük

eşit olan) ve her istasyon için önceden atanmış görevleri dahil etmeyerek tekrar eder. Sezgiselin adımları aşağıdaki gibidir (Dimitriadis, 2005):

Adım 1: Giriş değerlerini belirle, (a) çevrim zamanı  $T$ , (b) bir istasyonda çalışmasına izin verilen en büyük işçi sayısı  $M_{enb}$  ve (c)  $E_q$  tarafından önceden belirlenmiş işçi başına boş zamanın üst sınırı  $UB_{MS}$ . İstasyon numarasını  $n=1$  olarak belirle ve sıradaki adıma geç.

Adım 2: Atanmamış olarak kalan görevleri revize et. İstasyon  $n'$  de aynı ürün üzerinde çalışan işçilerin  $L$  atanmasına başla. İstasyon  $n'$  ye atanan işçilerin sayısının her mümkün değeri için örneğin  $L = M_{enb}, M_{enb} - 1, \dots, 1$ ,  $L$  işçilerine atanabilecek çözümlenebilir  $S$  görevleri kümesini aşağıdaki üç şartı sağlamak şartıyla araştır.

(a) Altküme  $S$  in  $L$  işçi kümesine atanması için işçi başı ortalama boş zaman  $MS_{S-L}$  istasyon kurulurken bulunan en iyi değerden az ise.

(b)  $S$  altkümesi  $n$  istasyonundaki  $L$  işçi kümesine başarıyla atanması  $S$  içindeki son görevin çevrim zamanı içinde tamamlanmışsa, ve

(c)  $S$  altkümesinin atanması kabul edilebilirse ve altküme  $S$  in  $L$  işçi kümesine atanması için işçi başı ortalama boş zaman  $MS_{S-L}$ , önceden belirlenmiş kabul edilebilir boş zaman  $UB_{MS}'$  ye küçük eşitse veya ortalama boş zaman,  $S$  altkümesinin  $n$  istasyonunda tüm çözümlenebilir atanmalarının sayımından sonra en küçükse;

$S$  'nin  $n'$  deki  $L$  işçilerine aşağıdaki adımları içerir:

*Adım 2.1:*  $w'$  lerin öncüller kümesi  $P_{w'}$  nin boş küme olduğu veya önceden atanmış olduğu durum için  $S$  altkümesinden atanabilir tüm görevler  $w'$  nin listesini yapınız,

*Adım 2.2:* En yüksek konum ağırlığı yöntemine göre tüm atanabilir görevlerin listesini sıralayınız (en yüksek ağırlığa sahip yani başlangıçtan bitime kadar en uzun görev süresine sahip ilk görev  $w'$  yi seçmek şeklinde) .

*Adım 2.3:*  $n$  istasyonunda çalışan her bir  $L$  işçisinin iş yüklerini hesapla. Listedeki en küçük iş yüküne sahip işçiye ilk görevi ata, ikinci en az yüke sahip olan işçiye ikinci görevi ata ve listeden atanan görev sayısı  $n$  istasyonundaki  $L$  işçi sayısından fazla olmayıncaya kadar devam et. Eğer listedeki görevlerin sayısı  $L$  işçi sayısından az ise bu görevleri fazla kalan işçileri boş bırakacak şekilde ata.

*Adım 2.4:* n istasyonundaki tüm işçilere S' ye ait tüm görevler atanana kadar adım 2.1 e dön ve tekrar ettir.

*Adım 2.5:* Eğer S' ye ait son görevinde tamamlanması T çevrim zamanı içerisinde tamamlandıysa, S kümesine ait görevlerin atanması başarılı olmuştur.

Yukarıdaki 2.1-2.4 adımları sıralama algoritmasına dayandırılmaktadır. Burada temel fikir en yüksek sıralama önceliğine göre atanabilir görevler listesini sıralamaktır. Bir görevin konum ağırlığı görevin arkasındaki geri kalan görevlerin üzerinden en uzun yol olarak tanımlanır. Diğer deyişle bu algoritma öncelikle kritik yolu tanımlamakta ve ilk uygun işçi üzerine atanacak görevlerin sıralamaktadır. Liste çizelgelemesi olarak adlandırılan bu yaklaşım tasarım eniyilemesinde ve paralel makine çizelgelemeleri yaklaşımlarında geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bu algoritmanın ilk aşaması en yüksek ağırlık yöntemine göre etiketlendirme mekanizmasıdır ve ikinci aşama en küçük yapma problemi için çizelgeleme yöntemidir.

*Adım 3:* Önceki adımdan n istasyonu için çözümü alın ve ( $n=n+1$ ) istasyonu için kalan görevler üzerinden tüm görevler tamamlanana kadar 2. adımı tekrar edin.

#### **4.1.2 En Büyük Aday Küme Ölçütüne Göre Uyarlanan Sezgisel Yöntem**

Bir çözüm yönteminde önemli unsurlardan birisi de çözüme ne kadar pratik ulaşılabildiğidir. Dimitriadis'in yöntemine dayalı olarak geliştirilen yeni yöntemde de bu düşünceden yola çıkılarak problemin çözümünün daha pratik olarak sağlanması için çözüm yönteminde bir değişiklik yapılmıştır.

Dimitriadis'in geliştirmiş olduğu sezgiselde sıralama ölçütü olarak konum ağırlığı yöntemi esas alınmaktadır. Dimitriadis algoritmasında kullanılmakta olan konum ağırlığı sıralama ölçütlerinin hesaplanması problemlerin çözümünde önemli bir yer teşkil etmektedir. Çözümün daha pratik olarak sağlanması amacıyla konum ağırlığı sıralama ölçütü yerine en büyük aday sıralama yöntemi kullanılarak yeni bir sezgisel geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntem temel prensipler olarak Dimitriadis sezgiseliyle aynı olup, sıralama ölçütü olarak konum ağırlığı yerine en yüksek görev zamanı önceliği

ölçütü kullanılmıştır. Yöntemde istasyonlara atama yapılırken atanabilir görev kümesinden en yüksek işlem zamanına sahip olan öncelikle atanacaktır.

Geliştirilen sezgisel yöntemin adımları aşağıdaki gibidir:

*Adım 1:* Giriş değerlerini belirle, (a) çevrim zamanı  $T$ , (b) bir istasyonda çalışmasına izin verilen en büyük işçi sayısı  $M_{enb}$  ve (c) önceden belirlenmiş işçi başına boş zaman üst sınırı  $UB_{MS}$ . İstasyon numarasını  $n=1$  olarak belirle ve sıradaki adıma geç.

*Adım 2:*  $L = M_{enb}$  dan başlamak üzere istasyon  $n'$  de aynı ürün üzerinde çalışan  $L$  adet işçiye görevlerin atanmasına başla.

*Adım 2.1:* Atanabilir görev listesini güncelle (hemen öncül kümesi boş veya zaten atanmış olanlar).

*Adım 2.2:*  $n$  istasyonunda çalışan işçilerin teker teker iş yüklerini hesapla.

*Adım 2.3:* En düşük iş yüküne sahip olan işçiye atanabilir görev kümesinden en yüksek işlem zamanı olanı ata. İkinci düşük iş yüküne sahip olan işçiye en yüksek ikinci işlem zamanı olan görevi ata. Atamaları görevlerin zamanı çevrim zamanını aşana kadar (bir işçiye atanan görevlerin toplam süresi çevrim zamanını aşmamalıdır) veya atanabilir görev listesinde görev kalmayınca kadar sürdür.

Son atamada atanan yüksek iş yüküne sahip görev çevrim zamanını geçiyorsa bir düşük iş yüküne sahip olan görevin atanmasını dene. O da aşarsa bir düşük iş yüküne sahip olan görevi atamayı dene. Bu şekilde atanabilir görev listesindeki görevler bitene kadar atamaya devam et. Görev listesinden çevrim zamanı aşmayan hiçbir görev bulunamazsa hiçbir görev atama ve sonlandır.

*Adım 2.4:* Çevrim zamanını aşmayacak atanabilir bir görev kalmayınca veya görevlerin atanması çevrim zamanını doldurunca işçi başına boş zamanı hesapla. İşçi başına boş zaman, istenen  $UB_{MS}$  değerinin altındaysa  $n+1$ . istasyona geç ve  $L$  değeri için Adım 2' yi baştan tekrarla. Eğer İşçi başına boş zaman, istenen  $UB_{MS}$  değerinin altında değilse  $L-1$  değeri için Adım 2' yi baştan tekrarla.

*Adım 3:* L değerleri içinde en düşük işçi başına ortalama boş zaman değeri olan seç. n istasyonu için çözümlü sakla ve (n=n+1) istasyonu için kalan görevler üzerinden tüm görevler tamamlanana kadar 2. adımı tekrar edin.

Sezgisel için akış diyagramı Ek.10'da verilmiştir.

Anlatılan sezgisel çok işçili montaj hattı dengeleme probleminin çözümü için değişik bir sıralama ölçütüne sahip yeni bir çözüm yöntemidir. Bir sonraki bölümde bahsedilen yeni sıralama ölçütlü sezgiselin literatürde iyi bilinen örneklerle ve Dimitriadis'in çalışmasında uygulamasını yapmış olduğu otomobil tesisi dengelenmesi problemi üzerinden Dimitriadis'in sezgisel yöntemiyle karşılaştırması yapılmıştır.

## BÖLÜM 5

### ÇOK İŞÇİLİ MONTAJ HATTI PROBLEMİ İÇİN SEZGİSEL YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Yeni sıralama ölçütlü yöntemin sınanması amacıyla, önce literatürden alınan tanınmış hat dengeleme problemleri, sonra da Dimitriadis'in çalışmasında uygulamasını gerçekleştirdiği büyük ölçekli bir gerçek tesis problemi olan otomobil problemi hem Dimitriadis Algoritması, hem de önerilen yöntemle çözülmüş ve bu çözümler karşılaştırılmıştır.

#### 5.1 Literatürden Alınan Problemler

Bowman, Jackson, Jaeschke, Merten, Mitchell problemlerinin (Chiang and Urban, 2004)  $L=2$  (bir istasyonda en fazla iki işçinin bir arada çalışabildiği) varsayımı altında her iki yöntemle çözümleri ve sonuçların karşılaştırılması bu bölümde verilmektedir.



Şekil 5.1 : Bowman Problemi Görev Zamanları ve Öncelikler Şeması

Çizelge 5.1: Bowman Problemi için Dimitriadis Algoritması ve Geliştirilen Algoritma ile Çözüm Sonuçları

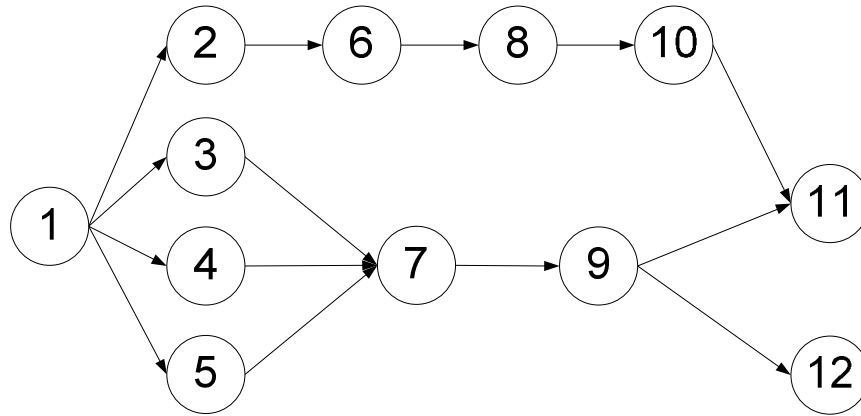
Dimitriadis Algoritmasıyla Çözüm							Önerilen Yöntemle Çözüm							
İstasyon	İşçiler						İstasyon	İşçiler						
1	1	22				Ms 18	1	1	22				Ms 18	
2	1	34				Ms 6	2	1	34				Ms 6	
3	1	16	16	32		Ms 7	3	1	16	16	32	Ms 7		
	2	10	16	40				2	10	16	40			
4	1	20	20	21		Ms 18,5	4	1	20	20	21	Ms 18,5		
	2	6	20	36				2	6	20	36			
Toplam Boş Zaman : 75 dk Toplam İstasyon Sayısı : 4 adet Yer Faydalanma Faktörü : $4/6=66.7\%$ İşçi Sayısı : 6 adet Hat Verimliliği : $(\sum_{w=1}^w t_w)/(M*T) = 165 / 240 = 68.75\%$							Toplam Boş Zaman : 75 dk Toplam İstasyon Sayısı : 4 adet Yer Faydalanma Faktörü : $4/6=66.7\%$ İşçi Sayısı : 6 adet Hat Verimliliği : $(\sum_{w=1}^w t_w)/(M*T) = 165 / 240 = 68.75\%$							



Çevrim zamanı 40 dakika olarak verilen Bowman Probleminin, öncelik ilişkileri ve hat görev zamanları Şekil 5.1’de verilmektedir.

Bowman problemi için Dimitriadis Algoritması ve önerilen yöntemle çözümleri çizelge 5.1’ de karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Çevrim Zamanı = 40 dakika olarak verilen Jackson Probleminin, öncelik ilişkileri ve hat görev zamanları Şekil 5.2’de verilmektedir.



Görev No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Görev Zamanı	12	4	10	14	2	4	6	12	10	10	8	9

Şekil 5.2 : Jackson Problemi Görev Zamanları ve Öncelikler Şeması

Çizelge 5.2: Jackson Problemi için Dimitriadis Algoritması ve Geliştirilen Algoritma ile Çözüm Sonuçları

Dimitriadis Algoritmasıyla Çözüm										
İstasyon	İşçiler									Ms
1	1	12	26	36						4
		1	4	3						
2	1	4	6	10	16	28	38			2
		2	5	6	7	8	9			
3	2	10	18	27						13
		10	12	11						

Toplam Boş Zaman : 19 dk

Toplam İstasyon Sayısı : 3 adet

Yer Faydalanma Faktörü :  $3/3=100\%$

İşçi Sayısı : 3 adet

Hat Verimliliği :

$$(\sum_{w=1}^w t_w)/(M*T) = 101 / 120 = 84.17\%$$

Önerilen Algoritmayla Çözüm										
İstasyon	İşçiler									Ms
1	1	12	26	36						4
		1	4	3						
2	1	4	6	10	22	32	38			2
		2	5	6	8	10	7			
	2	10	19	27						13
		9	12	11						

Toplam Boş Zaman : 19 dk

Toplam İstasyon Sayısı : 3 adet

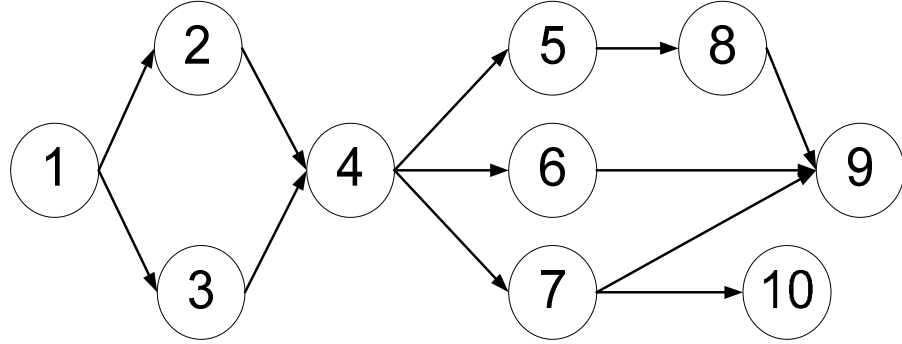
Yer Faydalanma Faktörü :  $3/3=100\%$

İşçi Sayısı : 3 adet

Hat Verimliliği :

$$(\sum_{w=1}^w t_w)/(M*T) = 101 / 120 = 84.17\%$$

Jackson problemi için Dimitriadis Algoritması ve önerilen yöntemle çözümleri Çizelge 5.2’de karşılaştırmalı olarak verilmektedir.



<b>Görev No</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Görev Zamanı</b>	20	12	16	20	16	20	4	16	24	16

Şekil 5.3 : Jaeschke Problemi Görev Zamanları ve Öncelikler Şeması

Çizelge 5.3: Jaeschke Problemi için Dimitriadis Algoritması ve Geliştirilen Algoritma ile Çözüm Sonuçları

Dimitriadis Algoritmasıyla Çözüm					
İstasyon	İşçiler				Ms
1	1	20	36		4
		1	3		
2	1	12	32	36	4
		2	4	7	
3	2	16	36		4
		5	6		
4	1	16	40		12
		8	9		
	16				
	10				

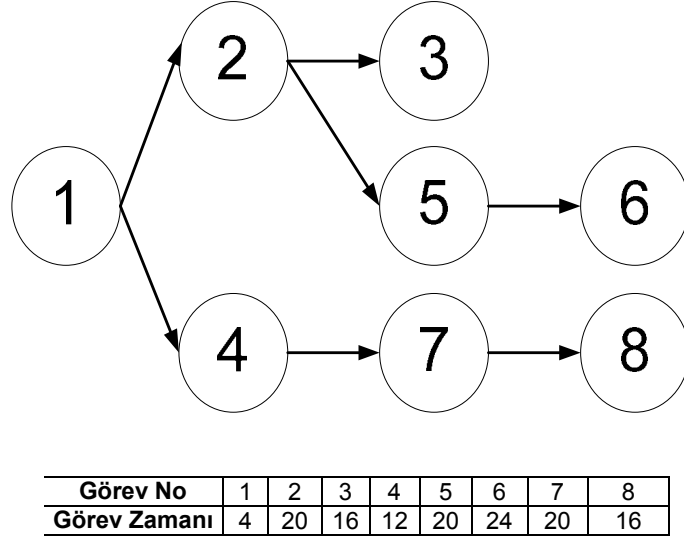
Toplam Boş Zaman : 24 dk  
 Toplam İstasyon Sayısı : 4 adet  
 Yer Faydalanma Faktörü :  $4/5=80\%$   
 İşçi Sayısı : 5 adet  
 Hat Verimliliği :  
 $(\sum_{w=1}^w t_w)/(M*T) = 164 / 200 = 82\%$

Önerilen Algoritmayla Çözüm					
İstasyon	İşçiler				Ms
1	1	20	36		4
		1	3		
2	1	12	32	36	4
		2	4	7	
3	2	20	36		4
		6	5		
4	1	16	40		12
		8	9		
	16				
	10				

Toplam Boş Zaman : 24 dk  
 Toplam İstasyon Sayısı : 4 adet  
 Yer Faydalanma Faktörü :  $4/5=80\%$   
 İşçi Sayısı : 5 adet  
 Hat Verimliliği :  
 $(\sum_{w=1}^w t_w)/(M*T) = 164 / 200 = 82\%$

Jaeschke problemi için Dimitriadis Algoritması ve önerilen yöntemle çözümleri Çizelge 5.3’de karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Çevrim Zamanı = 40 dakika olarak verilen Merten Probleminin, öncelik ilişkileri ve hat görev zamanları Şekil 5.4’de verilmektedir.



Şekil 5.4 : Merten Problemi Görev Zamanları ve Öncelikler Şeması

Çizelge 5.4: Merten Problemi için Dimitriadis Algoritması ve Geliştirilen Algoritma ile Çözüm Sonuçları

Dimitriadis Algoritmasıyla Çözüm					
İstasyon	İşçiler				Ms
1	1	4	24	40	4
		1	2	3	
	2	4	16	36	
		x	4	7	
2	1	20	36		4
		5	8		
3	1	24			16
		6			

Toplam Boş Zaman : 28 dk

Toplam İstasyon Sayısı : 3 adet

Yer Faydalanma Faktörü :  $3/4=75\%$

İşçi Sayısı : 4 adet

Hat Verimliliği :

$$(\sum_{w=1}^w t_w)/(M*T) = 132/ 160 = 82.5 \%$$

Önerilen Algoritmayla Çözüm					
İstasyon	İşçiler				Ms
1	1	4	24	40	0
		1	2	3	
2	1	20	32		8
		5	4		
3	1	24			20
		6			
	2	20	36		
		7	8		

Toplam Boş Zaman : 28 dk

Toplam İstasyon Sayısı : 3 adet

Yer Faydalanma Faktörü :  $3/4=75\%$

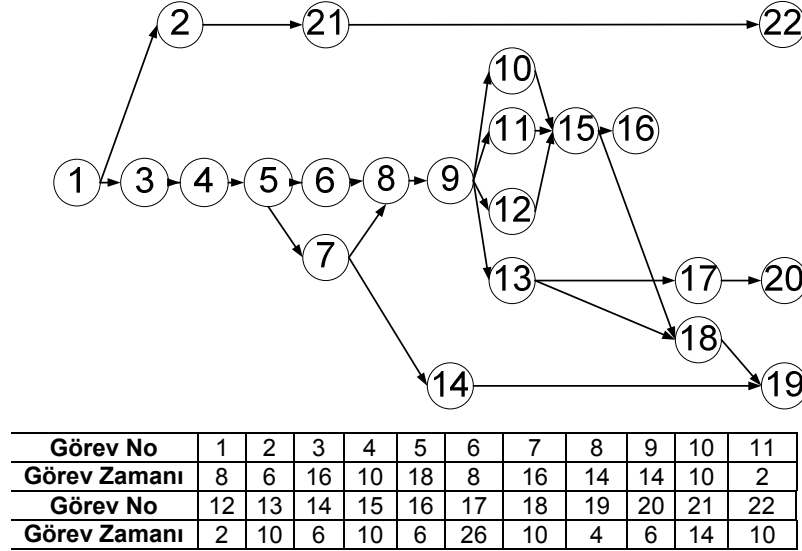
İşçi Sayısı : 4 adet

Hat Verimliliği :

$$(\sum_{w=1}^w t_w)/(M*T) = 132/ 160 = 82.5 \%$$

Merten problemi için Dimitriadis Algoritması ve önerilen yöntemle çözümleri Çizelge 5.4’de karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Çevrim Zamanı = 40 dakika olarak verilen Mitchell Probleminin, öncelik ilişkileri ve hat görev zamanları Şekil 5.5’de verilmektedir.



Şekil 5.5 : Mitchell Problemi Görev Zamanları ve Öncelikler Şeması

Mitchell problemi için Dimitriadis Algoritması ve önerilen yöntemle çözümleri Çizelge 5.5’de karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Çizelge 5.5: Mitchell Problemi için Dimitriadis Algoritması ve Geliştirilen Algoritma ile Çözüm Sonuçlar

Dimitriadis Algoritmasıyla Çözüm							
İstasyon	İşçiler						
1	1	8	24	34			Ms 6
		1	3	4			
2	1	18	34	40			Ms 1
		5	7	14			
	2	6	20	28	38		
		2	21	6	22		
3	1	14	24	30	40		Ms 1
		8	9	11	13		
	2		24	26	28	38	
		x	x	10	12	15	
4	1	6	32	38			Ms 14
		16	17	20			
	2	10	14				
		18	19				

Toplam Boş Zaman : 38 dk

Toplam İstasyon Sayısı : 4 adet

Yer Faydalanma Faktörü :  $4/7=57.1\%$

İşçi Sayısı : 7 adet

Hat Verimliliği :  $(\sum_{w=1}^w t_w)/(M*T) = 218/280 = 77.85\%$

Önerilen Algoritmayla Çözüm								
İstasyon	İşçiler							
1	1	8	24	34			Ms 6	
		1	3	4				
2	1	18	34	40			Ms 1	
		5	7	14				
	2	6	20	30	38			
		2	21	22	6			
3	1	14	24	34	40		Ms 0	
		8	9	13	11			
4	1	2	4	14	24	30	34	Ms 6
		10	12	15	18	16	19	
5	1	26	32				Ms 8	
		17	20					

Toplam Boş Zaman : 28 dk

Toplam İstasyon Sayısı : 5 adet

Yer Faydalanma Faktörü :  $5/6=83.3\%$

İşçi Sayısı : 6 adet

Hat Verimliliği :  $(\sum_{w=1}^w t_w)/(M*T) = 218/240 = 90.83\%$

## 5.2 Otomobil Üretim Tesisi Problemi

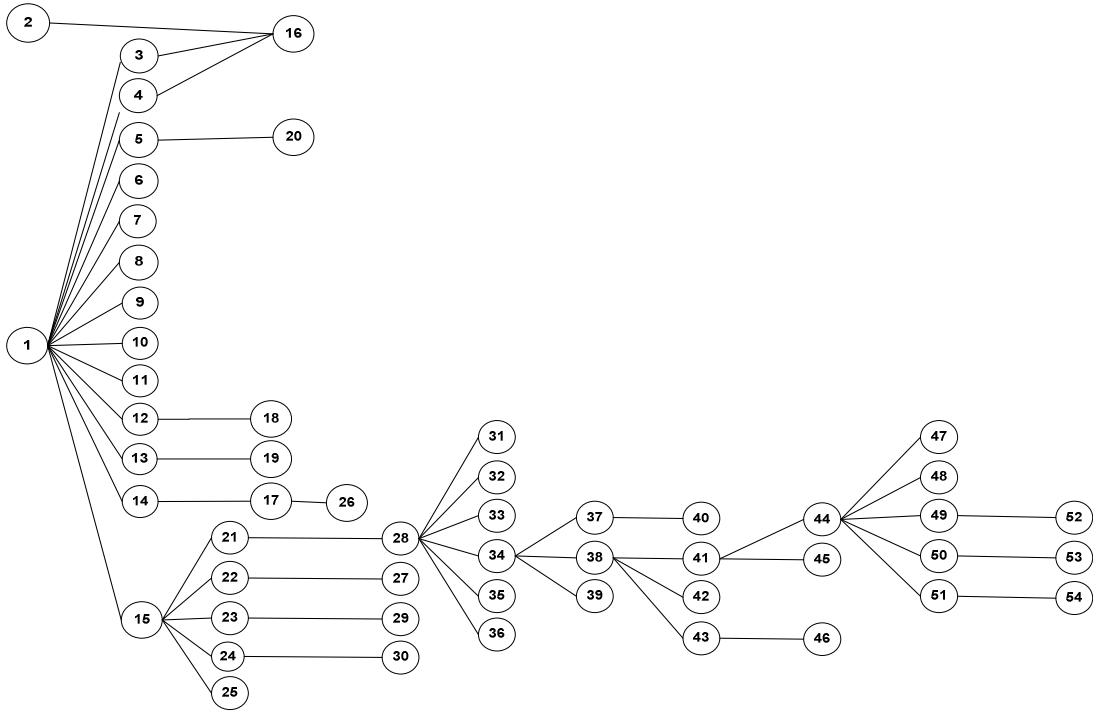
Dimitriadis çalışmasında çok işçili montaj hattı dengelenmesi probleminin çözümü için kendi geliştirmiş olduğu sezgisel yöntemi gerçek bir otomobil üretim tesisi problemi için uygulamıştır. Bu bölümde önerilen sezgisel Dimitriadis'in çalışmasında uygulamış olduğu probleme uygulanarak Dimitriadis'in yöntemiyle geliştirilen yöntemin sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu yolla Dimitriadis'in uygulaması için geliştirilen yöntemin sonuçları görülmüştür.

Otomobil üretim tesisinin üretim hattında 64 adet görev mevcuttur. Tesis yapı olarak büyük kitlede bir ürünün imalatının yapılmakta olduğu bir tesistir. Tesiste temel olarak alan sıkıntısı çekilmekte olup istasyonların dengelenmesi gerçekleştirilirken mevcut alandan da en iyi şekilde verimli olarak faydalanılmak istenmektedir.

Montaj hattının çevrim zamanı gerçekleştirilmesi istenen üretim düzeyi esas alınarak 90 dk olarak belirlenmiştir. Montaj hattının öncelik ilişkileri, görev zamanları çizelgesi ve iş akış diyagramı çizelge 5.6 ve şekil 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6 : Otomobil Problemi Görev Zamanları ve Öncelikler Çizelgesi

Görev No	Zaman (Dk)	Hemen Öncüller			Görev No	Zaman (Dk)	Hemen Öncüller		
1	31.99	-	-	-	33	33.99	28	-	-
2	4.4	-	-	-	34	5.5	28	-	-
3	13.72	1	-	-	35	5.5	28	-	-
4	16.02	1	-	-	36	12.38	28	-	-
5	12.51	1	-	-	37	7.7	34	-	-
6	10.12	1	-	-	38	17.6	34	-	-
7	9.35	1	-	-	39	7.21	34	-	-
8	5.5	1	-	-	40	5.5	37	-	-
9	3.3	1	-	-	41	9.92	38	-	-
10	17.13	1	-	-	42	12.1	38	-	-
11	5.72	1	-	-	43	8.8	25	38	-
12	7.87	1	-	-	44	10.78	41	-	-
13	12.51	1	-	-	45	2.2	41	-	-
14	7.57	1	-	-	46	8.42	43	-	-
15	11.66	1	-	-	47	5.5	44	-	-
16	8.09	2	3	4	48	4.4	44	-	-
17	11.48	14	-	-	49	1.65	44	45	-
18	8.8	12	-	-	50	8.8	44	-	-
19	10.18	13	-	-	51	7.61	44	-	-
20	10.18	5	-	-	52	7.44	49	-	-
21	5.5	15	-	-	53	7.43	50	-	-
22	8.8	15	-	-	54	10.02	51	-	-
23	8.47	15	-	-	55	26.84	-	-	-
24	8.47	15	-	-	56	9.59	-	-	-
25	6.05	15	-	-	57	7.39	-	-	-
26	10.23	17	-	-	58	20.66	-	-	-
27	13.26	22	-	-	59	5.5	-	-	-
28	16.5	21	-	-	60	10.73	-	-	-
29	15.79	23	-	-	61	3.3	-	-	-
30	15.79	24	-	-	62	6.41	-	-	-
31	18.36	28	-	-	63	4.62	-	-	-
32	7.7	28	-	-	64	8.42	-	-	-



Şekil 5.6 : Otomobil İmalat Hattı İş Akış Şeması

### 5.2.1 Literatürden Alınan Sezgisel Yöntemle Problemin Çözümü

Verilenler ışığında otomobil problemi için Dimitriadis'in çözümü Çizelge 5.7' de verilmiştir.

Çizelge 5.7 : Dimitriadis Yöntemine Göre Otomobil Probleminin Çözüm Sonuçları

#### Otomobil Problemi Sezgisel Sonuçlar

Görev Sayısı	64	Çevrim Zamanı (dk)	90
Öncelik Kısıtı Sayısı	56	Görev Zamanları Toplamı (dk)	656.93
İstasyon Başına En Fazla İşçi Sayısı	2		

İş İstasyonu	İşçi	Görevler (i)												Boş Zaman
		1	4	5	7	11	8	9	61	-	-	-	-	
1	1	1	4	5	7	11	8	9	61	-	-	-	-	2.31
	2	55	10	3	6	12	63	2	-	-	-	-	-	5.3
2	3	15	18	22	27	16	25	19	20	56	-	-	-	3.39
	4	14	17	26	23	24	13	21	28	32	-	-	-	1.57
3	5	33	31	57	35	37	41	40	-	-	-	-	-	1.64
	6	29	30	36	34	38	42	39	45	-	-	-	-	1.43
4	7	43	44	46	47	48	49	50	51	52	53	54	59	3.65
5	8	58	60	62	64	-	-	-	-	-	-	-	-	43.78

Toplam Boş Zaman (dk)	63.07	İşçi Sayısı	8
Toplam İstasyon Sayısı	5	İstasyon Sayısı	5
Yer Fayda Faktörü	62.50%	Verimlilik	91.24%

## 5.2.2 En Büyük Aday Küme Ölçütüne Göre Uyarlanan Sezgisel Yöntemle

### Problemin Çözümü

Geliştirilen sezgisel yöntemine göre otomobil probleminin çözüm adımları aşağıda verilmiştir.

Adım 1 : Giriş verilerinin belirlenmesi.

Çevrim Zamanı:  $T = 90$  dk

Bir İstasyonda İzin Verilen En Büyük İşçi Sayısı:  $M_{enb} = 2$  işçi

Hattaki Kuramsal En Küçük İşçi Sayısı:  $[\sum_{w=1}^w t_w / T]^+ = [\sum_{w=1}^{64} t_w / T]^+ = [656.93/90]^+ = 8$  işçi

$UB_{ms} = \Phi \times (T \times THL - \sum_{w=1}^w t_w) / THL = 0.5 \times (90 \times 8 - 656.93) / 8 = 3.94$  dk

Adım 2 :Atamaların yapılması.

1. Atamanın sonuçları aşağıdaki gibidir:

$L=2$  için;

Atanabilir görev listesi (Öncülleri atanmış olanlar veya boş olanlar)

$S = \{1,2,55,56,57,58,59,60,61,62,63,64\} \Rightarrow$

$T_i = \{31.99, 4.40, 26.84, 9.59, 7.39, 20.66, 5.5, 10.73, 3.3, 6.41, 4.62, 8.42\}$

En büyük görev zamanına sahip olan 31.99 dk ile 1 görevidir. 1 görevini en az yüke sahip olan işçiye ata. Bu sırayla kurallara göre atamalar yapılırca Çizelge 5.8 deki sonuçlar elde edilir.

Çizelge 5.8: Otomobil Problemi Geliştirilen Sezgisel Yöntem 1. Atama

İşçiler	Görevler				
	1	31.99	43.12	62.84	73.35
1		10	3	5	15
2	26.84	47.5	63.52	76.03	86.76
	55	58	4	13	60

Çizelgedeki sonuca göre ortalama işçi başına düşen boş zaman,

$Ms_{s-2} = (180 - 173.77) / 2 = 3.12 \Rightarrow 3.12 \leq Ub_{ms} (3.94)$  olarak bulunmuştur.

2. Atama:

$L=2$  için,

Atanabilir görev listesi S aşağıdaki gibidir:

$S = \{2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,19,21,22,23,24,25,56,57,58,59,60,61,62,63,64\}$

Atamaya 19. görevle başlanır ve kurallara göre atama yapılır. 2. atamanın sonuçları Çizelge 5.9'daki gibidir.

Çizelge 5.9: Otomobil Problemi Geliştirilen Sezgisel Yöntem 2. Atama

İşçiler	Görevler									
	1	10.18	20.3	29.1	42.36	50.83	66.62	74.19	82.06	88.11
19		6	22	27	23	29	64	14	25	
2	10.18	19.77	29.12	37.59	53.38	61.25	70.05	77.44	83.85	89.57
	20	56	7	24	30	12	18	57	62	11

Çizelgedeki sonuca göre ortalama işçi başına düşen boş zaman,

$$Ms_{s-2} = (180-177.68)/2 = 1.16 \Rightarrow 1.16 \leq Ub_{ms} (3.94) .$$

3. Atama :

L=2 için, atanabilir görev listesi S aşağıdaki gibidir:

$$S = \{2,3,4,5,8,9,10,13,15,17,21,23,24,58,59,60,61,63\}$$

Atamaya 17. görevle başlanır ve kurallara göre atama yapılır. 3. atamanın sonuçları Çizelge 5.10' daki gibidir.

Çizelge 5.10: Otomobil Problemi Geliştirilen Sezgisel Yöntem 3. Atama

İşçiler	Görevler							
	1	11.48	21.71	55.7	63.4	68.9	76.6	86.52
17		26	33	32	35	37	41	9
2	5.5	22	40.36	52.74	58.24	75.84	87.94	
	21	28	31	36	34	38	42	

Çizelgedeki sonuca göre ortalama işçi başına düşen boş zaman,

$$Ms_{s-2} = (180-177.76)/2 = 1.2 \Rightarrow 1.12 \leq Ub_{ms} (3.94) .$$

4. Atama :

L=2 için, atanabilir görev listesi S:

$$S = \{2,3,4,5,8,10,13,15,23,24,39,40,43,44,45,58,59,60,61,63\}$$

Atamaya 44. görevle başlanır ve kurallara göre atama yapılır. 4. atamanın sonuçları Çizelge 5.11' de verilmiştir.

Çizelgedeki sonuca göre ortalama işçi başına düşen boş zaman,

$Ms_{s-2} = (180-127.17)/2 = 26.42 \Rightarrow 26.42 \geq Ub_{ms} (3.94)$  şeklindedir ve değer üst sınırdan büyük olduğu için uygun atama değildir denilir ve L=1 değeri için yeni atama yapılır.



Çizelge 5.11: Otomobil Problemi Geliştirilen Sezgisel Yöntem 4. Atama I( Uygun değildir).

İşçiler	Görevler										
	1	10.78	19.58	27.01	34.22	39.72	45.22	49.84	54.24	56.44	58.09
44		50	53	39	47	40	63	48	45	49	52
2	8.8	17.22	24.83	34.85	40.35	45.85	50.25	58.34	61.64		
	43	46	51	54	8	59	2	16	61		

L=1 için, 4. atamanın sonuçları Çizelge 5.12'deki gibidir.

Çizelge 5.12 : Otomobil Problemi Geliştirilen Sezgisel Yöntem 4. Atama II

İşçiler	Görevler											
	1	10.78	19.58	28.38	36.8	44.41	54.43	61.86	69.07	74.57	80.07	85.57
44		43	50	46	51	54	53	39	47	8	40	2

Çizelgedeki sonuca göre ortalama işçi başına düşen boş zaman,

$M_{s-1} = (90-89.97)/1 = 0.03 \Rightarrow 0.03 \leq U_{b_{ms}} (3.94)$  şeklindedir ve atama uygundur.

5.Atama :

L=2 için atamanın iyi olmayacağı gözükmemektedir. Bu sebeple atamanın doğrudan L=1 için gerçekleştirilmesi uygun görülmektedir. L=1 için atanabilir görev listesi S :

$$S = \{16, 45, 48, 49, 59, 63\}$$

Atamaya 16. görevle başlanır ve kurallara göre atama yapılır. 5. atamanın sonuçları çizelge 5.13'deki gibidir.

Çizelge 5.13: Otomobil Problemi Geliştirilen Sezgisel Yöntem 5. Atama

İşçiler	Görevler							
	1	8.09	13.59	18.21	22.61	25.91	28.11	29.76
16		59	63	48	61	45	49	52

Atamalar sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 5.14'de toplu olarak verilmektedir.

Çözüm sonucunda elde edilen başarımlar aşağıdaki gibidir:

Toplam Boş Zaman : 58.225 dk

Toplam İstasyon Sayısı : 5 adet

Yer Faydalanma Faktörü :  $5/8=62.5\%$

İşçi Sayısı : 8 adet

Hat Verimliliği :  $(\sum_{w=1}^w t_w)/(M*T) = 661.775 / 720 = 91.91\%$

Çizelge 5.14: Otomobil Probleminin Geliştirilen Algoritmaya Göre Çözüm Sonuçları

İstasyon	İşçiler	Görevler										MS		
		31.99	43.12	62.84	73.35	87.01								
1	1	1	10	3	5	15							3.12	
		26.84	47.5	63.52	76.03	86.76								
	2	55	58	4	13	60								
2	1	10.18	20.3	29.1	42.36	50.83	66.62	74.19	82.06	88.11			1.16	
		19	6	22	27	23	29	64	14	25				
	2	10.18	19.77	29.12	37.59	53.38	61.25	70.05	77.44	83.85	89.57			
	20	56	7	24	30	12	18	57	62	11				
3	1	11.48	21.71	55.7	63.4	68.9	76.6	86.52	89.82			1.12		
		17	26	33	32	35	37	41	9					
	2	5.5	22	40.36	52.74	58.24	75.84	87.94						
	21	28	31	36	34	38	42							
4	1	10.78	19.58	28.38	36.8	44.41	54.43	61.86	69.07	74.57	80.07	85.57	89.97	0.03
		44	43	50	46	51	54	53	39	47	8	40	2	
5	1	8.09	13.59	18.21	22.61	25.91	28.11	29.76	37.2				52.8	
		16	59	63	48	61	45	49	52					

### 5.2.3 Sonuçların Karşılaştırılması

Literatür problemleri Dimitriadis'in sezgisel yöntemi ve geliştirilen sezgisel yöntemle çözümlenerek sezgisellerin sınanması gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Dimitriadis'in çalışmasında sunduğu otomobil problemi için Dimitriadis'in yönteminin çözümüyle geliştirilmiş olan alternatif algoritmanın çözüm sonuçlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Bu şekilde sezgisel yöntemlerin problemler için vermiş olduğu başarımlar ölçütleri karşılaştırılmıştır. Sezgisellerin literatür problemleri için vermiş oldukları sonuçlar Çizelge 5.15 ve Çizelge 5.16' da verilmiştir.

Çizelge 5.15: Dimitriadis Sezgiseli için Literatür Problemleri Karşılaştırılması

DIMITRIADIS SEZGİSELİ						
Problem	Görev Sayısı	Çevrim Zamanı (dk)	İstasyon Sayısı	İşçi Sayısı	Hat Verimliliği (%)	Yer Fayda Oranı (%)
Bowman	10	40	4	6	68.75	66.7
Jackson	12	40	3	3	84.17	100
Jaeschke	10	40	4	5	82	80
Merten	8	40	3	4	82.5	75
Mitchell	22	40	4	7	77.85	57.1

Çizelge 5.16: Alternatif Sezgisel için Literatür Problemleri Karşılaştırılması

ALTERNATİF SEZGİSEL						
Problem	Görev Sayısı	Çevrim Zamanı (dk)	İstasyon Sayısı	İşçi Sayısı	Hat Verimliliği (%)	Yer Fayda Oranı (%)
Bowman	10	40	4	6	68.75	66.7
Jackson	12	40	3	3	84.17	100
Jaeschke	10	40	4	5	82	80
Merten	8	40	3	4	82.5	75
Mitchell	22	40	5	6	90.83	83.3

Dimitriadis'in otomobil problemi için iki sezgisel yöntemin sunmuş oldukları sonuçlar Çizelge 5.17' de verildiği gibidir.

Çizelge 5.17: Otomobil Problemi için Dimitriadis Algoritması ve Geliştirilen Algoritma Sonuçlarının Karşılaştırılması

	<b>Geliştirilen Algoritma</b>	<b>Dimitriadis Algoritması</b>
<b>Toplam Boş Zaman</b>	58.225	63.07
<b>Toplam İstasyon</b>	5	5
<b>Yer Fayda Faktörü</b>	62,5	62.5
<b>İşçi Sayısı</b>	8	8
<b>Hat Verimliliği</b>	91.91	91.24

Otomobil problemi için sonuçları değerlendirdiğimizde iki metodun da çözüm için aynı sayıda istasyon için çözüm sunduğu görülmektedir. Diğer bir değişle iki algoritma için de % 62,5' luk bir yer faydalanma oranı sağlanmıştır. Bu basit montaj hattı dengeleme yaklaşımına göre % 37,5 oranında yerden kazanç anlamına gelmektedir.

Toplam boş zaman ve verimlilikler karşılaştırıldığında da alternatif algoritmanın sunmuş olduğu çözümün Dimitriadis'in yönteminin verdiği sonuca göre hat verimliliği ve boş zaman performans kriterleri açısından daha iyi sonuç verdiği görülmektedir; toplam boş istasyon zamanında  $63.05 - 58.225 = 4.825$  saniyelik bir iyileşme ve verimlikte  $\% 91,91 - \% 91.24 = \% 0.67$  lik bir artış söz konusudur .

Literatür örnekleri için çizelgelerdeki sonuçlarda görüldüğü gibi geliştirilen sezgisel başarımlı ölçütü olan hat verimliliği ve yer fayda oranları açısından Dimitriadis'in sezgisel yöntemine göre eşit veya daha iyi sonuçlar vermektedir. Ayrıca geliştirilen sezgisel Dimitriadis'in yöntemiyle karşılaştırıldığında, sıralama ölçütü olarak konum ağırlıkları yöntemi yerine en büyük aday yöntemi kullanmakta olduğu için konum ağırlıklarının hesaplanma gereğinin ortadan kalkmasından dolayı daha kısa zamanda çözüme ulaşmaktadır. Başarımlı ölçütlerinde daha iyi sonuçlar yakalayan ve daha kısa zamanda çözüme ulaşması açısından geliştirilen sezgisel yöntem Dimitriadis'in yöntemine göre ön plana çıkmaktadır.

## BÖLÜM 6

### BOJİ ŞASESİ İMALAT HATTI DENGELENMESİ'NDE GELİŞTİRİLEN SEZGİSEL YÖNTEMİN UYGULAMASI

Boji çeken ve çekilen demiryolu araçlarının tekerlek aksamını tutan ve aracın yükünü taşıyan temel bir bileşendir. Boji şasesi de boji parçalarını tutan çerçeve olup bojinin temel çatısını oluşturmaktadır.

Bu çalışmada ele alınan vagon bojileri Eskişehir Tülomsaş tesisleri vagon fabrikası bünyesinde boji üretim atölyesinde üretilmekte ve boji şasesinin çatımı da boji şasesi üretim hattında gerçekleştirilmektedir.

Boji şasesi temel olarak aşağıdaki unsurlardan oluşmaktadır:

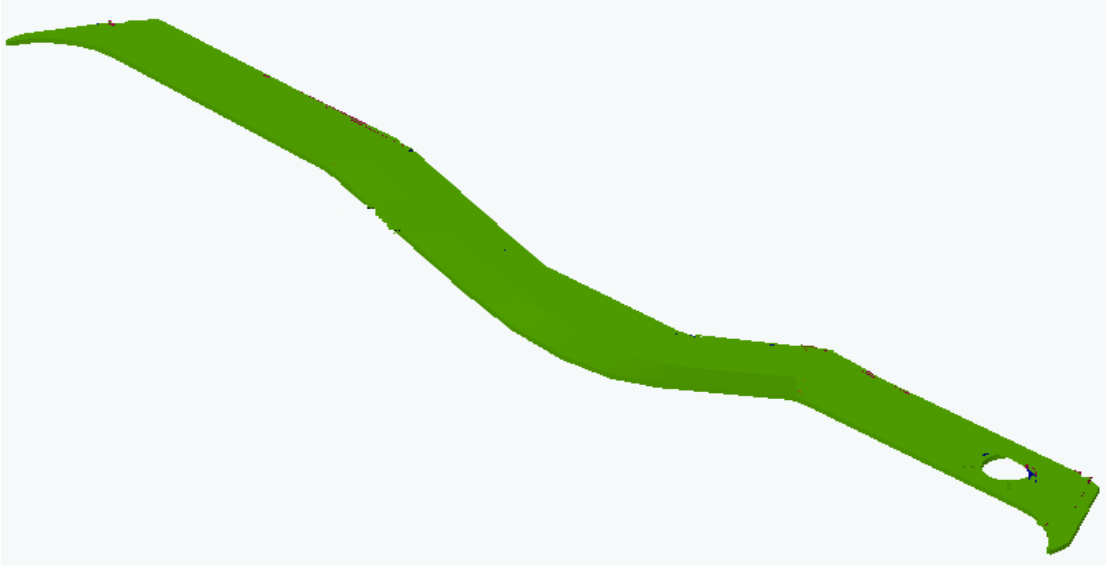
- i. Yan Kirişler
- ii. Orta Travers
- iii. Bağlantı Kirişleri
- iv. Alın Kirişleri
- v. Susta taşıyıcıları

#### 6.1 Boji Şasesi Mevcut Üretim Süreci ve Karşılaşılan Problemler

Mevcut boji şasesi imalat hattı yan kirişler, bağlantı kirişleri , orta travers çatımı ve genel şasi çatımı (yan kirişler, bağlantı kirişleri, alın kirişleri ve orta traversin birleştirilmesi) istasyonlarından oluşmaktadır. İki adet yan kiriş üretim istasyonu (sol ve sağ yan kiriş üretim istasyonları), iki adet bağlantı kirişi üretim istasyonu (teyyareli ve teyyaresiz bağlantı kirişi üretim istasyonları), bir adet orta travers üretim istasyonu ve bir adette genel çatma istasyonu olmak üzere altı adet istasyon bulunmaktadır. Ek 3, Ek 4, Ek 5 ve Ek 6'da istasyonlardaki üretim aşamalarının akış çizim ve görev zamanları verilmiştir. Tülomsaş'da boji şasesi imalatı süreci aşağıda ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

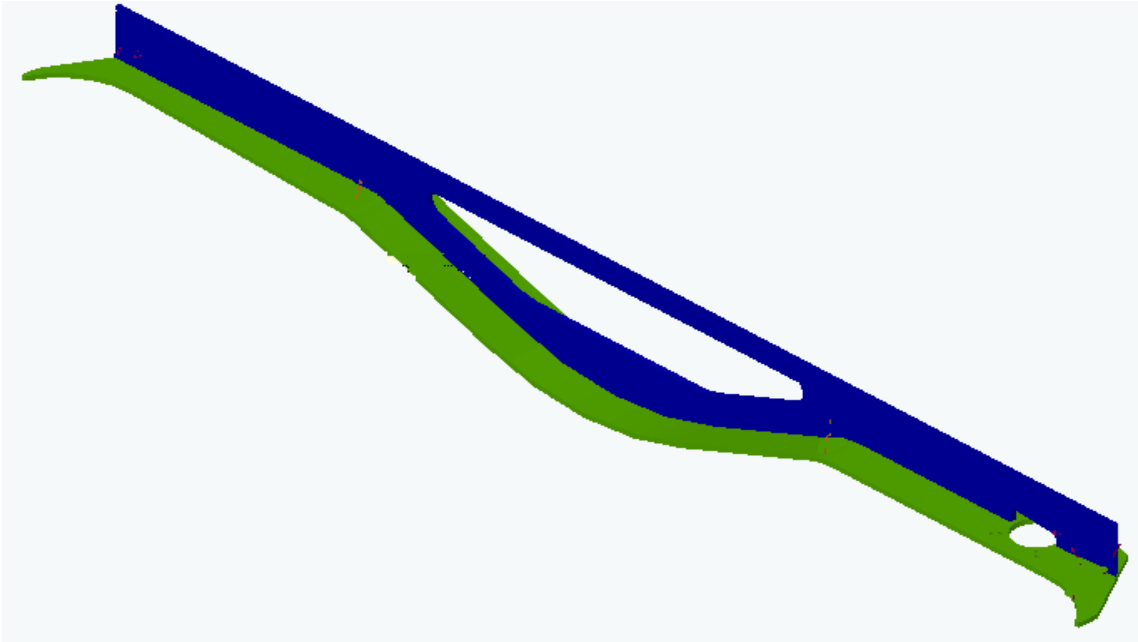
#### Yan kirişlerin (yanak) çatımı ve kaynağı:

- Alt plaka (kambur) standı alınır.

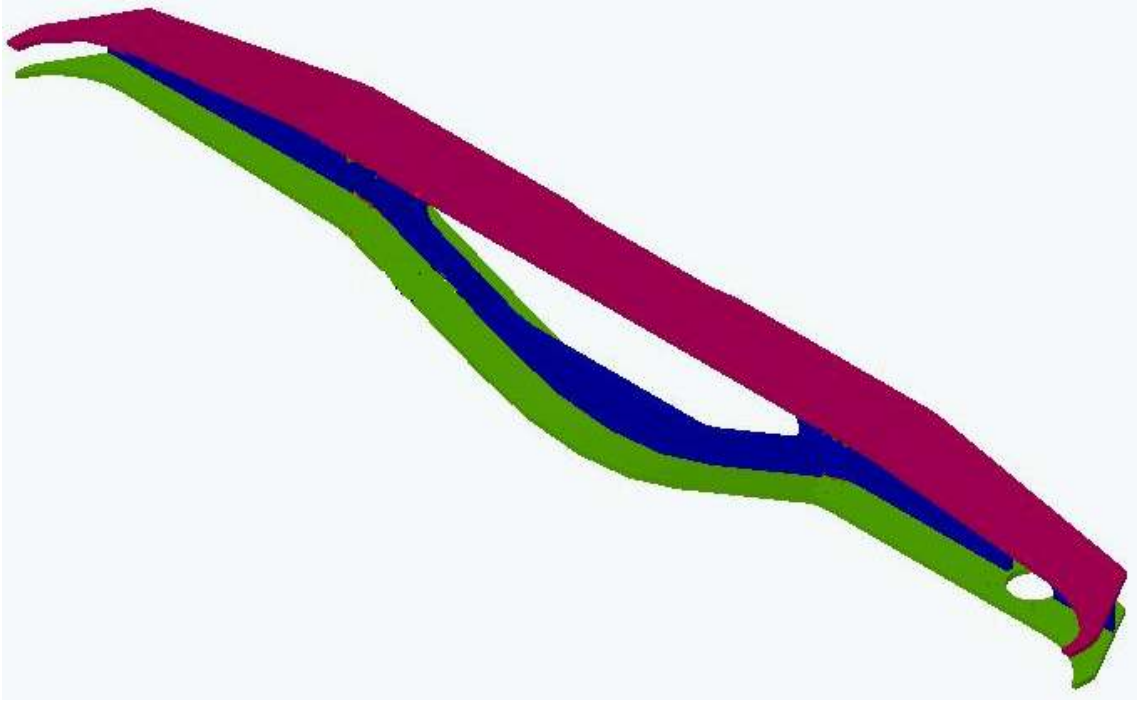


Şekil 6.1: Yan Kiriş Alt Plaka

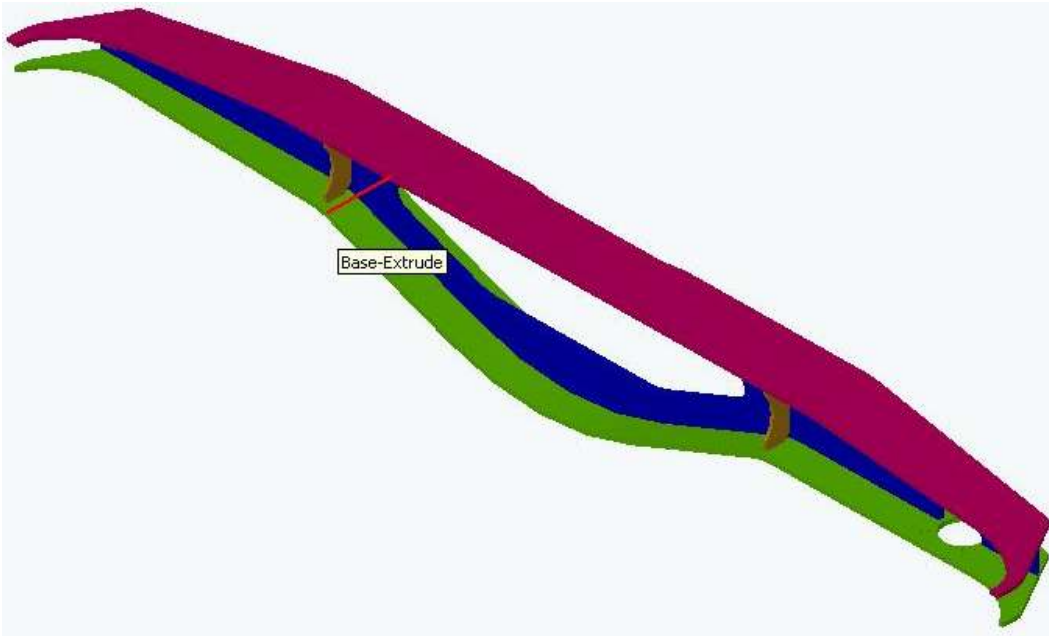
- Yan plaka (180 delikli) alt plaka üzerine montaj edilir.
- Üst plaka monte edilir.
- Yan kiriş üzerinde bulunması gereken 4 adet takviye yerlerine monte edilir.
- Kaynağı biten yan kiriş stok alanına alınır.



Şekil 6.2: Yan Kiriş Yan Plakasının Alt Plakaya Montajı



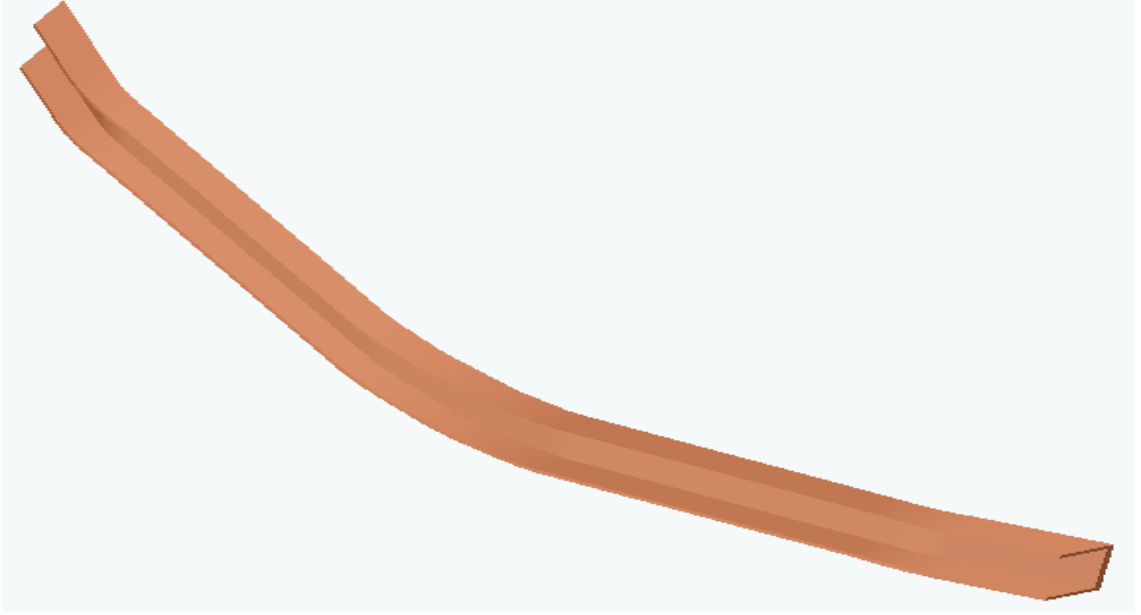
Şekil 6.3: Yan Kiriş Üst Plakası Montajı



Şekil 6.4: Yan Kiriş

**Alın kirişi imalatı:**

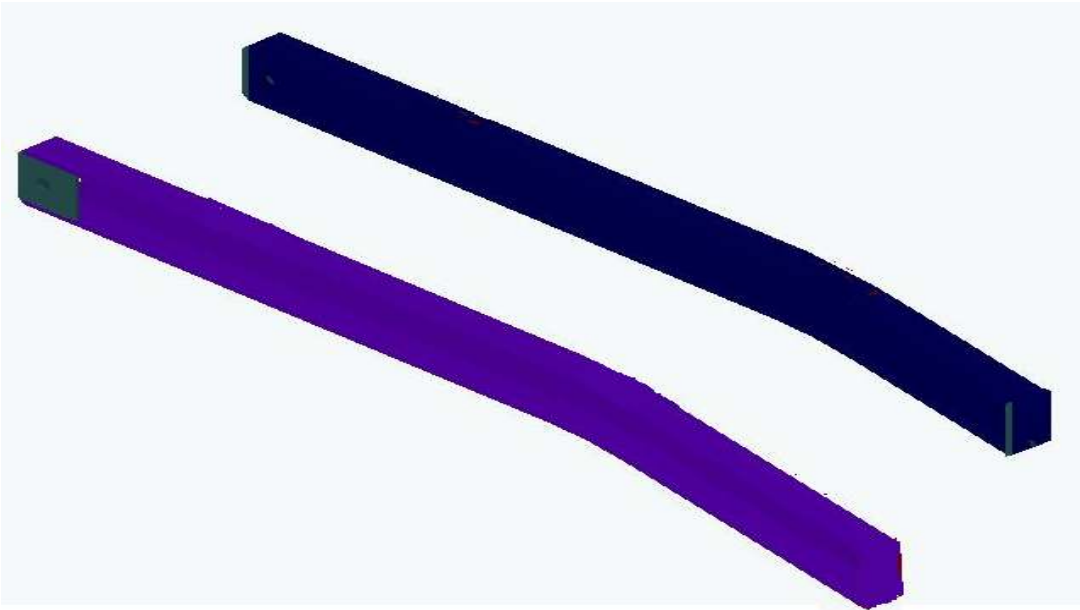
- Bükülmüş olarak gelen alın kirişi kolaylık üzerine alınır. Bir boji şasesinde 2 adet alın kirişi bulunur.



Şekil 6.5: Alın Kirişi

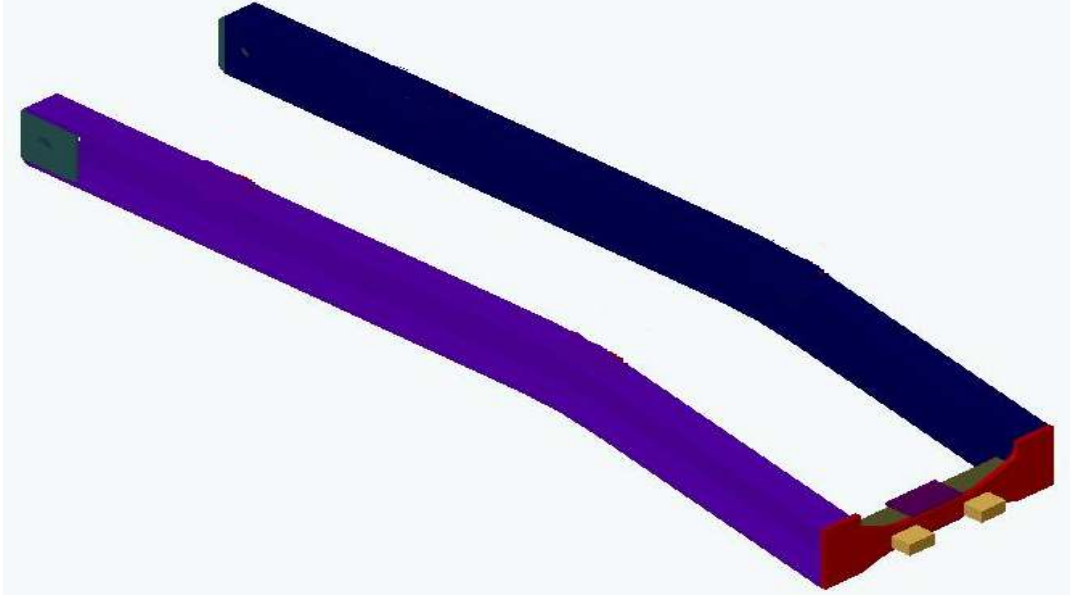
**Bağlantı kirişi teyyareli- teyyaresiz montajı:**

- Sağ ve sol olarak bükülen 2 adet 100 lük U kirişleri (askı bağlamak ve köşebent suportuna bağlamak için) kolaylık üzerine alınır.



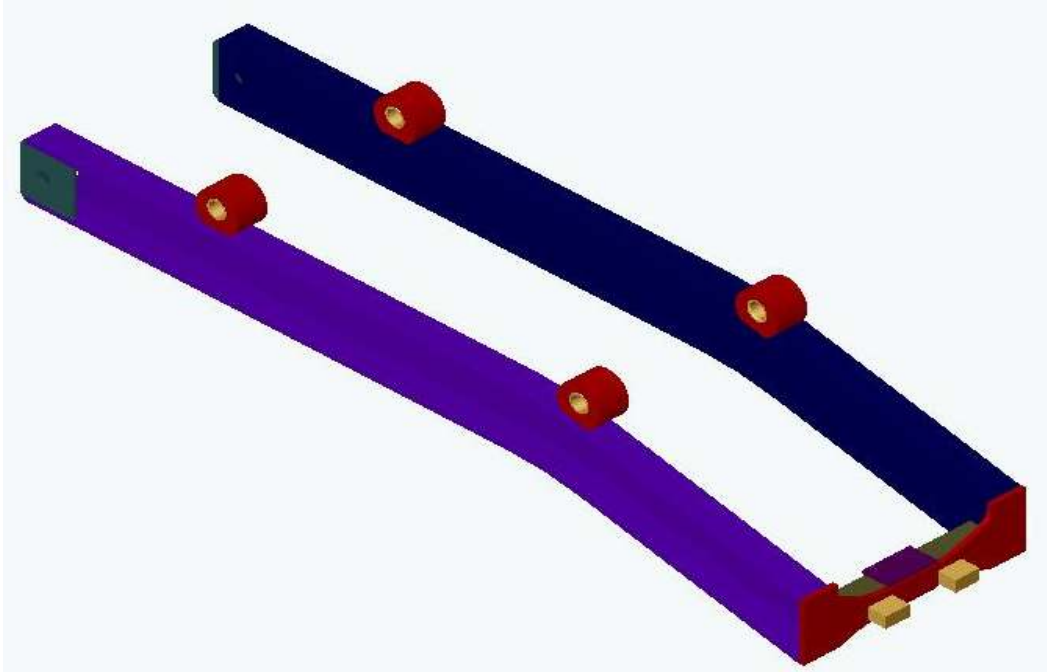
Şekil 6.6: 100 lük U Kirişleri

- Saç, kare klavuz, dayama parçası ve manganlıdan meydana gelen kare klavuz kolaylık üzerinde kirişlere monte edilir.



Şekil 6.7: Kare Klavuzun Kirişlere Montajı

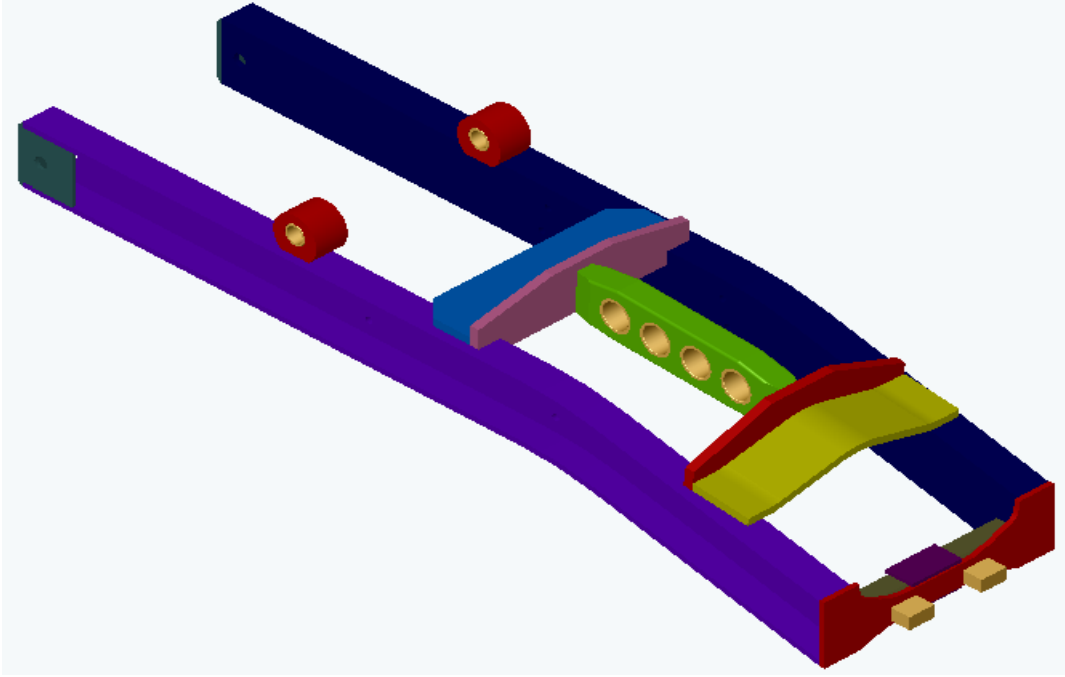
- Kolaylık yardımıyla yuvarlak suportlar 100 lük U üzerine monte edilir.



Şekil 6.8: Teyyaresiz Bağlantı Kirişi

- Teyyareli bağlantı kirişinde 2 adet yuvarlak sport yerine teyyare monte edilir.

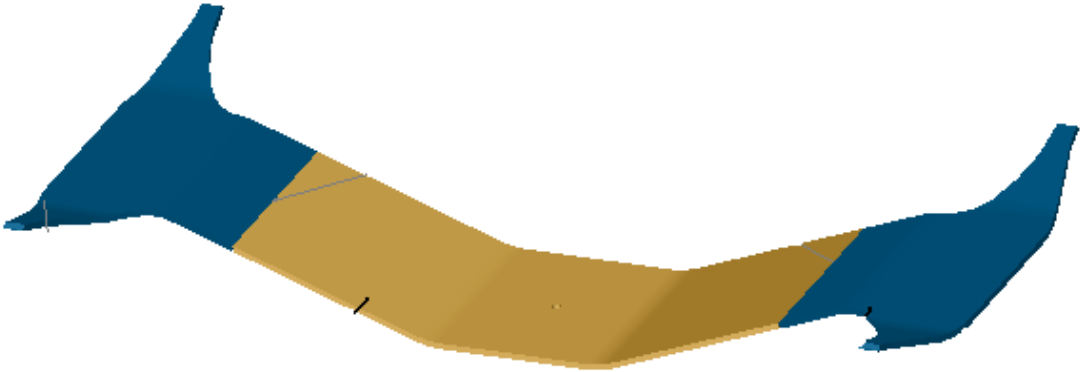




Şekil 6.9: Teyyareli Bağlantı Kirişi

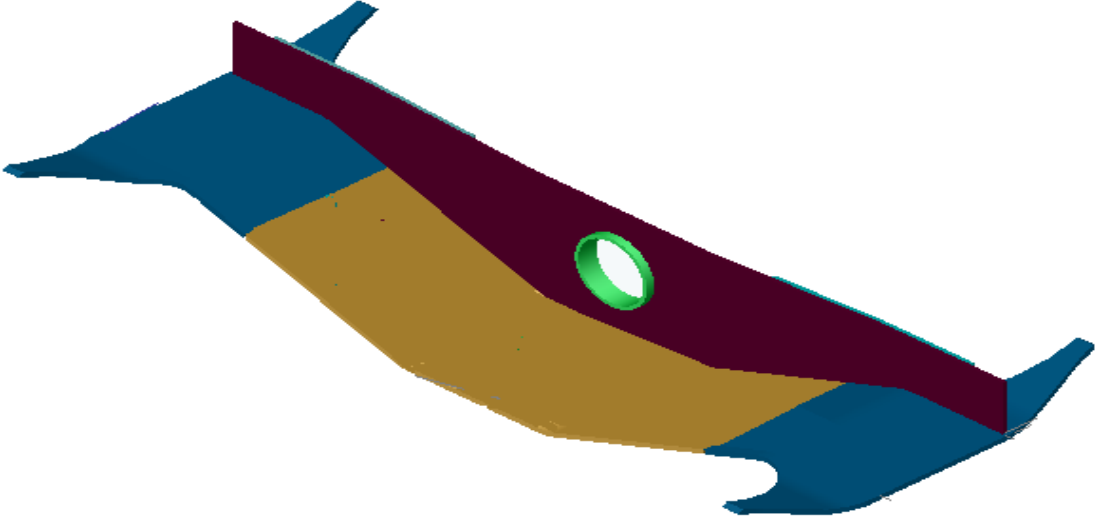
**Orta travers (göbek) çatımı ve kaynağı:**

- Orta travers alt sacı kolaylık üzerine alınır.



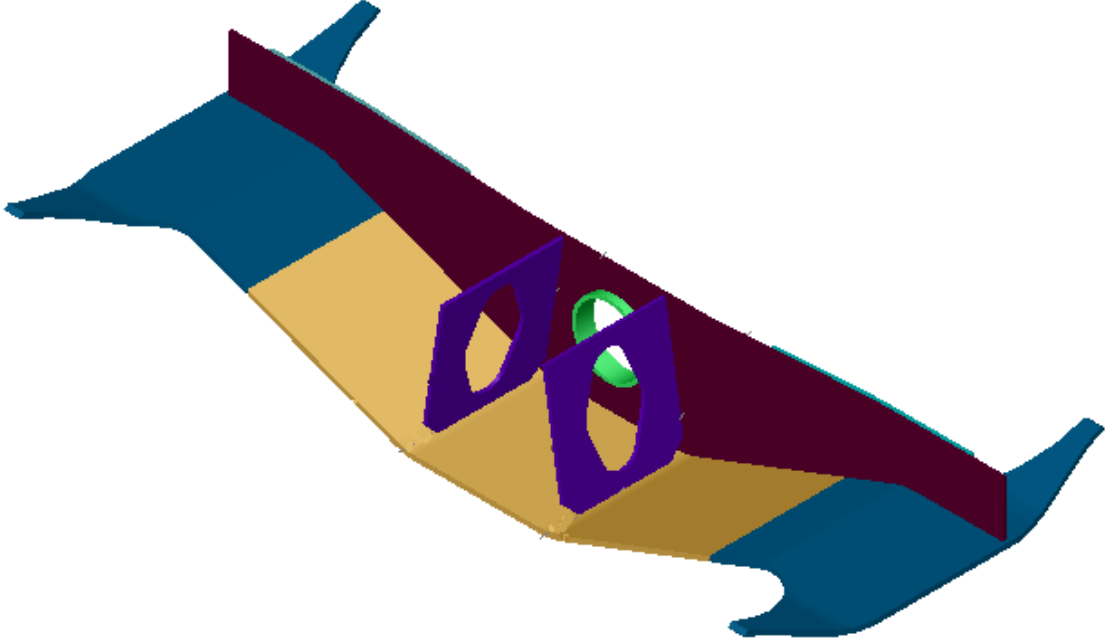
Şekil 6.10: Orta Travers Alt Sacı

- Yan sac 1'in alt sac üzerine montajı



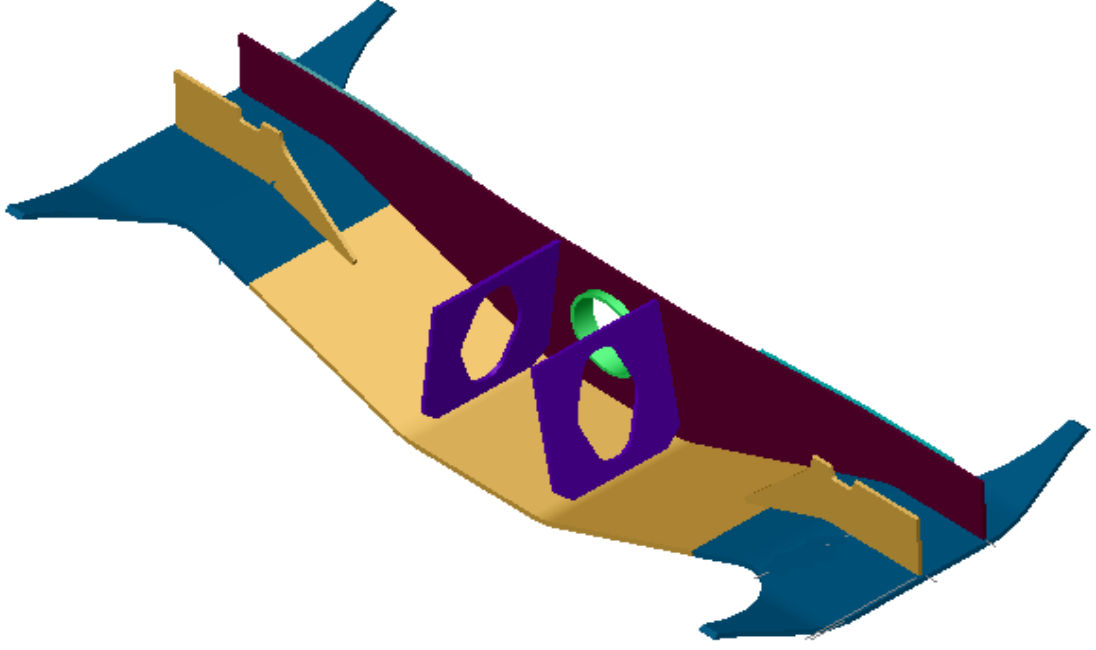
Şekil 6.11: Orta Travers Alt Sacı+Yan Sac

- Sport 1'in alt sac üzerine montajı
- Sport 2'nin montajı



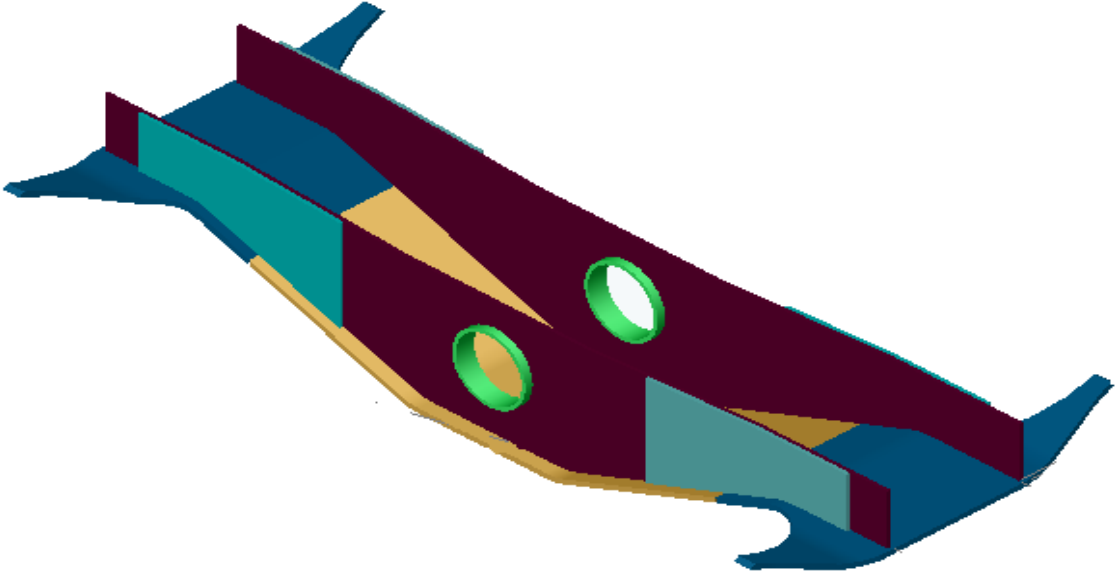
Şekil 6.12: Orta Travers Alt Sacı+Yan Sac+Sportlar

- Kıbrıs 1'in alt sac üzerine montajı
- Kıbrıs 2'nin montajı



Şekil 6.13: Orta Travers Alt Sacı+Yan Sac+Sportlar+Kıbrıslar

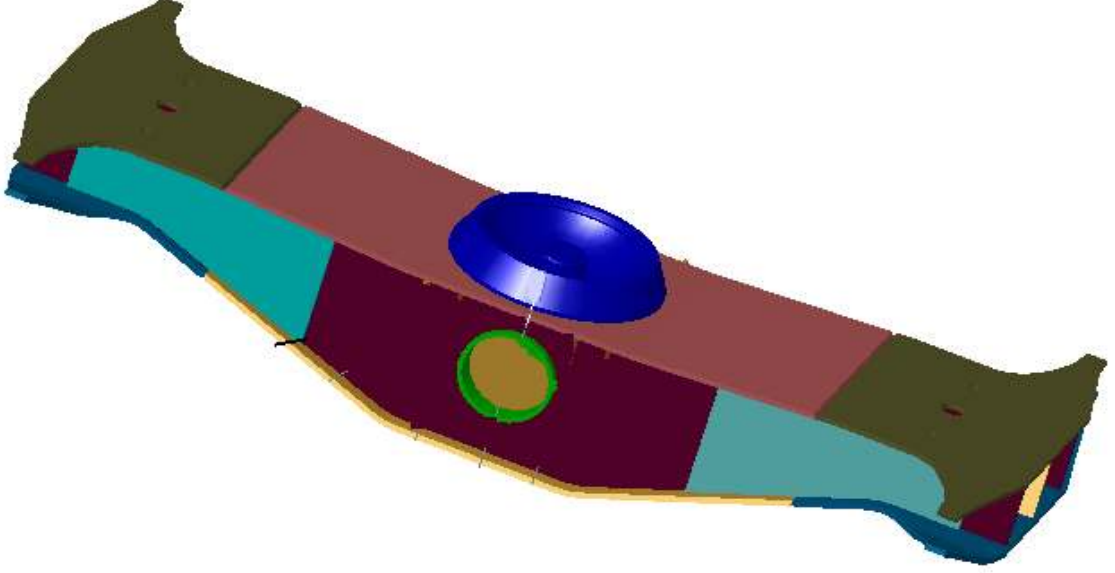
- Yan sac 2'nin montajı



Şekil 6.14: Orta Travers Alt Sacı+Yan Saclar

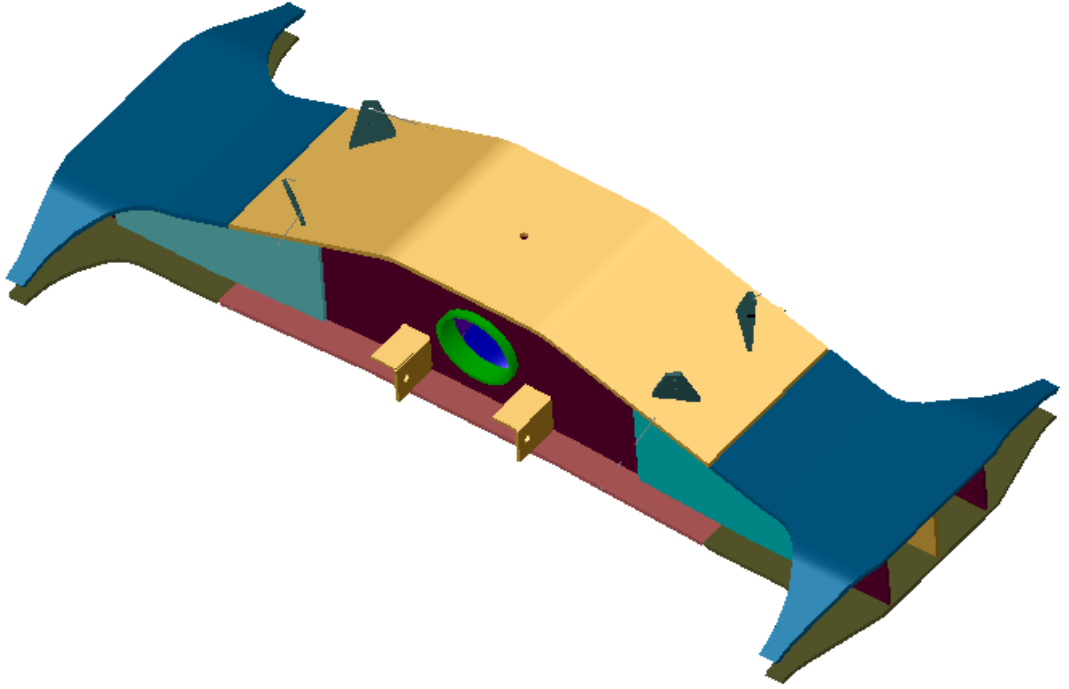
- Üst kapağın montajı

- Göbek montajı



Şekil 6.15: Orta Travers Alt Sacı+Yan Saclar+Üst Sac+Göbek

- Ayakların montajı

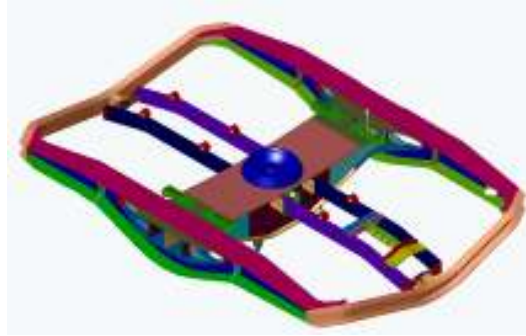


Şekil 6.16: Orta Travers

### Genel Çatım:

- Alın kirişlerinin kolaylık üzerine yerleştirilmesi
- Yan kirişlerle alın kirişlerinin birbirine montajı
- Orta traversin kolaylık üzerine alınması
- Orta traverse bağlantı kirişlerinin montajı.
- Bağlantı kirişlerinin alın kirişlerine montajı
- Boji şasesinin ölçüleri kontrol edilir.

Mevcut üretim şeklinde üretim hattı dengelenmesi çalışması yapılmamış olduğu için istasyonlar arasında bekleme ve denge kaybı büyüktür. Mevcut üretimde boji şasesinin her ana parçası için ayrı bir istasyonda üretilmekte ve genel çatma istasyonunda bir araya getirilmektedir. Bu tip bir yerleşimde istasyonlar arasında boş bekleme süresi çoktur ve üretim akışı genel olarak dengesiz gerçekleşmektedir.



Şekil 6.17: Boji Şasesi

Mevcut üretim tesisinde iki adet yan kiriş üretim istasyonu (sol ve sağ yan kiriş üretim istasyonları), iki adet bağlantı kirişi üretim istasyonu (teyyareli ve teyyaresiz bağlantı kirişi üretim istasyonları), bir adet orta travers üretim istasyonu ve bir adette genel çatma istasyonu olmak üzere altı adet istasyon bulunmaktadır. Bu istasyonlardan yan kiriş ve bağlantı kirişi istasyonlarında birer taneden dört adet, orta travers istasyonu ve genel çatım istasyonlarında birer taneden iki olmak üzere toplam altı adet işçi çalışmaktadır. Burada 92 dk olan orta travers çatma istasyonu en yüksek üretim süresine sahiptir. Diğer istasyonlarda bu istasyonun üretiminin tamamlanmasını beklemek

zorunda olduğu için bu istasyon bir dar boğaz oluşturmaktadır. Bu üretim sistemiyle 93 dakikada bir adet boji şasesi imal edilmektedir. 1 boji şasesi için altı adet işçi kullanılmaktadır. Buradan bir boji 92 dk \* 6 işçi = 552 adam.dk ile üretilmektedir.

Çizelge 6.1: Mevcut Üretim Değerleri

İstasyonlar	OTÇ	YKÇ		BKÇ		GÇ
Zaman (dk)	92,5	55	55	42	42,5	85
Boş Zaman (dk)	0	37,5	37,5	50,5	50	7,5

Mevcut üretim sistemi için üretim zaman değerleri çizelge 6.1' de verildiği gibidir. Aşağıda üretim sisteminin başarımlar değerleri verilmektedir:

Toplam Boş Zaman : 183 dk

Toplam İstasyon Sayısı : 6 adet

İşçi Sayısı : 6 adet

Hat Verimliliği :  $(\sum_{w=1}^W t_w)/(M*T) = 352 / (6 \times 92,5) = \%63,42$

Mevcut üretim sürecinde bilimsel olarak dengelenmiş bir hat yerleşimi mevcut değildir. Mevcut üretim hattı dengelenmemiş şekilde olduğundan mevcut üretim sürecinde bir çok problem mevcuttur.

Bu problemler:

- Üretim sürecinde düzenli bir malzeme akışı sağlanamamaktadır.
- Kullanılmakta olan malzeme, insan gücü ve diğer kaynaklar verimli olarak kullanılamamaktadır.
- Hatta işçilerin boş bekleme zamanları fazladır.
- İş istasyonu sayısı fazladır (bu da değerli atölye alanının verimsiz kullanımına yol açmaktadır).

Mevcut üretim sisteminde bilimsel olarak bir montaj hattı dengeleme çalışması yapılmadığı için verimlilik % 60 lar seviyesinde bir değerdedir. Mevcut üretim sisteminde işçiler, yönetsel sebeplerin de içinde bulunduğu sebeplerden ötürü gereksiz atıl bekletilmektedir. İnsan gücü kullanımı yeterli seviyede değildir. Atölye

içerisinde gereksiz taşımalar mevcut olup düzenli bir malzeme akışı yoktur. İşlemler için gereksiz fazla zaman harcanmaktadır. Takım kullanımları verimsizdir. İş istasyonları arasında görev dağılımları dengesizdir. Bu bahsedilen sebeplerden dolayı atölyede bir montaj hattı dengelenmesi yapılarak gereksiz boş bekleme zamanları en küçüklenip, kaynakların daha verimli olarak kullanılması amaçlanmıştır. Boji şase imalat hattı için montaj hattı dengeleme çalışması, mevcut durumdaki bu problemlerin giderilmesi için gerçekleştirilmiştir.

## 6.2. Boji Şasesi Montaj Hattının Dengelenmesi

Boji şasesi montaj hattı problemi için verilenler aşağıdaki gibidir:

Boji şasesi imalatı görev noları ve görev tanımları Ek 1’de verilmiştir.

Çevrim Zamanı = 70 dk ,

Bir istasyonda izin verilen en büyük kuramsal işçi sayısı  $M_{enb} = 3$  işçi,

Görev Sayısı  $W=31$ ,

Boji öncelik çizeneği Ek 2’de verilmiştir.

Görev zamanları ve öncelikler çizelgesi Ek 1’ de verilmiştir.

Boji şasesi üretim hattı özellik olarak büyük kütleli bir ürünün “boji şasesinin” üretiminin yapıldığı bir hattır. Yapı olarak bakıldığında boji şasesinin üretim istasyonlarında birden fazla işçinin bir arada çalışmasının uygun olduğunun görülmesi ve büyük bir ürünün üretiminden dolayı üretim hattında yer kazanmanın önemli olması boji şasesi imalat hattı dengelenmesi probleminin çok işçili montaj hattı dengeleme problemi için iyi bir uygulama alanı oluşturduğu söylenebilir.

Boji şasesi üretim hattının dengelenmesi probleminin çözümü için çok işçili montaj hattı dengeleme probleminin çözümü için geliştirilmiş olan çok işçili montaj hattı dengeleme sezgisel yöntemi kullanılmıştır.

Geliştirilen sezgiselle boji şasesi imalat hattı dengelenmesi probleminin çözümü aşağıda adım adım anlatılmıştır:

Adım 1 : Giriş değerlerinin belirlenmesi.

Çevrim Zamanı:  $T = 70$  dk

Bir İstasyonda İzin Verilen En Büyük İşçi Sayısı:  $M_{enb} = 3$  işçi

Hattaki Kuramsal En küçük İşçi Sayısı:  $[\sum_{w=1}^W t_w / T]^+ = [\sum_{w=1}^{31} t_w / T]^+ = [352/70]^+ = 6$  işçi

$UB_{ms} = \Phi \times (T \times THL - \sum_{w=1}^W t_w) / THL = 0.375 \times (70 \times 6 - 352) / 6 = 4,25$  dk

Adım 2 : Atamaların gerçekleştirilmesi

1. Atama aşağıdaki gibidir:

$L=3$  için, atanabilir görev listesi (Öncülleri atanmış olanlar veya boş olanlar) S:

$S = \{1,2,3,4,13,14,22\} \Rightarrow T_i = \{7,5,7,5,5,5,7,7,8\}$

En büyük görev zamanına sahip olan 8 dk ile 22 görevidir. İkinci yüksek zaman 7,5 dk ile 1 görevindedir. Üçüncü yüksek zaman da 7,5 dk ile 2 görevindedir. 22 görevini en az yüke sahip olan işçiye ata. 1 görevini en az ikinci yüke sahip işçiye ata. 2 görevini en az üçüncü yüke sahip işçiye ata.

Çizelge 6.2: Boji Problemi Çözüm 1. Atama I. Adım

İşçiler	Görevler	
1	8	
	22	
2	7,5	
	1	
3	7,5	
	2	

Atanabilir görev listesini güncelle (Öncülleri atanmış olanlar veya boş olanlar).

$S = \{3, 4, 13, 14, 23,29\} \Rightarrow T_i = \{5, 5, 7, 7, 15,7\}$

En büyük görev zamanına sahip olan 15 dk ile 23 görevidir. İkinci yüksek zaman 7 dk ile 13 görevindedir. Üçüncü yüksek zaman 7 dk ile 14 görevindedir. 23 görevini en az yüke sahip olan işçiye ata. Öncül görevi tamamlanmadığı için 23 görevini atayamaz. O zaman en az ikinci yüke sahip işçiye ata. Burada da öncül görev tamamlanmadığı için 23 görevini en az üçüncü yüke sahip olan işçiye ata. İkinci en yüksek zamana sahip 13 görevini en az yüke sahip olan işçiye ata. Üçüncü en az yüke sahip olan 14 görevini en az ikinci yüke sahip olan işçiye ata.



Çizelge 6.3: Boji Problemi Çözüm 1. Atama II. Adım

İşçiler	Görevler	
1	8	23
	22	23
2	7,5	14,5
	1	13
3	7,5	14,5
	2	14

Atanabilir görev listesi güncellenir.

$$S = \{3, 4, 15, 16, 25, 26, 29\} \Rightarrow T_i = \{5, 5, 10, 10, 7,5, 7,5, 7,5\}$$

En büyük görev zamanına sahip olan 10 dk ile 15 görevidir. İkinci yüksek zaman 10 dk ile 16 görevindedir. Üçüncü yüksek zaman 7,5 dk ile 29 görevindedir. 15 görevini en az yüke sahip olan işçiye ata. 16 görevini en az ikinci yüke sahip olan işçiye ata. 29 görevini en az üçüncü yüke sahip işçiye ata.

Çizelge 6.4: Boji Problemi Çözüm 1. Atama III. Adım

İşçiler	Görevler		
1	8	23	30
	22	23	29
2	7,5	14,5	24,5
	1	13	15
3	7,5	14,5	24,5
	2	14	16

Atanabilir görev listesini güncelle ve atamalara devam et. Atamalar bu şekilde devam edip gerçekleştirildiğinde 1. atamanın sonuçları Çizelge 6.5' deki gibi gerçekleşir.

Çizelge 6.5: Boji Problemi Çözüm 1. Atama Sonuç

İşçiler	Görevler						
1	8	23	30	37,5	47,5	52,5	67,5
	22	23	29	17	21	4	24
2	7,5	14,5	24,5	39,5	47	52	67
	1	13	15	18	25	3	6
3	7,5	14,5	24,5	32,5	42,5	50	65
	2	14	16	19	20	26	5

Çözüm için ortalama işçi başına boş zaman aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$MS_{S-3} = (70 \cdot 3 - 199,5) / 3 = 3,5 \text{ dk} \leq Ub_{ms} (4,25 \text{ dk}) \text{ şeklindedir.}$$

Uygun olarak atanır. L=2 ve 1 için çözüm aramaya gerek yoktur.

İkinci istasyon için atamalara geçilir.

$L=3$  için;

İkinci istasyon için atanabilir görev listesi güncellenir.

$S = \{7, 8, 27\} \Rightarrow T_i = \{20, 20, 20\}$

Atanabilir görevlerin görev zamanları eşittir. Sıraya göre atanır

Çizelge 6.6: Boji Problemi Çözüm 2. Atama ( $L=3$ ) I. Adım

İşçiler	Görevler		
1	20		
	7		
2	20		
	8		
3	20		
	27		

Atanabilir görev listesini güncellenir.

$S = \{9, 10, 28\} \Rightarrow T_i = \{15, 15, 12\}$

En yüksek görev zamanına sahip 9 görevi birinci, ikinci yüksek zamana sahip 10 görevi ve üçüncü yüksek zamana sahip 28 görevi sırayla atanır. Burada atanan işçilerin yükleri eşit olduğu için atama sıraya göre 1, 2, 3 şeklinde yapılabilir.

Çizelge 6.7: Boji Problemi Çözüm 2. Atama ( $L=3$ ) II. Adım

İşçiler	Görevler		
1	20	35	
	7	9	
2	20	35	
	8	10	
3	20	32	
	27	28	

İkinci atamada sırayla kurallara göre atamalar yapılmış Çizelge 6.8 deki sonuç elde edilir.

Çizelge 6.8: Boji Problemi Çözüm 2. Atama ( $L=3$ ) Sonuç

İşçiler	Görevler			
1	20	35	45	60
	7	9	11	31
2	20	35	45	
	8	10	12	
3	20	32	47	
	27	28	30	

Ortalama işçi başına boş zaman hesaplanır:

$MS_{S-3} = (210-152)/3 = 19,33 \text{ dk} \geq Ub_{ms} (4,25\text{dk})$  Ortalama işçi başına düşen boş zaman üst sınırdan yüksek olduğu için  $L=2$  için çözüm aranır.

$L=2$  için;

Atanabilir görev listesi güncellenir.

$S = \{7, 8, 27\} \Rightarrow Ti = \{20, 20, 20\}$

Atamalar yine görev zamanı önceliğine göre en düşük yüke sahip olan işçiden başlamak üzere yapılır. İlk adım sonuçları Çizelge 6.9' da gösterilmiştir.

Çizelge 6.9: Boji Problemi Çözüm 2.Atama ( $L=2$ ) I. Adım

İşçiler	Görevler		
1	20		
	7		
2	20		
	8		

Devam edilip atamalar yapıldığında sonuç Çizelge 6.10'da gösterildiği gibidir.

Çizelge 6.10: Boji Problemi Çözüm 2.Atama ( $L=2$ ) Sonuç

İşçiler	Görevler			
1	20	40	52	62
	7	27	28	11
2	20	35	50	65
	8	9	10	30

Sonuç için ortalama işçi başına boş zaman hesaplanır:

$MS_{S-2} = (140-127)/2 = 6,5 \text{ dk} \geq Ub_{ms} (4,25\text{dk})$

Ortalama işçi başına düşen boş zaman üst sınırdan yüksek olduğu için  $L=1$  için çözüm aranır.

$L=1$  içinde çözüm ölçütleri sağlayacak şekilde gerçekleştirildiğinde çizelge 6.11'deki sonuç elde edilir.

Çizelge 6.11: Boji Problemi Çözüm 2.Atama ( $L=1$ ) Sonuç

İşçiler	Görevler		
1	20	40	60
	7	8	27

Sonuç için ortalama işçi başına boş zaman hesaplanır:

$MS_{S-1} = (70-60)/1 = 10 \text{ dk} \geq Ub_{ms} (4,25 \text{ dk})$

Görüldüğü gibi L=1 için de çözüm sonucu kriteri sağlamamaktadır. Bu yüzden L=3, L=2, L=1 çözümleri arasında sonuç olarak en düşük işçi başına boş zamanı veren çözüm olan seçilir.

L=3 için işçi başına düşen ortalama zaman 19,33 dk, L=2 için işçi başına düşen ortalama zaman 6,5 dk, L=1 için işçi başına düşen ortalama zaman 10 dk olduğu için L=2 için olan çözüm seçilir ve üçüncü atamaya geçilir.

İkinci atamanın çözümü L=2 için olan çözümdür.

Çizelge 6.12: Boji Problemi Çözüm 2.Atama Sonuç

İşçiler	Görevler			
	1	20	40	52
	7	27	28	11
2	20	35	50	65
	8	9	10	30

Üçüncü atamada da benzer şekilde çözüm yapıldığında sonuç Çizelge 6.13' deki gibi bulunur.

Çizelge 6.13: Boji Problemi Çözüm 3.Atama Sonuç

İşçiler	Görevler	
	1	10
	12	31

Üçüncü atama için işçi başına düşen ortalama boş zaman;

L=3 ve L=2 için seçenek yoktur. L=1 için;

$$MS_{S-1} = (70-25)/1 = 45 \text{ dk} \geq Ub_{ms} (4,25\text{dk})$$

Atamalar sonucunda 1. istasyon için ortalama işçi başına boş zamanı 3,5 dk olan 3 işçili, 2. istasyon için ortalama işçi başına boş zamanı 6,5 dk olan 2 işçili ve 3. istasyon işçi başına boş zamanı 45 dk olan 1 işçili istasyonlar belirlenmiştir. Sonuç ataması çizelge 6.14'de görülmektedir.

Boji imalat hattı dengeleme probleminin başarımlı ölçütleri aşağıdaki şekildedir:

$$\text{Toplam Boş Zaman} : (3,5 \times 3) + (6,5 \times 2) + 45 = 67,5 \text{ dk}$$

Toplam İstasyon Sayısı : 3 adet

$$\text{Yer Faydalanma Faktörü} : 3/6 = 50\%$$

İşçi Sayısı : 6 adet

$$\text{Hat Verimliliği} : (\sum_{w=1}^w t_w) / (M * T) = 352 / (6 \times 70) = 83.81 \%$$

Çizelge 6.14 : Boji İmalat Hattı Dengeleme Probleminin Sezgisel Yönteme Göre Sonuçları

İstasyon	İşçiler	Görevler							OİBBZ (dk)
1	1	8	23	30	37,5	47,5	52,5	67,5	3,5
		22	23	29	17	21	4	24	
	2	7,5	14,5	24,5	39,5	47	52	67	
		1	13	15	18	25	3	6	
	3	7,5	14,5	24,5	32,5	42,5	50	65	
		2	14	16	19	20	26	5	
2	1	20	40	52	62				6,5
		7	27	28	11				
	2	20	35	50	65				
		8	9	10	30				
3	1	10	25					45	
		12	31						

### 6.3. Boji Şase Problemi için Mevcut Durum ve Yeni Çözümün Karşılaştırılması

Mevcut boji şase üretim atölyesi için hat başarı değerleri aşağıdaki gibidir:

Toplam Boş Zaman : 183 dk

Toplam İstasyon Sayısı : 6 adet

İşçi Sayısı : 6 adet

Hat Verimliliği :  $(\sum_{w=1}^W t_w)/(M*T) = 352 / (6 \times 92,5) = \%63,42$

Mevcut boji şasesi üretimi 6 ayrı iş istasyonunda 6 işçi kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Mevcut durumda orta travers çatımı istasyonu bir darboğaz istasyonudur ve diğer istasyonlar bu istasyonun üretimini tamamlamasını beklemek zorundadırlar. Başka bir deyişle orta travers çatım istasyonunun 92,5 dakikalık üretim zamanı bir bojinin çıkarılması için gerekli zamanı teşkil etmektedir. Burada bir çevrim zamanı 92,5 dk olmaktadır. Hat verimliliği % 60 lar seviyesinde gerçekleşmektedir.

Boji şasesi imalat atölyesinde çok işçili montaj hattı dengeleme yaklaşımına göre dengeleme çalışması gerçekleştirilip 183 dk olan toplam boş zaman 67,5 dk' ya indirilmekte ve % 60'lar seviyesinde olan üretim hattı verimliliği de % 85'ler seviyelerine kadar çıkarılmaktadır. Çizelge 6.15'de bir karşılaştırma tablosu sunulmuştur.

Çizelge 6.15: Mevcut Durum ve Çözüm Sonrası Boji Şasesi Hattı Başarım Verileri

<b>Problem</b>	<b>Toplam Boş Zaman (dk)</b>	<b>Toplam İstasyon Sayısı</b>	<b>Yer Fayda Faktörü</b>	<b>İşçi Sayısı</b>	<b>Hat Verimliliği</b>
Mevcut Durum	183	6	1	6	63,42
Geliştirilen Sezgiselle Önerilen Durum	67,5	3	0,50	6	83,81

Hattın çok işçili montaj hattı dengeleme yöntemiyle dengelenmesiyle sağlanan en önemli fayda boş zamanlarda ve hat verimliliğinde iyileştirme sağlamasının yanında yerden yapılan büyük tasarruf olmuştur. Mevcut halde 6 istasyonda gerçekleştirilen iş 3 istasyona indirilerek yerden % 50 oranında bir kazanç sağlanmıştır. Mevcut ve yeni yerleşim planlarını Ek 7 ve Ek 8’de verilmiştir. Bu büyük kütleli ürünlerin üretimini yapan sanayiler için çok önemli bir kıstastır.

Literatüre örnek problem olarak katkı sağlanması amacıyla boji şasesi üretim hattı dengeleme problemi Dimitriadis’in sezgisel yöntemiyle de çözülmüştür. Çözümün sonuçları Ek 9’ da verilmiştir.

## BÖLÜM 7

### SONUÇ ve TARTIŞMA

Bu çalışmada yapılan uygulamada gerçek bir üretim sistemi olan boji şasesi imalat hattı dengelenmesi yapılmıştır. Uygulamanın sonucu olarak önceki duruma göre büyük ölçüde yer tasarrufu, zaman ve maliyet tasarrufu sağlanmıştır ve çok işçili montaj hattı dengeleme yaklaşımının büyük kütleli ürün imal eden tesisler için yer, zaman ve maliyet tasarrufu açısından fayda sağladığı görülmüştür.

Bu çalışma ile ağır sanayi üretiminde montaj hatları tasarlanması için kullanılacak bir sezgisel yöntem sunulmuştur. Çok işçili montaj hattı dengeleme yaklaşımı, burada ele alınan probleme benzer şekilde büyük kütleli ürünlerin imalatını yapan özellikle yer tasarrufunun önem taşıdığı tesislerde hat dengeleme problemlerinin çözümü için kullanılabilir. Çok işçili montaj hattı dengeleme yaklaşımını kullanmak yer tasarrufu, zaman ve maliyet açısından oldukça fazla fayda sağlayacaktır.

Literatürde konu ile ilgili yapılmış çalışma sayısının az olması açısından çok işçili montaj hattı dengeleme problemi gelişmeye açık bir konudur. Bu çalışmada da bu boşluk hedef alınarak çok işçili montaj hattı dengelemesi probleminin çözümü için yeni bir sıralama ölçütünü esas alan model geliştirilmiş ve uygulama bu yöntem kullanılarak yapılmıştır.

Konu ile ilgili ileride yapılabilecek çalışmalar çok işçili montaj hattı dengelemesinin U tipi ve diğer yerleşimler ve karışık ve çok modelli yapılar için modellenmesi olabilir. Ayrıca çok işçili montaj hattı dengeleme probleminin çözümü için genetik algoritmalar, tabu arama yöntemi, tavlama benzetimi ve bulanık yaklaşım gibi tekniklere dayalı sezgisel yöntemler de geliştirilebilir.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

Ağpak, K., Gökçen, H., 2002, Basit U tipi montaj hattı dengeleme problemine bulanık programlama yaklaşımı, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi 4, 2, 29-40.

Ağpak, K., Gökçen, H., Saray, N.N. ve Özel, S., 2002, Özel stokastik görev zamanlı tek modelli U tipi montaj hattı dengeleme problemleri için bir sezgisel, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.17, 4, 115-124.

Akagi, F., Osaki, H. ve Kikuchi, S., 1983, A method for assembly line balancing with more than one worker in each station, International Journal of Production Research 21, 755–70.

Amen, M., 2006, Cost-oriented assembly line balancing: Model formulations, solution difficulty, upper and lower bounds, European Journal of Operations Research 168, 747–770.

Arcus, A. L., 1966, COMSOAL: A computer method of sequencing operations for assembly lines, International Journal of Production Research 4, 4, 259-277.

Baker, K.R., 1974, Introduction to sequencing and scheduling, NewYork:Wiley.

Baksak, M., Erol, V., Sipariş tipi atölyelerde iş sıralama problemi için bir genetik algoritma uygulaması, Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği-XXIV. Ulusal Kongresi, Gaziantep-Adana.

Boysen, N., Fliedner, M., 2008, A versatile algorithm for assembly line balancing, European Journal of Operations Research 184, 39–56.



## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Bukchin, J., Masin, M., 2004, Multi-objective design of team oriented assembly systems, *European Journal of Operations Research* 156, 326–52.

Cheng, T.C.E., Sin C.C.S., 1990, A state of the art review of parallel machine scheduling research, *European Journal of Operational Research*, 47, 271–92.

Chiang, W. C., 1998, The application of a tabu search metaheuristic to the assembly line balancing problem, *Annals of Operations Research* 77, 209-227.

Dar-El, E. M., 1973, MALB-A heuristic technique for balancing large single model assembly lines, *AIIE Transactions* 5, 4, 343-356.

Dimitriadis, S.G., 2005, Assembly line balancing and group working: A heuristic procedure for workers' groups operating on the same product and workstation, *Computers & Operations Research* 33, 2757–2774.

Gökçen, H. ve Erel, E., 1999, Shortest-route formulation of mixed model assembly line balancing problem, *European Journal of Operations Research* 116, 194-204.

Held, M., Karp, R.M. ve Sheresian, R., 1963, Assembly line balancing dynamic programming with precedence constraints, *Operations Research* 11, 3, 442-459.

Hoffmann, T. R., 1992, EUREKA: A hybrid system for assembly line balancing, *Management Science* 38, 39-47.

İşleyen, S.K., Baykoç, Ö.F., 2004, Tek modellenli stokastik U tipi montaj hattının deterministik dengeleme teknikleri kullanılarak dengelenmesi ve benzetimi: Arçelik AŞ.'de bir uygulama, *Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği-XXIV. Ulusal Kongresi, Gaziantep-Adana*.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Johnson, R.V., 1988, Optimally balancing large assembly lines with 'Fable', Management Science 34, 1, 240-253.

Johnson, R.V., 1991, Balancing assembly lines for teams and workgroups. international journal of production research 1991;29:1205–14.

Kalender, F.Y., Yılmaz, M.M. ve Türkbey, O., 2008, Montaj hattı dengeleme problemine bulanık bir yaklaşım, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. 23, 1, 129-138.

Kilbridge, M. D. ve Wester, L., 1961, A heuristic method of assembly line balancing, Journal of Industrial Engineering 12, 4, 292-298.

Kim, Y. K., Kim, Y. H. ve Kim, Y. J., 2000, Two-sided assembly line balancing: a genetic algorithm approach", Production Planning and Control 11, 1, 44-53.

Klein, M., 1963, On assembly line balancing, Operations Research 11, 2, 55-62.

Küçük, B., Keskindürk, T., 2006, Montaj hattı dengeleme probleminde genetik algoritma operatörlerin etkinliklerinin araştırılması, Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği-XXVI. Ulusal Kongresi, Kocaeli.

Miltenburg, J., 1998, Balancing U-lines in a multiple U-line facility, European Journal of Operational Research 109, 1-23.

Sabuncuoğlu, I., Erel, E. ve Tanyer, M., 2000, Assembly line balancing using genetic algorithms", Journal of Intelligent Manufacturing 11, 3, 295-310.

Scholl, A., Vob, 1996, Simple assembly line balancing – heuristic approaches, Journal of Heuristic 2, 217-244.

## **KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

Suresh, G., Sahu, S., 1994, Stochastic assembly line balancing using simulated annealing”, Int. J. Prod. Res. 32, 8, 1801-1810.

Suresh, G., Vinod, V. V. ve Sahu, S., 1996, A genetic algorithm for assembly line balancing, Production Planning and Control 7, 1, 38-46.

Tahngavelu, S. R. ve Shetty, C.M., 1971, Assembly line balancing by zero-one integer programming, AIIE Transactions 3, 1, 61-68.

## **EKLER**

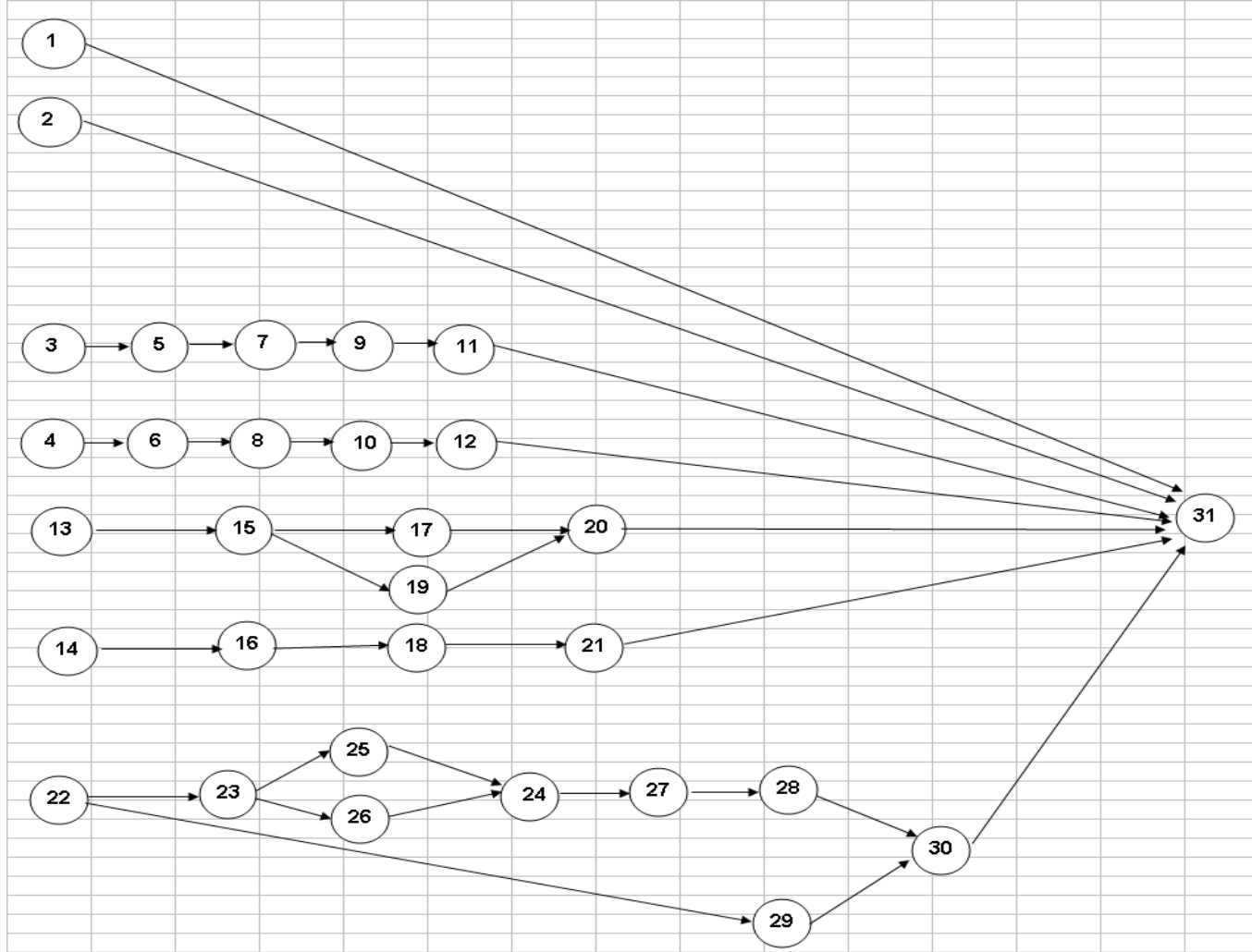
- Ek.1. Boji Şasesi İmalatı Görevler Çizelgesi
- Ek.2. Mevcut Boji Şase İmalat Atölyesi Genel Akış Çizeneği ve Görev Zamanları
- Ek.3. Boji Şasesi İmalat Atölyesi Mevcut Durum Genel Akış Çizeneği ve Görev Zamanları
- Ek.4. Yan Kiriş İmalatı Mevcut Durum Akış Çizeneği ve Görev Zamanları
- Ek.5. Bağlantı Kirişi İmalatı Mevcut Durum Akış Çizeneği ve Görev Zamanları
- Ek.6. Orta Travers İmalatı Mevcut Durum Akış Çizeneği ve Görev Zamanları
- Ek.7. Boji Şasesi İmalat Hattı Mevcut Yerleşim Planı
- Ek.8. Boji Şasesi İmalat Hattı Yeni Yerleşim Planı
- Ek.9. Boji Şasesi Probleminin Dimitriadis'in Yöntemiyle Çözüm Sonuçları
- Ek.10. En Büyük Aday Küme Ölçütüne Göre Uyarlanan Sezgisel Yöntem Akış Diyagramı

**Ek 1****Boji Şasesi İmalatı Görevler Çizelgesi**

Görev No (fj)	Görevler	Zaman	Direkt Öncüller		
1	1.Aln kirişinin şaseye montajı	7.5	-	-	-
2	2.Aln kirişinin şaseye montajı	7.5	-	-	-
3	Sol Yan Kiriş : Alt plakanın yerleştirilmesi	5	-	-	-
4	Sağ Yan Kiriş : Alt plakanın yerleştirilmesi	5	-	-	-
5	Sol Yan Kiriş : Alt plakaya yan plakanın montajı	15	3	-	-
6	Sağ Yan Kiriş : Alt plakaya yan plakanın montajı	15	4	-	-
7	Sol Yan Kiriş : Alt plaka + yan plakaya üst plakanın montajı	20	5	-	-
8	Sağ Yan Kiriş : Alt plaka + yan plakaya üst plakanın montajı	20	6	-	-
9	Sol Yan Kiriş : Plakalara dayamaların montajı	15	7	-	-
10	Sağ Yan Kiriş : Plakalara dayamaların montajı	15	8	-	-
11	Sol yan kirişin şaseye montajı	10	9	-	-
12	Sağ yan kirişin şaseye montajı	10	10	-	-
13	Teyyareli bağlantı kirişi 100 lük U kirişlerin kolaylık üzerine yerleştirilmesi	7	-	-	-
14	Teyyaresiz bağlantı kirişi 100 lük U kirişlerin kolaylık üzerine yerleştirilmesi	7	-	-	-
15	Teyyareli bağlantı kirişine kare klavuzun montajı	10	13	-	-
16	Teyyaresiz bağlantı kirişine kare klavuzun montajı	10	14	-	-
17	Teyyareli bağlantı kirişine yuvarlak sportların montajı	7.5	15	-	-
18	Teyyaresiz bağlantı kirişine yuvarlak sportların montajı	15	16	-	-
19	Teyyareli bağlantı kirişine teyyarenin montajı	8	15	-	-
20	Teyyareli bağlantı kirişinin şaseye montajı	10	17	19	-
21	Teyyaresiz bağlantı kirişinin şaseye montajı	10	18	-	-
22	Alt sacın yerleştirilmesi	8	-	-	-
23	Yan sac 1 in montajı	15	22	-	-
24	Yan sac 2 in montajı	15	25	26	-
25	Sportların montajı	7.5	23	-	-
26	Kıbnsların montajı	7.5	23	-	-
27	Üst kapak montajı	20	24	-	-
28	Göbek montajı	12	27	-	-
29	Ayakların montajı	7.5	22	-	-
30	Orta traversin şaseye montajı	15	28	29	-
31	Tesviye ve ölçü kontrol	15	1	2	11
			11	12	20
			21	30	-

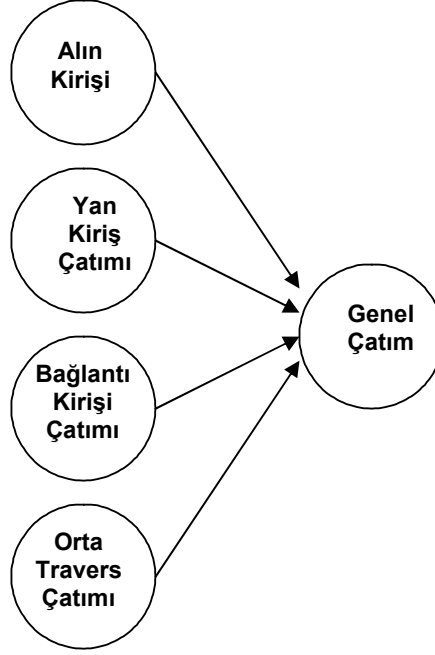
## EK 2

### Boji Şasesi Hat Dengeleme Problemi Öncelik Çizeneği



### Ek 3

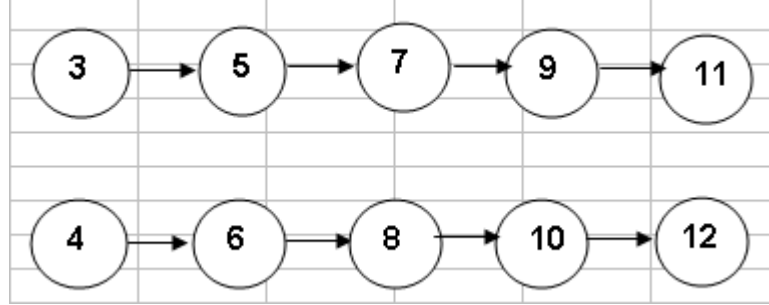
#### Boji Şasesi İmalat Atölyesi Mevcut Durum Genel Akış Çizeneği ve Görev Zamanları



Genel Çatım İstasyonu	1	1. Alın kirişinin şaseye montajı	7.5
	2	2. Alın kirişinin şaseye montajı	7.5
	11	Sol yan kirişin şaseye montajı	10
	12	Sağ yan kirişin şaseye montajı	10
	20	Teyyareli bağlantı kirişinin şaseye montajı	10
	21	Teyyaresiz bağlantı kirişinin şaseye montajı	10
	30	Orta traversin şaseye montajı	15
	31	Tesviye ve ölçü kontrol	15
		Toplam Zaman	85

#### Ek 4

#### Yan Kiriş İmalatı Mevcut Durum Akış Çizeneği ve Görev Zamanları

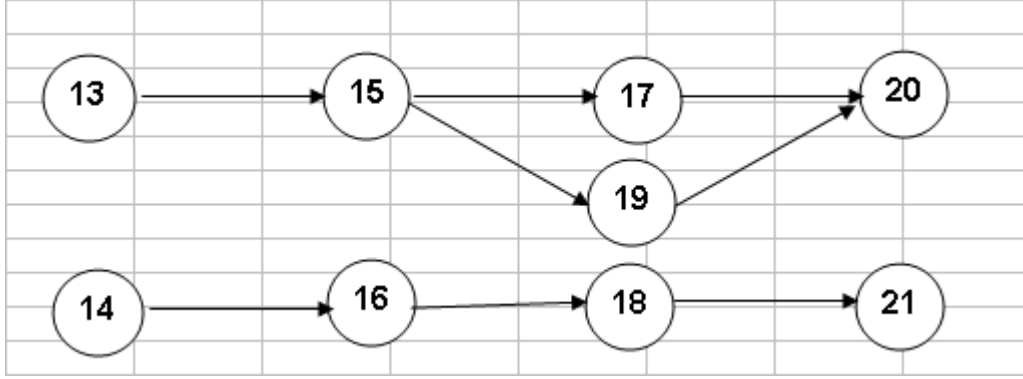


	Görev No (i)	Görevler	Zaman (dk)	
Yan Kirişler Çatım İstasyonları	3	Sol Yan Kiriş : Alt plakanın yerleştirilmesi	5	
	4	Sağ Yan Kiriş : Alt plakanın yerleştirilmesi	5	
	5	Sol Yan Kiriş : Alt plakaya yan plakanın montajı	15	
	6	Sağ Yan Kiriş : Alt plakaya yan plakanın montajı	15	
	7	Sol Yan Kiriş : Alt plaka + yan plakaya üst plakanın montajı	20	
	8	Sağ Yan Kiriş : Alt plaka + yan plakaya üst plakanın montajı	20	
	9	Sol Yan Kiriş : Plakalara dayamaların montajı	15	
	10	Sağ Yan Kiriş : Plakalara dayamaların montajı	15	
			Toplam Zaman Sol Yan Kiriş	55
			Toplam Zaman Sağ Yan Kiriş	55



## Ek 5

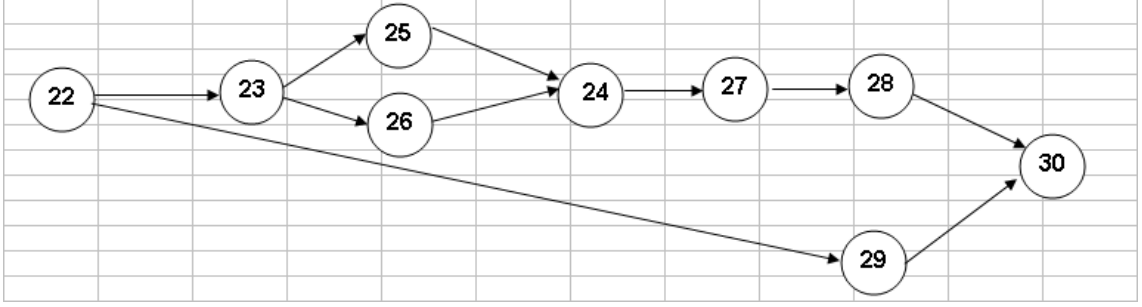
### Bağlantı Kirişi İmalatı Mevcut Durum Akış Çizeneği ve Görev Zamanları



<b>Bağlantı Kirişleri Çatım İstasyonları</b>	<b>13</b>	Teyyareli bağlantı kirişi 100 lük U kirişlerin kolaylık üzerine yerleştirilmesi	<b>7</b>
	<b>14</b>	Teyyaresiz bağlantı kirişi 100 lük U kirişlerin kolaylık üzerine yerleştirilmesi	<b>7</b>
	<b>15</b>	Teyyareli bağlantı kirişine kare klavuzun montajı	<b>10</b>
	<b>16</b>	Teyyaresiz bağlantı kirişine kare klavuzun montajı	<b>10</b>
	<b>17</b>	Teyyareli bağlantı kirişine yuvarlak sportların montajı	<b>7.5</b>
	<b>18</b>	Teyyaresiz bağlantı kirişine yuvarlak sportların montajı	<b>15</b>
	<b>19</b>	Teyyareli bağlantı kirişine teyyarenin montajı	<b>8</b>
		Toplam Zaman Teyyareli Bağlantı Kirişi	<b>42.5</b>
		Toplam Zaman Teyyaresiz Bağlantı Kirişi	<b>42</b>

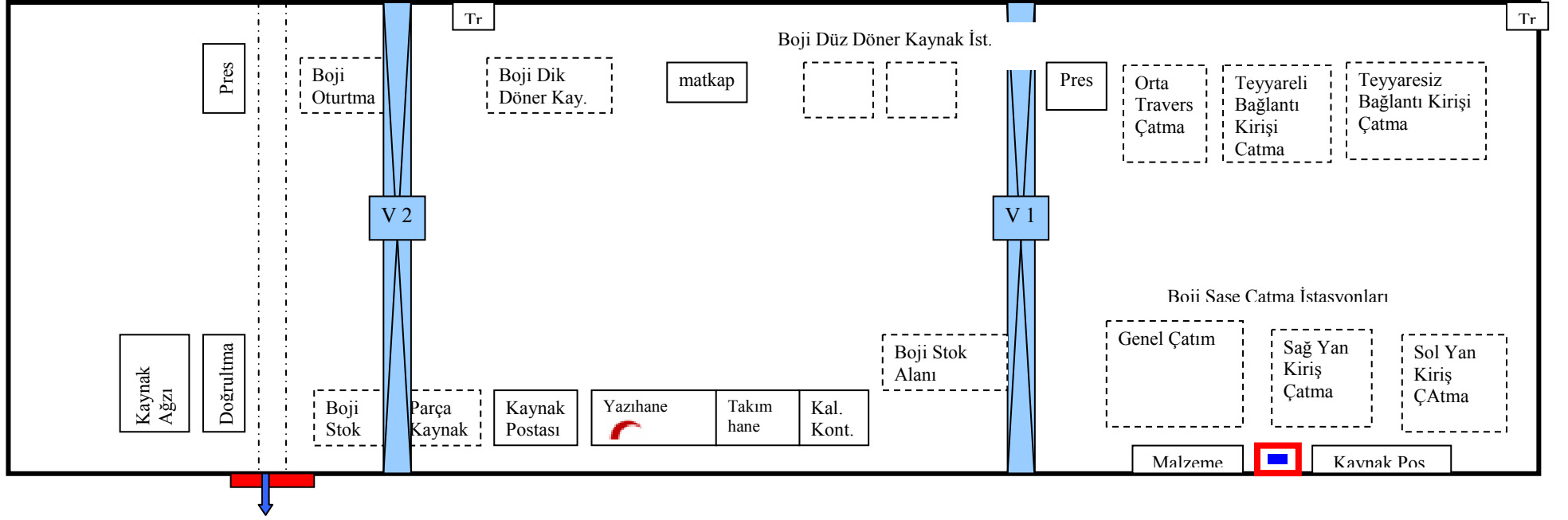
## Ek 6

### Orta Travers İmalatı Mevcut Durum Akış Çizeneği ve Görev Zamanları



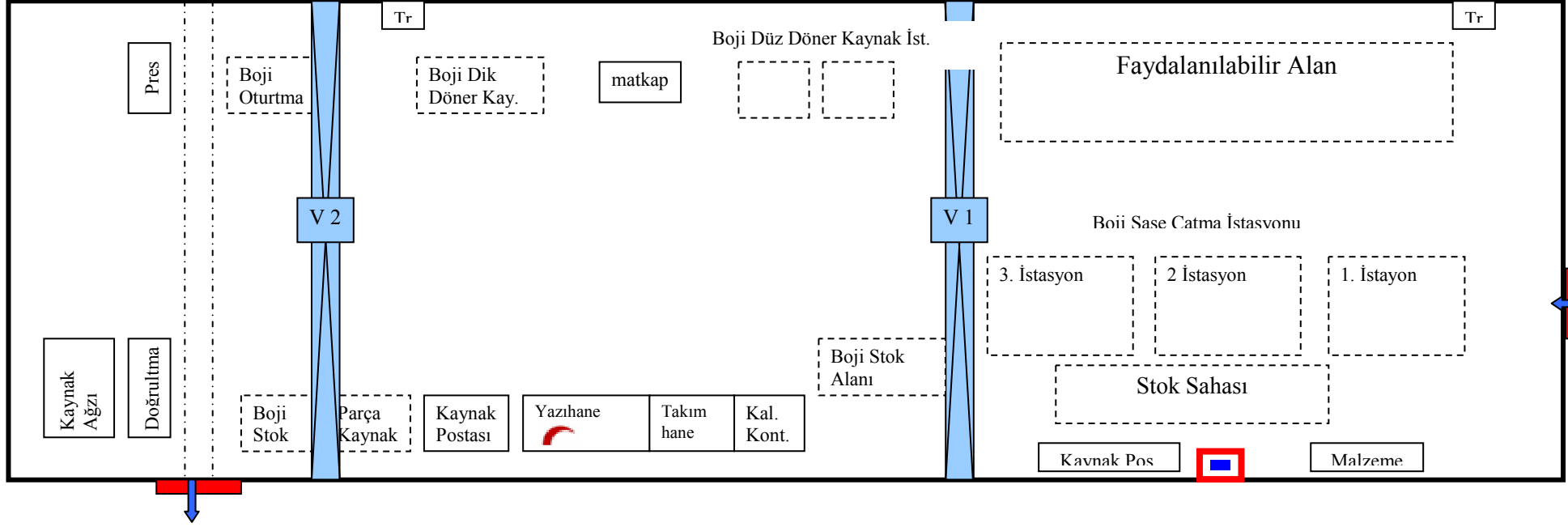
Orta Travers Çatım İstasyonu	22	Alt sacın yerleştirilmesi	8
	23	Yan sac 1 in montajı	15
	24	Yan sac 2 in montajı	15
	25	Sportların montajı	7.5
	26	Kıbnsların montajı	7.5
	27	Üst kapak montajı	20
	28	Göbek montajı	12
	29	Ayakların montajı	7.5
		Toplam Zaman	92.5

Mevcut Tesis Yerleşim Planı



Ek 8

## Boji Şasesi İmalat Hattı Yeni Yerleşim Planı



**Ek 9****Boji Şasesi Probleminin Dimitriadis'in Yöntemiyle Çözüm Sonuçları**

İstasyon	İşçiler	Görevler							ms	
1	1	8	23	30,5	45,5	65,5			ms	3,5
		22	23	25	6	7				
	2	5	10	25	32,5	47,5	67,5			
		3	4	5	26	24	27			
2	1	20	30	42	57	64,5			ms	3
		8	15	28	10	29				
	2	7	14	24	39	54	62	69,5		
		13	14	16	9	18	19	17		
3	1	15	25	32,5	47,5			ms	28,5	
		30	20	1	31					
	2	10	20	28	35,5					
		11	12	21	2					

Toplam Boş Zaman (dk)	Toplam İstasyon Sayısı (adet)	Yer Fayda Faktörü	İşçi Sayısı (adet)	Hat Verimliliği (%)
70	3	100	6	83.81

## Ek 10

### En Büyük Aday Küme Ölçütüne Göre Uyarlanan Sezgisel Yöntem Akış

#### Diyagramı

