

T.C.  
BEYKENT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

**SEZGİSEL YÖNTEMLER İLE BİR MONTAJ HATTI  
PROBLEMİNİN ÇÖZÜLMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Tezi Hazırlayan:

**Ahmet Emre BİBER**

İSTANBUL, 2018

T.C.  
BEYKENT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

**SEZGİSEL YÖNTEMLER İLE BİR MONTAJ HATTI  
PROBLEMİNİN ÇÖZÜLMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Tezi Hazırlayan:

**Ahmet Emre BİBER**

Öğrenci No:

140792022

Danışman:

Yrd. Doç. Dr. Sabahattin Kerem AYTULUN

İSTANBUL, 2018

## YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “**Sezgisel Yöntemler İle Bir Montaj Hattı Probleminin Çözülmesi**” başlıklı bu çalışmanın, bilimsel ahlak ve geleneklere uygun şekilde tarafımdan yazıldığını, yararlandığım eserlerin tamamının kaynaklarda gösterildiğini ve çalışmamın içinde kullandıkları her yerde bunlara atıf yapıldığını belirtir ve bunu onurumla doğrularım. 12/01/2018

**Aday:** Ahmet Emre BİBER



T.C.  
BEYKENT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZ SAVUNMA SINAVI SONUÇ TUTANAĞI

Beykent Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,


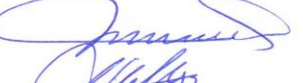

Aşağıda tez adı belirtilen yüksek lisans öğrencisi 160792022 no'lu A. Emre BİRGÜN in 6/2/18 tarihinde yapılan tez savunma sınavı<sup>1</sup> sonucunda 51. dakika süreyle sunduğu ve savunduğu tezi hakkında<sup>2</sup> oybirliğiyle, KABUL kararı verilmiştir.

Bilgilerinize saygılarımızla arz ederiz.

---

Anabilim Dalı : End. Müh. Mpi  
Programı : End. Müh. Mpi  
Tez Başlığı<sup>3</sup> : Sevgisel Yontemler ile Bir Montaj Hattı Probleminin Çözümlenmesi

---

<u>Tez Sınav Jürisi</u>	<u>Öğretim Üyesi</u>	<u>İmza</u>
Danışman	: <u>Yrd. Doç. Dr. S. Kerem Aygün</u>	
Üye	: <u>Prof. Dr. Semra Birgün</u>	
Üye	: <u>Yrd. Doç. Dr. Selçuk Kuluç</u>	

<sup>1</sup> Jüri üyeleri söz konusu tezin kendilerine teslim edildiği tarihten itibaren en geç bir ay içinde toplanarak öğrenciyi tez savunma sınavına alır. Belirlenen günde yapılamayan jüri toplantısı, katılanların hazırladığı bir tutanakla enstitü yönetimine bildirilir. Bu durumda jüri en geç onbeş gün içinde toplanarak aday tez savunma sınavına alır. Tez savunma sınav süresi en az 45 dakikadır. Yüksek lisans tez savunma sınavı, tez çalışmasının sunulması ve bunu izleyen soru-yanıt bölümlerinden oluşur ve dinleyiciye açıktır. (Beykent Lisansüstü eğitim ve Öğretim Yönetmeliği-Madde30-3)

<sup>2</sup> Tez sınavının tamamlanmasından sonra jüri, tez hakkında "kabul", "düzeltme" veya "red" kararı verir. Jüri başkanı, jüri üyelerince imzalanmış sınav tutanağını, tez sınavını izleyen üç gün içinde ilgili enstitü yönetimine teslim eder. Tezi başarısız bulunan öğrencinin Enstitü ile ilişkisi kesilir. Tezi hakkında düzeltme kararı verilen öğrenci en geç üç ay içinde gerekli düzeltmeleri yaparak ve yönetmelikte belirtilen usullere uygun olarak tezini aynı jüri önünde yeniden savunur. Bu savunma sınavında da tezi kabul edilmeyen öğrencinin enstitü ile ilişkisi kesilir. (Beykent Lisansüstü eğitim ve Öğretim Yönetmeliği-Madde30-4)

<sup>3</sup> İleride doğabilecek aksaklıkların engellenmesi için tezin başlığının yazılması gerekmektedir.

## TEŐEKKÜR

Tez çalıőmam sűrecinde elinden gelen tűm yardımı, tavsiye ve yűnlendirmelerini yapan, çalıőmanın her aőamasında benden, bilgi ve hoőgűrűsűnű esirgemeyen danıőmanım Yrd. Doç. Dr. Sabahattin Kerem AYTULUN'a teőekkűrlerimi sunarım. Eėitim ve iő hayatımın her aőamasında beni destekleyen aileme ayrıca teőekkűr ederim.



Adı ve Soyadı : Ahmet Emre BİBER  
Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Sabahattin Kerem AYTULUN  
Türü ve Tarihi : Yüksek Lisans, 2018  
Alanı : Endüstri Mühendisliği  
Anahtar Kelimeler : Sezgisel yöntemler, Hoffman, Helgeson Birnie ve Moodie Young yöntemleri, Montaj hattı dengeleme

## ÖZ

### SEZGİSEL YÖNTEMLER İLE BİR MONTAJ HATTI PROBLEMİNİN ÇÖZÜLMESİ

Bu çalışmada sezgisel yöntemler kullanılıp ve aralarında yapılan karşılaştırma sonucunda, otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin üretim hattı dengeleme çalışması yapılmıştır. Bu yöntemler buluşçuları tarafından üretim hattının optimum iş sonuçları verecek üretim hattını tasarlamak için ortaya atılmıştır. Tez çalışmasının sonucuna istinaden, Hoffmann, Helgeson Birnie ve Moodie Young sezgisel yöntemlerinin iş çıktıları değerlendirilip çalışılan işletme için en iyi sonucu veren bir üretim hattı tasarımı önerilmiştir.

Günümüzde giderek artan rekabetçi piyasa şartları sebebi ile bu çalışma sonucunun, özellikle yüksek hacimli ve birden fazla ürün çeşitliliği olan işletmelerin, rakipleri arasında bir adım öne geçmesi açısından oldukça önemlidir.

Name and Surname : Ahmet Emre Biber  
Thesis Advisor : Asst. Prof. Sabahattin Kerem AYTULUN  
Thesis Type and Date : Master,2018  
Study Field : Industrial Engineering  
Key Words : Heuristic Methods, Hoffman, Helgeson Birnie  
and Moodie Young Methods, Assembly line balancing

## **ABSTRACT**

### **SOLUTION OF AN ASSEMBLY LINE BALANCING PROBLEM WITH USING HEURISTIC METHODS**

In this study, a comparison was done between Heuristic methods and a mathematical model. The methods have been applied to production line of an operating company in the automotive sector was carried out. These methods have been proposed by the inventors to design the production line that gives the best business results by giving optimum results of the production line. According to the result of our thesis. we evaluated the outputs of Hoffmann, Helgeson-Birnie and Moodie Young heuristic methods and proposed a production design that gives the best results for the company we are working with.

It's because of today's increasingly competitive market conditions, the result of the thesis is particularly important for companies with high volume and multiple product diversity to move one step ahead of their competitors.

## İÇİNDEKİLER

ÖZ.....	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
TABLolar LİSTESİ .....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vii
GİRİŞ.....	1

### BİRİNCİ BÖLÜM

#### TESİS PLANLAMA

<b>1.TESİS PLANLAMA SÜRECİ.....</b>	<b>3</b>
1.1. Yanlış Tesis Planlamasından Doğan Aksaklıklar .....	3
1.2. Tesis İçi Yerleşimin Amaçları .....	4
1.3. Tesis Planlamasının İşletmeye Katkıları.....	5
1.4. Tesis İçi Yerleşim Şekilleri.....	5
1.4.1. Ürüne Göre Yerleşim .....	7
1.4.1.1. Ürüne Göre Yerleşim Şekli Avantajları.....	8
1.4.1.2. Ürüne Göre Yerleşim Şekli Dezavantajları .....	8
1.4.2. Sürece Göre Yerleşim.....	9
1.4.2.1. Sürece Göre Yerleşim Şekli Avantajları.....	9
1.4.2.2. Sürece Göre Yerleşim Şekli Dezavantajları .....	9
1.4.3. Sabit Konumlu Ürüne Göre Yerleşim .....	10
1.4.4. Grup Teknolojisi Ve Hücreyel Üretim .....	10

### İKİNCİ BÖLÜM

#### MONTAJ HATTI Dengeleme

<b>2.MONTAJ HATTI Dengeleme Problemleri .....</b>	<b>17</b>
2.1 Montaj Hattı ile İlgili Temel Kavramlar .....	19
2.1.1 Montaj ve Görev kavramları .....	19
2.1.2 İş İstasyonu.....	19



2.1.3 Toplam İş Süresi Ve İstasyon Zamanı.....	19
2.1.4 Çevrim Süresi .....	20
2.1.5 İstasyon Boş Zamanı .....	20
2.1.6 Gerekli En Az İş İstasyonu Sayısı .....	21
2.1.7 Ortalama İş İstasyonu Süresi .....	21
2.1.8. Teknolojik Öncelik Diyagramı.....	22
2.1.9. Öncelik Matrisi .....	23
2.1.10. Esneklik Oranı .....	24
2.1.11. Denge Kaybı.....	25
2.1.12. Hat Etkinliği .....	26
2.2. Montaj Hatlarının Sınıflandırılması .....	26
2.2.1. Ürün Çeşitliliği Etmeni.....	27
2.2.2. Hattın Şekli Etmeni .....	27
2.2.3. Görev süreleri etmeni .....	28
2.3. Montaj Hatlarında Darboğaz Araştırması .....	29
2.4. Montaj Hattı Dengeleme Teknikleri .....	29
2.4.1. Hoffman Metodu .....	29
2.4.1.1. Hoffman Yönteminin Bir Örnekle Açıklanması.....	31
2.4.2. Helgeson-Birnie (Sıralanmış Konumsal Ağırlık) Metodu .....	35
2.4.2.1. Helgeson Birnie Yönteminin Bir Örnekle Açıklanması.....	36
2.4.3. Moodie-Young Metodu .....	39
2.4.3.1 Moodie-Young Yönteminin Bir Örnekle Açıklanması .....	40

### ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

#### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

3.GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE LİTERATÜR TARAMASI.....	45
--	----

### DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

#### UYGULAMA ÇALIŞMASI

4.BİR OTOMOTİV FİRMASINDA HAT Dengeleme Yöntemlerinin Uygulanması.....	47
--	----

4.1. Hoffman yöntemi ile çözüm.....	52
-------------------------------------	----

4.2. Helgeson-Birnie (Sıralanmış Konumsal Ağırlık) Metodu ile Çözüm.....	56
4.3. Moodie-Young Yöntemi .....	60
4.4. SALBP-1 Metodu.....	65
4.4.1. Problemin Tanımı .....	65
4.4.2. Problemin Çözümü.....	65
4.4.3. Problemin Modellenmesi.....	67
4.5.Uygulama Sonuçları.....	71
<b>SONUÇ .....</b>	<b>72</b>
<b>KAYNAKÇA.....</b>	<b>74</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>77</b>

## TABLolar LİSTESİ

Sayfa No.

Tablo 1. Tesis içi yerleşim şekilleri .....	8
Tablo 2. Öncelik ilişkisi matrisi.....	24
Tablo 3. Hoffman yöntemine göre 1. matris.....	31
Tablo 4. Hoffman yöntemine göre 2. matris.....	32
Tablo 5. Hoffman yöntemine göre 3. matris.....	32
Tablo 6. Hoffman yöntemine göre 4. matris.....	33
Tablo 7. Hoffman yöntemine göre 5. matris.....	33
Tablo 8. Hoffman yöntemine göre 6. matris.....	33
Tablo 9. Hoffman yöntemine göre 7. matris.....	34
Tablo 10. Helgeson Birnie Yöntemine göre konumsal ağırlık tablosu.....	36
Tablo 11. Helgeson Birnie Yöntemine göre sıralanmış konumsal ağırlık tablosu ....	37
Tablo 12. Moodie-Young yöntemine göre 1. matris .....	40
Tablo 13. Moodie-Young yöntemine göre 2. matris .....	40
Tablo 14. Moodie-Young yöntemine göre 3. matris .....	41
Tablo 15. Moodie-Young yöntemine göre 4. matris .....	42
Tablo 16. Moodie-Young yöntemine göre 5. matris .....	42
Tablo 17. Moodie-Young yöntemine göre 6. matris .....	43
Tablo 18. Moodie-Young yöntemine göre 7. matris .....	43
Tablo 19. Sezgisel metotlar .....	46
Tablo 20. Makine parkı.....	48
Tablo 21. Öncelik tablosu .....	51
Tablo 22. Öncelik matrisi .....	52
Tablo 23. Hoffman yöntemine göre 1. matris.....	52
Tablo 24. Hoffman yöntemine göre 2. matris.....	53
Tablo 25. Hoffman yöntemine göre 3. matris.....	53
Tablo 26. Hoffman yöntemine göre 4. matris.....	54
Tablo 27. Hoffman yöntemine göre 5. matris.....	54
Tablo 28. Hoffman yöntemine göre 6. matris.....	55
Tablo 29. Hoffman yöntemine göre 7. matris.....	55
Tablo 30. Helgeson Birnie yöntemine göre konumsal ağırlık tablosu .....	56
Tablo 31. Helgeson Birnie yöntemine göre sıralanmış konumsal ağırlık tablosu ....	57
Tablo 32. Helgeson Birnie yöntemine göre sonuç tablosu .....	58
Tablo 33. Moodie-Young yöntemine göre 1. tablo .....	60
Tablo 34. Moodie-Young yöntemine göre 2. tablo .....	60
Tablo 35. Moodie-Young yöntemine göre 3. tablo .....	61
Tablo 36. Moodie-Young yöntemine göre 4. tablo .....	62
Tablo 37. Moodie-Young yöntemine göre 5. tablo .....	62
Tablo 38. Moodie-Young yöntemine göre 6. tablo .....	63

Tablo 39. Moodie-Young yöntemine göre 7. tablo .....	63
Tablo 40. İş öğeleri sıralı öncelik tablosu.....	66
Tablo 41. $E_i$ ve $L_i$ değer tablosu.....	66
Tablo 42. SALBP-1 metodu excel solver çözüm tablosu.....	72
Tablo 43. Verimlilik karşılaştırma tablosu .....	70



## ŞEKİLLER LİSTESİ

	<b>Sayfa No.</b>
Şekil 1. Üretim iş akış şeması.....	14
Şekil 2. U tipi yerleşim şeması .....	15
Şekil 3. İlişki şeması .....	16
Şekil 4. Örnek montaj hattı .....	18
Şekil 5. Öncelik ilişkisi diyagramı.....	23
Şekil 6. Tam dengede ve tam dengede olmayan montaj hattı grafikleri.....	25
Şekil 7. Öncelik diyagramı .....	31
Şekil 8. Hoffman yöntemine göre oluşan montaj hattı .....	34
Şekil 9. Helgeson Birnie yöntemine göre montaj hattı .....	38
Şekil 10. Moodie-Young yöntemine göre montaj hattı .....	44
Şekil 11. Hoffman yöntemine göre oluşan montaj hattı .....	56
Şekil 12. Helgeson Birnie yöntemine göre oluşan montaj hattı .....	59
Şekil 13. Moodie-Young yöntemine göre oluşan montaj hattı.....	64
Şekil 14. SALBP-1 yöntemine göre oluşan montaj hattı.....	70

## **GİRİŞ**

Öncelikle gelişen ve hızla büyüyen dünyaya ayak uydurmak günümüz uğraşlarından birisidir. Her geçen gün karşı karşıya kaldığımız gelişmelere ayak uydurmak için güncel kalmak zorunda kalan insanoğlu bunu başarmak için daha fazla kaynak harcamak zorundadır.

Sanayi devriminden önce bireysel kuruluşlar olarak çalışan işletmeler üretim ve yönetim faaliyetlerini geleneksel yöntemlerle sürdürmekteydiler. Ancak; zamanla ekonomi ile gelişen birlikte gelişen teknoloji ve tüketici istemlerindeki artış sonucu modern işletme olgusu doğmuş bunu sonucunda da işletmeleri rekabet ortamına sokmuştur. Geleneksel zihniyetle çalışan bireysel işletmeler üretim ve yönetim faaliyetlerini modernize ederek çağın getirdiği gelişmelere ayak uydurarak modern işletmelere dönüşmüşlerdir. İşletmeler artık daha karmaşık sistemler haline gelmiş maliyet düşünülmeden istenilen kâr payı odaklı satış stratejilerinin yerine maliyet odaklı üretim stratejileri geçerli olmuş ve denetim önem kazanmıştır.

Teknolojik gelişmelerle birlikte küreselleşen, bilgiye ulaşmanın çok kolaylaştığı, insan farkındalıklarının arttığı hep daha fazla ve iyisi için çaba sarf edildiği bir dünyada işletmelerin bu düzene ayak uydurmaları gerekmektedir ki varlıklarını sürdürebilsinler. Bu yüzden kendi sistemlerini geliştirmek ve sürekli iyileştirmeler yapmak, güncel ve rekabetçi olmak, israftan kaçınmak, maliyetleri sürekli düşürmek ve kalite odaklı olmak zorundadırlar.

Bu düşünce sistemi ilk defa Japonya'da Toyota fabrikasında geliştirilip uygulanmaya başlanmıştır. Ortaya çıkış noktası israftan kaçınmak olan yalın düşünce sistemi günümüzde işletmelerin her sürecinde uygulanmaktadır ve Dünyada kabul gören bir düşünce haline gelmiştir.

Hurdalar, fazla üretim, gereksiz malzeme taşımaları, yarı mamul ve bitmiş ürün stokları, gereksiz ek değer yaratmayan operasyonlar, işçinin makine çalışırken boş zamanı, gereksiz işçi hareketleri gibi israflardan kaçınmak için yalın üretimin üzerinde durduğu en önemli konu tesis içi planlamadır. Burada bahsi geçen tesis, insanların

gerekli malzemelerin, makinaların üretim veya hizmet için gereksinim duyulan her türlü girdinin belli bir amaç için bir araya getirildiği geniş binalar olarak tanımlanabilir. Tesis içi planlama aslında işletmenin kurulma kararı alındığından itibaren başlamak zorundadır. Başarılı bir fizibilite raporu ile başlanmalıdır ve yalnız sisteme uygun temeller atılmalıdır.

İnsan benzetmesinden yine yola çıkacak olursak işletmeyi oluşturan tüm girdileri birbirleri ile bir düzen ve uyum içerisinde yerleşmiş ve senkronize çalışan organlara benzetebiliriz. Bir organdaki hastalık tüm vücudu olumsuz etkilediği gibi işletme içerisindeki bir sistemde meydana gelebilecek bir aksaklık tüm işletmeyi, üretim veya hizmet süreçlerini etkileyecektir. Bu yüzden sistemin bir parçası olacak bu girdilerin sistematik bir düzen içerisinde yapılanması yerleşmesi gerekmektedir.

İşletmelerin, tesis yerleşimi organizasyonunu başarılı bir şekilde yapılması rekabetçi piyasalarda kendilerini öne taşıyacak faydalar elde edebilecek olmasıdır. Ayrıca İşletmelerin başlıca var olma sebebi kâr elde etmektir. Hayatta kalabilmek için düşük maliyet, yüksek kalite, en az kaynak kullanımı ve israftan kaçınmak gibi şartları yerine getirmek zorundadırlar bunları başarmak için gerekli enstrümanlardan birisi de yalnız düşüncenin de temellerinden birisi olan tesis planlaması önem kazanmaktadır.

Yapılan çalışmada, otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın incelenen montaj hattında boşa geçen zamanları en aza indirmek, işçilik maliyetleri azaltmak, oluşan ara stokların önüne geçmek. Özetle hat verimliliğini arttırmak amacıyla tesis içi düzenleme yöntemleri ve araçları kullanılarak gerçek bir üretim ortamında çalışma yapılmıştır.

## 1.TESİS PLANLAMA SÜRECİ

Tesis planlama üretim sürecinin verimliliğini maksimize eden aynı zamanda çalışanların ihtiyaçlarının karşılandığı bir iyileştirme ve verimlilik modelidir. Tesis ise en kısa tanımıyla bir işletmenin faaliyetlerinin yer aldığı alandır. Tesis yerleşimi ve tasarımı bir işletmenin genel operasyonlarının önemli bir bileşenidir. Tesis yerleşimi ve tasarımı işin nasıl yapılacağına, malzemelere ve bilgi akışına çok büyük etkisi vardır. Tesis içi yerleşimin temel amacı işin, malzemelerin ve bilginin sistem içine düzgün bir şekilde akışını sağlamaktır.

En iyi tesis planlama yapmanın anahtarı insanların (müşterilerin ve personelin), malzemelerin (hammadde, yarı mamul ve bitmiş ürün) aynı zamanda iyi ve verimli işleyen makinaların ihtiyaçlarını bütünleştirmektir.

### 1.1. Yanlış Tesis Planlamasından Doğan Aksaklıklar

Yanlış ve mantıksız yapılan üretim hatlarında çeşitli sorunlar ortaya çıkar. Bunlar gereksiz maliyetlere ve kalite sorunlarına, aynı zamanda da kontrol mekanizmalarının takip sistemlerinin işlememesine yol açar. Bu sorunlar aşağıdaki gibidir.

- ***Gereksiz yerlerde stok yığılmaları:*** düzensiz ve plansız dizilmiş makinalar arasındaki parça transferi mecbur olacağı için makine başında bekletilen stoklar oluşur.
- ***Kontrolde zorlanılması etkin bir denetim olmaması:*** hat dengeleme ve senkronizasyon olmadığından dolayı üretim planı ve kontrolü etkin yapılamaz.
- ***Fiziksel veya zihinsel yorgunluk yüzünden performans düşüklükleri:*** Oluşan kargaşadan karışıklık ve karışıklıktan dolayı hata yapma oranı artar.
- ***Siparişlerin teslimlerinde geç kalınması ve müşteri şikâyetleri:*** Tam zamanında üretim yapılamaması termin sürelerinin artmasıdır.
- ***Atıl işgücü:*** Hattaki kargaşadan ve sistemsizlikten dolayı ve gerekli gerçek iş gücü tespiti yapılamamasından dolayı fazla işçi çalıştırmak işçilik maliyetlerini arttırır.



- **İş akışında bozukluklar:** Kalite sorunlarına yol açar.
- **Kargaşa:** Bir kaos ortamı oluşur.
- **İş alanının etkin kullanılmaması:** Rahat ve ferah üretim alanının olmaması gereksiz maliyetlere ve hata paylarına yol açar.

## 1.2. Tesis İçi Yerleşimin Amaçları

Küçük işletme sahipleri tesis inşa olurken veya yenileme işlemi yaparken maksimum düzen etkinliği için birçok operasyonel faktörleri dikkate almaları gerekmektedir. Bunlardan bazıları:

- **Gelecekteki Muhtemel Genişleme Ve Değişimi Kolaylaştırmak:** Tesisler kolayca genişleyebilecek ve üretim ihtiyaçları doğrultusunda yeniden tasarlanabilecek şekilde tesis planlaması yapılmalıdır. Tesis planlama, işletmelerin temel yapı taşı olması ve büyük yatırımlar gerektirmesinden dolayı kolayca değişim yapılamamaktadır. Buna rağmen her zaman tesis düzenini yeniden tasarlamaya ihtiyaç duyulabilir. Bu yüzden her tasarım esnek olmalıdır. Esnek imalat sistemleri çoğunlukla orta hacimde üretim çeşitliliği olan yüksek otomasyonlu tesislerde görülür. Amaç ürün çeşidi fazla olan işletmelerin üretim ve montaj oranlarını iyi seviyede tutmak için değişim ve kurulum sürelerini minimize etmektir.
- **İş Akışını Kolaylaştırmak:** Başarılı Tesis düzeninin yansıması sürecin sorunsuz işlemesidir. Her zaman akışın düz bir çizgi halinde olması gerekli değildir paralel akışlar, U tipi akış, zikzak akışlar bile işletmenin sistemi açısından fonksiyonel olabilir bununla birlikte seçilen sistemden geri adım atmaktan kaçınılmalıdır. Parçalar ve malzemeler karşılıklı veya akış boyunca hareket ederken personel ve dokümantasyon karışık hale gelebilir ve akışta parça kayıpları ve koordinasyon bozulabilir.
- **Malzeme Taşıma İyileştirmeleri:** Malzeme taşıma için harcanan zaman ve kaynak hiçbir zaman ürüne değer katmaz sadece israftır bu yüzden malzeme taşıma süreçlerindeki iyileştirme uzun vadede işletmeye karlılık sağlayacaktır.

Bunu da malzeme taşıma süreçlerini mümkün olduğunca diğer operasyonlarla birleştirip gereksiz ve masraflı tesis içi hareketleri ortadan kaldırarak yapılır.

- ***İş Gücünün Etkin Kullanımı:*** İşgücü üretim sistemlerinde direkt işçilik, denetim ve yardımcı hizmetlerle beraber organize olmalıdır. Çalışanların güvenliği çevresel koşullar ışık ve havalandırma koşulları ısı, gürültü gibi etkenler ayrıca işçiye sağlanan güvenli iş alanları verimi etkileyen etmenlerdendir bu yüzden tesis planlaması bu noktada da önem kazanmaktadır.

### **1.3. Tesis Planlamasının İşletmeye Katkıları**

Planlaması yapılan tesislerin öncelikle işletmenin tedarik zinciri süreçlerini en iyi seviyeye çekilmesinde etkin rol oynamalıdır. Ürün, süreç veya tesis tasarımları ile ilgili problemlerin çözülmesi ya da yapılacak iyileştirmeler diğer işletme problemlerinin çözülmesine göre daha masraflı ve uzun süreçler gerektirdiği için bu çözümlerin getirdiği kazançlar büyük olmaktadır. Bu kazançlardan bazıları üretim süreci ile ilgili her konuda tatmin sağlanması, malzeme taşıma ve tesis içi hareketlerin minimize edilmesi ve verimlilik artışı, üretim darboğazlarını ortadan kaldırması ile hammadde ve yarı mamulün bir prodesten diğerine hızlı hareket etmesi ve tıkanmaları önlemesi, alanları etkin kullanmaya fırsat sunması, işçilere işlerinde kolaylık iş tatmini ve güvenlik sağlanması, gereksiz yatırımları önlemesi etkin sermaye kullanımı, artan verimlilik ile ürün kalitesini artırmasıdır.

### **1.4. Tesis İçi Yerleşim Şekilleri**

Üretim sistemleri için tesis içi yerleşim planını doğru bir şekilde işletmenin özgün yapısına göre tasarlamak, en iyi sonuçlar veren üretim sürecine sahip olmak, sürecin etkinliğini arttırmak ve düzgün bir iş akışını sağlamak en önemli amaçlardan birisidir. Literatürde üretim sistemleri için geliştirilmiş ve uygulanan dört tip yerleşim düzeni şekli bulunmaktadır. Bunlar:

- Ürüne göre yerleşim.
- Sabit konumlu ürüne göre yerleşim.
- Grup teknolojisi ve hücreli üretim.
- Sürece göre yerleşim şekilleridir.

**Tablo 1. Tesis içi yerleşim şekilleri**

	<b>Açıklama</b>	<b>Avantajları</b>	<b>Dezavantajları</b>
<b>Grup teknoloji ve Hücresel Üretim</b>	GT ve hücresele imalat yapılandırma çalışmalarında ilk yapılacak iş sistemdeki tüm parçaların gruplanarak parça ailelerinin oluşturulması ve daha sonra makinelerin gruplanarak imalat hücrelerinin oluşturulmasıdır.	İş akışı en basit halini alır. Tesis içi taşımacılar azalır. Üretim ara stokları azalır. Üretim zamanları düşer. Makine set-up süreleri azalır. Üretim kalitesi artar. Üretim planlama kolaylaşır. Tesis kullanım alanları azalır. Maliyetler daha kolay tahmin edilir	Üretim araçlarının çeşitliliği ve birden fazla ihtiyaç duyulması sebebi ile sabit yatırım maliyetlerini artırabilir. Tezgâhların kullanım kapasitelerinin azalması tezgâh kullanım sürelerinin de azalmasına yol açar. Hücrelerin ve kullanılan tezgâhların yeniden düzenlenmesi büyük maliyetlere yol açar. Grup teknoloji doğasından kaynaklı olarak iş görenlerin alışmış oldukları çalışma alanlarının değişmesine sebep olacağı için tepki ve dirençlerine maruz kalınabilir.
	Hücresele imalat sistemi iş gücü, makine ve proses gruplarına dayalı olan aynı ürün ailesine ait olan karakteristik ürünlerin benzer imalat yöntemleri ile üretilmesini sağlayan bir üretim sistemidir	Elde bulundurma maliyetlerinde azalma. Malzeme akışını daha organize yönetilmesi. Proses içindeki ara stokları ortadan kaldırır. Setup sürelerini azaltır. Teslim sürelerinde azalma. Kaynakları daha etkin kullanma imkanı.Sistemi daha verimli hale getirmesi. Üretim kalitesinin artması.Daha etkin müşteri hizmetleri sayesinde daha fazla memnuniyet. (Gallagher ve Knight 1986)	Atölye tarzı üretim sisteminin sağladığı esneklik düzeyinin her zaman sağlanamaması. Hücrelerin yaşam sürelerinin, yapım talebine ve yapım karışımındaki değişimlere bağlı olması. Makine sayılarındaki artış ve hücre dışı elemanların elenmesi ile makine kullanımının azalması. Düzenli bakım eylemlerinin istenilen boyutta düzenli olmaması; aksine çok daha düzenli yapılması gerekmektedir. (Önder, 2016)
<b>Sabit Konumlu Ürüne Göre Yerleşim</b>	Mamulün taşınamayacak kadar büyük ve ağır olması durumunda üretim için gerekli makine teçhizatın hammaddenin işçilerin mamulün yanına taşınması ile üretiminin gerçekleştirildiği sistemdir	Bu sistem ile birlikte malzeme taşıma hareketleri minimum seviyededir. İş dağılımı, gözlem, denetleme, kontrol ve planlama kolaydır. Üretim sürelerinde kolayca iyileştirmeler yapılabilir.	Makine teçhizat taşınması zor ve maliyetlidir ve onlardan yararlanma oranları çok düşüktür. İşçilik maliyetleri kalifiyeli işçi çalıştırma zorunluluğu olduğu için yüksektir.
<b>Ürüne Göre Yerleşim</b>	Ürüne göre yerleşim yöntemi akış tipi üretim sistemlerinde uygulanır. Akış tipi üretim, üretim hacminin fazla olduğu yüksek standardizasyon gerektiren ve sürekli üretim biçimidir.	Kısa sürede fazla miktarda ürün üretilebilir. Yüksek üretim miktarı sayesinde birim maliyet düşer. İş gören eğitim sürelerinin kısalığı sayesinde eğitim maliyetlerinde azalma. Muhasebe, satınalma ve stok kontrollerini daha düzenli ve rutin yapabilme imkânı. İşgücü ve ekipman kullanımı üst düzeydir.	Daha az esneklik. Büyük yatırımlar. Fazla genel gider harcamaları. Bir makinada oluşabilecek arızanın diğer makinelerin çalışmasını da durdurması. Üretim hattı genişletme güçlüğü. Tam kapasite kullanılmayan makineler. Uzmanlık ve denetim çok önemlidir.
<b>Sürece Göre Yerleşim Şekli</b>	Sürece göre yerleşim düzeni ürüne göre yerleşim düzeninin tam tersi bir sistemdir. Bu metot da işlemlerin fonksiyonları dikkate alınır. Aynı özelliğe sahip makineler işlemler bir bölüm altında toplanır. Örneğin torna tezgâhları bir bölüme, kaynak robotları bir bölümde olacak şekilde gruplanır	Ekipman ve makineler etkin bir şekilde çok çeşitli işlerde kullanılabilir. Esneklik çok fazladır. Yeni makine yatırımları ve üretim hattı büyütme istendiğinde kolayca adapte edilebilir. Tamir ve bakım esnasında üretim aksamaları minimum seviyededir. Makine için yatırımlar çok azdır.	Tesis içi Aktarma ve ulaştırma maliyetler çok yüksektir. Tesis içi malzeme hareketlerini planlama zordur. Ara stoklar fazladır. Kalifiye işgücü ihtiyacı, yüksek işçilik maliyetleri ve işgücü yoğunluğu.Alan gereksinimi fazladır. Uzun üretim süreleri, planlama ve kontrol zorluğu

Tablodaki bu yerleşim şekillerini her zaman tam anlamıyla üretim sahasında görmek mümkün olmayabilir. Bunun nedeni; hâlihazırda bir üretim sürecine sahip bir işletmenin belirtilen yerleşim şekilleri açısından tesis yerleşimini uygulaması durumunda istenen akış düzgünlüğünü, verimliliği ve istenen etkinliğe ulaşamayacağı kaygısıdır. Dolayısı ile üretim sürecinde çalışan sorumlular, kendi üretim sistemlerine ve süreçlerine uygun sürecin kendi kısıtlarına uygun tesis dizaynı geliştirmektedirler. Bu düzen çoğu zaman yukarıda belirtilen yerleşim şekillerinin karması şeklinde uygulanmaktadır, bu durum her zaman iyi sonuçlar vermeyebilir iş akışlarında düzensizliğe ve sistemsizliğe yol açabilmektedir.

Tesis tasarımı büyük maliyetler içerdiği için işletmeler tesis planlamasını en doğru biçimde faaliyetlerine başlamadan önce kendi sistemlerine en uygun yöntemi seçip uygulamaya başlamalıdır ki ileride olabilecek büyüme ve genişleme durumlarında esnek hareket edip mevcut sistem zarar görmeden süreci yönetebilsinler.

#### **1.4.1. Ürüne Göre Yerleşim**

Ürüne göre yerleşim yöntemi akış tipi üretim sistemlerinde uygulanır. Akış tipi üretim, üretim hacminin fazla olduğu yüksek standardizasyon gerektiren ve sürekli üretim biçimidir. Ürüne göre yerleşim düzeni ürünlerin rotalarına göre sıra ile düzenlenmiş bir sistemdir. Bir teoriye göre bu sıralı düzen tüm prosesi düz bir doğru şeklinde dizayn eder. Bu teori tek ürün veya tek ürün versiyonunun üretildiği üretim sistemleri için doğru olabilir ve bu tek çizgi akışı daha sonra ayrılabilir bu yüzden işgücü ve ekipmanlar tüm proses boyunca sorunsuz bir şekilde verimli ve etkin kullanılmalıdır.

Ürüne göre yerleşimde iki tip hat kullanılmaktadır düzenli ve düzensiz. Düzenli akışta tüm operasyonların gerçekleştirilebildiği bir hat boyunca tüm çıktıların hareket eden bir konveyör yardımıyla taşındığı ve akışın sonunda ürünün tüm operasyonlarının sona erdiği bir sistemdir. Daha fazla çalışma süreleri için iş görenin bir operasyonu tamamladıktan sonra diğer operasyon için sonraki makineye gidip tekrar bir önceki operasyona dönmesi sırasında kat ettiği yürüme mesafesi ve

harcanan zaman kaybını ortadan kaldıran bir sistemdir genellikle otomotiv fabrikalarında görülen bir yerleşim şeklidir. Düzensiz akışta ise iş görenler düzensiz ve değişken iş akışı yüzünden istasyonlar önünde büyük kuyruklar oluştururlar bu yüzden bu yerleşim şekli geniş ve hantal ürünlerin üretildiği sistemler için uygun değildir. Çünkü çok fazla stok alanına gereksinim olabilir aynı zamanda yeterli boş zaman olmadan çok fazla ürün çeşidine sahip üretim hattını dengelemek çok zordur.

En iyi bilinen teknik olan montaj hattı dengeleme ile iş istasyonlarına atanan bireysel görevler sayesinde istasyonlar arasındaki işgücü dengeli bir şekilde olacaktır. Ürüne göre yerleşimde en iyi verim hat dengeleme ile sağlanır. Hat dengeleme iş istasyonlarına işleri gereksinimlerine göre yaklaşık olarak eşit zaman kullanılacak şekilde iş ataması yapan bir sistemdir. Böylece iş istasyonlarında oluşan boş zamanları en aza indirir böylelikle bir önceki proseten parça bekleme ile oluşan zaman kayıpları aynı zamanda beklemelerden kaynaklı proses içi ara stokları da minimize eder.

Ürüne göre yerleşim şeklinin avantajları olduğu gibi dezavantajları da vardır.

#### **1.4.1.1. Ürüne Göre Yerleşim Şekli Avantajları**

Kısa sürede fazla miktarda ürün üretilebilir, yüksek üretim miktarı sayesinde birim maliyet düşüktür, iş gören eğitim sürelerinin kısalığı sayesinde eğitim maliyetlerinde azalma, muhasebe satın alma ve stok kontrolleri düzenli ve rutin yapılma imkânı, işgücü ve ekipman kullanımı üst düzeydir.

#### **1.4.1.2. Ürüne Göre Yerleşim Şekli Dezavantajları**

Daha az esneklik, büyük yatırımlar, fazla genel gider harcamaları, bir makinada oluşabilecek arızanın diğer makinaların çalışmasını da durdurması, üretim hattı genişletme güçlüğü, tam kapasite kullanılmayan makinalar, uzmanlık ve denetim çok önemlidir.

### **1.4.2. Sürece Göre Yerleşim**

Sürece göre yerleşim düzeni ürüne göre yerleşim düzeninin tam tersi bir sistemdir. Bu metot da işlemlerin fonksiyonları dikkate alınır. Aynı özelliğe sahip makinalar, işlemler bir bölüm altında toplanır. Örneğin torna tezgâhları bir bölümde, kaynak robotları bir bölümde olacak şekilde gruplanır. Bu üretim şekli genellikle benzer olmayan farklı çeşitlerde ürünleri üretmek için uygulanır. Bu metot iş emirleri ile üretim yapılan endüstriler için uyarlanmıştır. Ürün çeşitliliği çok, üretim miktarı az aynı zamanda standart değil ve siparişe göre üretiliyor ise bu düzenleme en uygun seçimdir. Çünkü esnekliğe olanak sağlar ve ürün farklılaştırma stratejisine uygundur. Sürece göre düzenlemede en genel yöntem; departmanlar arasındaki malzeme taşıma maliyetlerini minimize edecek şekilde düzenlemektir. Bu düzeni doğru uygulayabilmek için bazı soruları sormamız gerekmektedir.

- Bölümler yük miktarı ve/veya hareket sayısı yani iş akışını belirlemek,
- İş merkezleri arasındaki taşımanın nasıl olacağını belirlemek,
- Bir bölümden diğerine parça başına taşıma maliyeti.

#### **1.4.2.1. Sürece Göre Yerleşim Şekli Avantajları**

Ekipman ve makinalar etkin bir şekilde çeşitli işlerde kullanılabilir, esneklik çok fazladır, yeni makine yatırımları ve üretim hattı büyütme istendiğinde kolayca adapte edilebilir, tamir ve bakım esnasında üretim aksamaları minimum seviyededir, makine için yatırımlar çok azdır.

#### **1.4.2.2. Sürece Göre Yerleşim Şekli Dezavantajları**

Tesis içi aktarma ve ulaştırma maliyetler çok yüksektir, tesis içi malzeme hareketlerini planlamak zordur, ara stoklar fazladır, kalifiye işgücü ihtiyacı, yüksek işçilik maliyetleri ve işgücü yoğunluğu fazladır, alan gereksinimi fazladır, uzun üretim süreleri, planlama ve kontrol zordur.

### 1.4.3. Sabit Konumlu Ürüne Göre Yerleşim

Mamulün taşınamayacak kadar büyük ve ağır olması durumunda üretim için gerekli makine teçhizatın hammaddenin işçilerin mamulün yanına taşınması ile üretiminin gerçekleştirildiği sistemdir. Bu üretim sistemine örnek olarak büyük gemi ve uçak imalatları binalar örnek verilebilir.

Bu sistem ile birlikte malzeme taşıma hareketleri minimum seviyededir. İş dağılımı, gözlem, denetleme, kontrol ve planlama kolaydır. Üretim sürelerinde kolayca iyileştirmeler yapılabilir. Aynı zamanda beraberinde getirdiği dezavantajları ise makine teçhizat taşınması zor ve maliyetlidir ve onlardan yararlanma oranları çok düşüktür. İşçilik maliyetleri kalifiyeli işçi çalıştırma zorunluluğu olduğu için yüksektir.

### 1.4.4. Grup Teknolojisi Ve Hücresel Üretim

Grup teknolojisi ve hücresel imalat sistemi çalışmalarında yapılması gereken en öncelikli iş, parçaların benzerliklerine göre gruplanarak parça ailelerini oluşturmak daha sonra ise makineleri gruplayarak imalat hücrelerini oluşturmaktır. Parça ailelerinin oluşturulması zor ve karmaşık bir işlem olduğu için dikkatli bir planlama yapmak gerekir. Bu gruplama yöntemlerinden birincisi görsel olarak yapılandır. Bu yöntemde parçalar bilgi ve tecrübesi yeterli kişiler tarafından malzeme, şekil, boyut gibi özellikleri dikkate alarak gruplama yapar. Fakat bu yöntem insan inisiyatifinde olduğu için çok kapsamlı ve güvenilir değildir. İkinci yöntem ise parçaların rota bilgilerinden yararlanılarak yapılan bir üretim akış analizidir. Burada parçalara ait süreçler dikkate alındığından rota bilgilerinin doğru olması çok önemlidir. Üçüncü gruplandırma yöntemi ise sınıflandırma ve kodlama yöntemidir.

**Grup teknolojisi:** Oldukça geniş ve detaylı bir kavramdır. Endüstride sıkça rastlanan üretim sistemlerinde meydana gelen benzer özellikler taşıyan sorunların temelinde genelde üretim mühendisliğini ve endüstri mühendisliğini konu alan sebeplere dayanmaktadır. Bu yüzden bu sorunların beraberce çözülmesi ile

verimliliğin ve ekonomikliğin artacağı sorunun daha kısa bir sürede çözülebileceğine dayanan bir yaklaşımdır. Bu sistem işletmenin, satın alma pazarlama gibi çoğu departmanı için uygulanabilir.

Grup teknolojisinin temellerinin ilk defa Rus mühendis Mitrafanov tarafından atılmıştır. Daha sonra ABD Japonya Batı Avrupa'ya yayılmıştır.1970 yılların başında hücreli üretim sistemi ilgi odağı olmuş ve üzerinde fazla sayıda akademik çalışmalar ve araştırmalar yapılmıştır.

Grup teknolojisini tanımlayacak olursak ürün tasarımlarını ve üretim şekillerinin benzerliklerinden yola çıkarak benzer ürünleri bir araya getirip gruplamaya yarayan üretim felsefesidir. Bu sistemin pratikteki (atölyedeki) yüzü ise hücreli üretim sistemidir.

Mitranov'un "*Scientific Principles of Group Technology*" adlı kitabındaki tanımı detaylı bir şekilde açıklamaktadır. "Grup teknolojisi parçaların sınıflandırılması ve gruplandırılması yoluyla her bir gruba benzer teknolojik operasyonların uygulanması şeklinde yapılan imalattır. Bu metodun en önemli sonucu dar amaçlı bir durumda geniş amaçlı bir üretim ile sağlanan tasarrufların elde edilmesidir. Bu nedenle GT yığın üretim ve sipariş üretimi alanlarında oldukça önemlidir (Mitranov, 1959).

Grup Teknolojisinde Başlıca Kavramlarını aşağıdakiler gibi sıralayabiliriz.

- **Sınıflandırma:** Bu teknik sayesinde ürünlerin benzerlikleri ve temel farklılıkları dikkate alınarak organize edilmesini içerir.
- **Ailelerin Oluşturulması:** Aile, benzer özellikleri dikkate alınarak ve belirli amaç doğrultusunda ortak karakteristik özellikleri taşıyan parçaların bir araya getirilmesinden meydana gelir.
- **Basitleştirme:** Basitleştirme bilgiler ve verilerin üzerindeki kontrolün artırılması amacıyla gereksiz çeşitliliğin azaltılmasını ifade eder.
- **Standardizasyon:** Standardizasyon üretim şekilleri, parça özellikleri, terminoloji, talimatlar gibi nitelikleri arasından en iyi ya da tercih edilen niteliklerin seçilmesini ifade eder.



Grup teknolojisinin avantaj olarak sağladığı bazı kolaylıklar vardır bunlardan bazıları; iş akışı en basit halini alır, tesis içi taşımalar azalır, üretim ara stokları azalır, üretim zamanları düşer, makine kurulum süreleri azalır, üretim kalitesi artar, üretim planlama kolaylaşır, tesis kullanım alanları azalır, maliyetler daha kolay tahmin edilir. Grup teknolojisinin avantajları olduğu kadar dezavantaj olabilecek bazı özellikleri de mevcuttur.

Dezavantajları olarak ise; Üretim araçlarının çeşitliliği ve birden fazla ihtiyaç duyulması sebebi ile sabit yatırım maliyetlerini artırabilmesi, tezgâhların kullanım kapasitelerinin azalması tezgâh kullanım sürelerinin de azalmasına yol açabilmesi, hücrelerin ve kullanılan tezgâhların yeniden düzenlemesi büyük maliyetlere yok açabilir. Ayrıca grup teknolojisi doğasından kaynaklı olarak iş görenlerin alışmış oldukları çalışma alanlarının değişmesine sebep olacağı için iş görenlerin tepkisine ve dirençlerine maruz kalınabilir.

**Hücreyel Üretim:** Hücreyel imalat sistemi iş gücü, makine ve proses gruplarına dayalı olan aynı ürün ailesine ait olan karakteristik ürünlerin benzer imalat yöntemleri ile üretilmesini sağlayan bir üretim sistemidir. Her üretim hücresi esnek bir imalat sistemi imkânı sunmalıdır. Bir hücreyel üretim sistemi içerisinde birbirleri arasında malzeme akışı olmayan, birleşik konumda ortak kullanılabilen makineler olmasına izin verilmeksizin bağımsız hücreler oluşturulabilir. Hücreyel üretimin başlıca faydalar sağlar (Gallagher ve Knight, 1986). Bunlar:

- Elde bulundurma maliyetlerinde azalma
- Malzeme akışını daha organize yönetilmesi
- Proses içindeki ara stokların ortadan kalkması
- Kurulum sürelerini azaltma
- Teslim sürelerini azaltma
- Kaynakları daha etkin kullanma
- Sistemi daha verimli hale getirme
- Üretim kalitesinin artmasını sağlama
- Daha etkin müşteri hizmetleri sayesinde daha fazla memnuniyet sağlama

Hücresel üretimde en önemli konulardan birisi de hücresel üretimi düzgün bir şekilde tasarlamaktır. Hücresel üretimi tasarlayabilmek için üç temel adım mevcuttur. Bunlar aşağıdaki şekildedir.

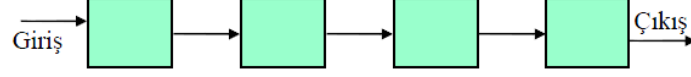
**Hücre Formasyonu:** Bu adımlar arasında ilk ve en zor olanıdır. Bu adım parça ailelerinin ve makine hücrelerinin belirlendiği daha sonra her parça ailesini ilgili hücrelere tahsis edildiği adımdır. Hücre formasyonu ayrıca hücre içi faaliyetleri, tasarım süreci parça ve makinaların belirlenmesi için kullanılır. Çok açıktır ki hücre yapısını belirlerken makine seçimi yapmak, daha sonra alınabilecek üretim prosesleri ile ilgili kararlara bağlı olacağından büyük öneme sahiptir.

**Makine dizilimi:** hücre içi makine dizilimi, u tipi yerleşim ya da akış hattı yerleşimi şeklinde olabilir.

Akış hattı yerleşim düzeni, sistem içerisinde otomatik taşıma sistemlerinin kullanıldığı geriye doğru üretim akışının olmadığı durumlarda makine ve araç gereçlerin işin önceliğine göre yerleştirildiği, otomatik transfer sistemleri sayesinde ürünün tek yöne hareket ettiği ve sadece ileri doğru atlamalı hareketlere izin verilen tüm proseslerin tek doğrusal bir hat üzerinde tamamlandığı düzendir. Bunun sayesinde kısa üretim süreleri daha az taşıma mesafeleri ve düşük ara stoklar avantaj olarak sağlanır. Akış hattı yerleşim düzenin sağladığı bazı avantajlar mevcuttur bunlar; Birim başına üretim miktarının artması ve üretim verimliliğini yükseltmesidir. Üretimin düzgün olması, üretilen ürün çeşitliliğinin az ve standart olması üretim planlamasını kolaylaştırır. İş yapmakta sorumlu olan iş gören sadece kendi işini yapacağından işinde uzmanlaşır ve hata yapma olasılığı düşer iş verimi artar.

Bu yerleşim düzeni ürüne göre tasarlandığından dolayı sistem sadece üretilen ürüne göre tasarlanır bu da sistem içerisinde değişiklik yapmak hattı baştan sona tekrar tasarlamak demektir ve yüksek maliyetlere katlanmak zorunda bırakır. Tek yöne ve birbirine bağımlı çalışan makinalardan oluştuğu için hat üzerindeki en yavaş makine tüm hücrenin hızını belirler ve hattı dengelemeyi zorlaştırır. Hat üzerindeki bir makine teçhizatı meydana gelecek arıza tüm hattı durdurmaya sebep

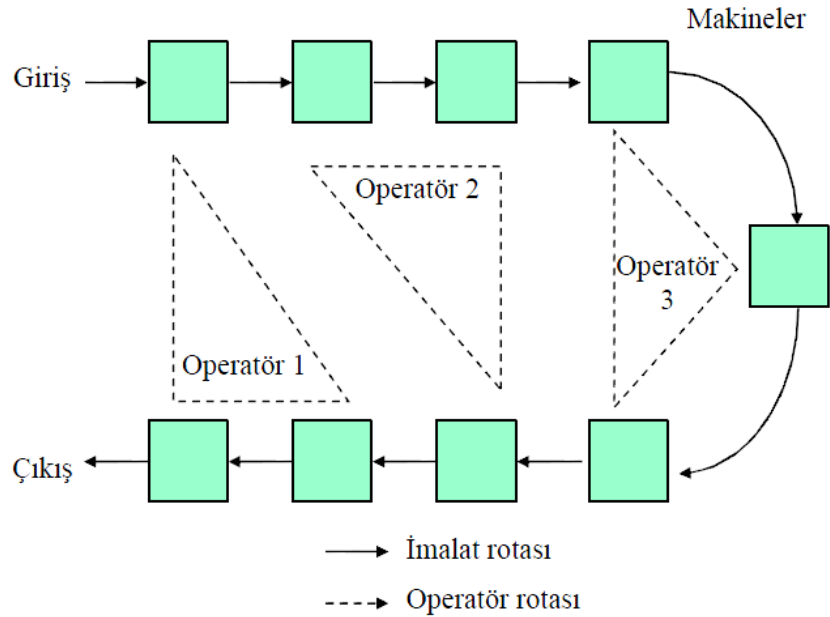
olur ve ağır maliyetler katlanılmasına sonuç olabilir bu yüzden önleyici periyodik bakımlarının yapılması çok önemlidir. Şekilde 1’de örnek bir iş akış şeması verilmiştir.



**Şekil 1. Üretim iş akış şeması**

U tipi yerleşim, aynı hücrede işlem gören ve üretim akışları aynı olmayan bir ya da birden fazla parça ailelerinin üretimi için uygulanır. Bu tip yerleşimde atlamalı hareket mümkün olduğu gibi geriye dönük hareketlerde kabul edilir. Ayrıca akış hattı sisteminde makine sayıları fazla ve doğrusal bir dizilim olduğu için genelde operatörler bir önceki ya da akışın en başındaki makineye geri dönüşleri sıralarında elleri boş dönmeleri, dolaşma sırasındaki geçen zaman kayıpları, makinalar başında çevrim süresinin bitmesi için yapılan beklemler U tipi yerleşimde en aza indirilmiştir. Dizilimin yapısından dolayı operatör hareketleri minimum düzeyde olup hücre içerisindeki her makinaya erişimi en kısa sürede gerçekleşir dolayısı ile üretim hızında artışlar gözlenir ve boşa geçen zaman en aza indirilir. U tipi yerleşimde bir işçinin birden fazla makineyi çalıştırmasına olanak sağladığı için daha az işçi çalıştırılıp işçilik maliyetlerinde azalmaya olanak sağlar. Ayrıca operatörün makine başında bekleme yapmamasından kaynaklı makinaların düzgün çalıştığını kontrol etmesine imkânı olmadığı için makinelerin sorunsuz çalıştığını kontrol eden donanımlar olması gerekmektedir bundan hata önleyici sistemlerdir. Bu sistem POKE YOKE olarak adlandırılır.

U Tipi yerleşimin tek avantajı verimlilik artışı değildir aynı zamanda talep dalgalanmalarına anında cevap verebilen esnek sistemlerdir. Esneklik talep artışı sırasında diğer hatlardan işçi transferi yapılarak her işçiye düşen makine sayısı azalacağından üretim hızı otomatik olarak artacaktır bu sebepten makine sayılarına dokunmadan işçi sayılarını artırıp azaltma ile esneklik sağlanır bu sisteme Japonca da Shojinka denir U tipi yerleşimde Shojinka'nın uygulanabilmesi için işçilerin kalifiye ve donanımlı olmaları ve sorumluluğu altında olan makinelere hemen uyum sağlamaları gerekmektedir. İşçilerin uyum süreci için farklı rotasyonlarda çalışmalıdır ki diğer makinalarda çalışarak hepsi hakkında tecrübe kazanıp ihtiyaç olduğu zaman anında adapte olabilsin. Farklı rotasyonlarda çalışan işçiler aynı zamanda dinamik bir yapıda olacakları için işten sıkılmaları da engellenir bu sayede hata yapma oranları ve iş kazaları azalır. Şekil 2. de örnek bir U tipi yerleşim şeması verilmiştir.



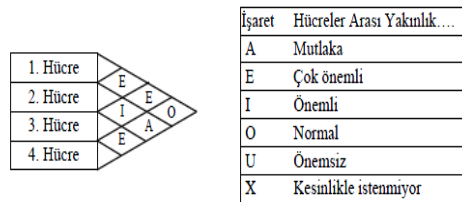
**Şekil 2. U tipi yerleşim şeması**

Hücre yerleşimi, fabrika içerisinde hücreler yerleştirilirken parça taşıma maliyetlerini en aza indirecek bir şekilde yapılmalıdır. Taşıma maliyetlerini azaltmak için aralarında yüksek parça akışı olan hücreleri yakın konumlandırmak gerekmektedir Hücreler arası parça taşıma maliyetleri taşınan parça miktarları ve hücreler arasındaki mesafeler dikkate alınarak hesaplanır.

Hücre yerleşiminin önemi etkin ve verimli üretim sistemi açısından en önemli faktördür. Ayrıca üretilecek parçaların rotaları, proses akışları hücreyel yerleşimi etkileyen en büyük kısıttır. Oluşturulan hücreleri tek başına bağımsız bir üretim alanı olarak görmeyip diğer üretim hücreleri ile de bağlantılı olma durumları göz alınarak tüm üretim sisteminin bir parçası olarak görülmelidir. Her hücreyi bir sonraki prosesinin müşterisi olarak göze almalı ve ona göre bağlantılandırılmalıdır.

Yerleşim planı yapılırken sürekli ve istikrarlı bir parça ve malzeme akışı sağlamak için ürün ailelerinin proses sıralarına uygun olmak gerekliliği karşılamalıdır. Parçaların akışın tersine hareketler yapmasına izin verilmemelidir. Tesis içi taşımalar göz önüne alınarak hücreler arası mesafelerin yeterli olması gerekli ara stok alanları ayrılması ve üretim sahasında kargaşa görünümüne sebep olacak dağınıklığa imkân verilmemesi gereklidir. Bu da iş güvenliği ve işçi sağlığı dikkate alınarak işçi çalışma alanlarının daha iyi tasarlanmasına imkan sağlar.

Yerleşim planları yapılırken işletmelerin dinamik yapılar oldukları unutulmamalı ileride alınabilecek yatırım kararları ile makine parklarını büyütülmek istendiğinde veya küçülmeye gidileceği zaman mevcut hücrelerle yeni oluşacak hücrelerin entegrasyonuna imkân verecek esnek bir yerleşim yapılmalıdır. Uygulamada hücrelerin yerleştirilmesinde sezgisel yöntemlerden yararlanılmaktadır bu yüzden hücreler arasındaki ilişkilerin ifade edildiği şemalar kullanılmaktadır bunun sonucunda hücreler arasındaki etkileşim ve ilişkinin derecesine göre birbirlerine ne kadar yakın olacaklarına karar verilir. Şekil.3'te örnek bir ilişki şeması verilmiştir.



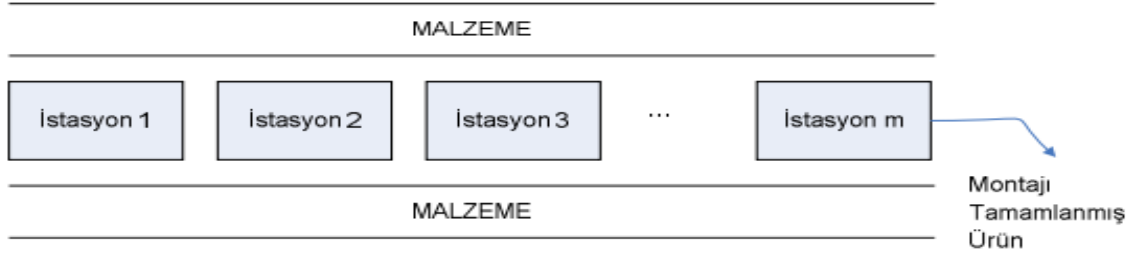
**Şekil 3. İlişki şeması**

## 2.MONTAJ HATTI DENGELEME PROBLEMLERİ

Montaj hattı; malzemelerin bir hat boyunca işgücü yardımıyla ya da otomatik olarak transfer edilmeleri ve parça üzerindeki işlemlerin de bir hat boyunca sıralı iş istasyonlarında yapılması olarak tanımlanabilir. Bir üretim montaj hattı, seri durumda iş istasyonlarından oluşur. Bu istasyonlar bir ya da daha fazla makine ve işçiden oluşabilir (Yılmaz, 2006). Montaj hatlarında üretimi gerçekleştiren ürünler genelde birkaç alt parçadan oluşur. Aynı zamanda bu alt parçaları da meydana getiren birden fazla bileşen olabilir. İşlem gören ürünlerin birkaç parçadan oluşmasının yanı sıra bu parçaların da birçok alt parçanın birleşerek oluştuğu durumlar da vardır. Örneğin, bir cep telefonunun alt parçası olarak kullanılan bataryayı üretmek için birden fazla farklı fonksiyonlarda bileşene gerek vardır.

Sanayileşme döneminde üretilecek bir ürünün parçalara bölünmesi ve bunların her birinin farklı farklı işçiler tarafından işleme tabi tutulmasından dolayı daha hızlı verimli ve daha az maliyet ile üretim yapılabileceği anlaşılmıştır. Bu sonuçtan yola çıkarak üretim, üzerinde değişik iş istasyonlarının bulunduğu belirli bir hat üzerinden malzemelerin bir akış sistemi halinde hareket etmesi ile yapılmaya başlanmıştır. Malzemelerin, bu akış hattı boyunca işçilerden (işgücü) veya donanımdan (robot ve konveyör) yararlanılarak bir sonraki istasyona gönderildiği ve parça üzerindeki işlemlerin aralarındaki öncelik sıraları, çevrim süreleri gibi kısıtları göz önüne alarak bir araya getirilmesi ile oluşan istasyonların hat boyunca sıralandığı sisteme montaj hattı denir. Bu hat üzerinde çalışan işçiler önlerinden işlem görmek için geçen hammadde veya yarı mamullere kendi sorumlulukları doğrultusunda işlemleri uygularlar. Bu işlemler sonucunda, hatta yarı mamul veya hammadde olarak giren ürünler hattın sonundan bitmiş ürün olarak hattan ayrılırlar.

Şekil 4. de örnek bir montaj hattı verilmiştir. Malzeme ilk istasyondan başlayarak son istasyona kadar tüm işlemleri tamamlanarak bitmiş ürün olarak hattı terk eder.



**Şekil 4. Örnek montaj hattı**

**Kaynak:** Kuvvetli, Yusuf. 2010. «Karma modellenmiş montaj hattı dengeleme ve işgücü atama problemi için yeni bir yaklaşım.» 2

Bir veya birden fazla ürün için tasarlanacak montaj hattı üretim sisteminde üretim hattındaki iş istasyonlarının işlem süreleri dikkate alınarak hat dengelenmesinin yapılması büyük önem taşır. Kurulan montaj hattının verimli sorunsuz işlemesi için üretim süreci içerisinde her bir montaj işçisine ya çok az boş süre yada hiç boş süre kalmayacak şekilde işlemlerin istasyonlara atanması gerekir yani var olan kısıtları dikkate alarak işlem sayısının çok üretim hızının yüksek olmasından Kurulan montaj hattının verimli ve sağlıklı işleyebilmesi için; üretim prosesi içerisinde her bir montajcıya, çok az boş süre bırakılacak veya hiç boş süre bırakılmayacak şekilde işlemlerin istasyonlara dağıtılması gerekir. Var olan kısıtlar altında işlem sayısının çok, üretim hızının yüksek olmasından dolayı iş istasyonları arasındaki işlem süresi farkları toplamının minimize edilmesi gerekmektedir. Bu kitlesel üretim yapan işletmelerde yerleşim düzeninin kurulması esnasında, hat dengeleme problemleri ortaya çıkar ve bu problemin optimum fayda sağlayacak şekilde çözülmesi ve buna göre üretim hattının tasarlanması gerekmektedir.

Montaj hattı dengeleme konusu, rekabetçi piyasada rakiplerin önüne geçmek için her zaman en iyisi için aksiyon almaya çalıştığı, piyasa koşulları zorlaşmaya başladığı durumda üretim hızının artırılması, üretim hatlarının tasarlanması ve bu hatlarda, oluşan çeşitli dalgalanmalar karşısında yeterli esnekliği verebilmek, maliyetlerin düşürülmesi, planlamanın düzgün yapılması ve işletmenin ekonomik sorunlarına çözüm getirmeye olanak sağlamasından dolayı, endüstri dünyasında büyük önem taşır. Bunları sağlamak amacı ile girişilen çalışmalar çeşitli simülasyon programları ile kolayca sağlanmaktadır.

## **2.1 Montaj Hattı ile İlgili Temel Kavramlar**

Montaj hatları ile ilgili belli başlı kavramlar mevcuttur bu kavramlar açıklamaları ile birlikte aşağıda sıralanmıştır.

### **2.1.1 Montaj ve Görev kavramları**

Montaj, değişik parçaların bileşenlerin bir araya getirilerek bir ürünün oluşturulduğu işlemdir. Görev ise montaj hattında işlem görmek zorunda olan her bir eyleme görev denir. Görevler ise belirli iş istasyonlarına atanır. Montaj sürecinin toplam iş yükünün bölünemeyen, mantıksal olarak en küçük parçasıdır. İş ögesi, gereksiz ek iş yaratmadan daha küçük parçalara bölünemez. Bir iş ögesini gerçekleştirmek için gerek duyulan süreye işlem süresi denir (Bayraktaroğlu, 2007).

### **2.1.2 İş İstasyonu**

Montaj hattı üzerinde verilen görevlerin, işçi/işçiler tarafından yapıldığı alandır. İş istasyonlarında bir veya daha fazla çalışan görev alabilir. İstasyonlarda işçiler sorumlu oldukları işlemler üzerinde gerekli araçlar ile çalışırlar. Boyutları, makineler, ekipmanlar ve atanmış iş öğeleri üzerinden tanımlanır. İş istasyonları, elle ve otomatik yapılanlar olarak ayrılabilir, ama genelde iş öğeleri, iş istasyonlarında işgücüne dayalı olarak gerçekleştirilir.

Bir montaj hattının, en az istasyon sayısının "1" olması ve en az montaj hattı dengeleme çalışması sırasında saptanan gerekli istasyon sayısı kadar istasyona sahip olması gerektiği gibi kısıtlar vardır (Çakır, 2006).

### **2.1.3 Toplam İş Süresi Ve İstasyon Zamanı**

Montaj hattı üzerinde bir ürünün montajı için gerekli olan sürelerin veya işi oluşturan tüm iş öğelerinin standart sürelerinin toplamıdır. İstasyon zamanı ise her bir istasyonda işlemin başından sonuna kadar geçen süredir. İstasyonlarda gecikme olmaması için bu süre çevrim zamanını geçemez.



Toplam İş Süresi;

$t_i$  : i Numaralı İş Ögesinin İşlem Süresi olmak üzere

$\sum ti$  Şeklinde hesaplanır.

#### 2.1.4 Çevrim Süresi

Bir prosesin üreteceği ürünü tamamlama sıklığına Çevrim Zamanı denir. Çevrim zamanı prostedeki operatörün çevrim zamanı ile farklılık gösterebilir. Operatör çevrim zamanı o prostedeki çalışan operatörün o prosesin elemanlarını baştan sona tamamlaması için gereken süredir. Operatör çevrim zamanı, proses çevrim zamanına eşittir. Eğer proses içerisinde otomatik bir makina varsa makinayı yükleme zamanı makina otomatik zamanı ve makinayı boşaltma zamanı, o prosesin toplam çevrim zamanını oluşturur. Jidoka'nın etkin olduğu otomasyon ağırlıklı proseslerde, operatör, makina otomatik zamanı esnasında paralel olarak başka işlerle uğraşabilir. Hücreli imalat yönteminde kilit noktalardan biri de budur. Çevrim zamanı, takt zamanı ile karıştırılmamalıdır. Kısaca cycle time anlamına gelen C/T ile gösterilir. (yalindanisman.com 2016)

$C$  : Çevrim süresi

$T$  : Eldeki toplam süre

$n$  : Yapılması istenen ürün sayısı

$C = \frac{T}{n}$  formülü ile hesaplanır.

#### 2.1.5 İstasyon Boş Zamanı

Çevrim süresi ile istasyon zamanı arasındaki farktır. Eğer fark negatifse istasyon gecikme zamanı olarak tanımlanır. Farkın tüm istasyonlar için mümkün olduğunca az olması istenir.

### 2.1.6 Gerekli En Az İş İstasyonu Sayısı

Montaj hattındaki işlemleri, her istasyona, çevrim süresini tümüyle veya en az bir tanesi dışında tümüyle dolduracak şekilde atadığımızı düşünecek olursak gerekli en az iş istasyonu sayısı ( $N_{enk}$ ) şu şekilde bulunacaktır.

$$N_{enk} = \left\lceil \sum_{i=1}^N t_i / C \right\rceil$$

Eğer iş süreleri toplamı çevrim süresini aşan iki iş ögesi mevcutsa bu iş ögeleri aynı istasyona atanamazlar. Bu yüzden iş ögelerinin atamaları ayrı istasyonlara yapılmalıdır ve gerekli iş istasyonu sayısı (n-olası) şu şekilde hesaplanır.

$N_{olası}$ : Çevrim süresinin yarısından daha büyük süreye sahip olan iş ögesi sayısıdır.

Bu durumda montaj hattını dengelemek için gerekli en az iş istasyonu sayısı ( $N_{enk}$ ), bu iki değer en büyüğü olarak tanımlanır (Ignall, 1965).

$$N_{enk} = N_{enb} (N_{enk} ; N_{olası})$$

İş ögesi süreleri toplamı 54 dakika olan bir montaj hattının çevrim süresi 8 dk/adet olarak belirlenmişse, bu hattı dengelemek için gerekli en az iş istasyonu sayısı;

$$N_{enk} = 54 / 8 \cong 7 \text{ olacaktır.}$$

Bu montaj hattındaki iş ögelerinden 6 tanesinin süresi, çevrim süresi olan 8'in yarısından yani 4'ten büyükse bu durumda;

$$N_{olası} = 6 \text{ ve } N_{enk} = b(7, 6) = 7 \text{ olacaktır.}$$

### 2.1.7 Ortalama İş İstasyonu Süresi

$C^*$ : Ortalama iş istasyonu süresi

$n$ : Dengeleme sonucunda elde edilen iş istasyonu sayısı olmak üzere şu eşitlik yazılabilir (Lehman, 1969).

$$C^* = \sum_{i=1}^N t_i/n$$

$(n \geq n_{enk}), C \geq C^*$

Örnek olarak yukarıdaki montaj hattını dengelediğimizi ve iş istasyonu sayısının “9” olarak hesaplandığını varsayarsak

$$C^* = 54/9 = 6 \text{ dk./adet olacaktır.}$$

Ayrıca,

$$n \geq n_{enk} \quad (9 \geq 7) \quad \text{ve} \quad C \geq C^* \quad (8 \geq 6)$$

koşulları da sağlanmıştır.

### 2.1.8. Teknolojik Öncelik Diyagramı

Teknolojik öncelik diyagramı, bir projede yer alan faaliyetleri gösteren görsel bir gösterim tekniğidir. O projenin zaman çizelgesi ve öncelik diyagramını oluşturmak için ve içerisindeki faaliyetleri temsil etmek için kutuları ve çemberleri kullanan ve bunların bağımlılıklarını oklarla gösterip birleştiren bir diyagramdır.

Montajın teknik özelliklerinden dolayı, bazı iş öğelerinin zorunlu olarak birbirini izlemesi gerekir. Bu özelliklerin tümü, öncelik ilişkileri adı altında toplanır (Sniedovich, 1981). Bir öncelik diyagramı oluşturmadan önce farkında olmamız gereken dört bağımlılık türü vardır.

**Bitir-Başla:** Bu bağımlılıkta, bir etkinlik, önceki bir etkinlik sona ermeden başlatılamaz. Bu en çok kullanılan bağımlılıktır.

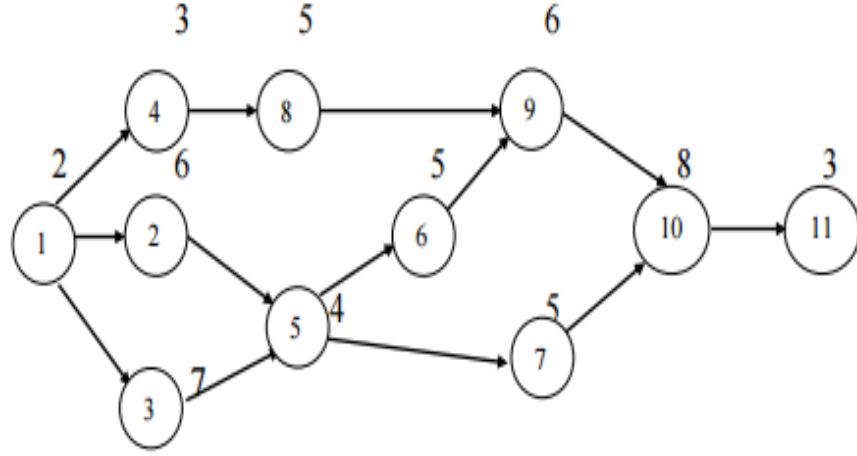
**Başla-Başla:** Bu bağımlılıkta, etkinliklerin başlangıcı arasında belirli bir ilişki vardır.

**Bitir-Bitir:** Bu bağımlılıkta, faaliyetlerin bitiş tarihleri arasında belirli bir ilişki vardır.

**Başla-Bitir:** Bu bağımlılıkta, bir etkinliğin başlangıcı ile etkinliğin bitiş zamanı arasında tanımlı bir ilişki vardır. Bu bağımlılık nadiren kullanılır.

Ağ planlama teknikleri, yöneticilere programlarını / projelerini planlamak ve kontrol etmek için güçlü bir araç sunar. Genel olarak, proje etkinliklerini grafik olarak tasvir edilmesine ve faaliyetler arasındaki ilişkilere izin verir. Bu, projenin kritik yolunun belirlenmesi, kısıtlıkların tahmin edilmesi ve sorunları çözmek için kaynakların olabilecek yeniden tahsisinin belirlenmesi için yol göstericidir.

Şekil 5. de örnek bir öncelik ilişkisi diyagramı verilmiştir.



**Şekil 5. Öncelik ilişkisi diyagramı**

Çemberlerin içindeki numaralar iş ögesi numaralarını, çemberlerin sağ üstündeki sayılar ise iş ögesi sürelerini gösterir.

### 2.1.9. Öncelik Matrisi

Tanımlanan görevler arasındaki ilişkinin ifade edildiği matristir. Bu matriste her bir görevin öncesinde zorunlu olarak yapılması gereken diğer görevler tanımlanır. Bu ilişkiler göz önünde bulundurularak istasyonlara atama yapılır. Aralarında doğrudan öncelik ilişkisi bulunan iş öğeleri için, öncül iş ögesinin bulunduğu satırla artçıl iş ögesinin bulunduğu sütunun kesişim hücrelerine “1”, diğer hücrelere “0” konur

Tablo 3 de yukarıdaki öncelik ilişkisi diyagramına ait örnek bir öncelik matrisi verilmiştir.

**Tablo 2. Öncelik ilişkisi matrisi**

		Artçıl Öğeler										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Öncül Öğeler	1	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2		-	0	0	1	1	1	0	1	1	1
	3			-	0	1	1	1	0	1	1	1
	4				-	0	0	0	1	1	1	1
	5					-	1	1	0	1	1	1
	6						-	0	0	1	1	1
	7							-	0	0	1	1
	8								-	1	1	1
	9									-	1	1
	10										-	1
	11											-

#### 2.1.10. Esneklik Oranı

Bir montaj hattının öncelik yapısının belirlenmesinde kullanılan bir ölçüttür.

$Y$ : Öncelik matrisindeki sıfır (0) değerine sahip göz sayısı

$N$ : Montaj hattındaki iş ögesi sayısı

Olmak üzere;

$$E = (2 * Y) / [N * (N - 1)] \text{ şeklinde hesaplanır.}$$

Yukarıdaki örnekte esneklik oranı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$E = ((2 * 13)) / (11 * 10) = 0,236$$

Bu oran, öncelik diyagramı seri şekilde sıralıysa sıfır (0), öncelik ilişkileri olmayan diyagram ise “1” olur. Esneklik oranının sıfıra yakın olması, istasyonlara iş ögesi atamada esnekliğin az olduğunu göstermektedir.

### 2.1.11. Denge Kaybı

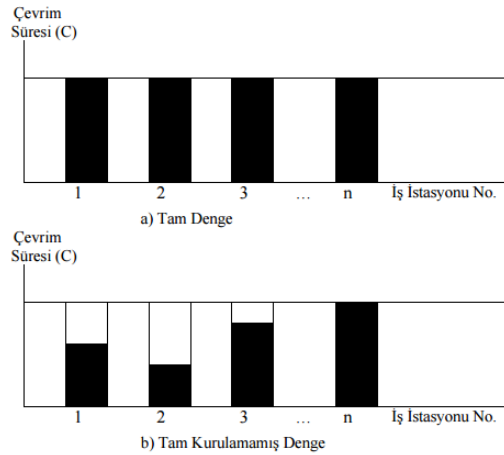
Denge kaybı (Balance loss); işlerin, işlemciler veya istasyonlara dağıtımının ne ölçüde dengeli olduğunu gösteren bir ölçüttür (Kao, 1979). Denge kaybı, her istasyonda, birim üretim için ayrılan toplam süreyle gerekli süre arasındaki farkın, ayrılan süreye oranıdır ve çoğunlukla sıfırdan büyük bir değerdir.” Sıfır olması ideal durumdur.

$D$ : Denge Kaybı

Şu şekilde hesaplanır;

$$D(\%) = [(C - C^*)/C] * 100 = \left[ \frac{(n * C - \sum_{i=1}^n t_i)}{(n * C)} \right] * 100$$

Eğer tüm istasyon süreleri çevrim süresinden küçük ise çevrim süresini en büyük istasyon süresi olarak alabiliriz. Çünkü en büyük süre ile çevrim süresi arasındaki farkı hiçbir istasyon için kullanamayız. Bu yüzden bu süreyi kullanılabilecek süre içinde değerlendirmek gereksizdir. Şekil 6’de tam dengelenmiş ve tam denge kurulamamış montaj hattı dengeleme grafikleri verilmiştir.



**Şekil 6. Tam dengede ve tam dengede olmayan montaj hattı grafikleri**

**Kaynak:** Özkan,, Raşit. 2003. «Tek modellenmiş deterministik montaj hattı dengeleme problemlerine genetik algoritma ile çözüm yaklaşımı.» 25.

### 2.1.12. Hat Etkinliği

Toplam iş süresi, iş istasyonlarına atanan iş öğelerinin süreleri toplamı olan iş istasyonu süresi değerlerinin genel toplamıdır. Bir anlamda bu süre, hat nasıl dengelenirse dengelensin, etkin olarak gerçekleştirilen işlerin toplam süresidir. İşte bu toplam etkin sürenin (toplam iş süresinin) dengeleme sonucunda montaj için ayrılması gerektiği saptanan süreye oranı, hat etkinliği olarak adlandırılan değerini verir.

Şu şekilde hesaplanır.

$$HE(\%) = \left[ \sum_{i=1}^N t_i / (n * C) \right] * 100$$

Hat etkinliği; montaj hattındaki toplam işgücünün ne kadarlık bir yüzdesinin kullanıldığını gösteren önemli bir ölçektir.

### 2.2. Montaj Hatlarının Sınıflandırılması

Montaj hatları; işin yapısına göre, model sayısına göre, taşıma sistemlerine göre ve işlem zamanlarına göre sınıflandırılabilir. Taşıma sistemlerine göre montaj hatları, gecikmeli ve gecikmesiz olarak ikiye ayrılır. Gecikmesiz hatlar, Konveyörler, hareketli bantlar gibi malzeme taşıma ekipmanları, istasyonları esnek olmayan bir biçimde birbirine bağlar. İş parçaları, hareketli bantlar üzerinde bir istasyondan diğerine sabit hızda hareket ederler veya işlendikten sonra kesik kesik transfer edilirler. Her iki durumda da her bir istasyona, görevlerin yerine getirilmesinde aynı zaman miktarı verilir. Gecikmeli hatlar, bu tip hatlarda istasyonlar arasında tampon bulunmaktadır. Tampon, takip eden istasyonda bir önceki işlem devam ederken iş parçasının tutulduğu yer olarak tanımlanır (Yılmaz, 2006).

İmalat montaj hattı dengeleme problemleri ürün çeşitliliği, hattın şekli, görev sürelerinin durumu ve performans ölçütü olarak farklı etmenlere göre sınıflandırabiliriz.

Ürün çeşitliliği etmeni tek modelli montaj hattı dengeleme problemlerinde ya da çok ve karışık modelli montaj hattı dengeleme problemlerinde, hattın şekli etmeni düz ve U tipi montaj hattı dengeleme problemlerinde, görev sürelerinin durumu

etmeni deterministik ve skolastik problemlerde, performans ölçütü etmeni TIP1 ve TIP2 problemlerinde etkin olur.

### **2.2.1. Ürün Çeşitliliği Etmeni**

Ürün çeşitliliği etmenini tek, çok ve karışık modelli montaj hattı dengeleme problemleri olarak üç başlık altında açıklayabiliriz.

Tek Modelli montaj hattı dengeleme problemleri tek çeşit ürün üretilen hatların dengelenmesi problemidir. Karışık modelli montaj hattı dengeleme problemleri ise aynı anda birden fazla benzer tipteki modellerin karışık olarak üretildiği hatlardır. Karışık modelli üretimin en önemli faydası, müşteri talebini karşılamak üzere değişik modellerin sürekli olarak üretilmesi ve büyük bitmiş mamul stoklarını gerektirmemesidir. Dolayısı ile stok maliyetlerinde kaçınmada büyük rol oynamaktadır. Üçüncü tip olan çok modelli montaj hattı dengeleme problemlerinde bu hatlarda birden fazla değişik model üretilir. Değişik modellerin üretimi ayrı partiler halinde yapılır. Belirli bir zamanda diliminde bir ürünün parti halinde üretimi tamamlandıktan sonra, arkadan diğer modellerin üretimine geçilir. Üretilen ürünler tamamen farklı ürün olabilmekle birlikte aynı ürünün farklı modelleri de olabilir bu yüzden her iki durumda da ürünlerin üretim şekilleri farklılık gösterecektir. Birinci ürün için montaj hattı hazırlanıp üretim tamamlandıktan sonra ikinci, üçüncü vb. modellerin parti üretimi için hatta gerekli değişiklikler ve düzenlemeler yapıp diğer ürünlerin üretime geçilir.

### **2.2.2. Hattın Şekli Etmeni**

Fiziksel yerleşimlerine göre montaj hatları, düz, dairesel, rastsal, değişik açılı, U- şekilli, zikzak gibi değişik biçimlerde tasarlanabilir. Geleneksel montaj hatları düz olarak tasarlanmıştır. Daha sonra yeni üretim hatlarında U-hatlar daha çok tercih edilmeye başlanmıştır. U tipi hatlar JIT sistemleri için daha çok tercih edilen hatlardır. İşlevsel yapılarına göre de seri, bileşik, paralel ve besleyici montaj hatları olarak sınıflandırılır (Erkut ve Baskak, 1997).



Düz montaj hattı dengeleme problemleri; düz bir hat halinde yerleştirilmiş makinalardan oluşan montaj hatlarının dengelenmesi problemidir. U-tipi montaj hattı dengeleme problemleri ise U şeklinde yerleştirilmiş montaj hatlarının dengelenmesi problemidir.

### 2.2.3. Görev süreleri etmeni

Montaj hattı dengeleme problemlerinde, işlem zamanları dikkate alınırsa iki durumdan söz edebiliriz. Bunlar: işlem zamanlarının belirli olması (Deterministik) ve işlem zamanlarının değişken olması (Stokastik) durumudur.

Deterministik MHD problemlerinde iş sürelerinin belirli olduğu ve bu sürelerin hiçbir şekilde değişim göstermediği varsayılmaktadır. Bu varsayım özellikle robot teknolojisinin hâkim olduğu ileri teknolojik araçlarla üretim yapılan sistemlerde geçerlidir. Stokastik MHD problemlerinde ise görev zamanları belirli bir dağılımla ifade edilir. Bu süreler bu dağılıma uymak zorunda olmamakla beraber belirsizliği en aza indirmek için belirli bir dağılıma uydurulur.

Robotlu üretim yapan sistemlerin aksine insan unsurunun hâkim olduğu üretim hatlarında beşerî sebepler işlem sürelerinin değişken olmasına yol açmaktadır. Bu değişkenliğin nedenleri arasında şunlar sayılabilir; yorulma, dikkatin dağılması, yetersiz nitelikteki işgücü, iş tatminsizliği, hatalı girdiler, araç/gereç bozulmaları sayılabilir.

Bu durum istasyonlara atanan işlerin aldıkları toplam zamanın, çevrim zamanını aşmasına ve dolayısıyla bazı görevlerin bitirilememesine sebep olmaktadır. Özellikle işler arasındaki öncelik ilişkileri göz önüne alındığında bazı görevlere hiç başlanamamaktadır. Bu tür dengeleme problemlerinde araştırmacıların çoğu görev zamanlarının normal dağılıma göre değer aldıklarını, bazıları ise görev zamanlarının değişkenlik katsayılarının ( $s/\mu$ ) tüm işler için sabit olduğunu varsayımlardır (Erel, 1991)

### **2.3. Montaj Hatlarında Darboğaz Araştırması**

Üretim sistemlerinin önemli problemlerinden biri olan darboğazın araştırılmasında izlenecek yöntem ve sıranın belirlenebilmesi amacı ile üretim faktörleri olan malzeme, makine, işgücü ve yöntem ayırımından yararlanılabilir (Üstün, 2005).

Malzeme darboğazı araştırması hammadde, yarı mamul, mamul ve yardımcı maddeleri kapsar. Makine darboğaz araştırmasına üretime katkıda bulunan tüm makine ve donanımlarla birlikte her türlü araç, kontrol ve ölçüm cihazları dahil edilir. İnsan darboğaz araştırmasında, işletmede insana ilişkin tüm problemler, iş gören ve yönetici performansları ve aralarındaki ilişkiler göz önüne alınır. Son olarak yöntem darboğaz araştırması içinde teknik ve örgütsel planlama, düzenleme, maliyet kontrol ve yatırım gibi yönetim sorunlar ele alınır.

### **2.4. Montaj Hattı Dengeleme Teknikleri**

Montaj hattı dengeleme, çok geniş bir araştırma alanına sahip olup, birçok endüstri dalında uygulanmaktadır. İlk çağdaş montaj hattı, 1913 yılında Ford Highland fabrikasında kurulmuştur. O zamandan beri, birçok araştırmacı, değişik MHD problemlerini çözmek için çeşitli çözüm yöntemleri geliştirmişlerdir (Aksoy, 1997).

#### **2.4.1. Hoffman Metodu**

1963 yılında Hoffman tarafından geliştirilen bu yöntem; ana çözüm aracı olarak öncelik diyagramının kullanıldığı ve genellikle en uygun çözümü veren bir hat dengeleme yöntemidir (Hoffmann, 1963).bu yöntemde kullanılan araçlardan birisi ise öncelik matrisidir. Bu matris “i” iş ögesinin “j” ögesinin öncelikli olması durumunda, i. satır ve j. sütunun kesiştiği hücreye “1” değeri, bu koşulu sağlamayan hücrelere ise “0” değeri verilerek oluşturulur. Matrisin en altında bir satır daha oluşturulur. Her bir sütundaki “0” ve “1” değerleri toplanıp (her sütun kendi içerisinde) ilgili sütunun sonundaki yeni satıra yazılır. Elde edilen bu satır matrisinin ögelerine “kod numaraları” denir. İş ögesi kadar kod numarası vardır ve bunlardan

en az bir tanesi sıfırdır. Kod numaralarının elde edilmesinden sonra aşağıdaki adımlarla devam edilir.

**Adım 1:** Öncelik ilişkileri matrisinin sütunlarındaki tüm değerler toplanarak bir “kod numaraları satırı” oluşturulur.

**Adım 2:** Kod numaraları satırında soldan sağa doğru ilk dize seçilir.

**Adım 3:** ilk “0” ın bulunduğu noktaya karşı gelen iş ögesi seçilir.

**Adım 4:** Seçilen iş ögesinin işlem süresi kalan istasyon süresinden çıkarılır.

**Adım 5:** Sonuç $\geq 0$  ise Adım 6’ya, sonuç $\leq 0$  ise Adım 7’ye gidilir.

**Adım 6:** iş ögesine karşılık gelinen satır ve sütun matristen çıkarılır ve elde edilen yeni matriste yeni kod numarası satırı oluşturulur.

**Adım 7:** 5. Adımda bulunan sonuç  $< 0$  ise o işi istasyona özgülenmez, değilse o iş, o istasyona özgülenir. Tüm iş öğeleri gözden geçirilinceye kadar devam edilir.

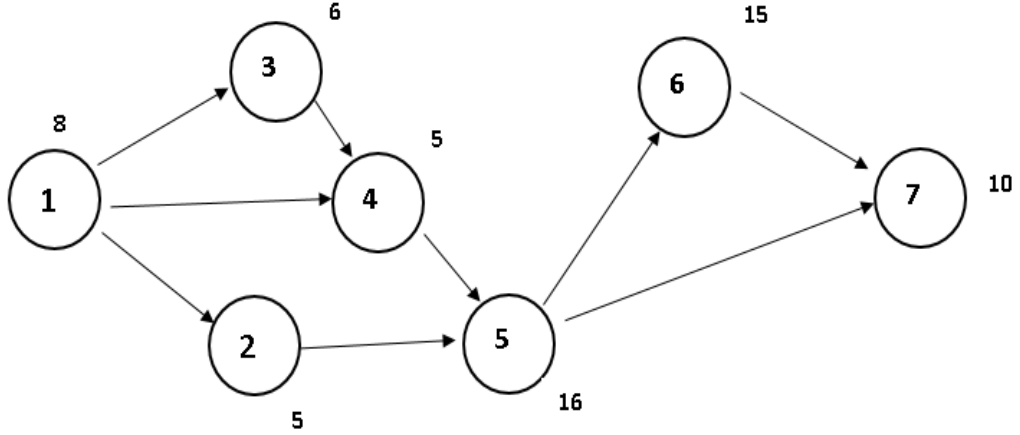
**Adım 8:** Kalan istasyon süresi 0’a eşitse Adım 9’a, değilse adım 10’a gidilir.

**Adım 9:** İlgili istasyonun işlem öğeleri tamamlanmıştır. Bir sonraki istasyon işlemleri için Adım 2’ye dönülür.

**Adım 10:** Kod numarası dizisi içinde “0” değerine sahip olan öge veya öğelerde, kalan istasyon süresinden küçük veya eşit işlem süresine sahip öge yoksa yeni istasyon atamaları için Adım 1’e gidilir. Varsa önceki istasyona özgüleme yapmayı sürdürmek amacıyla Adım 1’e dönülür.

### 2.4.1.1. Hoffman Yönteminin Bir Örnekle Açıklanması

Şekil 7’de belirlenen çevrim süresi 25 dakika olan bir üretim hattına ait öncelik diyagramı verilmiştir. Bu diyagram esas alınarak Hoffman yöntemi ile çözüm gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7. Öncelik diyagramı

Hoffman yöntemine göre 1. Matris aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur.

Tablo 3. Hoffman yöntemine göre 1. matris

	1	2	3	4	5	6	7
1	*	1	1	1	0	0	0
2		*	0	0	1	0	0
3			*	1	0	0	0
4				*	1	0	0
5					*	1	1
6						*	1
7							*
KOD	0	1	1	2	2	1	2

İş öğelerinin birbirlerine olan öncelikleri esas alınarak öncelikli öğelere “1” değeri verilmiştir; öncelik ilişkileri olmayan iş öğelerine ise “0” değeri verilmiştir. Verilen değer toplamları “Kod” satırına yazılmıştır ve Hofmann yönteminin adımları uygulanmaya başlanmıştır.

Kod numarası satırında sıfır değerinin ilk görüldüğü iş ögesi 1 numaralı iş ögesidir. Bu yüzden “1” numaralı iş ögesi 1. iş istasyonuna atanır ve kalan boş süre

$C - t = 25 - 8$  dakikadır. 1. satır ve sütun çıkarılarak yeni matris oluşturulur.

**Tablo 4. Hoffman yöntemine göre 2. matris**

	2	3	4	5	6	7
2	*	0	0	1	0	0
3		*	1	0	0	0
4			*	1	0	0
5				*	1	1
6					*	1
7						*
KOD	0	0	1	2	1	2

Kod numarası satırında sıfır değerinin ilk görüldüğü yer 2 numaralı iş ögesidir. 2. iş ögesi de 1. iş istasyonuna atanır ve kalan boş süre  $C - t = 17 - 5 = 12$  dakika olur. Ardından 2. satır ve sütun çıkarılarak yeni matris oluşturulur.

**Tablo 5. Hoffman yöntemine göre 3. matris**

	3	4	5	6	7
3	*	1	0	0	0
4		*	1	0	0
5			*	1	1
6				*	1
7					*
KOD	0	1	1	1	2

Kod numarası satırında sıfır değerinin ilk görüldüğü yer 3 numaralı iş ögesidir. 3. iş ögesi de 1. iş istasyonuna atanır ve kalan boş süre  $C - t = 12 - 6 = 6$  dakika olur. 3. satır ve sütun çıkarılarak yeni matris oluşturulur.

**Tablo 6. Hoffman yöntemine göre 4. matris**

	4	5	6	7
4	*	1	0	0
5		*	1	1
6			*	1
7				*
KOD	0	1	1	2

Kod numarası satırında sıfır değerinin ilk görüldüğü yer 4 numaralı iş ögesidir. 4. iş ögesi de 1. iş istasyonuna atanır ve kalan boş süre  $C - t = 6 - 5 = 1$  dakika olur. 4. satır ve sütun çıkarılarak yeni matris oluşturulur.

**Tablo 7. Hoffman yöntemine göre 5. matris**

	5	6	7
5	*	1	1
6		*	1
7			*
KOD	0	1	2

Kod numarası satırında sıfır değerinin ilk görüldüğü yer 5 numaralı iş ögesidir. Eğer 5. iş ögesi 1. iş istasyonuna atanırsa kalan boş süre  $C - t = 1 - 16 = -15$  dakika olur. Bu değer negatif olduğundan geçerli değildir. Tekrardan kod numarası satırına gidilip soldan itibaren başka sıfır değeri bulunana kadar taranır. Başka bir "0" değeri olmadığı için 1. iş istasyonu ataması sonlanmıştır ve 2. iş istasyonuna geçilir ve kalan boş süre  $C - t = 25 - 16 = 9$  dakika olur. 5 numaralı iş ögesi 2. iş istasyonuna atanır ve 5. satır ve sütun çıkarılarak yeni matris oluşturulur.

**Tablo 8. Hoffman yöntemine göre 6. matris**

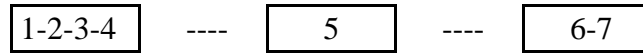
	6	7
6	*	1
7		*
KOD	0	1

Kod numarası satırında sıfır değerinin ilk görüldüğü yer 6 numaralı iş ögesidir. 6. iş ögesi 2. iş istasyonuna atanması durumunda kalan süre  $C - t = 9 - 15 = -6$  dakika olur. Negatif olduğu için bu değer geçersizdir. Tekrardan kod numarası satırına gidilip soldan itibaren başka sıfır değeri buluncaya kadar taranır. Başka bir "0" değeri olmadığı için 2. iş istasyonu atanması sonlanmıştır ve 3. iş istasyonuna geçilir. Kalan süre  $C - t = 25 - 15 = 10$  dakika olur. 6 numaralı iş ögesi 3. iş istasyonuna atanır ve 6. Satır ve sütun çıkarılarak yeni matris oluşturulur.

**Tablo 9. Hoffman yöntemine göre 7. matris**

	7
7	*
<b>KOD</b>	<b>0</b>

Kod numarası satırında sıfır değerinin ilk görüldüğü yer 7 numaralı iş ögesidir. 7. iş ögesi 3. iş istasyonuna atanması durumunda kalan süre  $C - t = 10 - 10 = 0$  dakika olur. 7 numaralı iş ögesi 3. istasyonuna atanır ve kalan boş süre "0" olur. Atamalar sonucunda oluşan montaj hattı aşağıdaki gibi olmuştur.



**Şekil 8. Hoffman yöntemine göre oluşan montaj hattı**

Sonuç olarak 25 dakika çevrim süresine sahip olan hattımızda (C)

Min. hücre sayısı:  $65 / 25 = 2,6 = 3$  min. hücre sayısı

Oluşan hücre sayısı (n): 3

Toplam İş ögesi süresi (t) : 65 dakika

$$LB = \frac{[n \cdot c - \sum_{i=1}^n t_i]}{n \cdot c} * 100 \text{ (Denge Kaybı)}$$

$$= [(3 * 25) - 65] / (3 * 25) * 100$$

$$= \%13$$

$$LE = (1 - LB) \cdot 100 \text{ (Hat etkinliği)}$$

$$= (1 - 0,13) * 100$$

$$= \%87$$

## 2.4.2. Helgeson-Birnie (Sıralanmış Konumsal Ağırlık) Metodu

Helgeson ve Birnie tarafından geliştirilen sıralanmış konumsal ağırlık metodu üretim sistemlerinde en iyi bilinen montaj hattı dengeleme yöntemidir. Her montaj hattı işlemlerin karmaşıklığına göre değişine bir yada birden fazla işlem ve proses zamanlarından oluşur. Bu yüzden yöneticiler sıralanmış ağırlık metodu kullanarak her işlemin karmaşıklık düzeyini belirlerler. Aslında bu yönetimin stratejisi zincirdeki en uzun görevleri atamaktır. Bu zincir uzunluğu konumsal ağırlık olarak bilinir.

Bir işlemin ağırlığı, işlemin kendisinin işleme süresi artı kalan tüm işlemlerin işlem süresi toplamı olarak tanımlanır (Mahapatra, 2010). Ardından görevler, pozisyonel ağırlıklarına göre azalan düzende sıralanır (Panneerselyam, 2012).

Tam ve Dissanayake, şantiyelerdeki inşaat işlemleri ile montaj hattı imalatı arasındaki benzerliğin çok yakın olması nedeniyle, inşaat sektörüne sıralı konumsal ağırlık yöntemini uyguladılar (Tam ve Dissanayake 1998).

Helgeson Birnie yöntemini adım adım açıklarsak;

**Adım1:** Her görev için pozisyon ağırlıkları belirlenir. (İşlemin başlangıcından ağırlık geri kalan kısmı arasındaki en uzun yol süresi.) pozisyon ağırlığı; o işlemi yapmak için gerekli süre ve ondan sonra gelen işlemleri yapmak için gerekli sürelerin toplamıdır.

**Adım2:** İş elemanlarını pozisyon ağırlığına göre sıralanır. En yüksek pozisyon ağırlıklı çalışma elemanı birinci sıraya yerleştirilir.

**Adım3:** En yüksek konum ağırlıklı iş öğelerine öncelik verilerek iş öğelerinin iş istasyonlarına ataması yapılır.

**Adım4:** İş istasyonunun kalan süresi, atanan iş süresini çevrim süresinden çıkararak bulunur.



**Adım 5:** İlk atama bittikten sonra kalan en büyük ağırlıklı iş ögesi bulunur.

**Adım 6:** Seçilen iş ögesinin atanmamış önceli bir iş ögesi bulunmuyorsa ve iş ögesinin süresi kalan boş zamandan az ise iş istasyonuna atama yapılır.

**Adım 7:** Seçilen iş ögesinin atanmamış önceli bir iş ögesi varsa veya iş ögesinin süresi kalan boş zamandan fazla ise seçili iş ögesi, iş istasyonuna atanamaz. İkinci büyük konum ağırlıklı iş ögesini seç ve adım 5' e dön.

**Adım 8:** Seçilen istasyonun boş zamanı, atanmamış iş ögelerinin işlem sürelerinden küçük ya da sıfır kadar atama yapmaya devam et. Aksi takdirde mevcut iş istasyonunun ataması tamamlandı. Diğer istasyona geçip adım 2' ye git.

**Adım 9:** Ataması yapılmamış iş ögesi kalmayıncaya kadar iş ögelerini öncelik ilişkileri ve konum ağırlıklarına dikkat ederek atamaya devam et.

#### 2.4.2.1. Helgeson Birnie Yönteminin Bir Örnekle Açıklanması

Şekil 1.1 de verilen öncelik diyagramı ve iş ögelerini dikkate alarak Helgeson Birnie yöntemini kullanarak çevrim süresi 25 dakika olan bir hattın dengelemesini yapalım.

Öncelikli olarak diyagrama göre iş ögelerinin konumsal ağırlıklarını hesaplayalım ve tabloda gösterelim.

**Tablo 10. Helgeson Birnie Yöntemine göre konumsal ağırlık tablosu**

Öge no	Öge süresi	1	2	3	4	5	6	7	Konumsal ağırlık
1	8	-	1	1	1	+	+	+	65
2	5		-			1	+	+	46
3	6			-	1	+	+	+	52
4	5				-	1	+	+	46
5	16					-	1	1	41
6	15						-	1	25
7	10							-	10

1” ile gösterilen hücreler, ilgili satırdaki iş ögesinden hemen sonra önceli olarak ilgili sütundaki iş ögesinin geldiğini gösterir.

“+” ile gösterilen hücreler, ilgili satırın direkt atamalardan sonraki iş ögesi hattını gösterir.

Aşağıdaki tabloda konumsal ağırlıkları hesaplanmış iş ögelerinin büyükten küçüğe sıralanmış hali görülmektedir.

**Tablo 11. Helgeson Birnie Yöntemine göre sıralanmış konumsal ağırlık tablosu**

Öge No	1	3	2	4	5	6	7
Konumsal Ağırlık	65	52	46	46	41	25	10
Öge Süresi	8	6	5	5	16	15	10

Şekilde görüldüğü gibi en yüksek konumsal ağırlığa sahip iş ögesi 1 numaralı iş ögesidir ve ilk olarak 1. İş istasyonuna atanır. Atamadan sonra kalan boş süre  $C - t = 25 - 8 = 17$  dakika olur.

Daha sonra konumsal ağırlık olarak en büyük iş ögesi 3 numaralı iş ögesidir ve 1. iş istasyonuna ataması yapıldıktan sonra kalan boş süre  $C - t = 17 - 6 = 9$  dakika olur.

Sıradaki en büyük konumsal ağırlığa sahip iş ögesi 2 numaralı iş ögesidir ve 1. iş istasyonuna ataması yapıldıktan sonra kalan boş süre  $C - t = 9 - 5 = 4$  dakika olur.

Sıradaki en büyük konumsal ağırlığa sahip iş ögesi 4 numaralı iş ögesidir eğer atama yapılırsa kalan boş süre  $C - t = 4 - 5 = -1$  dakika olur.

Bu değer negatif olduğundan geçerli değildir ve konumsal ağırlıklarına göre iş ögelerine bakılmaya devam edilir. Fakat en son kalan 4 dakikalık boş iş süresi

geriye kalan iş öğeleri süresinden küçük olduğu için daha fazla atama yapılamaz ve 1. iş istasyonu ataması bitmiştir.

2. iş istasyonu atamasına en büyük konumsal ağırlığı olan 4 numaralı iş ögesinden başlanılarak yapılır ve kalan boş süre  $C - t = 25 - 5 = 20$  dakika olur.

Sıradaki en büyük konumsal ağırlığa sahip iş ögesi 5 numaralı iş ögesidir ve 2. İş istasyonuna atama yapıldıktan sonra kalan boş süre  $C - t = 20 - 16 = 4$  dakika olur.

Sıradaki en büyük konumsal ağırlığa sahip iş ögesi 6 numaralı iş ögesidir eğer atama yapılırsa kalan boş süre  $C - t = 4 - 15 = -11$  dakika olur.

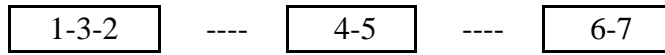
Negatif olacağından bu değer geçerli değildir ve konumsal ağırlıklarına göre iş ögelerine bakılmaya devam edilir. Fakat en son kalan 4 dakikalık boş iş süresi geriye kalan iş öğeleri süresinden küçük olduğu için daha fazla atama yapılamaz ve 2. iş istasyonu ataması bitmiştir.

3. iş istasyonu atamasına en büyük konumsal ağırlığı olan “6” numaralı iş ögesinden başlanılarak yapılır ve kalan boş süre  $C - t = 25 - 15 = 10$  dakika olur.

Sıradaki en büyük konumsal ağırlığa sahip iş ögesi 7 numaralı iş ögesidir eğer atama yapılırsa  $C - t = 10 - 10 = 0$  dakika olur.

Geriye boş süre kalmamıştır bütün iş istasyonları atamaları sonlanmıştır.

Sonuçta oluşan montaj hattı aşağıdaki gibidir.



### Şekil 9. Helgeson Birnie yöntemine göre montaj hattı

Sonuç olarak 25 dakika çevrim süresine sahip olan hattımızda (C)

Min. hücre sayısı:  $65 / 25 = 2,6 = 3$  min. hücre sayısı

Oluşan hücre sayısı (n): 3

Toplam İş ögesi süresi (t) : 65 dakika

$$LB = \frac{[n*c - \sum_{i=1}^n ti]}{n*c} * 100 \text{ (Denge Kaybı)}$$

$$= [(3 * 25) - 65] / (3 * 25) * 100$$

$$= \%13$$

$$LE = (1 - LB) * 100 \text{ (Hat etkinliği)}$$

$$= (1 - 0,13) * 100$$

$$= \%87$$

### 2.4.3. Moodie-Young Metodu

Öncelikle bu metodu uygulamak için aşağıdaki gibi bir tablo oluşturulmalıdır. Tablonun birinci kolonunda operasyon numaraları, ikinci kolonda ilgili satırdaki iş ögesinin önceki operasyonları (öncelini), üçüncü kolonda ise ilgili satırdaki iş ögesinin sonraki operasyonları (ardılımı) dördüncü kolonda ise operasyon süreleri yer almaktadır.

Yöntemde izlenecek adımlar aşağıdaki gibidir;

**Adım 1:** İş ögelerinin öncellerini ve ardılarını gösteren P ve F matrisleri oluşturulur.

**Adım 2:** P matrisinde tüm satırı sıfır olan iş ögesi tespit edilir ve ilgili iş istasyonuna ataması yapılır.

**Adım 3:** Eğer P matrisinde tüm satırı sıfır olan birden fazla iş ögesi varsa işlem süresi en uzun olanın ataması yapılır.

**Adım 4:** Atanan iş ögesine ait F matrisinde bulunan iş ögelerinin P matrisindeki satırına gidilir ve ataması yapılmış olan iş ögesi çıkarıp yerine sıfır yazılır.

**Adım 5:** Kontrol sütununda ataması yapılan iş ögesinin satırına “\*” işareti konur.

**Adım 6:** Atamalar yapılırken öncelik kısıtlarına ve çevrim süresini aşmamaya dikkat edilir.

**Adım 7:** Tüm iş ögeleri atanıncaya kadar atama yapılmaya devam edilir.

### 2.4.3.1 Moodie-Young Yönteminin Bir Örnekle Açıklanması

Şekil 7 de verilen öncelik diyagramı ve iş öğelerini dikkate alarak Moodie-Young yöntemini kullanarak çevrim süresi 25 dakika Olan bir hattın dengelemesini yapalım. P ve F matrislerini içeren tablo aşağıdaki gibi çizilmiştir.

**Tablo 12. Moodie-Young yöntemine göre 1. matris**

İŞ ÖĞESİ NO	P MATRİSİ (ÖNCELİ)		F MATRİSİ (ARDILI)			İŞLEM SÜRESİ (t <sub>i</sub> )	KONTROL SÜTUNU
1	0	0	2	3	4	8	
2	1	0	5	0	0	5	
3	1	0	4	0	0	6	
4	1	3	5	0	0	5	
5	2	4	6	7	0	16	
6	5	0	7	0	0	15	
7	5	6	0	0	0	10	

Yukarıdaki tabloda P matrisinin tüm satırında sıfır bulunan iş öğesi bulunur ve 1. İş istasyonuna ataması yapılır kalan boş süre  $C - t = 25 - 8 = 17$  dakika olur.

1 numaralı iş öğesi 1. İş istasyonuna atandığı için P matrisinde 2,3 ve 4 numaralı iş öğelerine göre önceli olduğunu gösteren “1”lerin yerine “0” yazılır ve kontrol sütununa “\*” işareti konulur.

Bir sonraki aşamada tablo aşağıdaki gibi düzenlenir.

**Tablo 13. Moodie-Young yöntemine göre 2. matris**

İŞ ÖĞESİ NO	P MATRİSİ (ÖNCELİ)		F MATRİSİ (ARDILI)			İŞLEM SÜRESİ (t <sub>i</sub> )	KONTROL SÜTUNU
1	0	0	2	3	4	8	*
2	0	0	5	0	0	5	
3	0	0	4	0	0	6	
4	0	3	5	0	0	5	
5	2	4	6	7	0	16	
6	5	0	7	0	0	15	
7	5	6	0	0	0	10	

P matrisindeki tüm satırı “0” olan iş öğeleri tespit edilir 2 ve 3 numaralı iş öğeleri birden fazla olduğu için işlem süresi en uzun olan seçilir (3 numaralı iş öğesi) ve 1. iş istasyonuna ataması yapılır. Kalan boş süre  $C - t = 17 - 6 = 11$  dakika olur.

3 numaralı iş öğesi atandığı için P matrisinde 4 numaralı iş öğesinin önceli olduğunu gösteren “3” yerine “0” yazılır ve kontrol sütununa “\*” konulur.

Bir sonraki aşamada tablo aşağıdaki gibi düzenlenir.

**Tablo 14. Moodie-Young yöntemine göre 3. matris**

İŞ ÖGESİ NO	P MATRİSİ (ÖNCELİ)		F MATRİSİ (ARDILI)			İŞLEM SÜRESİ (t <sub>i</sub> )	KONTROL SÜTUNU
1	0	0	2	3	4	8	*
2	0	0	5	0	0	5	
3	0	0	4	0	0	6	*
4	0	0	5	0	0	5	
5	2	4	6	7	0	16	
6	5	0	7	0	0	15	
7	5	6	0	0	0	10	

P matrisindeki tüm satırı 0 olan iş öğeleri tespit edilir. (2 ve 4 no.lu iş öğeleri) birden fazla olduğu için işlem süresi uzun olan seçilir fakat işlem süreleri de eşit olduğu için öncelik ilişkileri dikkate alınarak 2 no.lu iş öğesi 1. İş istasyonuna atanır. Kalan boş süre;  $C - t = 11 - 5 = 6$  dakika olur.

2 no.lu iş öğesi atandığı için P matrisinde 5 numaralı iş öğesinin önceli olduğunu gösteren “2” yerine “0” yazılır ve kontrol sütununa “\*” konur.

Bir sonraki aşamada tablo aşağıdaki gibi düzenlenir.

**Tablo 15. Moodie-Young yöntemine göre 4. matris**

İŞ ÖĞESİ NO	P MATRİSİ (ÖNCELİ)		F MATRİSİ (ARDILI)			İŞLEM SÜRESİ (t <sub>i</sub> )	KONTROL SÜTUNU
1	0	0	2	3	4	8	*
2	0	0	5	0	0	5	*
3	0	0	4	0	0	6	*
4	0	0	5	0	0	5	
5	0	4	6	7	0	16	
6	5	0	7	0	0	15	
7	5	6	0	0	0	10	

P matrisindeki tüm satırı “0” olan iş öğeleri tespit edilir. (4 numaralı iş öğesi)

1. İş istasyonuna atanır. Kalan boş süre  $C - t = 6 - 5 = 1$  dakika olur.

4 numaralı iş öğesi atandığı için P matrisinde 5 numaralı iş öğesinin önceli olduğunu gösteren “4” yerine “0” yazılır ve kontrol sütununa “\*” konur.

Bir sonraki aşamada tablo aşağıdaki gibi düzenlenir.

**Tablo 16. Moodie-Young yöntemine göre 5. matris**

İŞ ÖĞESİ NO	P MATRİSİ (ÖNCELİ)		F MATRİSİ (ARDILI)			İŞLEM SÜRESİ (t <sub>i</sub> )	KONTROL SÜTUNU
1	0	0	2	3	4	8	*
2	0	0	5	0	0	5	*
3	0	0	4	0	0	6	*
4	0	0	5	0	0	5	*
5	0	0	6	7	0	16	
6	5	0	7	0	0	15	
7	5	6	0	0	0	10	

P matrisindeki tüm satırı “0” olan iş öğeleri tespit edilir. (5 numaralı iş öğesi) fakat atama gerçekleştirilirse çevrim süresi aşılabacağı için 1. İş istasyonu ataması bitmiş olur. 5 numaralı iş öğesi 2. İş istasyonuna atanır. Kalan boş süre  $C - t = 25 - 16 = 9$  dakika olur.

5 numaralı iş ögesi atandığı için P matrisinde 6 ve 7 numaralı iş ögesinin önceli olduğunu gösteren “5” yerine “0” yazılır ve kontrol sütununa “\*” konur. Bir sonraki aşamada tablo aşağıdaki gibi düzenlenir.

**Tablo 17. Moodie-Young yöntemine göre 6. matris**

İŞ ÖGESİ NO	P MATRİSİ (ÖNCELİ)		F MATRİSİ (ARDILI)			İŞLEM SÜRESİ (t)	KONTROL SÜTUNU
1	0	0	2	3	4	8	*
2	0	0	5	0	0	5	*
3	0	0	4	0	0	6	*
4	0	0	5	0	0	5	*
5	0	0	6	7	0	16	*
6	0	0	7	0	0	15	
7	0	6	0	0	0	10	

P matrisindeki tüm satırı “0” olan iş ögeleri tespit edilir. (6 numaralı iş ögesi) fakat atama gerçekleştirilirse çevrim süresi aşılabacağı için 2. İş istasyonu ataması bitmiş olur. 6 numaralı iş ögesi 3. İş istasyonuna atanır. Kalan boş süre  $C - t = 25 - 15 = 10$  dakika olur.

6 numaralı iş ögesi atandığı için P matrisinde 7 numaralı iş ögesinin önceli olduğunu gösteren “6” yerine “0” yazılır ve kontrol sütununa “\*” konur.

Bir sonraki aşamada tablo aşağıdaki gibi düzenlenir.

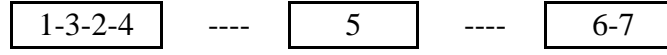
**Tablo 18. Moodie-Young yöntemine göre 7. matris**

İŞ ÖGESİ NO	P MATRİSİ (ÖNCELİ)		F MATRİSİ (ARDILI)			İŞLEM SÜRESİ (t)	KONTROL SÜTUNU
1	0	0	2	3	4	8	*
2	0	0	5	0	0	5	*
3	0	0	4	0	0	6	*
4	0	0	5	0	0	5	*
5	0	0	6	7	0	16	*
6	0	0	7	0	0	15	*
7	0	0	0	0	0	10	



P matrisindeki tüm satırı 0 olan iş öğeleri tespit edilir. (7 numaralı iş öğesi) 3. İş istasyonuna atanır. Kalan boş süre  $C - t = 10 - 10 = 0$  dakika olur.

Sonuçta oluşan montaj hattı aşağıdaki gibidir.



### Şekil 10. Moodie-Young yöntemine göre montaj hattı

Sonuç olarak 25 dakika çevrim süresine sahip olan hattımızda (C)

Min. hücre sayısı:  $65 / 25 = 2,6 = 3$  min. hücre sayısı

Oluşan hücre sayısı (n): 3

Toplam İş öğesi süresi (t) : 65 dk.

$$LB = \frac{[n \cdot c - \sum_{i=1}^n t_i]}{n \cdot c} * 100 \text{ (Denge Kaybı)}$$

$$= [(3 * 25) - 65] / (3 * 25) * 100$$

$$= \%13$$

$$LE = (1 - LB) \cdot 100 \text{ (Hat etkinliği)}$$

$$= (1 - 0,13) * 100$$

$$= \%87$$

### 3.GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE LİTERATÜR TARAMASI

Tek modellenli montaj hattı dengeleme problemi, deterministlik ve deterministlik olmayan şekilde ikiye ayrılır. Tek modellenli deterministlik montaj hattı dengeleme problemi, ilk kez 1954 yılında Bryton tarafından, yüksek lisans tez çalışmasında ele alınmıştır. Yapılan çalışmada, iş istasyonu sayısının sabit, iş istasyonu sürelerinin tüm istasyonlar için eşit olduğunu ve iş öğelerinin bu istasyonlar arasında hareket ettiklerini kabul etmiştir (Bryton, 1954).

Salveson tarafından yapılan çalışmada problemin çözümü için, 0-1 tamsayılı programlama modeli geliştirilmiştir. Kilbridge ve Wester, geliştirdikleri basit yöntemde, ilk aşamada bir atama tablosu oluşturmuş, daha sonra öncelik ilişkileri ve çevrim süresini dikkate alarak, istasyonlara gerekli iş öğesi kaydırmalarını yapmışlardır (Kilbridge ve Wester, 1961) (Salveson, 1955).

Montaj hatları, işlemleri yönetmek için önemli bir gelişme olmuştur. Yüksek hacimli, düşük maliyetli, standartlaştırılmış üretim sağlayan bir üretim şeklidir. Ford'un montaj hattı yaklaşımı, onları katı ve esnek olmayan nesnelere olarak değerlendirir (Womack, Jones ve Roos 1990) (Abernathy, 1978).

Maliyetleri azaltmak ve verimliliği artırarak daha efektif üretim sistemi tasarlamak için büyük önem taşıyan montaj hattı dengeleme çalışmaları için bugüne kadar birçok yöntem kullanılmıştır. Montaj hattı dengeleme düşüncesi ilk olarak Bryton'un tezinde ortaya konulmuştur. Literatüre geçmiş yayınlanmış ilk çalışma ise Salveson'a aittir (Salveson, 1955).

Montaj hattı dengeleme problemi oldukça geniş bir literatüre sahiptir ve Salveson'un çalışmasından sonra bu konuda pek çok çalışma yapılmıştır (Kalender ve diğerleri, 2008). Karışık ürünlerin üretildiği montaj hatları montajı yapılacak modeller arasındaki farklılıklar nedeni ile tek ürün üreten montaj hatlarına göre dengeleme problemi daha karmaşık hale gelmektedir. Karışık üretilen montaj hattı dengeleme çalışması ilk defa Thomopoulos (1967- 1970) tarafından yapılmıştır (Keskintürk ve Küçük, 2006).

Montaj hattı dengeleme problemi; montaj işlemlerinin yapılabilmesi için gerekli görevlerin aldıkları süreler ve aralarındaki öncelik ilişkileri dikkate alınarak bir veya birden fazla verimlilik ölçütünü en iyileştirecek şekilde görevlerin sıralı istasyonlara atanmasıdır (Gökçen, 1994).

Montaj hattı dengeleme konusu; üretim hızının artırılması, sağlıklı bir planlamanın yapılması ve işletmelerin ekonomik sorunlarına çözüm getirmeye yönelik olmasından dolayı endüstri dünyasında oldukça büyük önem taşımaktadır. Montaj hattı dengelemenin temel amacı istasyonlardaki zaman fazlalıklarını azaltmak için hat üzerindeki toplam iş yükünü istasyonlara eşit olarak dağıtmaktır. Bu amaçla iş elemanları, birbirleri ile öncelik ilişkilerine ve istasyon boş sürelerine göre iş istasyonlarına atanır. Bu problem literatürde montaj hattı dengeleme problemi olarak adlandırılır (Arda ve diğerleri 2001).

Montaj hattı dengeleme problemlerinin karmaşık oluşu, çözüm uzaylarının büyük oluşu ve çözüm zamanının problemin büyüklüğü ile üstel olarak artması, bu tür problemlerin çözümünde sezgisel tekniklerin diğer tekniklere göre daha fazla kullanılmasına neden olmuştur (Orbak ve diğerleri 2009).

Sezgisel yöntemlerin temelinde matematiksel kanıtlardan çok geçmiş deneyimler ve mantık vardır. Sezgisel metotlardan en çok bilinenler, Helgeson Birnie yöntemi, Kilbridge – Wester yöntemi, Moodie – Young yöntemi, Hoffman sezgisel metotlarıdır. Bu metotların birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları vardır. Fakat bu metotlar arasında en popüler olanı Helgeson ve Birnie metodudur (Manoria, Mishra ve Maneshwari, 2012).

**Tablo 19. Sezgisel metotlar**

<b>Yöntem adı</b>	<b>Tarih</b>	<b>Sahibi</b>
Helgeson and Birnie	1961	Helgeson ve Birnie
Kilbridge – Wester yöntemi	1961	Kilbridge – Wester
Moodie – Young yöntemi	1965	Moodie – Young
Hoffman sezgisel metodu	1963	Hoffman

#### 4.BİR OTOMOTİV FİRMASINDA HAT DENGELEME YÖNTEMLERİNİN UYGULANMASI

Uygulama çalışmamızda üretim hattını konu aldığımız firma Bursa'da faaliyet gösteren toplamda 5 adet üretim işletmesi bulunan, toplamda 105.000 m<sup>2</sup>lik tesislerinde otomotiv sektörü için kalıp imalatı, sac şekillendirme ve montaj alanlarında faaliyet gösteren bir işletmedir. Firma OEM şirketlerine tedarikçi olarak hizmet vermektedir. Başlıca müşterileri Ford, Fiat, Renault olmak üzere birçok otomobil markasına parça üretmektedir.

Uygulama çalışmamızda firmamızın montaj fabrikasında Fiat markasının Aegea model otomobile yan panel üretimi için kurulacak olan akış tipi bir üretim hattı oluşturmak için optimal sonuçlar verecek, verimliliği ve etkinliği arttıracak, montaj hattı dengeleme metodolojilerini kullanarak yeni bir üretim hattı elde edilmeye çalışılacaktır.

Üretim hattında Yan panel üretimi için kullanılacak yarı mamul parçalar, hammadde olarak satın alınan rulo sacların firmanın diğer üretim tesisi olan Press fabrikasında şekil verildikten sonra bitmiş ürün haline getirilmek üzere montaj fabrikasına sevk edilmektedir. Buradaki üretim süreci tamamlanıp bitmiş ürün haline gelen ürünler Fiat firmasına sevk edilmektedir.

Müşterinin (Fiat) günlük firmamızdan ürün talebi 368 adettir. Firmamız 3 vardiya olarak 24 saat boyunca üretim yapmaktadır. Vardiya başı yemek süresi 30 dakika olarak belirlenmiştir. Çay molaları günlük toplam 1 saat olarak belirlenmiştir.

Yemek molası:  $30 * 3 = 90 = 1,5 \text{ saat}$

Çay molası: 1 saat

Toplam boş süre: 2,5 saat /gün

Günlük toplam çalışma süresi:  $24 - 2,5 = 21,5 \text{ saat}$

Verilen bilgilere göre çevrim süresini hesaplırsak;

$$C = \frac{T}{n}$$

$C$ : Çevrim Süresi

$T$ : Eldeki Toplam Süre

$n$ : Yapılması istenen ürün sayısı olmak üzere;

$$T = 21,5 * 60 = 1290 \text{ dk. } N=368 \text{ adet}$$

$$C = 1290/368 = 3,5 \text{ dakika olarak hesaplanır.}$$

Montaj fabrikasında işlem göreceğ yarı mamul parça listesi aşağıda verilmiştir. Parça kodları işletme içerisinde müşteriden bağımsız olarak kendi takip ve kodlama sistemlerine göre verilmiştir. Üretim hattını oluşturan makine parkı tablo 20’da gösterilmiştir.

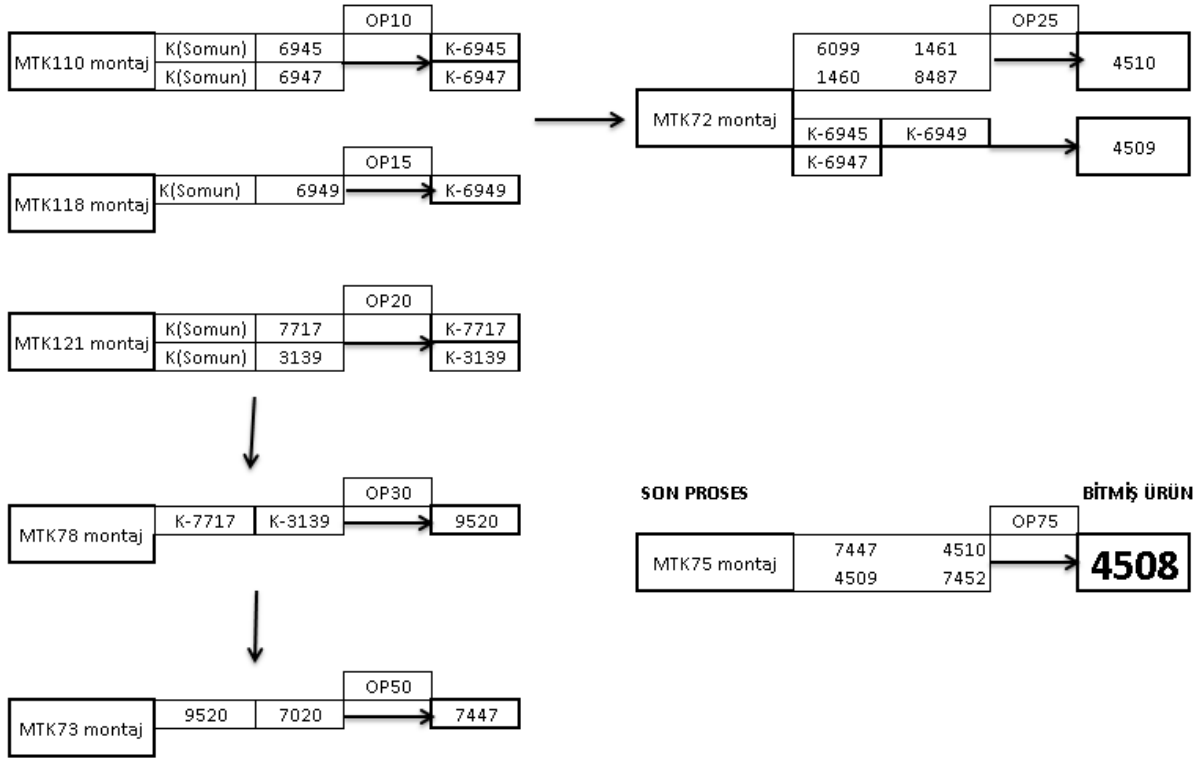
**Tablo 20. Makine parkı**

<b>MTR121</b>	Sabit punta (somun kaynak)
<b>MTR118</b>	Sabit punta (somun kaynak)
<b>MTR110</b>	Sabit punta (somun kaynak)
<b>MTR78</b>	Sac kaynak
<b>MTR72</b>	Sac kaynak
<b>MTR73</b>	Sac kaynak
<b>MTR75</b>	Sac kaynak

YARI MAMUL PARÇA KODLARI	PARÇA TEKNİK RESİMLERİ
4509	
6949	
6947	
6945	
7447	
7716	
7717	
7020	
6099	
6099	
1460	
8487	
1461	
7452	
şomun	

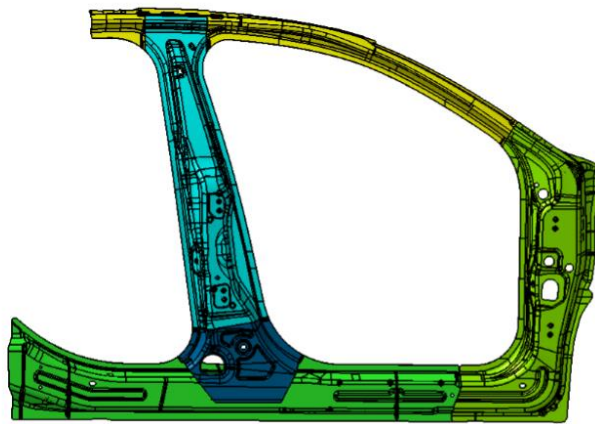
**Şekil 10. Yarı Mamul Referans Numaraları ve Teknik Çizimleri**

4508 referans kodlu bitmiş ürünün operasyon şeması Şekil 11’de gösterilmiştir.



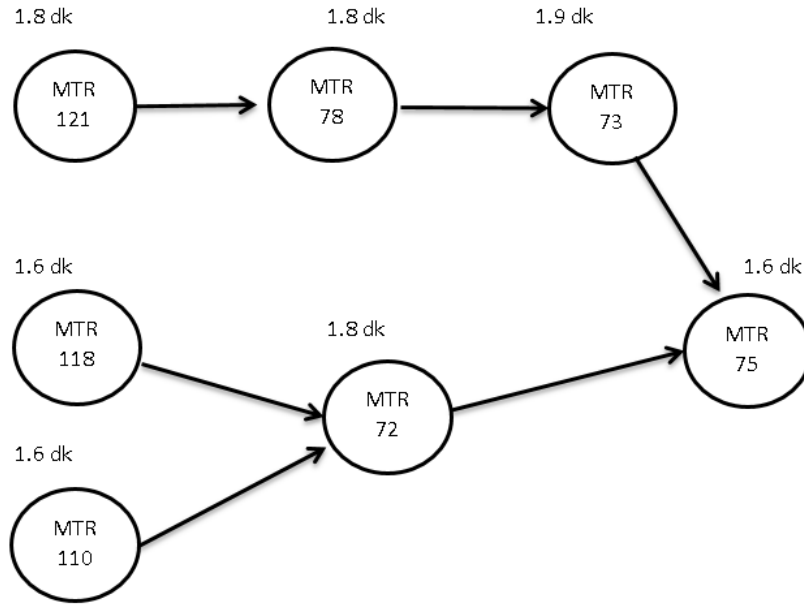
Şekil 11. Operasyon şeması

4508 referans kodlu bitmiş ürünün teknik resmi Şekil 12’de gösterilmiştir



Şekil 12. Bitmiş ürün teknik resim

Hattın öncelik diyagramı şekil 13’de gösterilmiştir.



**Şekil 13. Öncelik diyagramı**

İş öğelerinin birbirleri arasındaki öncelik ilişkisini gösteren öncelik tablosu tablo 21’de gösterilmiştir.

**Tablo 21. Öncelik tablosu**

İş öğesi	Öğe süresi	Önceli
<b>MTR121</b>	1,8	No
<b>MTR118</b>	1,6	No
<b>MTR110</b>	1,6	No
<b>MTR78</b>	1,8	MTR121
<b>MTR72</b>	1,8	MTR118- MTR110
<b>MTR73</b>	1,9	MTR121-MTR78
<b>MTR75</b>	1,6	MTR73- MTR72

İş öğelerinin birbirleri arasındaki öncelik ilişkisini gösteren öncelik matrisi tablo 22’de gösterilmiştir.



**Tablo 22. Öncelik matrisi**

	MTR121	MTR118	MTR110	MTR78	MTR72	MTR73	MTR75
MTR121	-	0	0	1	0	0	0
MTR118		-	0	0	1	0	0
MTR110			-	0	1	0	0
MTR78				-	0	1	0
MTR72					-	0	1
MTR73						-	1
MTR75							-
KOD	0	0	0	1	2	1	2

#### 4.1. Hoffman yöntemi ile çözüm

Daha önce hesaplandığı gibi montaj hattının çevrim süresi  $C = 3,5$  dakikadır. Yukarıda belirtilen öncelik diyagramı esas alınarak Hoffman yöntemi ile çözüm gerçekleştirilecektir. Hoffman'ın öncelik matrisine göre 1. Matris aşağıda verilmiştir.

**Tablo 23. Hoffman yöntemine göre 1. matris**

	MTR121	MTR118	MTR110	MTR78	MTR72	MTR73	MTR75
MTR121	-	0	0	1	0	0	0
MTR118		-	0	0	1	0	0
MTR110			-	0	1	0	0
MTR78				-	0	1	0
MTR72					-	0	1
MTR73						-	1
MTR75							-
KOD	0	0	0	1	2	1	2

Kod numarası satırında sıfır değerinin ilk görüldüğü iş ögesi MTR121 numaralı iş ögesidir bu yüzden MTR121 numaralı iş ögesi 1. iş istasyonuna atanır. Kalan boş süre  $C - t = 3,5 - 1,8 = 1,7$  dakika olur.

1. Satır ve sütün çıkarılarak yeni matris oluşturulur.

**Tablo 24. Hoffman yöntemine göre 2. matris**

	<b>MTR118</b>	<b>MTR110</b>	<b>MTR78</b>	<b>MTR72</b>	<b>MTR73</b>	<b>MTR75</b>
<b>MTR118</b>	-	0	0	1	0	0
<b>MTR110</b>		-	0	1	0	0
<b>MTR78</b>			-	0	1	0
<b>MTR72</b>				-	0	1
<b>MTR73</b>					-	1
<b>MTR75</b>						-
<b>KOD</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>

Kod numarası satırında sıfır değerinin ilk görüldüğü yer MTR118 numaralı iş ögesidir. MTR118 iş ögesi de 1. iş istasyonuna atanır. Kalan boş süre  $C - t = 1,7 - 1,6 = 0,1$  dakika olur.

2. satır ve sütun çıkarılarak yeni matris oluşturulur.

**Tablo 25. Hoffman yöntemine göre 3. matris**

	<b>MTR110</b>	<b>MTR78</b>	<b>MTR72</b>	<b>MTR73</b>	<b>MTR75</b>
<b>MTR110</b>	-	0	1	0	0
<b>MTR78</b>		-	0	1	0
<b>MTR72</b>			-	0	1
<b>MTR73</b>				-	1
<b>MTR75</b>					-
<b>KOD</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>

Kod numarası satırında sıfır değerinin ilk görüldüğü yer MTR110 numaralı iş ögesidir. Eğer MTR110 iş ögesi 1. iş istasyonuna atanması durumunda kalan boş süre  $C - t = 0,1 - 1,6 = -1,5$  dakika olur.

Kalan süre negatif olduğundan bu değer geçerli değildir. Tekrardan kod numarası satırına gidilip soldan itibaren başka "0" değeri bulunana kadar taranır. Başka bir "0" değeri olan MTR78 numaralı iş ögesine baktığımız zaman operasyon süresi 1,8 dakika olduğundan yine negatif değer verecektir. Bu yüzden 1. iş istasyonu atanması sonlandırılır ve 2. iş istasyonuna geçilir.

MTR110 numaralı iş ögesi 2. iş istasyonuna atanır ve 3. Satır ve sütun çıkarılarak yeni matris oluşturulur. Kalan boş süre  $C - t = 3,5 - 1,6 = 1,9$  dakika olur. 3. satır ve sütun çıkarılarak yeni matris oluşturulur.

**Tablo 26. Hoffman yöntemine göre 4. matris**

	MTR78	MTR72	MTR73	MTR75
MTR78	-	0	1	0
MTR72		-	0	1
MTR73			-	1
MTR75				-
KOD	0	0	1	2

Kod numarası satırında sıfır değerinin ilk görüldüğü yer MTR78 numaralı iş ögesidir. MTR78 numaralı iş ögesi 2. İş istasyonuna atanır ve kalan boş süre  $C - t = 1,9 - 1,8 = 0,1$  dakika olur.

4. satır ve sütun çıkarılarak yeni matris oluşturulur.

**Tablo 27. Hoffman yöntemine göre 5. matris**

	MTR72	MTR73	MTR75
MTR72	-	0	1
MTR73		-	1
MTR75			-
KOD	0	0	2

Kod numarası satırında “0” değerinin ilk görüldüğü yer MTR72 numaralı iş ögesidir. Eğer MTR72 iş ögesi 2. iş istasyonuna atanırsa kalan boş süre  $C - t = 0,1 - 1,8 = -1,7$  dakika olur.

Bu değer negatif olduğundan geçerli değildir. Tekrardan kod numarası satırına gidilip soldan itibaren başka “0” değeri bulunana kadar taranır. Başka bir “0” değeri olan MTR73 numaralı iş ögesine baktığımız zaman operasyon süresi 1,9 dakika olduğundan yine negatif değer verecektir. Bu yüzden 2. iş istasyonu ataması sonlanmıştır ve 3. iş istasyonuna geçilir.

MTR72 numaralı iş ögesi 3. iş istasyonuna atanır. Kalan boş süre  $C - t = 3,5 - 1,8 = 1,7$  dakika olur.

5. Satır ve sütun çıkarılarak yeni matris oluşturulur.

**Tablo 28. Hoffman yöntemine göre 6. matris**

	MTR73	MTR75
MTR73	-	1
MTR75		-
KOD	0	1

Kod numarası satırında sıfır değerinin ilk görüldüğü yer MTR73 numaralı iş ögesidir. Eğer MTR73 iş ögesi 3. iş istasyonuna atanması durumunda;

Kalan boş süre  $C - t = 1,7 - 1,9 = -0,2$  dakika olur.

Bu değer negatif olduğundan geçerli değildir. Tekrardan kod numarası satırına gidilip soldan itibaren başka sıfır değeri bulunana kadar taranır. Başka bir "0" değeri olmadığı için 3. iş istasyonu ataması sonlanmıştır ve 4. iş istasyonuna geçilir.

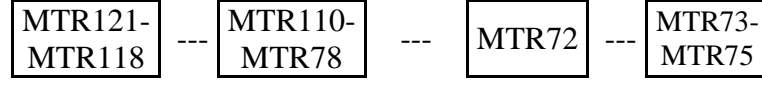
MTR73 numaralı iş ögesi 4. iş istasyonuna atanır. Kalan boş süre  $C - t = 3,5 - 1,9 = 1,6$  dakika olur. 6. Satır ve sütun çıkarılarak yeni matris oluşturulur.

**Tablo 29. Hoffman yöntemine göre 7. matris**

	MTR75
MTR75	-
KOD	0

Kod numarası satırında sıfır değerinin ilk görüldüğü yer MTR75 numaralı iş ögesidir. Eğer MTR75 iş ögesi 5. iş istasyonuna atanması durumunda kalan boş süre  $C - t = 1,6 - 1,6 = 0$  dakikadır. MTR75 numaralı iş ögesi 4. istasyona atanır ve kalan boş süre "0" olur.

Atamalar sonucunda oluşan montaj hattı aşağıdaki gibi olmuştur.



**Şekil 11. Hoffman yöntemine göre oluşan montaj hattı**

Sonuç olarak 3,5 dakika çevrim süresine sahip olan hattımızda (C)

Min. hücre sayısı:  $12,1 / 3,5 = 3,45 = 4$  min. hücre sayısı

Oluşan hücre sayısı (n): 4

Toplam iş ögesi süresi (t) : 12,1 dakika.

$$LB = \frac{[n \cdot c - \sum_{i=1}^n ti]}{n \cdot c} * 100 \text{ (Denge Kaybı)}$$

$$= [(4 * 3,5) - (12,1)] / (4 * 3,5) * 100$$

$$= \%13,5$$

$$LE = (1 - LB) \cdot 100 \text{ (Hat etkinliği)}$$

$$= (1 - 0,692) * 100$$

$$= \%86,5$$

#### 4.2. Helgeson-Birnie (Sıralanmış Konumsal Ağırlık) Metodu ile Çözüm

Şekil 13'te verilen öncelik diyagramı ve iş ögelerini dikkate alarak Helgeson-Birnie yöntemini kullanarak çevrim süresi 3,5 dakika olan bir hattın dengelemesini yapalım.

**Tablo 30. Helgeson Birnie yöntemine göre konumsal ağırlık tablosu**

Öge No	Öge süre	MTR121	MTR118	MTR110	MTR78	MTR72	MTR73	MTR75	Konumsal Ağırlık
MTR121	1,8	-			1		+	+	7,1
MTR118	1,6		-			1		+	5
MTR110	1,6			-		1		+	5
MTR78	1,8				-		1	+	5,3
MTR72	1,8					-		1	3,4
MTR73	1,9						-	1	3,5
MTR75	1,6							-	1,6

Öncelikli olarak diyagrama göre iş öğelerinin konumsal ağırlıklarını hesaplayalım ve tabloda gösterelim.

“1” ile gösterilen hücreler, ilgili satırdaki iş öğesinden hemen sonra önceli olarak ilgili sütundaki iş öğesinin geldiğini gösterir.

“+” ile gösterilen hücreler, ilgili satırın direkt atamalardan sonraki iş öğesi hattını gösterir.

Aşağıdaki tabloda konumsal ağırlıkları hesaplanmış iş öğelerinin büyükten küçüğe sıralanmış hali görülmektedir.

**Tablo 31. Helgeson Birnie yöntemine göre sıralanmış konumsal ağırlık tablosu**

Öge No	MTR121	MTR78	MTR118	MTR110	MTR73	MTR72	MTR75
Konumsal Ağırlık	7,1	5,3	5	5	3,5	3,4	1,6
Öge Süresi	1,8	1,8	1,6	1,6	1,9	1,8	1,6

Şekilde görüldüğü gibi en yüksek konumsal ağırlığa sahip iş öğesi MTR121 numaralı iş öğesidir ve ilk olarak 1. İş istasyonuna atanır.

Atamadan sonra kalan boş süre  $C - t = 3,5 - 1,8 = 1,7$  dakika olur.

Sıradaki en büyük konumsal ağırlığa sahip iş öğesi MTR78 numaralı iş öğesidir eğer atama yapılırsa kalan boş süre  $1,7 - 1,8 = -0,1$  negatif olduğundan bu değer geçerli değildir.

Konumsal ağırlıklarına göre iş öğelerine bakılmaya devam edilir. En son kalan 1,7 dakikalık boş iş süresinden küçük olan iş öğesi MTR118 numaralı iş öğesidir ve 1. iş istasyonuna ataması yapılır. Atamadan sonra kalan boş süre  $C - t = 1,7 - 1,6 = 0,1$  dakika olur.

Kalan 0,1 dakikalık boş iş süresi geriye kalan iş öğeleri süresinden küçük olduğu için daha fazla atama yapılamaz ve 1. iş istasyonu ataması bitmiştir. 2. iş istasyonu atamasına geçilir.

Daha önce ataması yapılmayan konum ağırlığı büyük olan MTR78 numaralı iş ögesi ataması ile başlanır ve öge 2. iş istasyonuna ataması yapılır. Atamadan sonra kalan boş süre  $C - t = 3,5 - 1,8 = 1,7$  dakika olur.

Sıradaki en büyük konumsal ağırlığa sahip iş ögesi MTR110 numaralı iş ögesidir. 2. İş istasyonuna ataması yapılır. Atamadan sonra kalan boş süre  $C - t = 1,7 - 1,6 = 0,1$  dakika olur.

Sıradaki en büyük konumsal ağırlığa sahip iş ögesi MTR73 numaralı iş ögesidir. Fakat kalan 0,1 dakikalık boş süreye uygun bir iş ögesi olmadığı için 2. İş istasyonu ataması bitmiştir. Bu yüzden MTR73 numaralı iş ögesi 3. İş istasyonuna atanır. Kalan boş süre  $C - t = 3,5 - 1,9 = 1,6$  dakika olur.

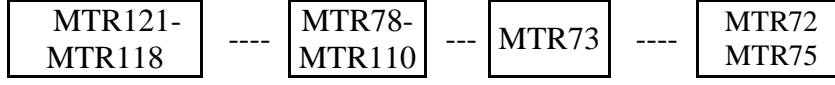
Sıradaki en büyük konumsal ağırlığa sahip iş ögesi MTR72 numaralı iş ögesidir fakat atama yapılırsa kalan süre negatif olacağı için ataması yapılamaz. Aynı şekilde MTR75 numaralı iş ögesi ataması da öncelik kısıtından dolayı yapılamaz. Dolayısıyla 3. iş ögesi ataması bitmiştir.

4. iş ögesi atamasına geçilir ve MTR72 no.lu iş ögesi ataması yapılır. Kalan boş süre  $C - t = 3,5 - 1,8 = 1,7$  dakika olur. Geriye ataması yapılmayan MTR75 numaralı iş ögesi ataması da son olarak 4. iş istasyonuna atanır. Kalan boş süre  $C - t = 1,7 - 1,6 = 0,1$  dakika olur.

Atamalar sonucunda oluşan montaj hattı aşağıdaki gibi olmuştur.

**Tablo 32. Helgeson Birnie yöntemine göre sonuç tablosu**

İş İstasyonu	Önceliğe göre Uygun Öge	Atanan Öge	Öge Süresi	Toplam Zaman	Kalan Zaman
1	MTR121-MTR118-MTR110	MTR121	1,8	3,4	0,1
	MTR118-MTR110	MTR118	1,6		
2	MTR110-MTR78	MTR78	1,8	3,4	0,1
	MTR73-MTR110	MTR110	1,6		
3	MTR72-MTR73	MTR73	1,9	1,9	1,5
4	MTR72-MTR75	MTR72	1,9	3,5	0
	MTR75	MTR75	1,6		
		Toplam	12,1		1,7



**Şekil 12. Helgeson Birnie yöntemine göre oluşan montaj hattı**

Sonuç olarak 3,5 dakika çevrim süresine sahip olan hattımızda (C)

Min. hücre sayısı:  $12,1 / 3,5 = 3,45 = 4$  min. hücre sayısı

Oluşan hücre sayısı (n): 4

Toplam İş ögesi süresi (t): 12,1 dakika

$$LB = \frac{[n \cdot c - \sum_{i=1}^n t_i]}{n \cdot c} * 100 \text{ (Denge Kaybı)}$$

$$= [(4 * 3,5) - (12,1)] / (4 * 3,5) * 100$$

$$= \%13,5$$

$$LE = (1 - LB) \cdot 100 \text{ (Hat etkinliği)}$$

$$= (1 - 0,135) * 100$$

$$= \%86,5$$



### 4.3. Moodie-Young Yöntemi

Şekil 2.0 de verilen üretim hattımızın öncelik diyagramı ve iş öğelerini dikkate alarak Moodie-Young yöntemi ile hattımızın dengelemesini yapalım. Çevrim süresi 3,5 dakikadır. P ve F matrislerini içeren tablo aşağıdaki gibi çizilmiştir.

**Tablo 33. Moodie-Young yöntemine göre 1. tablo**

İŞ ÖGESİ NO	P MATRİSİ (ÖNCELİ)	F MATRİSİ (ARDILI)	İŞLEM SÜRESİ (t <sub>i</sub> )	KONTROL SÜTUNU
MTR121	0 0	MTR78 0	1,8	
MTR118	0 0	MTR72 0	1,6	
MTR110	0 0	MTR72 0	1,6	
MTR78	MTR121 0	MTR73 0	1,8	
MTR72	MTR118 MTR110	MTR75 0	1,8	
MTR73	MTR78 0	MTR75 0	1,9	
MTR75	MTR73 MTR72	0 0	1,6	

Yukarıdaki tabloda P matrisinin tüm satırında sıfır bulunan iş öğesi bulunur ve MTR121 numaralı iş öğesi 1. iş istasyonuna ataması yapılır. Kalan boş süre  $C - t = 3,5 - 1,8 = 1,7$  dakika olur. MTR121 numaralı iş öğesi 1. iş istasyonuna atandığı için P matrisinde MTR78 numaralı iş öğesine göre önceli olduğunu gösteren MTR121'in yerine "0" yazılır ve kontrol sütununa "\*" işareti konur. Bir sonraki aşamada tablo aşağıdaki gibi düzenlenir.

**Tablo 34. Moodie-Young yöntemine göre 2. tablo**

İŞ ÖGESİ NO	P MATRİSİ (ÖNCELİ)	F MATRİSİ (ARDILI)	İŞLEM SÜRESİ (t <sub>i</sub> )	KONTROL SÜTUNU
MTR121	0 0	MTR78 0	1,8	*
MTR118	0 0	MTR72 0	1,6	
MTR110	0 0	MTR72 0	1,6	
MTR78	0 0	MTR73 0	1,8	
MTR72	MTR118 MTR110	MTR75 0	1,8	
MTR73	MTR78 0	MTR75 0	1,9	
MTR75	MTR73 MTR72	0 0	1,6	

P matrisindeki tüm satırı 0 olan iş öğeleri tespit edilir MTR118, MTR110 ve MTR78 iş öğeleri birden fazla olduğu için işlem süresi en uzun olan seçilir (MTR78) fakat atama yapılırsa işlem süresi kalan boş sureden fazla olduğu için çevrim süresini geçecektir bu yüzden ataması yapılmaz. P matrisinde diğer tüm satırları “0” olan iş öğelerine bakılır ve MTR118 no.lu iş öğesi 1. iş istasyonuna ataması yapılır. Kalan boş süre  $C - t = 1,7 - 1,6 = 0,1$  dakika olur. P matrisinde MTR72 numaralı iş öğesine göre önceli olduğunu gösteren MTR118’in yerine “0” yazılır ve kontrol sütununa “\*” işareti konur. Bir sonraki aşamada tablo aşağıdaki gibi düzenlenir.

**Tablo 35. Moodie-Young yöntemine göre 3. tablo**

İŞ ÖĞESİ NO	P MATRİSİ (ÖNCELİ)	F MATRİSİ (ARDILI)	İŞLEM SÜRESİ (t <sub>i</sub> )	KONTROL SÜTUNU
MTR121	0 0	MTR78 0	1,8	*
MTR118	0 0	MTR72 0	1,6	*
MTR110	0 0	MTR72 0	1,6	
MTR78	0 0	MTR73 0	1,8	
MTR72	0 MTR110	MTR75 0	1,8	
MTR73	MTR78 0	MTR75 0	1,9	
MTR75	MTR73 MTR72	0 0	1,6	

P matrisindeki tüm satırı 0 olan iş öğeleri tespit edilir. Fakat yeterli boş süre kalmadığı için 2. İstasyon atamasına geçilir. P matrisindeki tüm satırları 0 olan ve işlem süresi en büyük olan MTR78 numaralı iş öğesi ataması 2. İstasyona yapılır. Kalan boş süre  $C - t = 3,5 - 1,8 = 1,7$  dakika olur. P matrisinde MTR73 numaralı iş öğesine göre önceli olduğunu gösteren MTR78’in yerine “0” yazılır ve kontrol sütununa “\*” işareti konur. Bir sonraki aşamada tablo aşağıdaki gibi düzenlenir.

**Tablo 36. Moodie-Young yöntemine göre 4. tablo**

İŞ ÖĞESİ NO	P MATRİSİ (ÖNCELİ)	F MATRİSİ (ARDILI)	İŞLEM SÜRESİ (ti)	KONTROL SÜTUNU
MTR121	0 0	MTR78 0	1,8	*
MTR118	0 0	MTR72 0	1,6	*
MTR110	0 0	MTR72 0	1,6	
MTR78	0 0	MTR73 0	1,8	*
MTR72	0 MTR110	MTR75 0	1,8	
MTR73	0 0	MTR75 0	1,9	
MTR75	MTR73 MTR72	0 0	1,6	

P matrisindeki tüm satırı “0” olan iş öğeleri tespit edilir. MTR110 ve MTR73 iş öğeleri birden fazla olduğu için işlem süreside dikkate alınarak MTR73 numaralı iş öğesi atanması gerekmektedir. Fakat işlem süresinden dolayı ataması yapılmaz. Bu yüzden MTR110 numaralı iş öğesi 2. İş istasyonuna ataması yapılır Kalan boş süre  $C - t = 1,7 - 1,6 = 0,1$  dakikadır. MTR110’ün yerine “0” yazılır ve kontrol sütununa “\*” işareti konur. Bir sonraki aşamada tablo aşağıdaki gibi düzenlenir.

**Tablo 37. Moodie-Young yöntemine göre 5. tablo**

İŞ ÖĞESİ NO	P MATRİSİ (ÖNCELİ)	F MATRİSİ (ARDILI)	İŞLEM SÜRESİ (ti)	KONTROL SÜTUNU
MTR121	0 0	MTR78 0	1,8	*
MTR118	0 0	MTR72 0	1,6	*
MTR110	0 0	MTR72 0	1,6	*
MTR78	0 0	MTR73 0	1,8	*
MTR72	0 0	MTR75 0	1,8	
MTR73	0 0	MTR75 0	1,9	
MTR75	MTR73 MTR72	0 0	1,6	

P matrisindeki tüm satırı 0 olan iş öğeleri tespit edilir. MTR72 ve MTR73 numaralı iş öğeleridir. Fakat işlem süreleri geri kalan boş zamandan fazla olduğu için 2. İş istasyonu ataması bitmiştir. MTR73 numaralı iş öğesi 3. İş istasyonuna atanır. Kalan boş süre  $C - t = 3,5 - 1,9 = 1,6$  dakikadır. MTR73’ün yerine “0” yazılır ve

kontrol sütununa “\*” işareti konur. Bir sonraki aşamada tablo aşağıdaki gibi düzenlenir.

**Tablo 38. Moodie-Young yöntemine göre 6. tablo**

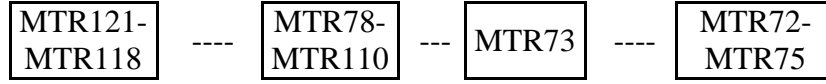
İŞ ÖĞESİ NO	P MATRİSİ (ÖNCELİ)	F MATRİSİ (ARDILI)	İŞLEM SÜRESİ (t <sub>i</sub> )	KONTROL SÜTUNU
MTR121	0 0	MTR78 0	1,8	*
MTR118	0 0	MTR72 0	1,6	*
MTR110	0 0	MTR72 0	1,6	*
MTR78	0 0	MTR73 0	1,8	*
MTR72	0 0	MTR75 0	1,8	
MTR73	0 0	MTR75 0	1,9	*
MTR75	0 MTR72	0 0	1,6	

P matrisindeki tüm satırı “0” olan iş öğeleri tespit edilir. MTR72 numaralı iş öğesinin işlem süresi kalan boş süreden fazla olduğu için 3. İş istasyonuna ataması yapılamaz ve 4. İş istasyonu atamasına geçilir. MTR72 numaralı iş öğesi 4. İş istasyonuna ataması yapılır. Kalan boş süre  $C - t = 3,5 - 1,8 = 1,7$  dakika olur. P matrisinde MTR75 numaralı iş öğesine göre önceli olduğunu gösteren MTR72’in yerine “0” yazılır ve kontrol sütununa “\*” işareti konur. Bir sonraki aşamada tablo aşağıdaki gibi düzenlenir.

**Tablo 39. Moodie-Young yöntemine göre 7. tablo**

İŞ ÖĞESİ NO	P MATRİSİ (ÖNCELİ)	F MATRİSİ (ARDILI)	İŞLEM SÜRESİ (t <sub>i</sub> )	KONTROL SÜTUNU
MTR121	0 0	MTR78 0	1,8	*
MTR118	0 0	MTR72 0	1,6	*
MTR110	0 0	MTR72 0	1,6	*
MTR78	0 0	MTR73 0	1,8	*
MTR72	0 0	MTR75 0	1,8	*
MTR73	0 0	MTR75 0	1,9	*
MTR75	0 0	0 0	1,6	

P matrisindeki tüm satırı “0” olan iş öğeleri tespit edilir. MTR75 numaralı iş öğesi ataması 4. iş istasyonuna atanır. Kalan boş süre  $C - t = 1,7 - 1,6 = 0,1$  dakika olur. Sonuçta oluşan montaj hattı aşağıdaki gibidir:



**Şekil 13. Moodie-Young yöntemine göre oluşan montaj hattı**

Sonuç olarak 3,5 dakika çevrim süresine sahip olan hattımızda (C)

Min. hücre sayısı:  $12,1 / 3,5 = 3,45 = 4$  min. hücre sayısı

Oluşan hücre sayısı (n): 4

Toplam iş öğesi süresi (t): 12,1 dakika.

$$LB = \frac{[n*c - \sum_{i=1}^n ti]}{n*c} * 100 \text{ (Denge Kaybı)}$$

$$= \frac{[(4*3,5) - (12,1)]}{4*3,5} * 100$$

$$= \% 13,5$$

$$LE = (1 - LB) * 100 \text{ (Hat etkinliği)}$$

$$= (1 - 0,692) * 100$$

$$= \% 86,5$$

Sezgisel yöntemler sonucunda Hat etkinliği tüm modeller için eşit çıkmıştır. Bu yüzden Matematiksel bir model olan SALBP-1 Metodu ile bir çözüm daha yapılmıştır.

#### 4.4. SALBP-1 Metodu

Daha önce kullanılan sezgisel metotlar sonucunda hat etkinliği üç yöntemde de eşit sonuç vermiştir. Montaj hattını daha da iyileştirebilecek bir sonuca ulaşmak için Matematiksel bir model olan SALBP-1 yöntemi uygulanacaktır.

Bu yöntem ile montaj hattında denge kurulabilmesi için sınırlı sayıda iş ögesinden oluşan bir üretim hattının 0-1 tam sayılı modelleme yöntemiyle modellenmesi ve Excel Solver kullanılarak çözdürülmesi süreçleri anlatılmıştır.

##### 4.4.1. Problemin Tanımı

İlgilenilecek problem, 7 iş ögesinden oluşmakta olan bu montaj hattını dengelemek olup, öncelik diyagramı aşağıda şekil 5'te ki gibidir. Çevrim süresi 3,5 dakika olası iş istasyonu sayısı "7" olarak belirlenmiştir.

Problemin notasyonu, 0-1 tamsayılı modellemeye uygun olarak şu şekilde yapılabilir.

$t_i$ :  $i$  iş ögesinin işlem süresi ( $i = 1, 2, \dots, N$ )

$E_i$ :  $i$  iş ögesinin atanabileceği ilk iş istasyonu

$L_i$ :  $i$  iş ögesinin atanabileceği son iş istasyonu

$K$ : Dengeleme sonunda gerekli olacağı tahmin edilen iş istasyonu sayısı

$W_k$ :  $k$  iş istasyonuna atanabilen tüm iş ögelerinin kümesi

$||W_k||$ :  $W_k$  kümesinin üye sayısı

Amacın Belirlenmesi; Maliyet minimizasyonu ve zaman tasarrufu gibi etkenler için Problemdaki asıl amacımız açılacak iş istasyonu sayısını en aza indirmek olmalıdır.

##### 4.4.2. Problemin Çözümü

Bu bölümde parametrelerin nasıl bulunduğu gösterilecektir. İlk parametre  $t_i$  işlem sürelerinin gösterir ve öncelik diyagramından yararlanılarak aşağıdaki tablo oluşturulur.

**Tablo 40. İş öğeleri sıralı öncelik tablosu**

İş Öğesi	Süre	Öncüller
MTR121	1,8	
MTR118	1,6	
MTR110	1,6	
MTR78	1,8	MTR121
MTR72	1,8	MTR118-MTR110
MTR73	1,9	MTR121-MTR78
MTR75	1,6	MTR121- MTR118- MTR110- MTR78- MTR73-MTR72

$E_i$  ve  $L_i$  parametreleri sırasıyla iş öğelerinin atanabileceği en erken ve en geç istasyonları göstermekte olup, formülleri aşağıda verildiği gibidir.

$$E_i = [(t_i + \sum t_j)/C]$$

$$L_i = K + 1 = \left[ \frac{(t_i + \sum t_j)}{C} \right]$$

**Tablo 41.  $E_i$  ve  $L_i$  değer tablosu**

İŞ ÖĞESİ	E	L
MTR121	1	5
MTR118	1	6
MTR110	1	6
MTR78	2	6
MTR72	2	7
MTR73	2	7
MTR75	4	7

Bu değerlerden sonra  $W_k$ , k iş istasyonuna atanabilecek tüm işleri,  $||W_k||$  ise bu kümenin eleman sayısını gösterecektir.

$$W_1 = (MTR121, MTR118, MTR110)$$

$$W_2 = (MTR121, MTR118, MTR110, MTR78, MTR72, MTR73, MTR75)$$

W3 = (MTR121, MTR118, MTR110, MTR78, MTR72, MTR73, MTR75)

W4=(MTR118, MTR110, MTR78, MTR72, MTR73, MTR75)

W5=(MTR72, MTR73, MTR75)

$\|W1\| = 3$   $\|W2\| = 7$   $\|W3\| = 7$   $\|W4\| = 6$   $\|W5\| = 3$

#### 4.4.3. Problemin Modellenmesi

$A_k = 1$ , k iş istasyonuna en az bir iş ögesi atandı ise 0, atanmadı ise.

$V_{ik} = 1$ , İ iş ögesi k istasyonuna atandı ise, 0; atanmadı ise.

Bu değişkenler ve parametreler ışığında amaç fonksiyonunu şu şekilde tanımlayabiliriz.

#### Amaç Fonksiyonu;

$$EnkZ = \sum_{k=1}^K A_k$$

#### Kısıtlar;

1. Atama kısıtları: her iş ögesinin tek istasyona atanması gerekir.

$$\sum_{k=E_i}^{L_i} V_{ik} = 1$$

2. Öncelik kısıtları: Teknolojik öncelik diyagramına göre oluşturulur. Her ilişki için a, b'den önce gelmek üzere, ( $L_a \leq L_b$ ) durumu söz konusudur.

$$\sum_{k=E_a}^{L_a} (k * V_{ak}) - \sum_{k=E_b}^{L_b} (k * V_{bk}) \leq 0$$



3. Çevrim süresi kısıtları: Her istasyonun iş yükü toplamı, çevrim süresini geçmemelidir.

$$\sum_{i \in W_k} (t_i * W_{ik}) \leq C$$

4. İş istasyonu kısıtları: Bir iş istasyonu açılırsa, yani bir iş ögesi oraya atanırsa, o istasyon kullanılmalıdır.

$$\sum_{i \in W_k} W_{ik} - |W_k| * A_k \leq 0$$

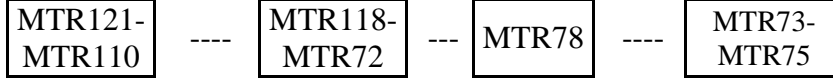
5. İkili seçim kısıtları: V ve A değişkenleri 0-1 olma durumundadır.

Problem amaç fonksiyonu ve kısıtlar dikkate alınarak Excel solver programı ile çözüm gerçekleştirilmiştir. Atama sonuçları tablo 42’de gösterilmiştir. İş öğelerinin iş istasyonlarına atamalarını “Değer” satırındaki “1” değerleri göstermektedir.



Atamalar sonucunda oluşan iş istasyonları ve iş öğeleri şekil 14’te gösterilmiştir.

**Şekil 14. SALBP-1 yöntemine göre oluşan montaj hattı**



Sonuç olarak 3,5 dakika çevrim süresine sahip olan hattımızda (C)

Min. hücre sayısı:  $12,1 / 3,5 = 3,45 = 4$  min. hücre sayısı

Oluşan hücre sayısı (n): 4

Toplam iş öğesi süresi (t): 12,1 dakika.

$$LB = \frac{[n \cdot c - \sum_{i=1}^n ti]}{n \cdot c} * 100 \text{ (Denge Kaybı)}$$

$$= \frac{[(4 \cdot 3,5) - (12,1)]}{4 \cdot 3,5} * 100$$

$$= \% 13,5$$

$$LE = (1 - LB) \cdot 100 \text{ (Hat etkinliği)}$$

$$= (1 - 0,692) * 100$$

$$= \% 86,5$$

**Tablo 43. Verimlilik karşılaştırma tablosu**

İş istasyonu	Hoffmann		Helgeson Birnie		Moodie Young		SALBP-1 metodu	
	İş öğesi	Verim. %	İş öğesi	Verim. %	İş öğesi	Verim. %	İş öğesi	Verim. %
1	MTR121 MTR118	97,14%	MTR121 MTR118	97,14%	MTR121 MTR118	97,14%	MTR121 MTR110	97,14%
2	MTR110 MTR78	97,14%	MTR78 MTR110	97,14%	MTR78 MTR110	97,14%	MTR118 MTR72	97,14%
3	MTR72	51,42%	MTR73	54,28%	MTR73	54,28%	MTR78	51,42%
4	MTR73 MTR75	100%	MTR72 MTR75	97,14%	MTR72 MTR75	97,14%	MTR73 MTR75	100%
Verim. %	86,5%		86,5%		86,5%		86,5%	

#### 4.5.Uygulama Sonuçları

Bu çalışmada yedi farklı iş ögesi 3,5 dakika çevrim süresine sahip bir montaj hattı, üç farklı sezgisel yaklaşım metodu ve bir matematiksel model ile hattın dengelenmesi ve analizi yapılarak birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Dört farklı hat dengeleme metodu sonucunda istasyon sayılarına ve verimlilik katsayılarına ulaşılmıştır.

Sezgisel yöntemler ile Matematiksel model arasında yapılan karşılaştırmanın sonucu göstermiştir ki matematiksel model, sezgisel yöntemlerin iyi sonuç verdiğini teyit etmiştir. Verimlilik karşılaştırmaları tablosundan da anlaşılacağı üzere dört metodunda verimlilik katsayıları aynı çıkmıştır. Katsayıların eşit olması SALBP-1 modeli sezgisel yöntemlere göre her zaman daha optimal sonuç verdiği için tüm sezgisel modellerde de optimal sonuçlara ulaşılmıştır. Bu sonuç aslında daha büyük ve karmaşık problemlerde her zaman bu şekilde sonuçlanmaz. Bu tür fazla işlem süresine sahip aynı zamanda işlem sayılarının daha fazla olduğu hatların dengelenmesi bir NLP problemidir ve atanabilecek istasyonların belirlenmesi için ortaya çıkan olası değişkenler çok fazladır. Değişkenlerin 0-1 tamsayı olması dolaylı çözümleri saatler alır. Dolayısıyla bu tür problemler sezgisel yöntemler ile çözüldüğü zaman sonuca daha kısa sürede ulaşılır fakat elde edilen sonuçlar optimal değil optimale yakın olur. Çözüm yöntemi olarak SALBP-1 yöntemi kullanıldığı zaman ise sonuçlar optimale ulaşır ama çözüm süresi çok daha uzun olur. Bu iki yöntemin çalışma prensibinden yola çıkılarak üzerinde çalışılan montaj hattı yorumlanır ve elde edilen sonuçlar incelenir ise hat dengelemesi yapılan montaj hattının çözüm kümesinin küçük olmasından dolayı matematiksel metot ile teyit ettirilerek sezgisel yöntemlerin optimum sonuç verdiği saptanmış ve bu yöntemlerin tamamının az sayıda iş ögesine sahip karmaşık olmayan montaj hatları için uygulanabileceği ortaya çıkmıştır.

## SONUÇ

Bu çalışmanın amacına istinaden en yüksek performansa sahip montaj hatlarını tasarlamak, kullanılan yöntemleri kendi aralarında karşılaştırmak ve bunların uygulanabilirliğini üzerine çalışılmıştır. Yapılan literatür araştırmaları ile günümüzde hala kullanılmakta olan tesis içi yerleşim şekilleri incelenmiştir. Bu yerleşim şekillerine karar vermede etkili olan üretim sistemi yapısı, talep yapısı, üretim hacmi, ürün çeşitliliği, ürün cinsi gibi kriterler dikkate alınarak işletmeler için en uygun yerleşim tipi belirleme sürecine girilmiştir. Yapılan çalışmada belirlenen tesis içi yerleşim şekli hücreyel üretim olmuştur. Daha sonra montaj hattı dengeleme yöntemleri incelenip bu yöntemler kullanılarak üretim hücrelerinin dengeleme çalışması yapılmıştır. Ulaşılan sonuçlar ve yapılan analizler sonucunda hat dengeleme çalışması yapılan montaj hattı ile benzer kısıtlara ve boyutlara sahip montaj hatlarına sahip işletmeler için hatlarının etkinliklerini optimuma ulaştıracak örnek bir çalışma yapılmıştır.

Genel olarak montaj hattı dengeleme problemlerinin amacı oluşacak hücre sayısını minimize etmek, hücre içinde boşa geçen zamanı minimize etmek, ara stok oluşmasına imkan vermeyen montaj hatları oluşturmaktır. Bu amaçlar çerçevesinde karşılaştırılması yapılan yöntemler arasında amaca en uygun optimum sonucu veren, aynı zamanda sonuca en hızlı ulaştıran montaj hattı dengeleme yöntemi tercih edilmelidir.

Yapılan araştırma montaj hatlarında en yüksek verim kaybının sebebinin, makinaların işlem sürelerinin birbirlerinden farklı olması ve atamaların makine önceliklerine göre yapılma zorunluluğu olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu kısıtlar iş istasyonlarında ortaya çıkan boş sürelerin artmasına sebep olmaktadır.

Yapılan çözümler sonucunda problemin basit yapıda olması çözüm uzayının küçük olması tüm metodların eşit sonuçlar vermesini sağlamıştır bu yüzden hangi yöntemin seçileceğine karar vermek için bir kriteri önceliklendirmek gerektiğini ortaya çıkarmıştır. Problemin daha karmaşık olduğu durumda incelenen sezgisel

yöntemler ve daha sonra çözümleri gerçekleştirilen matematiksel metotların sonuçları iki ihtimalli olur. Bu yöntemler arasında tercih yapılabilmesi için bu iki ihtimalden birisinin göz ardı edilmesi gerekir. Yani sezgisel metotlar ile ya probleme hızlı bir çözüm üretilir ve optimuma yakın bir sonuca ulaşılır ya da matematiksel metot ile problem daha uzun sürede çözülür ama optimum sonuca ulaşılır.

Daha karmaşık ve daha fazla iş öğelerine sahip hatları dengelemek için SALBP-1 yönteminin kullanılması önerilir.

SALBP-1 yönteminin excel solver eklentisi ile daha kısa sürede çözülebilmesi için ileride yapılacak çalışmalarda bu modellerin hazır bir şekilde Excel'e entegrasyonu ile çözüme daha çabuk ulaşılabilir, ya da Excel yerine başka optimizasyon yazılımları tercih edilebilir.

Sonuç olarak yönetime karar verme aşamasında eğer zaman maliyetten daha önemli ve müşteri memnuniyeti ön planda ise sezgisel yöntemlerin uygulanması daha uygun olacaktır, fakat büyük çaplı problemlerde tercihe göre SALBP-1 yöntemi tercih edilebilir.

## KAYNAKÇA

- Abernathy,. 1978. «The Productivity Dilemma Roadblock to Innovation in the Automobile Industry.» *Johns Hopkins University Press*.
- Aksoy,, E. 1997. «Montaj Hattı Dengelemede Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Kullanılması.» *Yüksek Lisans Tezi*.
- Arda, Alp, Hakan Çerçioğlu, M.Aydın Tokaylı, ve Bema Dengiz. 2001. «Stokastik Montaj Hattı Dengeleme: Bir Tavlama Benzetimi Algoritması.» *Endüstri Mühendisliği Dergisi* 32-51.
- Bayraktaroğlu,, A.E. 2007. «Basit U-Tipi Montaj Hattı Dengelemede Analitik Yöntemlerin Karşılaştırılması.» *Yüksek Lisans Tezi*.
- Bryton,, Benjamin. 1954. «Balancing of a Continuous Production Line.»
- Çakır,, 2006. «İşlem Zamanlı Montaj Hattı Dengeleme İçin Tavlama.» *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen*.
- Erel,, E. 1991. «Stokastik montaj hattı dengeleme problemi üzerinde yapılan araştırmalar.» *Endüstri Mühendisliği Dergisi* 11-15.
- Erkut, Haluk, ve Murat Baskak,. 1997. *Tesis Tasarımı*. 35-54: İrfan Yayıncılık.
- Gallagher, ve Knight,. 1986. «Team Technology Production Methods in Manufacture.» *Ellis Horwood Chichester*.
- Gökçen,, Hadi. 1994. «Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.» *Karışık Modelli Deterministik Montaj Hattı Dengeleme Problemleri İçin Yeni Modeller*.
- Heragu,, S.S. 1994. «Group technology and cellular manufacturing.» *IEEE Transactions on Systems, man and cybernetics* 203-215.
- Hoffmann,, T.R. 1963. «Assembly Line Balancing with a Precedence Matrix.» *Management Science* 551-563.

- Ignall,, E.J. 1965. «A Review of Assembly Line Balancing.» *Journal of Industrial Engineering* 244-254.
- Kao,, E.P.C. 1979. «Computational Experience with a Stochastic Assembly Line.» *Computers & Operations Research* 79-86.
- Keskintürk, Timur, ve Birgül Küçük,. 2006. «Karışık modellenli montaj hatlarının genetik algoritma kullanılarak dengelenmesi.» 53.
- Kilbridge, ve Wester,. 1961. «A Heuristic Method of Assembly Line Balancing.» *The Journal of Industrial Engineering* 292-298.
- Kuvvetli,, Yusuf. 2010. «Karma modellenli montaj hattı dengeleme ve işgücü atama problemi için yeni bir yaklaşım.» 2.
- Lehman,, M. 1969. «On Criteria for Assigning Models to Assembly Lines.» *International Journal of Production Research* 269-285.
- Mahapatra,, P.B. 2010. «Operations Management: a Quantitative Approach.» *PHI Learning Pvt. Ltd.*
- Manoria, Mishra, ve Maneshwari,. 2012. «Expert System Based On Rpw Technique To Evaluating Multi Product Assembly Line Balancing Solution.» *International Journal of Computer Applications* 27-32.
- Mitranov,, S.P. 1959. *The Scientific Prinsiples of Group Technology.*
- Orbak, A. Yurdun, B.Türker Özalp, Pınar Korkmaz, Nilay Yarkın, Nagihan Aktaş, ve Aylin Dinçer. 2009. «Karışık Modellenli Bir Montaj Hattında Hat Dengeleme Çalışmaları.» *Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği* 29. *Ulusal Kongresi.* Ankara.
- Önder,, İbrahim. 2016. <http://docplayer.biz.tr/17954097-Grup-teknolojisi-ve-hucresel-uretim.html>.



- Özkan,, Raşit. 2003. «TEK MODELLİ DETERMİNİSTİK MONTAJ HATTI DENGELEME PROBLEMLERİNE GENETİK ALGORİTMA İLE ÇÖZÜM YAKLAŞIMI.» 25.
- Özkan,, Raşit. 2003. «Tek modellenli deterministik montaj hattı dengeleme problemlerine genetik algoritma ile çözüm yaklaşımı.» 24.
- Panneerselyam,, R. 2012. «Production and Operations Management.» *3rd ed. PHI Learning Pvt. Ltd.*
- Salveson,, 1955. «The Assembly Line Balancing Problem.» *Journal Of Industrial Engineering* 18–25.
- Sniedovich,, M. 1981. «Analysis of Preference Order Assembly Line Problem.» *Management Science* 1067-1104.
- Soysal, A., N. Serarslan, M. Tanyaş, K. Atalar, ve H: Sivri,. 1988. «Sanayide Bilgisayarların Etkin ve Verimli Kullanımı.» *MESS Eğitim Kitapları Dizisi* içinde. istanbul: MESS.
- Tam, P.W.M, ve P.B.G Dissanayake. 1998. «Construction Project Scheduling by Ranked Positional Weight Method.» *Canadian Journal of Civil Engineering* 424-436.
- Üstün,, S. 2005. «Bir Üretim Atölyesinde Darboğaz Problemlerinin Benzetimle Analizi.» *Yüksek Lisans Tezi KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.*
- Womack, Jones, ve Roos. 1990. «The Machine That Changed the World.»
2016. [yalindanisman.com](http://yalindanisman.com). Erişildi: october 1, 2017.  
<https://yalindanisman.com/cevrim-zamani/>.
- Yılmaz,, M.M. 2006. «Bulanık Operasyon Zamanlı Geleneksel Montaj Hattı Dengeleme Problemi.» *Yüksek Lisans Tezi.*

## ÖZGEÇMİŞ

04 Ekim 1991 tarihi, Bursa doğumluyum. Lise öğrenimimi Bursa Mudanya Sami Evkuran Anadolu Lisesi'nde 2009 yılında, lisans öğrenimimi 2014 yılında Uludağ Üniversitesi işletme bölümünde tamamladım. 2013-2015 yılları arasında merkezi Bursa'da bulunan bir otomotiv firmasında üretim planlama departmanında iş hayatına başladım. 2015 yılında Beykent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans bölümünde yüksek lisans eğitimine başladım.

Mevcutta 2016 yılından itibaren bir beyaz eşya markasının genel müdürlüğünde uluslararası ülke pazarlama sorumlusu olarak çalışmaktayım.

Yabancı dilim İngilizcedir.

Ahmet Emre BİBER