

# **BİR İŞ MAKİNASININ MONTAJ HATTININ PLANLANMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İPEK LUZUMLU**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**MERSİN  
NİSAN - 2017**

# **BİR İŐ MAKİNASININ MONTAJ HATTININ PLANLANMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İPEK LUZUMLU**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



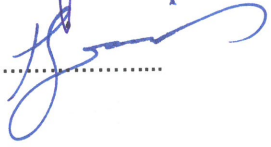
**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ  
ANA BİLİM DALI**

**Danışman  
Yrd. Doç. Dr. Onur GÜVEN**

**MERSİN  
NİSAN - 2017**

## ONAY

İpek LUZUMLU tarafından Yrd. Doç. Dr. Onur GÜVEN danışmanlığında hazırlanan "Bir İş Makinasının Montaj Hattının Planlanması" başlıklı çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından 27 Nisan 2017 tarihinde yapılan Tez Savunma Sınavı sonucunda oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Görevi	Ünvanı, Adı ve Soyadı	İmza
Başkan	Yrd. Doç. Dr. Onur GÜVEN	
Üye	Doç. Dr. Uğur EŞME	
Üye	Doç. Dr. Hasan SERİN	

Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 12/05/2017 tarih ve 2017-581/20 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

  
Prof. Dr. Ayla ÇELİK  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

*Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, tablo ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.*

## ETİK BEYAN

Mersin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğinde belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlâk kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak kullandığımı,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü Mersin Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı,
- Tezin tüm telif haklarını Mersin Üniversitesi'ne devrettiğimi

beyan ederim.

## ETHICAL DECLARATION

This thesis is prepared in accordance with the rules specified in Mersin University Graduate Education Regulation and I declare to comply with the following conditions:

- I have obtained all the information and the documents of the thesis in accordance with the academic rules.
- I presented all the visual, auditory and written informations and results in accordance with scientific ethics.
- I refer in accordance with the norms of scientific works about the case of exploitation of others' works.
- I used all of the referred works as the references.
- I did not do any tampering in the used data.
- I did not present any part of this thesis as an another thesis at Mersin University or another university.
- I transfer all copyrights of this thesis to the Mersin University.

27 Nisan 2017/ 27 April 2017



İmza / Signature

İPEK LUZUMLU

## ÖZET

### BİR İŞ MAKİNASININ MONTAJ HATTININ PLANLANMASI

Bu tez kapsamında, yerinde montaj tekniği ile montajı yapılan 940 model Wheel Loader iş makinasının montajının düz hatlı montaj istasyonu ile yapılması önerilmektedir. Planlanan montaj hattı Flexible Line Balancing programı ile oluşturulup, 2D ve 3D çizimlerde Autocad ve Creo Parametrik programları kullanılmıştır. Hattın kurulması planlanan alanın boyu ile makinanın boy uzunluğu, makinanın konum kısıdı ve istasyonlar arası olması gereken boşluklar hesaba katıldığında alana en fazla 7 istasyonun sığabileceği kararlaştırılmıştır. Bu sebepten dolayı bir hattan diğer hatta geçişte arada geçecek olan süreler, çıkabilecek aksilikler ve ön hazırlıklar düşünüldüğünde takt time denemelerinin 660'den 800'e kadar yapılmasına karar verilmiştir.

Sonuç olarak "düz tip montaj hattı" 7 istasyonlu ve her istasyon 660 dk eşit montaj zamanlı olarak kararlaştırılmıştır. Her istasyonda yapılacak iş öğeleri belirlenmiştir. 660 dk da iş öğelerinin montajının her istasyon için gerçekleşme oranı 1.istasyondan başlayarak sırasıyla %72,72-%100-%98,48-%98,48-%100-%96,96-%96,96 olarak hesaplanmıştır. Düz hatlı montaj istasyonunda 7 istasyon için gerekli toplam en az 10 montaj elemanına ihtiyaç olacağı belirlenmiştir. Yerinde montaj uygulamasında her 73 saat te 1 makinanın montajı yapılırken, düz tip montaj hattı uygulamasında ilk 73 saat sonrasında her 73 saat te 7 makinanın montajı gerçekleştirilecektir.

**Anahtar kelimeler:** Montaj hattı, Montaj, İş makinası, Takt time, Öncelik sırası, Worker, Hat, İş akışı, Wheel Loader

**Danışman:** Yrd. Doç. Dr. Onur GÜVEN, Mersin Üniversitesi, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Mersin.

## ABSTRACT

### DESIGNING AN ASSAMBLY LINE OF A CONSTRUCTION EQUIPMENT

This thesis with a subject of “Designing an assembly line of a construction equipment” suggests information about how to create an assembly line for construction equipments. The planned assembly line, created with Flexible Line Balancing software, beside that autocad and creo parametric softwares and also used for 2D and 3D drawings. It has been decided that the length of the planned installation area of the line can fit up to 7 stations in the area when the length of the machine, the position of the machine and the required gaps between the stations are added to the account. Because of that, It was decided that the takt time experiments should be done from 660 to 800 when considering times between line transitions, mishapes that may arise and priliminaries.

As a result, “Flat type assembly line” has decided to be 7 stations and on 660dk equal installation time. Work items to be made at every station are determined. The realization rate of work items for each station was calculated starting from the first station as 72.72% -100% -98.48% -98.48% -100.0% -96.96% -96.96% . It was determined that a total of at least 10 mounting workers required for 7 stations in the straight line installation station would be needed. At the Traditional assemlby techniques while the assembly of the machine is carried out every 73 hours, In the flat type assembly line application, 7 machines will be assambled every 73 hours after the first 73 hours.

**Keywords:** Assambly line, Assambly, Takt time, Order of precedence, Worker, Line, Job stream, Wheel loader.

**Advisor:** Assist.Prof.. Onur GÜVEN, University of Mersin ,Department of Mechanical Engineering, Mersin.

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezım süresince değerli bilgi birikimiyle bana her konuda yardımcı olan, tecrübeleriyle bana yol gösteren ve karşılaştığım zorluklarda desteğini esirgemeyen tez danışmanım Yrd.Doç. Dr. Onur GÜVEN'e teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca çalışmalarım da destek veren, yardımlarını esirgemeyen Çukurova Makina İmalat ve Tic. A.Ş değerli çalışanlarına teşekkürü borç bilirim.

Hayatım boyunca, bana maddi manevi her türlü destek veren, yüreklendiren sevgili aileme, başta babam Adnan ARICIKUŞU'na, annem Emsal ARICIKUŞU'na ve değerli eşim Uęurcan LUZUMLU'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tüm eğitimim boyunca bana destek veren, arkadaşlığı ve samimiyeti ile çalışmalarım da ve ilerlememde hep yardımcı olan kıymetli dostlarım Hasan İBİLOğLU'na, Yusuf KUVVETLİ'e ve Cansu DAęSUYU'a teşekkürlerimi sunarım.



# İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ONAY	i
ETİK BEYAN	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
TABLOLAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
KISALTMALAR ve SİMGELER	x
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI</b>	<b>4</b>
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b>	<b>9</b>
3.1 Materyal	
3.2 Yöntem	12
3.2.1 Montaj Hattı Dengeleme Yöntemleri	
3.2.1.1. Analitik Yöntemler	
3.2.1.2. Sezgisel Yöntemler	13
3.2.2. Simülasyon Modelleri	14
3.2.2.1. Simülasyon Modellerinin Avantajları	15
3.2.2.2. Simülasyon Modellerinin Dezavantajları	
3.2.2.3. Simülasyon Yazılımında Aranılan Özellikler	16
3.3 Flexible Line Balancing Yazılımı	
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA</b>	<b>18</b>
4.1 Montaj Hattı Dengelemede Kullanılan Kavramlar	
4.2 Makinanın Özellikleri	19
4.3 Çalışmanın Adımları	21
4.3.1. Montaj Hattı Kurulumuna Hazırlık	
4.3.1.1. Problemin Tespit Edilmesi ve Tanımlanması	
4.3.1.2. İş Ögelerinin Sürelerinin Tespit Edilmesi	24
4.4. Öncelik Sıraları ve Gruplamaların Belirlenmesi	26
4.5. Flexible Line Balancing Çözümü	28
4.5.1. Flexible Line Balancing Çözümünde İzlenecek Adımlar	
4.5.1.1 Açılış	
4.5.1.2 Process	29
4.5.1.3 Çalışma Sayfası	30
4.5.1.4 İş Tanımı Ve Süreleri	31
4.5.1.5 Öncelik İlişkileri, Gruplamalar, Ve Bağlantılar	32
4.5.1.6 Programın Çalıştırılması	33
4.6 İstasyon Sayısı ve İş Akışı Kombinasyonları	34
4.6.1. Takt Time 660 Deneme Sonucu	36
4.6.2. Takt Time 670 Deneme Sonucu	37
4.6.3. Takt Time 680 Deneme Sonucu	38
4.6.4. Takt Time 690 Deneme Sonucu	39
4.6.5. Takt Time 700 Deneme Sonucu	40
4.6.6. Takt Time 710 Deneme Sonucu	41
4.6.7. Takt Time 720 Deneme Sonucu	42
4.6.8. Takt Time 730 Deneme Sonucu	43
4.6.9. Takt Time 740 Deneme Sonucu	44
4.6.10. Takt Time 750 Deneme Sonucu	45
4.6.11. Takt Time 800 Deneme Sonucu	46
	vi

4.6.12. Worker 7 Deneme Sonucu	47
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b>	48
5.1. Takt Time Seçilmesi	
5.2. İstasyonlarda İşlerin Öncelik Sırası	52
5.3. İşçi Sayısının Belirlenmesi	54
5.4 Öneriler	56
<hr/>	
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ	59
<hr/>	



## TABLolar DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Tablo 2.1 İstasyonlar arasında aktarılan iş adımları ve süreleri	4
Tablo 4.1. IFS ürün ağacı listesi	23
Tablo 4.2 İş ögesi süresi	25
Tablo 4.3 Öncelik Sıralaması ve Gruplamalar	27
Tablo 5.1. İş sırası	53
Tablo 5.2. İşçi sayısı	55



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 1.1 940 model tekerlekli yükleyici	2
Şekil 2.1 Montaj hattı mevcut durumu	5
Şekil 2.2 Montaj hatlarının yerleşimi	7
Şekil 3.1 940 İki boyutlu gösterimi	9
Şekil 3.2 940 üç boyutlu gösterimi	11
Şekil 4.1. Öncelik Diyağramı [16]	19
Şekil 4.2. 940 iş makinası ölçü	20
Şekil 4.3. Kurulum alanı şematik gösterimi	22
Şekil 4.4 Flexible Line Balancing Açılış	28
Şekil 4.5. Flexible Line Balancing Process	29
Şekil 4.6. Flexible Line Balancing Append Task	30
Şekil 4.7. Flexible Line Balancing Elem Task Description, ST	31
Şekil 4.8. Flexible Line Balancing Elem Task # and Grp	32
Şekil 4.9. Flexible Line Balancing Run	33
Şekil 4.10. Makinanın İstasyonlarda Yerleşimi	35
Şekil 4.11. Line Balancing Result Takt Time 660	36
Şekil 4.12. Line Balancing Result Takt Time 670	37
Şekil 4.13. Line Balancing Result Takt Time 680	38
Şekil 4.14. Line Balancing Result Takt Time 690	39
Şekil 4.15. Line Balancing Result Takt Time 700	40
Şekil 4.16. Line Balancing Result Takt Time 710	41
Şekil 4.17. Line Balancing Result Takt 720	42
Şekil 4.18. Line Balancing Result Takt 730	43
Şekil 4.19. Line Balancing Result Takt 740	44
Şekil 4.20. Line Balancing Result Takt 750	45
Şekil 4.21. Line Balancing Result Takt Time 800	46
Şekil 4.22. Line Balancing Result Worker 7	47
Şekil 5.1. Verim Grafiği	49
Şekil 5.2 İş İstasyon Şeması	50
Şekil 5.3. İşlerin İstasyonlara Ayrılması	51

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Kısaltma/Simge</b>	<b>Tanım</b>
Tic	Ticaret
A.Ş.	Anonim Şirketi
MHD	Montaj Hattı Dengeleme
FLB	Flexible Line Balancing
HP	Horse Power
Kg	Kilogram
Dk	Dakika
m <sup>3</sup>	Metreküp
mm	Milimetre
m	Metre
m <sup>2</sup>	Metrekare
%	Yüzde

## 1. GİRİŞ

İş ve inşaat makineleri bir ülkenin alt ve üst yapısının imarında kullanılarak o ülkenin ekonomik ve sosyal gelişmesine çok önemli katkılar sağlayan araçlardır. Dolayısıyla bir ülkenin ekonomik ve sosyal yönden kalkınmışlığını ve kalkınma hızını, yıl içerisinde satılan iş ve inşaat makineleri sayısı ve niteliği ile ölçmek mümkün olabilmektedir.

İş makinaları üreten bir iş yerinde, müşteri ihtiyaçlarının tam zamanında giderilmesi ve beklentilerin tam anlamıyla karşılanması işletmelerin üretim süreçlerini sürekli olarak geliştirme ihtiyacı duymalarını sağlamıştır. Günümüz rekabet koşulları göz önüne alındığında işletmeler için kalite faktörünün yanında üretim süreçlerindeki esneklik, üretim hızı gibi ürünün üretim aşamaları da önem kazanmıştır. Çünkü müşteri talep ettiği üründe sadece kalite faktörünü aramamaktadır. Maliyetlerin ve teslimat süresinin düşük olması, üretim de esneklik gibi ürünün yapısı dışında ki diğer faktörler de müşteriler için önem kazanmıştır. Bu durum da işletmelerin üretimden başlayarak bütün tedarik zinciri boyunca da hizmetlerini geliştirmelerini sağlamıştır [1].

Üretim sistemine giren ham maddenin bir dönüşüm süreci sonunda, bitmiş ürün olarak, olabildiğince erken sistemi terk etmesi, elde edilen başarıyı arttıracaktır. Üretim sistemine giren ham maddenin sistemi olabildiğince erken terk edebilmesi ise üretim sistemi içinde kullanılan insan, makine ve malzemenin boş bekleme ve taşınma sürelerinin azaltılması ile ilgilidir. Bu verimsiz süreleri tamamen ortadan kaldıracak bir üretim tekniğinin olmaması, bunları hiç değilse en düşük düzeyde tutacak üretim tekniklerinin araştırılmasına yol açmıştır. Günümüzde, bunu sağlayacak en önemli unsur, iyi dengelenmiş montaj hatları olarak kabul edilmektedir [2].

Bu nedenle sistemin amacı bir ürüne ait bileşenlerin montajını gerçekleştirip bitmiş ürünü elde etmektir. Montaj hatları otomotivden ev aletleri endüstrisine kadar birçok üretim sisteminin vazgeçilmez parçası haline gelmiştir. Montaj hatlarında meydana gelen dizayn veya dengeleme kaynaklı problemlerin, çözüme ulaştırılması oldukça zor bir olaydır. Çünkü montaj hatlarının kombinasyonel doğaları, çok çeşitli işlemler ve çeşitli kısıtlamalar endüstriyel problemlerde sıklıkla karşımıza çıkmaktadır. Dengeleme süreci, amaç fonksiyonunu optimize edecek şekilde bölünemeyen işleri iş istasyonlarına atamaktan oluşmaktadır.

Bu açıklamalardan yola çıkarak Erkut ve Baskak [3] montaj hattını, malzemelerin akış hattı boyunca işgücü ve donanımdan yararlanılarak iletildiği ve parça üzerindeki işlemlerin; aralarındaki öncelik ilişkileri ve çevrim süresi gibi kısıtlar göz önüne alınarak birleştirilmesiyle oluşturdukları istasyonların, yine bir hat boyunca sıralanmalarıyla oluşan sistem olarak tanımlamışlardır. Bu tanımlamalara göre bu çalışmadan önce Çukurova Makina İmalat ve Tic. A.Ş'de, yerinde montaj tekniği ile montajı yapılan "wheel loader" iş makinasının, düz hatlı montaj tekniği kullanılarak montaj istasyonu kurulumu yapılacaktır. Makinanın modellenmesi

Pro Engineer modelleme programı ile yapılmıştır. Makinaya ait iş öğeleri ve ürün listeleri IFS ürün takip programından temin edilmiştir.

Ayrıca en verimli montaj hattının kurulmasıyla, Çukurova Makina İmalat ve Tic. A.Ş.'nin ürettiği 940 tekerlekli yükleyicinin, daha önceden montajı yapılırken kullanılan ve daha fazla zaman ve insan gücüne ihtiyaç duyan yaklaşık olarak 73 saatte bir makina çıkarabilen hareketsiz montaj yerine, aynı sürede daha fazla makine montajı yapan, düzenli bir malzeme akışını sağlayan, insan gücü kullanımını en üst düzeye çıkaran, makine kapasitelerini en üst düzeyde kullanan, boş süreleri veya dengeleme kayıplarını en aza indiren, düz hatlı montaj istasyonunun kurulması düşünülmektedir.

Planlanması yapılacak olan montaj hattı, Mersin- Tarsus ilçesinde bulunan Çukurova Makine İmalat ve Tic.A.Ş. de üretimi yapılan 940 model tekerlekli yükleyici şekil 1.1 de gösterilmiştir.



**Şekil 1.1** 940 model tekerlekli yükleyici

1968 yılında John Deere ile yapılan bir lisans anlaşması çerçevesinde tarım makinaları üretmek üzere kurulan Çukurova Makina 18 yıllık süre zarfında 26.250 makine üretmiştir. Şirket 1986 yılında kendi lisans ve marka ismi olan "ÇUKUROVA" ile endüstriyel ve iş makinaları

üretimine başlamıştır. Şirketin öne çıkan ürünleri arasında forkliftler; kazıcı yükleyiciler; tekerlekli yükleyiciler ve ekskavatörler bulunmaktadır. Tarsus'da bulunan Şirketin üretim fabrikalarında ürünler montajlanmaktadır.

Çukurova Makine İmalat ve Tic. A.Ş.'de yapılan 940 model iş makinasının montajında hareketsiz montaj tipi kullanılmaktadır. Hareketsiz montaj yöntemi ile ortaya çıkan iş gücü fazlalığı, gereksiz zaman kaybı ortadan kaldırılarak, bu tip montaj yerine düz hatlı montaj istasyonu kurulacaktır. Montaj hattının dengelenmesi ile iş adımları gruplandırılarak istasyonlar oluşturulacaktır.



## 2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

Montaj hattı; somut ürün üreten işletmelerde, parçaların birleştirilerek nihai bir ürünün oluşturulduğu, genellikle hareketli bir bant veya konveyör sistem ile birbirine bağlı iş istasyonları ve bunun için gerekli ekipmanlardan oluşan sistemden oluşur.

Günay, Çetin ve Baykoç [4]'e göre montaj hattı, dengeleme problemi montaj işleminin yapılabilmesi için gerekli işler, bu işlerin süreleri ve işler arasındaki öncelik ilişkileri verildiğinde bir performans ölçütünü en iyileyecek şekilde sıralı iş istasyonlarına atanması şeklinde tanımlamıştır.

Montaj hattı dengelemede geleneksel ve u tipi hatların karşılaştırılması ve bir uygulama çalışması adlı çalışmalarında Tam Zamanında Üretim felsefesi prensiplerinin hayata geçirilmesiyle birlikte ortaya çıkan U tipi üretim hatları ve geleneksel hatları incelemişler ve U tipi montaj hatları, geleneksel montaj hatları ve bu hatların dengelenmesi hakkında genel bilgiler vermişlerdir.

Ergün [5] hat dengeleme modelleri üzerine yapmış olduğu çalışmada montaj hattı dengeleme modelleri ve atölye sıralama modellerini incelemiş ve 16 montaj hattı ve 8 adet atölye sıralama modeli farklı problem durumlarına göre incelemiştir.

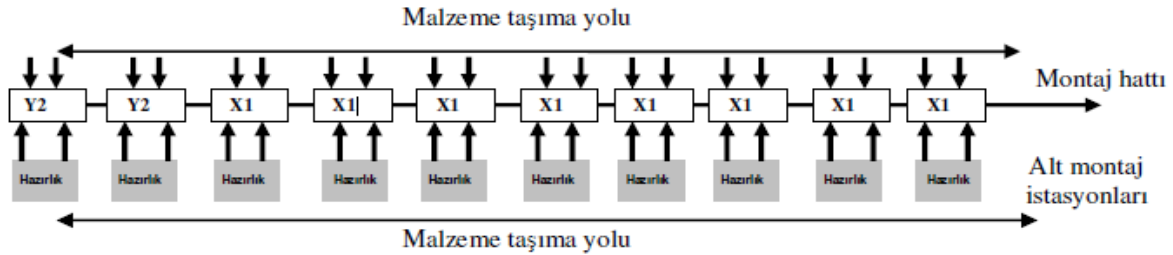
Malı ve arkadaşları [6] küçük ölçekli madencilikte tekerlekli yükleyiciler için ekonomik taşıma mesafesi adlı çalışmalarında tekerlekli yükleyicinin tek başına kullanılması durumunda ekonomik taşıma mesafesinin bulunması amacıyla, değişik kepçe hacimlerindeki yükleyicilerin tek başına ve aynı yükleyiciler ile değişik kapasiteli kamyonların birlikte kullanılması durumundaki maliyetler, oluşturulan bir model ile hesaplamışlardır. Oluşturulan model çalışmadan elde edilen hesaplamalar sonucunda tekerlekli yükleyicilerin (doldur-taşı-boşalt) ekonomik taşıma mesafesinin yükleyici-kamyon alternatiflerine göre 60-260 m arasında değiştiği belirtmişlerdir.

Özkıran ve Düşünür [1] otomotiv sektöründeki bir işletmede Montaj hattının analizi ve dengelemesi adlı çalışmasında bir montaj hattı dengeleme problemi ele almış ve bu yöntemlere ilişkin oluşturulan tablolar (Tablo 2.1) ve hesaplamalarla sonuçları değerlendirmiştir. İlk başta üretim sisteminin tanımlanması ve doğru çalışma yönteminin belirlenebilmesi için uygulamanın yapıldığı işletmenin genel yapısı incelemiştir.

**Tablo 2.1** İstasyonlar arasında aktarılan iş adımları ve süreleri

Gresörlük takılır	17,18724 sn
Gresörlükten yağ basılır, silinir	13,71897 sn

Artuşık ve Birgün [7] bir otomotiv fabrikasının alt montaj işlemlerinde (şekil 2.1) israf azaltımı adlı çalışmalarında alt montaj sürelerinin azaltılmasından doğan ihtiyaç üzerine montaj işlemlerinde, bir alt montaj istasyonunun yalın üretime cevap verecek şekilde gelmesi amacıyla israflardan arındırılarak, yeniden tasarımı anlatmışlardır.



Şekil 2.1 Montaj hattı mevcut durumu

Altuntaş ve İşlier [2] birliktelik kısıtları altında montaj hattı dengeleme problemi için bir çözüm yaklaşımı önerisi ve bir işletmede uygulama adlı çalışmalarında, bilinen Montaj Hattı Dengeleme yöntemlerinin uygulanamadığı büyük ölçekli bir montaj hattı için uygun bir hat dengeleme yöntemi geliştirmek ve bu yöntem ile söz konusu hattı dengelemek işlemini anlatmışlardır. Çalışmanın başında, bu problemin çözümünde kullanılabilecek basit fakat etkili bir yol olarak tanınan 'En Büyük Aday' algoritmasında bazı değişiklikler yapmışlar ve yeni bir yöntem geliştirmişlerdir.

Tanyaş ve Baskak [8], bir montaj hattının kurulmasında ulaşılması gereken amaçlar şu şekilde tanımlamışlardır:

- Düzenli bir malzeme akışını sağlamak
- İnsan gücü ve tezgâh kapasitelerini en üst düzeyde kullanmak
- İşlemleri en kısa sürede tamamlamak
- Montaj hattı üzerindeki iş istasyonu sayısını en küçükmek
- Boş (atıl) süreleri en küçükmek
- Atıl süreleri, iş istasyonları arasında düzgün şekilde dağıtmak
- Üretim maliyetlerini en küçükmek

Çakır [9] ise montaj hatlarını; işin yapısına, model sayısına, taşıma sistemlerine ve işlem zamanlarına göre sınıflandırmıştır.

Gökçen [10], Model sayısına göre montaj hatlarını; tek modelleri hatlar, çok modelleri hatlar ve karışık modelleri hatlar olarak üç'e ayırmıştır. Tek modelleri hatlar, basit montaj hatları olarak da isimlendirilir ve bu tür hatlarda tek bir ürün çeşidi üretilir. Çok modelleri hatlarda, değişik modeller üretilir. Değişik modellerin üretimi ayrı ayrı kafieler halinde ve değişik

zamanlarda yapılır. Karışık modelli hatlarda, değişik modeller aynı anda ve karışık olarak üretilirler.

Yılmaz [11], taşıma sistemlerine göre montaj hatlarını, gecikmeli ve gecikmesiz olarak ikiye ayırmıştır. 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 tanımlanmıştır.

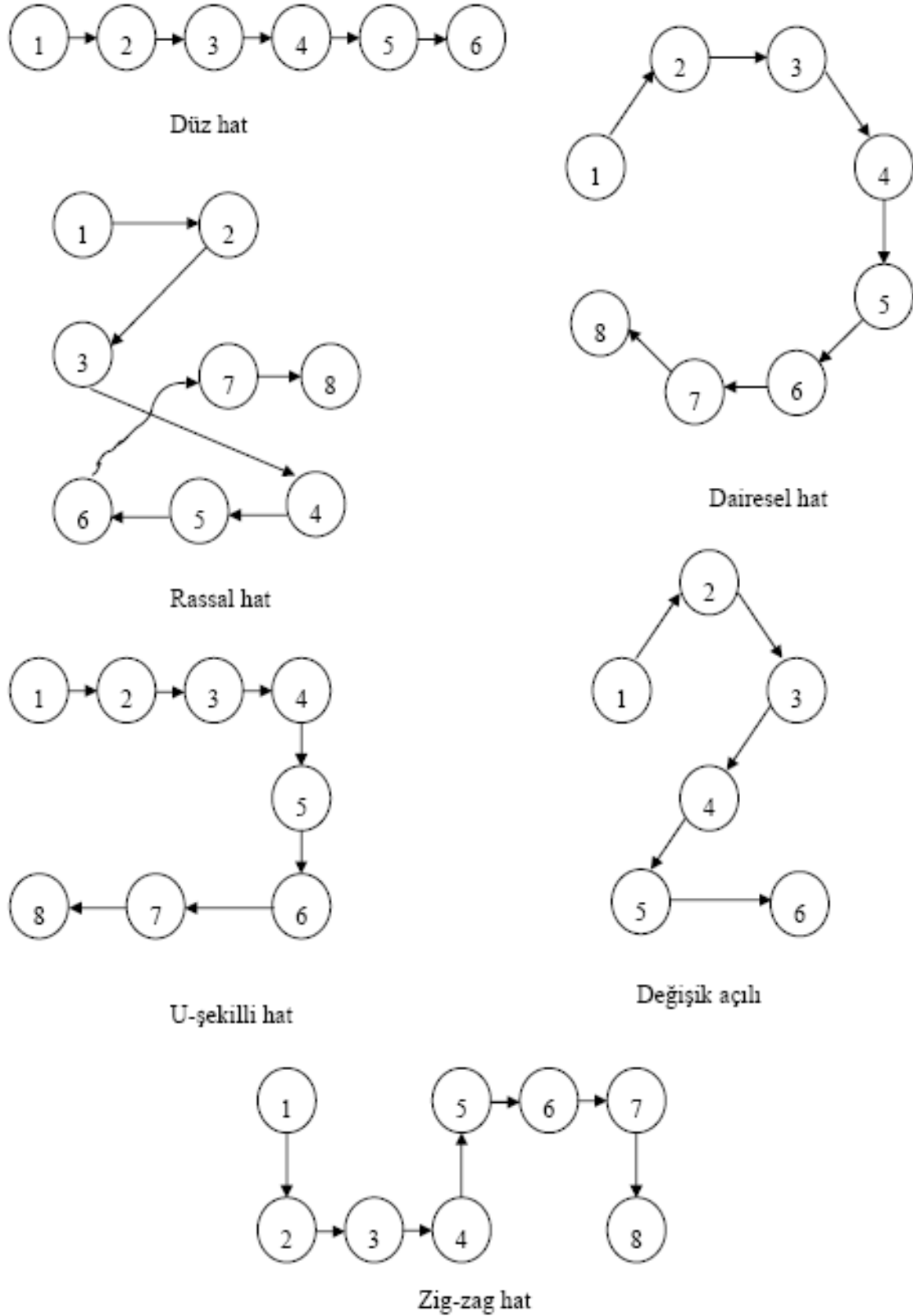
İşin yapısına göre montaj hatları, manuel ve otomatik olarak ikiye ayrılır.

Çakır'a [9] göre manuel hatlarda ürün son istasyona ulaşana kadar ve bir ürün olarak çıkana kadar çoklu istasyonlar vardır. Her istasyonda toplam iş yükünün bir bölümü, bir veya daha çok işçi tarafından yapılmaktadır. İnsan unsurunun ön planda olduğu bu çeşit montaj hatlarında dengeleme yaparken, otomatik hatlara göre daha çeşitli kriterleri dikkate almak gerekmektedir. Otomatik hatlarda, istasyonlardaki işler ve istasyonlar arası transferler otomatik olarak yapılmaktadır.

Özkıran ve Düşünür [1] İşlem zamanına göre montaj hatlarını deterministik işlem zamanlı ve stokastik işlem zamanlı olarak ikiye ayırdığını belirtilmiştir. Deterministik MHD problemlerinde, görev zamanlarının verilmiş olduğu ve bu zamanların bir birimden diğerine herhangi bir değişim göstermediği varsayılmaktadır. Bu varsayım özellikle robot teknolojisinin uygulama alanı bulabildiği, ileri teknoloji sanayilerinde geçerlidir. Stokastik MHD problemlerinde ise, görev zamanları, belirli bir dağılımla ifade edilmiştir.

Erkut ve baksak [3], İstasyonun yerleşimine göre montaj hatlarını düz, dairesel, rastsal, değişik açılı, U şekilli, zig zag gibi değişik biçimlerde olduğunu belirtmişlerdir. İşlevsel yapılarına göre de seri, bileşik, paralel ve besleyici montaj hatları olarak sınıflandırmışlardır.

Şekil 2.2'de montaj hatlarının yerleşimini şematik göstermiştir.



Şekil 2.2 Montaj hatlarının yerleşimi

Baykasoğlu ve Akyol'a [12] göre klasik montaj hattı dengelemede genel olarak, işleri istasyonlara dağıtırken problemin tipine göre ya iş istasyonu sayısı (I. tip) ya da çevrim süresi (II. tip) en küçüklenmeye çalışılır. Bu atama sırasında istasyonların toplam işlem süreleri olabildiğince birbirine yakın tutulmaya çalışılır ki istasyonlar arasındaki iş yükü düzgün dağılmış olur. Fakat istasyonlar arasındaki iş yükünü düzgün dağıtmak için yalnızca işlerin operasyon zamanlarını dikkate almak çoğu durumda yeterli değildir. Aynı zamanda işçilerin zorlanma derecelerini de mümkün olduğunca eşit tutmak gerekir. Aksi takdirde, birtakım işçilerde aşırı yüklenme oluşması sonucu çeşitli verimlilik ve işgücü kayıpları, uzun dönemde ise meslek hastalıkları ve kalıcı hasarlar oluşabilir.

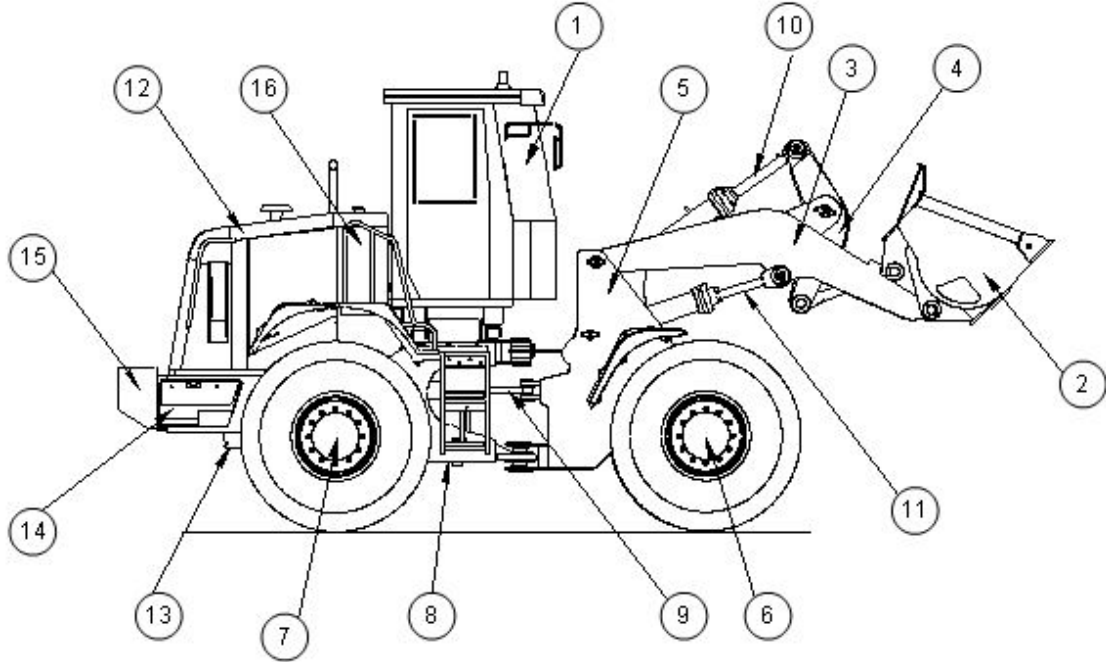
Üstün [13]'e göre üretim sistemlerinin önemli problemlerinden biri olan darboğazın araştırılmasında izlenecek yöntem ve sıranın belirlenebilmesi amacı ile üretim faktörleri (malzeme, makine, işgücü, yöntem) ayrımından yararlanılabilmektedir.

- Yöntem darboğaz araştırması içinde ise teknik ve örgütsel planlama, düzenleme, maliyet kontrol ve yatırım gibi yönetim sorunları ele alınır.
- 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.
- Malzeme darboğazı araştırması; hammadde, yarı mamul, mamul ve yardımcı maddeleri kapsamaktadır.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1 MATERYAL

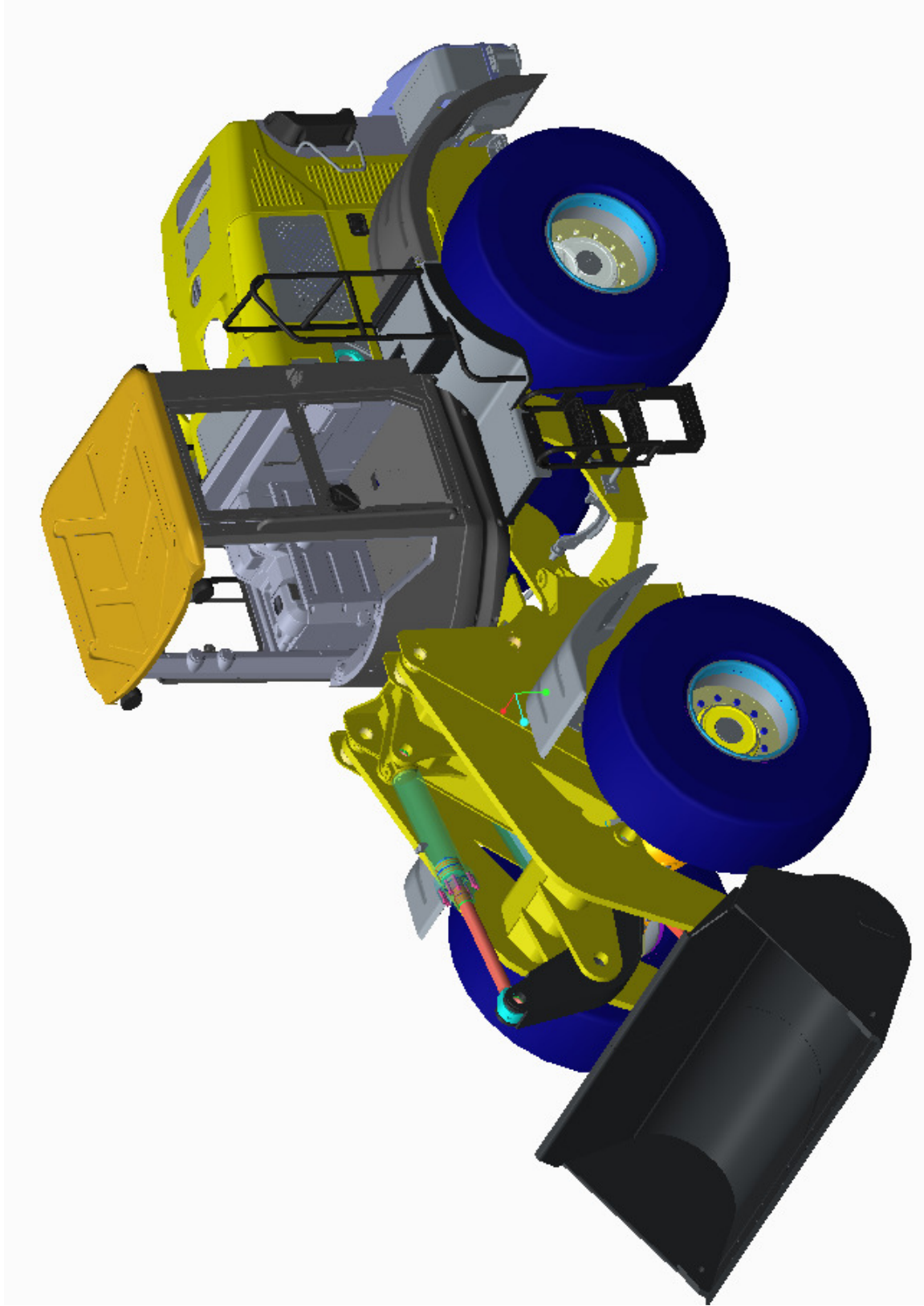
Tez kapsamında kullanılan materyal , Çukurova makina üretimi 940 model lastik terkerlekli yükleyici ve bunun parçalarıdır. 940 model lastik tekerlekli yükleyici Şekil 3.1'da gösterildiği gibi 16 ana komponentten oluşmaktadır. Toplamda bir makina yaklaşık olarak 3500 adet materyalden meydana gelmektedir. Şekil 3.2'da da yükleyicinin üç boyutlu gösterimi bulunmaktadır.



Şekil 3.1 940 İki boyutlu gösterimi

940 iki boyut gösterimindeki numaralanmış parçalar şöyledir:

- 1) Kabin
- 2) Yükleyici Kepçesi
- 3) Yükleyici Boom
- 4) Manivela
- 5) Ön Şase
- 6) Ön aks
- 7) Arka aks
- 8) Arka Şase
- 9) Direksiyon Silindiri
- 10) Tilt Silindiri
- 11) Lift silindiri
- 12) Kaporta
- 13) Yakıt Deposu
- 14) Akü Sandığı
- 15) Ağırlık
- 16) Hidrolik Depo



Şekil 3.2 940 Üç boyutlu gösterimi

## 3.2 Yöntem

### 3.2.1 Montaj Hattı Dengeleme Yöntemleri

Geleneksel montaj hattı dengeleme problemi, görevlerin sıralı bir şekilde farklı iş istasyonlarına atanarak ürünlerin oluşturulduğu üretim sürecini dikkate almaktadır [1].

Kalender, Yılmaz ve Türkbey'e göre [14] montaj hattı dengeleme problemindeki değişkenlik ve belirsizlik geleneksel olarak istatistiksel dağılımlar kullanılarak modellenir demiştir. Fakat bu durumun, geçmiş verilerin olmadığı hallerde uygun olmayabileceğini söylemiştir. Bu nedenle, önerdiği algoritma yeni bir montaj hattını dengelemek için bir uzman tarafından belirlenen bulanık operasyon sürelerini kullanmaktadır.

Görevlerin istasyonlar arasındaki dağılımı, görevler arasındaki mevcut öncelik kısıtlarının yanı sıra her bir görevi tamamlamak için gerekli zaman birimine de bağlıdır. Ürünün her bir istasyonda en fazla çevrim zamanı (C) denilen zaman kadar kalmasına izin verilmektedir. Geleneksel hat dengeleme probleminde modellenen üretim hattı "düz" olarak organize edilmiştir. Öncelik diyagramındaki ilk görev(ler)den başlamak ve diyagram boyunca görevleri istasyonlarda gruplamak suretiyle denge oluşturulmaktadır [14].

Montaj hattı dengeleme problemi son 50 yıldır araştırmalarda aktif bir alan olmuştur. İlk olarak Salvesan 1955 yılında probleme matematiksel bir formül sunmuş ve bazı nesnel fonksiyonların azaltma/maksimizasyon yoluyla istasyonlara görev atamadan oluşan bir çözüm önermiştir. O zamandan beri, çeşitli teknikler montaj hattı dengeleme sorunlarının çözümü için önerilmiştir [15].

Bu yöntemler iki grupta da incelenebilirler. Birinci grupta, problemin optimal çözümünü bulan yöntemler (analitik yöntemler); ikinci grup ise en iyiye yakın çözümler veren sezgisel yöntemlerden oluşur [16].

#### 3.2.1.1. Analitik Yöntemler

Analitik yöntemler, problemin teorik yapısını ele alıp, probleme yönelik geliştirilen analiz ölçeğini uygulamak için girişimde bulunmaktır [16].

Montaj hattı dengeleme problemi, analitik olarak ilk defa 1955 yılında tanımlanmış bir problemdir. Halen yapılan çalışmalardan, probleme olan ilginin yoğun biçimde devam ettiği görülmektedir [17].

Analitik yöntemler, "Optimizasyon Yöntemleri" veya "Matematiksel Programlama Yöntemleri" olarak da adlandırılırlar. "Doğrusal tamsayılı programlama yöntemi", E.H. Bowman

tarafından ilk geliştirilen analitik yöntem olup, daha sonra Talbot ve Patterson tarafından 0-1 tamsayılı programlama yöntemi geliştirilmiştir.

### 3.2.1.2. Sezgisel Yöntemler

Bu yöntemler, belirli bir yordamın (prosedürün) izlenmesi ve belirli varsayımların yapılması yoluyla, montaj hatlarının dengelenmesi konusunda yaklaşık çözüm vermektedir. Yöntemlerin çoğunda, çevrim süresi sabit kabul edilerek istasyon sayısı ve buna bağlı olarak dengeleme kaybı en küçüklenmeye çalışılır [1].

Sezgisel yöntemler, daha sorunların başındayken sorunları mantıksal ve titiz bir şekilde çözmek için çözüm yolları bulmada yardımcı olmaktadır. Sezgisel method, öğrenmek için araştırmak anlamına gelir ve bir problemin özünü araştırmaktır. Sezgisel yaklaşım, özellikle bir problemin çözümünü, kararlılığını ve kontrolünü açıklar [18].

Sezgisel yöntemde takip edilecek adımlar şunlardır:

- 1) İş tanımlanır.
- 2) Var olan iş parçalara ayrılır.
- 3) Parçaları öncelik ilişkilerine veya mantıksal ilişkilere göre listelenir.
- 4) Öncelik diyağramı çizilir.
- 5) Bölüncek olan işlerde en yüksek zaman düşünülür. Bu zaman çevrim süresi ile başlar.
- 6) Parçaların zamanları eklenir ve toplam zaman bulunur.
- 7) Toplam zaman çevrim süresine bölünür ve elde edilen sayı istasyon sayısıdır.
- 8) İstasyonlara ve ya grup elemanlarına görev atanır ve böylece her grup bir istasyon olarak kabul edilir [18].

Burada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta öncelik ilişkisi için atadığımız elemanların ihmal edilmemesidir. Toplam zamanının montaj grubu içerisindeki tüm elemanlar için ayrılan zamanı aşmamasıdır [18].

Örneğin Murthy'a göre en yüksek iş süresi 8 dakikadır. Bundan dolayı çevrim süresi 8 dakikadır. Fakat tablodaki en yüksek süreden daha uzun bir süreyi çevrim süresi olarak karar verebilirsiniz. Fakat çevrim süresi tabloda bulunan en yüksek süreden daha kısa bir süre olarak verilemez. Bundan dolayı iş 8 dakika alacağından, öge tamamlanmadan iş de tamamlanamaz.

İstasyon sayısı = toplam süre/çevrim süresi=  $38/8=4.75$ . Bu da bize yaklaşık olarak 5 istasyon olduğunu gösterir.

Bazı sezgisel yöntemler aşağıda sıralanmıştır:

- Konum ağırlıklı dengeleme tekniği (Helgeson-Birnie)
- Aşamalı sıralamayla çözüm (Jackson)
- Öncelik diyagramı ile çözüm (Hoffman)
- Aday matris ile çözüm (Salveson)
- COMSOAL tekniği (Arcus)
- İlişkili etkinlik yöntemi (Agrawal)
- İki aşamalı dengeleme tekniği (Moddie-Young)
- Kilbridge-Wester yöntemi
- Probabilistik hat dengeleme (Elsayed-Boucher)
- Raouf-Tsui-Elsayed yöntemi
- Gruplama yöntemi (Tonge)

Salveson tarafından 1955 yılında matematiksel olarak ifade edilmesine değin montaj hattı dengeleme problemi, deneme yanılma ile çözülmekteydi. İzleyen yıllarda problemin doğrusal programlama, tam sayı programlama vb. ile ifade edilmesi ile çalışmalar yoğunlaşmıştır. Fakat problemimin boyutu büyüdükçe, yada bir başka deyişle hat üzerindeki iş elemanı sayısı arttıkça, çözüm uzayı da büyüdüğünden matematiksel programlama ile optimum sonucu bulmak imkansız hale gelmiştir. Bu aşamada optimum yada optimuma yakın sonuç üreten sezgisel yöntemler geliştirilmiştir [19].

En çok bilinen yöntemlerden biri Baybars'ın geliştirmiş olduğu LBHA-1'dir (Line Balancing Heuristic Algorithm-type 1) LBHA-1 problemin boyutunu küçülterek ve mümkünse problemi daha küçük problemlere dönüştürerek, basit montaj hattı dengeleme problemlerini basitleştirerek çözer [baybars].

Bu tez kapsamında 940 model tekerlekli yükleyicinin montaj hattı dengelemesinde sezgisel-comsoal yöntemi kullanılacaktır.

### 3.2.2. Simülasyon Modelleri

Halaç [20] 'a göre işletme problemlerinin analizi için tanımlanan bir sistemin modeli bazen çok karmaşık olabileceği gibi kurulan modeli analitik ve numerik olarak çözmek de güç olabilir. Bu hallerde simülasyon önemli bir model kurma ve çözme tekniği olarak kullanılır. Simülasyonun en yaygın tanımı şu şekilde yapılabilir: Herhangi bir sistemin işleyişini anlamak veya bu sistemin işleyişi ile ilgili değişik stratejileri değerlendirmek için sistemin bilgisayar modelinin kurulması ve bu model ile deneyler yapılmasına "simülasyon tekniği" denir [3].

Hançerlioğulları [21]'a göre simülasyonun amacı, bir gerçek hayat sistemini girdi ve çıktılarıyla matematiksel olarak ifade etmek, gerçek sistemi kurulan model üzerinden tanıyıp araştırmak, değişik kararları ve seçenekleri gerçek sistemde hiçbir değişiklik yapmadan deneyebilmektir.

Simülasyon tekniğinin kullanılmasındaki en önemli sebepler şunlardır;

- Gerçek yaşamda, herhangi bir sistemi veya işlem dizisini gözleme ya olanaksız veya çok masraflı olabilmesi.
- Gözlemlenen sistem o kadar karmaşık olabilir ki, bu sistemi matematiksel denklemlerle tanımlama ve sistem işleyişi ile ilgili tahmine yardımcı analitik çözümleri elde etmenin olanaksız olabilmesi.
- İrdelenen sistemin matematiksel modeli kurulabilse bile, modele çözüm getirmede gereken analitik teknikler yetersiz kalabilmesi.
- Sistemi tanımlayan matematik modellerin doğrulanmasına yönelik deneylerin yapılması ya olanaksız olması ya da çok masraflı olabilmesi [3].

### **3.2.2.1. Simülasyon Modellerinin Avantajları**

Hançerlioğulları [21]'a göre simülasyonun avantajları aşağıda belirtilmiştir.

- Klasik çözüm yöntemlerinin kullanılmadığı büyük karmaşık problemlerin çözümünde etkili olması,
- Aşamalı olarak uygulayabilme imkanının olması,
- Esnek bir çözüm yöntemi olması,
- Diğer modellere göre anlaşılması daha kolay olması
- Sonuçları ancak aylar, yıllar sonra alınabilecek durumların simülasyon ile çok kısa sürede analiz edilebilmesi,
- Kullanıcı, simülasyonu istenen zamanda durdurup yeniden başlatabilme imkanına sahip olduğundan, deney koşullar üzerinde tam bir kontrole sahip olması,
- Bir başka yöntemde incelenmesi olanaksız olan koşulların ve kısıtların simülasyon ile rahatça modellenebilmesi,
- Modellenen sistemi değiştirmeden yeni fikir ve politikaların model üzerinde rahatça uygulanmasına olanak vermesidir.

### **3.2.2.2. Simülasyon Modellerinin Dezavantajları**

Hançerlioğulları [21]'a göre simülasyonun dezavantajları aşağıda belirtilmiştir.

- İyi bir simülasyon modelini geliştirmenin vakit alıcı ve pahalı olması,

- Optimum çözüm üretme garantisi olmaması,
- Her simülasyon modelinin kendine özgü olması,
- Uygulamasındaki kolaylıklar dolayısıyla analitik çözümlerin göz ardı edilmesine neden olabilmesi,
- Modellemede ve bulguların analizinde yapılacak hatalar, yanlış sonuçlara yol açabilmesidir.

### 3.2.2.3. Simülasyon Yazılımında Aranılan Özellikler

Bir Simülasyon yazılımından istenilen özellikler 5 grupta toplanabilir.

Genel Özellikler:

- 1) Esnek olmalı: Gerçek hayatta karşılaşılabilecek farklı sistemleri modelleme esnekliği olmalı.
- 2) Model gelişimi kolay olmalı: Birçok proje için zaman limiti olmasından dolayı bu özellik önemlidir.
- 3) Hızlı çalışmalı: Benzetim modeli mikro bilgisayarlarda çalıştırıldığında bu özellik önemlidir.
- 4) İzin verilen model kapasitesi: Mikro bilgisayarlar kullanıldığında önem kazanmaktadır. Bazı paketler için maksimum model kapasitesi 100 KB'dan küçüktür.
- 5) Farklı ortamlarda kullanılabilmesi: Mikro bilgisayarlarda geliştirilen bir modelin iş istasyonlarında çalıştırılabilmesidir [1].

Bu tez kapsamında 940 model tekerlekli yükleyicinin montaj hattının oluşturulmasında flexible line balancing yazılımı ile simülasyon tekniği kullanılacaktır.

### 3.3 Flexible Line Balancing Yazılımı

Simülasyon modelinin oluşturulması, istasyonlara ayrılması ve çalıştırılması için simülasyon modeli olarak Flexible Line Balancing programı kullanılmıştır. Flexible line balancing istasyonlara iş elemanları atamak için COMSOAL (Bir Montaj Hattı için Sıralama Operasyonları Bilgisayar Yöntemi) yöntemini kullanır. Bu sezgisel yöntemde; en iyi çözüm bulunana kadar yüzlerce veya binlerce hesaplamalar hızlı bir şekilde hesaplanır. Birkaç saniye içinde karmaşık bir iş istasyonunu sanal olarak çözebilmektedir.

Flexible line balancing'e ait bazı özellikler aşağıda sıralanabilir;

- Her zaman en iyi ( en verimli işgücü) çözüm bulunur.
- Ana verilir programa girilir, öncelik diagramı otomatik olarak çizilir.

- Program problemi çözdüğü zaman, diâgram üzerindeki düğmeler istasyon istasyon öncelik sıralarına göre istasyonlara ayrılarak otomatik olarak boyanır.
- Program çözümü tamamladığında, grafiksel sunum her iş istasyonuna atanan elemanları ve her istasyonda karşılaştırılan çevrim sürelerinin toplam standart sürelerini verir.
- Sonuçlar hemen düzeltilebilir. Program tarafından oluşturulan grafikte bir mouse tıklaması ile istasyondan istasyona öğeler taşınabilir.
- Programda yapılan her değişiklikte verimliliği yeniden hesaplar.
- Flexible line balancing her bir kısıtlamayı işler. Çalışma elemanları öncekik ya da sonrakiyle bağımlı ya da bağımsız olabilir.
- Microsoft excel gibi standart tablolarla veri alınabilir.



## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1 Montaj Hattı Dengelemede Kullanılan Kavramlar

Montaj hattı dengelemede kullanılan önemli kavramlar aşağıda verilmiştir.

**Öncelik İlişkileri:** Montaj işleminin yapılabilmesi için bazı iş öğelerinin bazı iş öğelerinden önce ve sıraya uyarak yapılması gerekmektedir. Buna öncelik ilişkileri denilmektedir. Söz konusu iş öğelerinin istasyonlara atanmaları, bu öncelik ilişkileri gözetilerek yapılmalıdır aksi takdirde montaj işlemi eksik veya yanlış sırada işlerin yapılması nedeniyle gerçekleşemez [8].

**İş Öğesi:** Üretim süreci içinde, toplam iş içeriğinin, mantıksal olarak bölünmüş her bir parçasına iş öğesi denilmektedir. Bir diğer görüşe göre; toplam işin kaç aşamada tamamlanacağını ve bunların hangi aşamalarla olacağını belirleyen, işi yeterli ve anlamlı en azlara bölme sonucu ortaya çıkan birimler ve yapılacak işlemlerdir [22].

**İş İstasyonu:** Montaj hattında çalışan operatörlerin iş yaptıkları alanlara iş istasyonu denilmektedir. Bir montaj hattı için; en küçük istasyon sayısının bir olduğu ve istasyon sayısı dengeleme çalışması sırasında saptanan en büyük istasyon sayısını aşmamak gerektiği kısıtları vardır [23].

**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 istenilir [17].

**Konum Kısıdı:** İşlemcinin hattaki konumu ile montajı yapılan nesnenin konumu arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir. İşlemcinin montajı yapılacak ürünün etrafında hareket rahatlığı olmalıdır. Bu mesafe diğer donanımları ve işlemcileri kısıtlamayacak şekilde montaj hattı dengelemenin amaçları doğrultusunda ayarlanmalıdır.

**Aynı İstasyona Atanması İstenen İş Öğeleri:** Aynı özelliklere sahip işlerin, aynı veya birbirlerini izleyen istasyonlara atanması gereklidir. Örneğin, özel aygıt kullanımını gerektiren iki iş öğesinin aynı işçi tarafından yapılması, ikinci bir aygıt gereksinimini ortadan kaldıracığı için, istenilen bir durumdur. Bunun gibi durumlara aynı istasyona atanması istenen iş öğeleri denmektedir [1].

**Çevrim Süresi:** Ürünün montajı sırasındaki en uzun işlem süreli olan istasyonun işlem süresi veya bir istasyonda kalabileceği en uzun süre çevrim süresidir. Çevrim süresi, montaj hattı ile ilgili hesaplamalarda kullanılan en önemli kavramdır. Ürün montaj sırasında her istasyonda en fazla çevrim süresi kadar zaman geçirebilir. Bir ürünün oluşumu için bu kadar sürenin geçmesi gerekmektedir. Bu süre temel alınarak üretim hızı hesaplanabilir [1].

$$C=T/N \quad (4.1.)$$

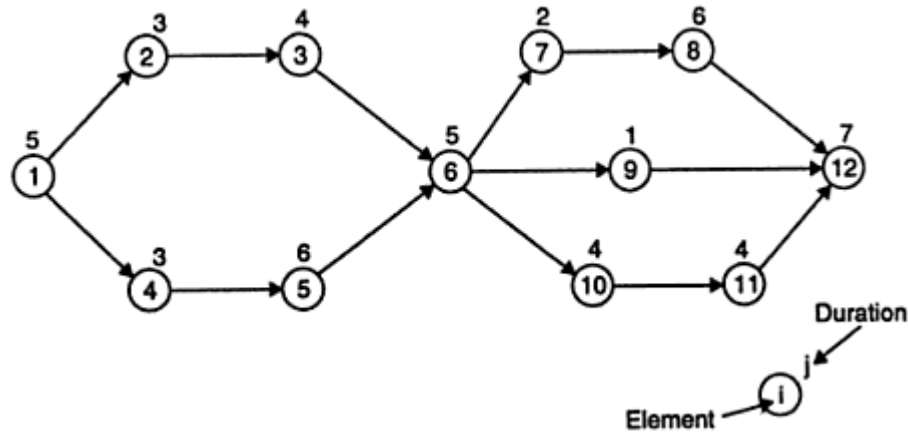
$$N= T/C \quad (4.2)$$

Montaj hattındaki işlemleri istasyonlara atadığımız da gerekli iş istasyonu sayısı N, 4.2 eşitliğiyle hesaplanmaktadır.

Toplam İş Süresi: Üretilen ürünün montajı sırasında geçen toplam süresidir, her istasyonun standart sürelerinin toplanması ile de bulunabilir.

İş İstasyonu Süresi: Bir iş istasyonunda yer alan iş adımlarının hepsinin yapılması için geçen sürenin toplamıdır. İstasyonda bulunan en uzun işlem süresi olan adımdan küçük ve hattın çevrim süresinden büyük olamaz [1].

Öncelik Diyagramı: Montajın teknik özelliklerinden dolayı, bazı iş öğelerinin zorunlu olarak birbirini izlemesi gerekir. Bu özelliklerin tümü, öncelik ilişkileri adı altında toplanmaktadır [1]. Bu ilişkilerde yapılacak olan toplam iş parçalarına bölünür. İş parçaları öncelik diyagramı olarak da adlandırılan sistemle oluşturulmaktadır. Aşağıda gösterilen (Şekil 4.1) öncelik diyagramı 12 bölümden oluşmaktadır [16].



Şekil 4.1. Öncelik Diyagramı [16]

## 4.2 Makinanın Özellikleri

Kurulumu yapılacak olan makine; 4 tekerlekli , 13940 kg çalışma ağırlığına sahip, 330 belden kırma merkezli , 173 HP motor gücüne sahip, 200 arka dingil salınlımlı, elektronik vitesli powershift, 2,5 m3 kepçe kapasiteli ve 2600 mm kepçe genişliğine sahip, tam yükseklikte 6400 kg kaldırma ağırlığına sahip bir iş makinasıdır. Tekerlekli yükleyici genel hatlarıyla motor, aktarma organları, şasi, lastik tekerler, kumanda kabini, kepçe, bom (kepçe taşıma ve ulaşım kolu), hidrolik kollar (silindirler) ve mekanik kollardan oluşmaktadır.



### 4.3. Çalışmanın Adımları

- ✓ Problem belirlenmesi; İncelenecek olan problemin belirlendiği süreçtir. Problemden kullanılacak veriler ve parametreler toplanır.
- ✓ İş gücü ataması; Montaj hattı dengelemenin incelendiği süreçtir. Literatürde bulunan problem yaklaşımları incelenir.
- ✓ Problemin tanımlanması; çözülecek olan problemin tanımlandığı, problem ile ilgili karar değişkenlerinin ve kısıtların belirlendiği süreçtir.
- ✓ Yöntemin belirlenmesi; problem çözümünde kullanılacak olan yöntemin belirlendiği süreçtir.
- ✓ Kullanılacak yazılıma karar verilmesi; Problem çözümünde hangi simülasyon programının kullanılacağı belirlendiği süreçtir.
- ✓ Modelin çözümü; Kullanılan simülasyon programıyla hazırlanan modelin çözümünün gerçekleştirildiği süreçtir.
- ✓ Sonuçların analiz edilmesi; problemin çözümünde elde edilen sonuçların değerlendirildiği ve gelecek çalışmalar için önerilerin verildiği adımdır.

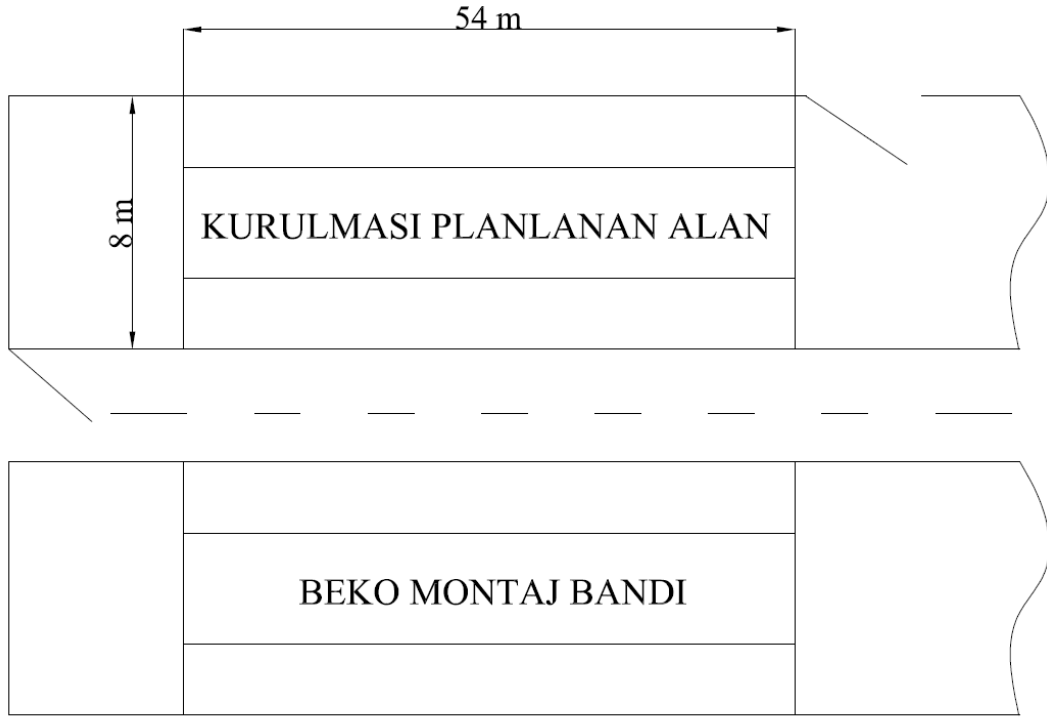
#### 4.3.1. Montaj Hattı Kurulumuna Hazırlık

##### 4.3.1.1. Problemin Tespit Edilmesi ve Tanımlanması

Yerinde yapılan montajlarda yüksek hazırlık maliyetleri nedeniyle, tek tip model uzun periyotlarda üretilmektedir. Montaj hattını besleyen ve hat boyunca yer alan işlemlerde ise modeli oluşturan alt montajlar işlemleri gerçekleştirmekte ve montaj üretim programı montaj istasyonlarındaki faaliyetleri etkilemektedir. Öncelikle uygulamanın yapılacağı Çukurova Makine İmalat ve Tic. A.Ş de montaj istasyonunun kurulabilmesi için ; Çukurova Makina Teknik müdürü, Üretim müdürü ve Methot mühendisleri ile birlikte montajı oluşturacak olan parçaların kurulacak olan istasyona ulaştırılma kolaylığı ve yer faktörleri gibi etkeleride göz önüne alarak gerekli araştırmalar yapılmıştır. İstasyonun kurulabileceği en uygun yer olarak ; 940 model tekerlekli yükleyici makinasının şu an yerinde montajının yapıldığı alana kurulmasının uygun olduğuna karar verilmiştir.

İstasyonların kurulması açısından; alanın eni, boyu, malzeme standlarının kurulması, malzemelerin yerleştirilmesinde alan sıkıntısının olmaması, büyük parçaların taşınması amacıyla kurulacak olan taşıma vinçlerinin kullanıma uygunluğu ve rayların kurulumu açısından,, aynı zamanda da dışarıdan temin edilen ve fabrikanın üretim bölümünde imal edilen parçaların istasyonlara iletilmesi açısından kurulacak olan alanın kullanımında bir

sakınca görülmemiştir. Kurulacak olan alanın boyu 54 m, eni ise 8 m, toplamda 432 m<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür. Alanın konumu ve şematik gösterimi şekil 4.3’de gösterilmiştir.



**Şekil 4.3.** Kurulum alanı şematik gösterimi

Method mühendisleri ve arge çalışanlarının yardımıyla şirketin kullandığı IFS ürün takip programından iş gruplarının listesi elde edilmiştir.

IFS proje odaklı faaliyetlerinde maliyet, zaman, kaynak ve likidite ve risk gibi zorlukları daha iyi yönetmek için geliştirilmiş yazılım bileşenlerini hızlı bir şekilde sunmaktadır. Bu alanın optimizasyonu ise daha iyi kontrol ve verimliliğin artmasında rol oynamaktadır. Firma bu yazılım programıyla şirketteki; finans, muhasebe, insan kaynakları, kalite yönetimi, üretim planlama, satış ve servis yönetimi, bakım ve mühendislik, araştırma geliştirme bölümü için proje yönetimi , parçaların revizyonları ve ürün ağaçları gibi hizmetlerin hepsini karşılamaktadır.

IFS yazılımından istasyonun kurulması planlanan makinaya ait montaj için gerekli tüm ürün ağaçları konfigürasyon yapısından tedarik edilmiştir. Ürün ağaçlarının bulunduğu liste Tablo 4.1 'da gösterildiği gibidir.

**Tablo 4.1.** IFS ürün ağacı listesi

1	BOOM ANA GRUP
2	ŞASE ANA GRUP
3	KABIN ANA GRUP
4	KAPORTA GRUBU
5	SERVİS KAPAKLARI GRUBU
6	HAVA FİLTRESİ BAĞLANTILARI
7	MOTOR VE MOTOR BAĞLANTI GRUBU
8	RADYATÖR BAĞLANTILARI
9	YAKIT DEPOSU GRUBU
10	TEKER GRUBU
11	SİNYAL GRUBU
12	PANJUR GRUBU
13	KAPORTA ALT KAPAMA GRUBU
14	ARKA ŞASE GRUBU
15	SİNYAL MUHAFAZA GRUBU
16	EGZOST VE BAĞLANTILARI
17	TOZLUK VE BAĞLANTILARI GRUBU
18	ARKA ŞASE YAN KAPAMA
19	ÇAMURLUK GRUBU
20	KEPÇE GRUBU
21	HİDROLİK GRUBU
22	ELEKTRİK GRUBU

#### 4.3.1.2. İş Öğelerinin Sürelerinin Tespit Edilmesi

Fabrikada yapılan araştırmalar, elde edilen kaynaklar ve planlamalar sonucunda, IFS ürün takip programından sağladığımız iş öğeleri montajda yapılışına göre takip edilmiştir. Toplam iş içeriği, mantıksal olarak ve ustaların deneyimlerinden faydalanarak iş öğelerinin kaç aşamada olması gerektiği hesap edilmiştir.

İşlerin öğelere ayrılmasından sonra her bir işin aldığı zaman ve gerekli olan işçi sayısının tespit edilmesi gerekmektedir. Bu da her iş öğesinin montajı için geçen sürelerin takibiyle tespit edilmiştir.

İşlerin basamak basamak sürelerinin çıkarılmasıyla toplam iş süresi 73 saat, 4380 dk olarak bulunmuştur. İşlerin hangi aşamalara ayrıldığı, başlamasından bitimine kadar geçen süre ve gerekli işçi sayısı Tablo 4.2 'de gösterilmiştir.



**Tablo 4.2** İş ögesi süresi

	<b>İŞ ÖGESİ ADI</b>	<b>SÜRE (DAKİKA)</b>	<b>İŞÇİ SAYISI</b>
1	Hidrolik Silindirler Tali Montajı	200	1
2	Ön ve Arka Şasenin Birleştirilmesi	180	2
3	Ön Dingil Montajı	180	3
4	Arka Dingil Montajı	120	1
5	Motor Tali Montajı	150	1
6	Yakıt Deposu Montajı	150	1
7	Hidrolik Depo Montajı	180	1
8	Motor ve Şanzımanın Şaseye Montajı	60	1
9	Motor Şanzıman Soğutucu Montajı	50	1
10	Boom ve Manivela Montajı	120	1
11	Radyatör ve yağ soğutucu montajı	120	1
12	Hidrolik Silindirlerin Makinaya Montajı	180	1
13	Hidrolik devrelerin montajı	200	1
14	Fren Devreleri Montajı	50	1
15	Ara Yatak Montajı	120	1
16	Keçenin Makinaya Montajı	180	1
17	Arka Ağırlık Montajı	60	1
18	Motor Kaputu Tali Montajı	200	1
19	Motor Kaputunun Şaseye Montajı	90	1
20	Ön Çamurluk Montajı	60	1
21	Kabin Tali Montajı	120	1
22	Kabinin Şaseye Montajı	60	1
23	Tekerleklerin Makinaya Montajı	200	2
24	Yağ ve Yakıt İkmali	90	1
25	İlk Çalıştırma	100	1
26	Koruma Sacı Montajı	40	1
27	Akü Sandığı Montajı	60	1
28	Takım Sandığı Montajı	20	1
29	Şaft Montajı	120	1
30	Çamurlukların Montajı	180	1
31	Merdiven Montajı	40	1
32	Etiket ve İşaretler	100	1
33	Son Kontrol ve Tamamlama	200	1
34	Kabin İçi Elektrik Tesisatı Montajı ve Çalıştırılması	200	1
35	Şase Üzeri Bom Tesisatı Montajı	90	1
36	Şapka ve Lamba Bağlantılarının Montajı	80	1
37	Akü bağlantıları montajı	30	1
	<b>TOPLAM</b>	<b>4380</b>	

#### 4.4. Öncelik Sıraları ve Gruplamaların Belirlenmesi

Makinanın montajı ve demonatjı düşünöldüğünde takılacak olan parçaların birbirlerini engellememesi, montaj kolaylığı ve zamanın en verimli şekilde kullanması açısından öncelik sıralarının belirlenmesi gerekmektedir. Buna göre hangi işin ya da işlerin diğlerinden önce yapılacağı ve de aynı istasyonda olması gerektiği Tablo 4.3' de gösterilmiştir. Aynı istasyonda olması istenilen her iş bir harf olarak gruplandırılmıştır. Örneğin; 1 numaralı hidrolik silindirin tali montajı ve 12 numaralı hidrolik silindirin makinaya montajının aynı istasyonda olması istenildiğinden ikisini grup koduna da G harfi verilmiştir. Böylelikle 1 ve 12 numaralı işlerin aynı istasyonda yapılması sağlanmıştır. Öncelik sırası ise hangi işin daha önce yapılması gerekiyorsa Prec sütununa numarası yazılır. Örneğin; Elem task sütununda 8 numara olarak adlandırılan işin 1 numaralı işten önce yapılması isteniliyorsa, 1 numaralı işin olduğı satırda Prec sütununa 8 yazılması yeterli olacaktır. Prec sütununa birden fazla öncelik belirtilebilmektedir.

**Tablo 4.3** Öncelik Sıralaması ve Gruplamalar

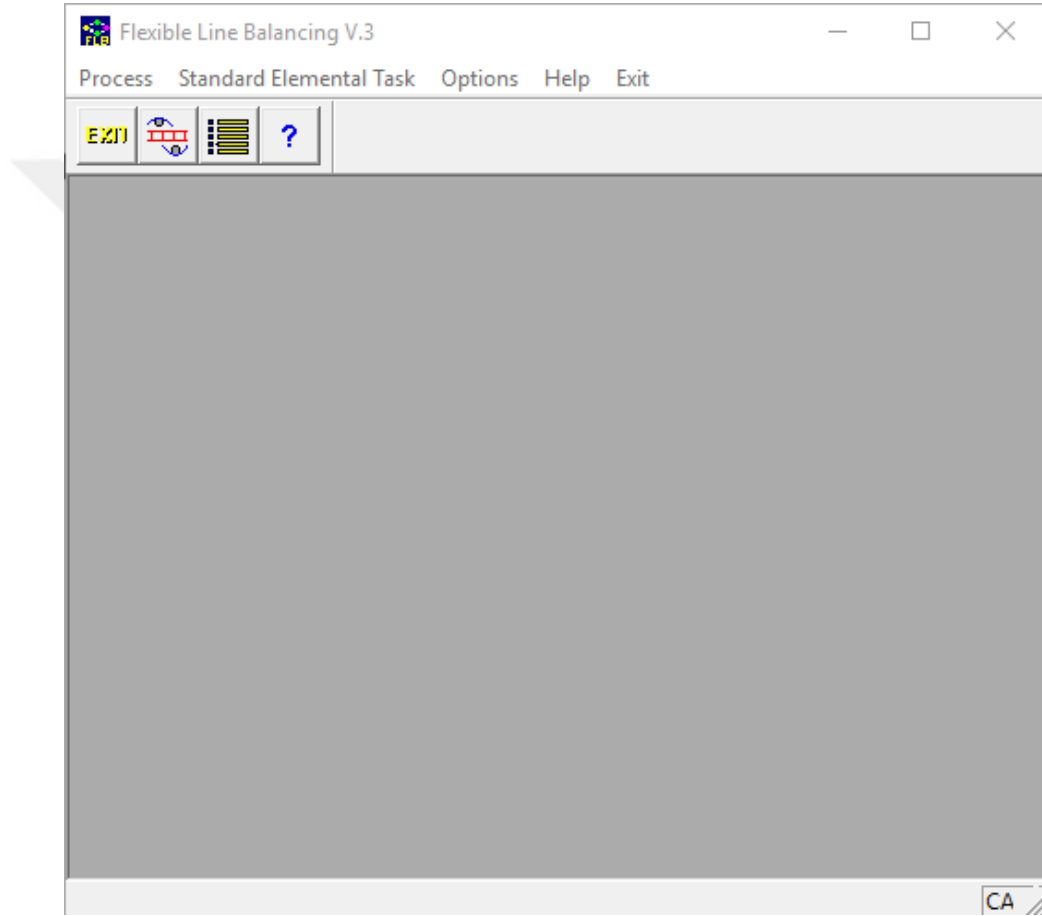
İŞ ÖĞESİ ADI	ELEM TASK	ÖNCELİK SIRASI	GRUP
Hidrolik Silindirler Tali Montajı	1	8	G
Ön ve Arka Şasenin Birleştirilmesi	2		A
Ön Dingil Montajı	3	2	A
Arka Dingil Montajı	4	3	A
Motor Tali Montajı	5	4	D
Yakıt Deposu Montajı	6	8	
Hidrolik Depo Montajı	7	8	
Motor ve Şanzımanın Şaseye Montajı	8	5	D
Motor Şanzıman Soğutucu Montajı	9	8	
Boom ve Manivela Montajı	10	8	
Radyatör ve yağ soğutucu montajı	11	8,9	
Hidrolik Silindirlerin Makinaya Montajı	12	1,8	G
Hidrolik devrelerin montajı	13	7,8,12	E
Fren Devreleri Montajı	14	8	E
Ara Yatak Montajı	15	8	F
Kepçenin Makinaya Montajı	16	8,10	
Arka Ağırlık Montajı	17	8	
Motor Kaputu Tali Montajı	18	8	B
Motor Kaputunun Şaseye Montajı	19	8,11,18	B
Ön Çamurluk Montajı	20	8	
Kabin Tali Montajı	21	8	C
Kabinin Şaseye Montajı	22	8,13,14,34,35	C
Tekerleklerin Makinaya Montajı	23	8	
Yağ ve Yakıt İkmali	24	6,7,8	
İlk Çalıştırma	25	8,33	
Koruma Sacı Montajı	26	8	
Akü Sandığı Montajı	27	8,17	
Takım Sandığı Montajı	28	8	
Şaft Montajı	29	8,15	F
Çamurlukların Montajı	30	8	
Merdiven Montajı	31	8,30	
Etiket ve İşaretler	32	8,16,19,20,23,24,26,28,29,31,36,37	
Son Kontrol ve Tamamlama	33	8,32	
Kabin İçi Elektrik Tesisatı Montajı ve Çalıştırılması	34	8,21	
Şase Üzeri Bom Tesisatı Montajı	35	8,1	
Şapka ve Lamba Bağlantılarının Montajı	36	8,22	
Akü bağlantıları montajı	37	8,27	

## 4.5. Flexible Line Balancing Çözümü

### 4.5.1. Flexible Line Balancing Çözümünde İzlenecek Adımlar

İş öğelerinin sürelerinin tespitinden sonra; flexible line balancing programında çözümleme yapılır.

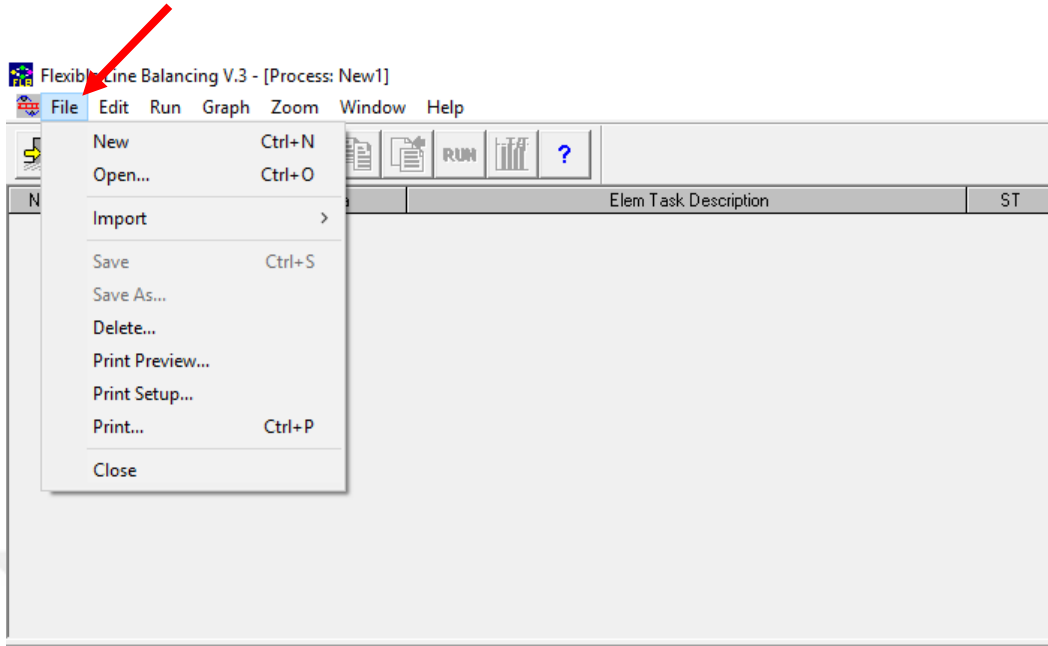
#### 4.5.1.1 Açılış



**Şekil 4.4** Flexible Line Balancing Açılış

Bilgisayara yüklenmiş olan Flexible Line Balancing yazılımı çalışmak için seçildiğinde karşımıza çıkan ilk ara yüz yukarıdaki Şekil 4.4 olacaktır. Programda bulunan sekmelerden 'Process' seçilir.

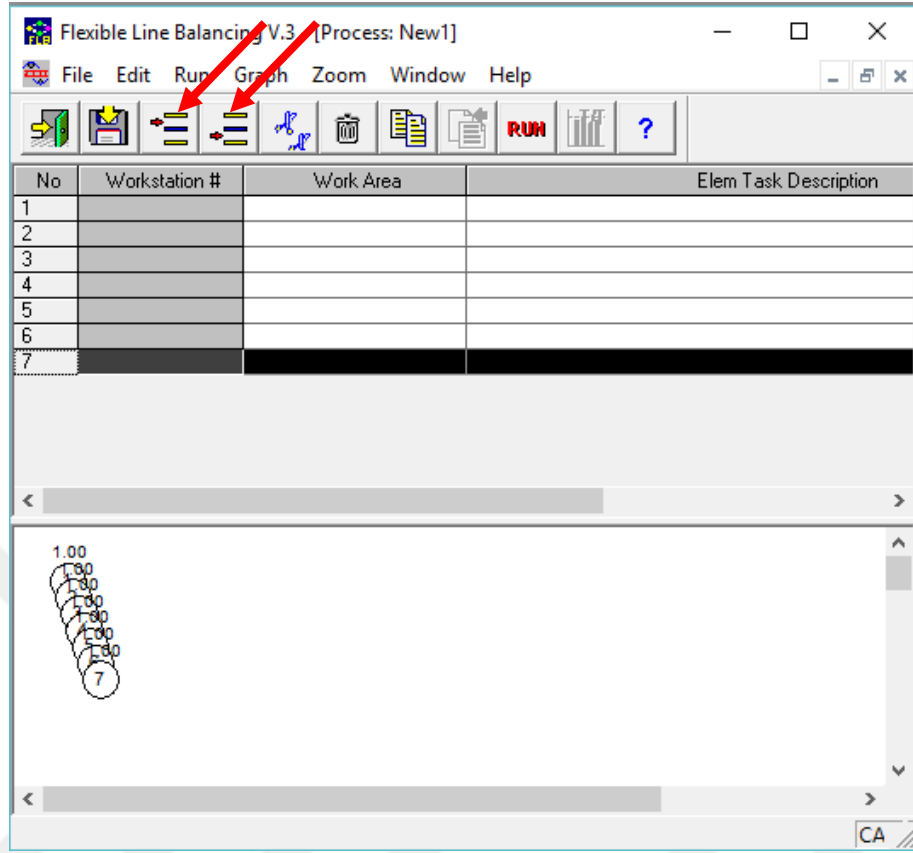
#### 4.5.1.2 Process



**Şekil 4.5.** Flexible Line Balancing Process

Process seçildikten sonra Şekil 4.5'de gösterilen ekran karşımıza çıkacaktır. Buradan 'FILE' sekmesi seçilerek yeni çalışma sayfası açılacaktır. Daha önce çalışmış olduğumuz dosyada çalışacak isek 'Open' sekmesine tıklamamız yeterli olacaktır.

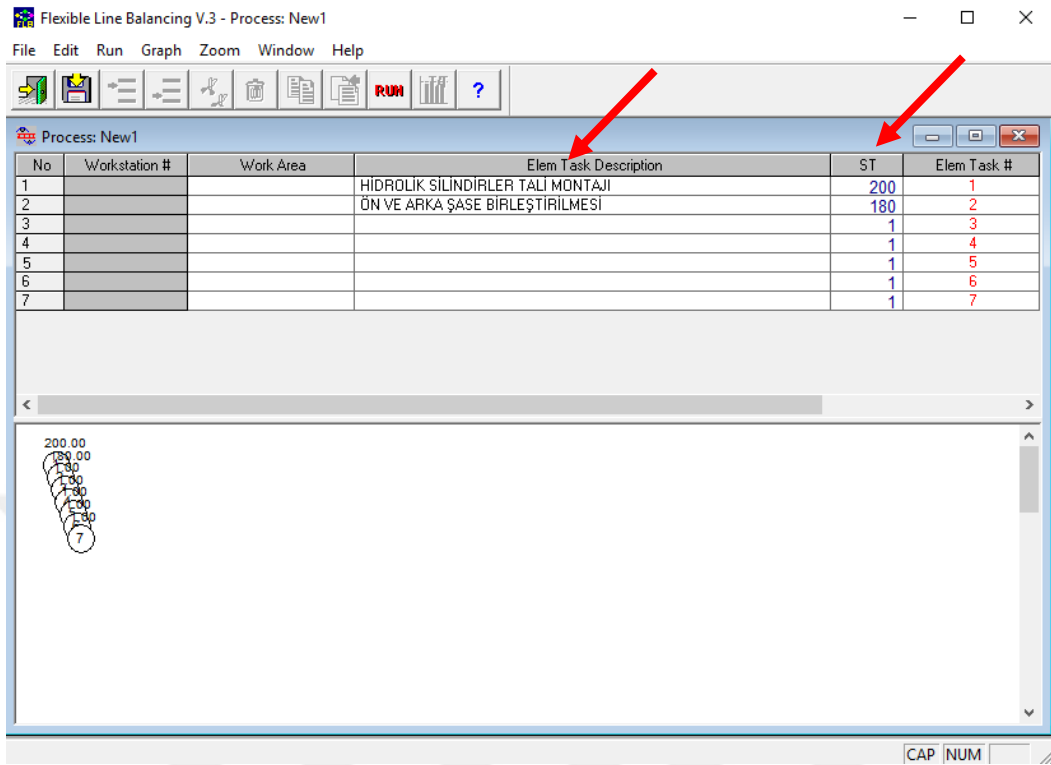
#### 4.5.1.3 Çalışma Sayfası



Şekil 4.6. Flexible Line Balancing Append Task

Çalışma sayfası açıldıktan sonra karşımıza çıkan ekranda ok ile gösterilen sekmelere tıklanarak sütunun altına yada üstüne gelecek şekilde iş ögesi sayısı kadar sütun açılmaktadır. Açılan her sütun için ikiye bölünmüş olan sayfanın alt kısmında iş akış diagramı oluşmaktadır (Şekil 4.6).

#### 4.5.1.4 İş Tanımı Ve Süreleri



The screenshot shows the 'Flexible Line Balancing V.3 - Process: New1' window. The main area contains a table with the following data:

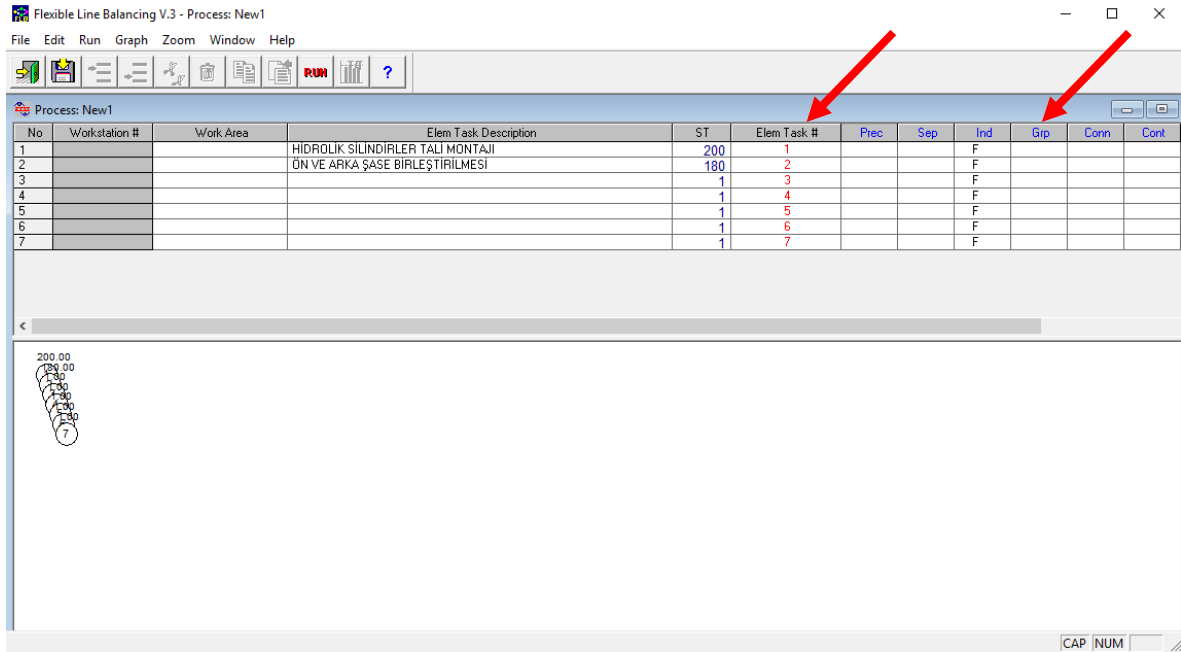
No	Workstation #	Work Area	Elem Task Description	ST	Elem Task #
1			HİDROLİK SİLİNDİRLER TALİ MONTAJI	200	1
2			ÖN VE ARKA ŞASE BİRLEŞTİRİLMESİ	180	2
3				1	3
4				1	4
5				1	5
6				1	6
7				1	7

Below the table, there is a small diagram showing a vertical stack of tasks with durations: 200.00, 180.00, 130.00, 130.00, 130.00, 130.00, 130.00, and 7. The 'CAP NUM' field is visible at the bottom right.

Şekil 4.7. Flexible Line Balancing Elem Task Description, ST

Yeterli sütun açıldıktan sonra her sütuna bir adet proses adımı yazılacak şekilde teker teker bütün sütunlar doldurulur. Her bir prosesin bulunduğu sütundaki tanımlanmış olan 'ST' hücresine proses süresi yazılmalıdır (Şekil 4.7).

#### 4.5.1.5 Öncelik İlişkileri, Gruplamalar, Ve Bağlantılar



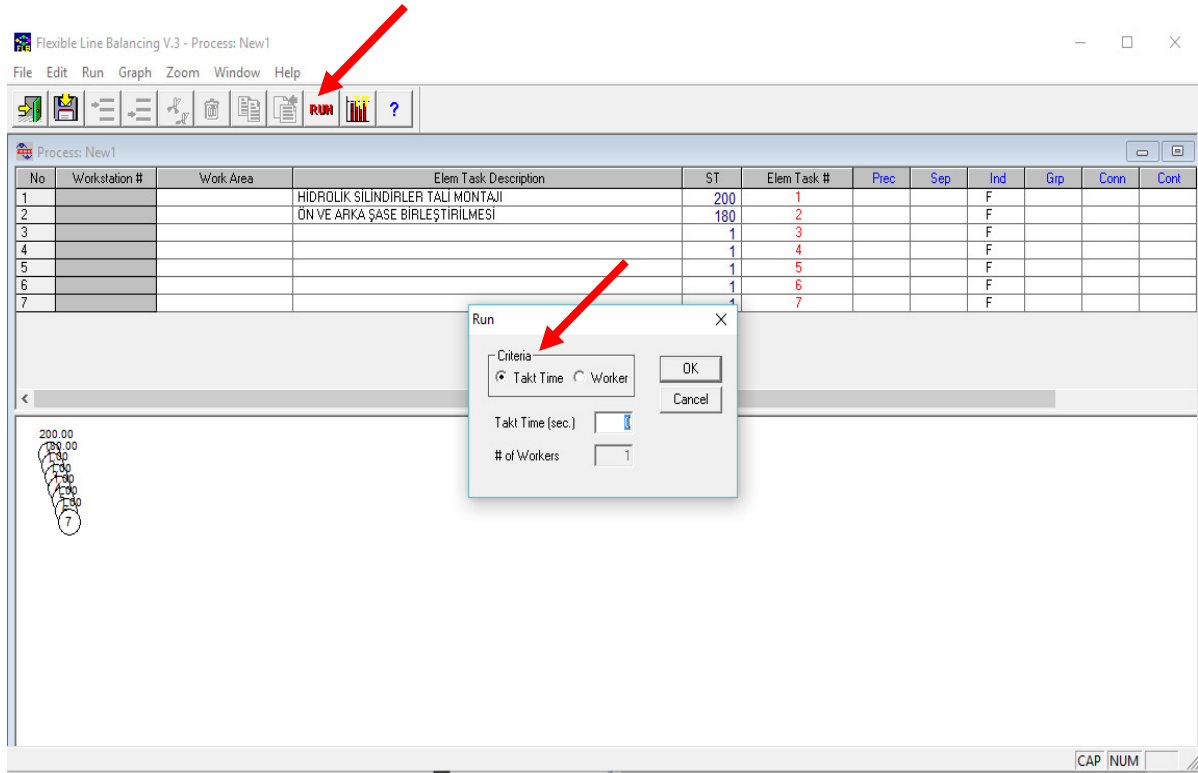
No	Workstation #	Work Area	Elem Task Description	ST	Elem Task #	Prec	Sep	Ind	Grp	Conn	Cont
1			HİDROLİK SILİNDİRLER TALİ MONTAJI	200	1			F			
2			ÖN VE ARKA ŞAŞE BİRLEŞTİRİLMESİ	180	2			F			
3				1	3			F			
4				1	4			F			
5				1	5			F			
6				1	6			F			
7				1	7			F			

**Şekil 4.8.** Flexible Line Balancing Elem Task # and Grp

Programa proses ve proses girişi yapılmıştır ve bu prosesler arasında herhangi bir öncelik ilişkisi varsa 'Elem Task#' kısmına proses numarası yazılır. İş öğelerinin yazılıma giriş sıralarına göre yazılım otomatik olarak elem task sütununda iş öğelerine numara verir. Prec sütununa öncelik ilişkisi olan iş öğelerine göre ilgili öğenin numarası verilir. Örneğin; elem task sütununda yazan 10 nolu iş öğesinin, 5 nolu iş öğesinden sonra olması gerekiyorsa 11 nolu işin yazıldığı satırda prec kutucuğuna 5 yazılır. 11 nolu işin 5 nolu işten sonra yapılması sağlanmış olur.

Birlikte yapılması istenen işler var ise bunlar da 'Grp' kısmında aynı alfabetik harf ile gruplandırılmalıdır (Şekil 4.8).

#### 4.5.1.6 Programın Çalıştırılması

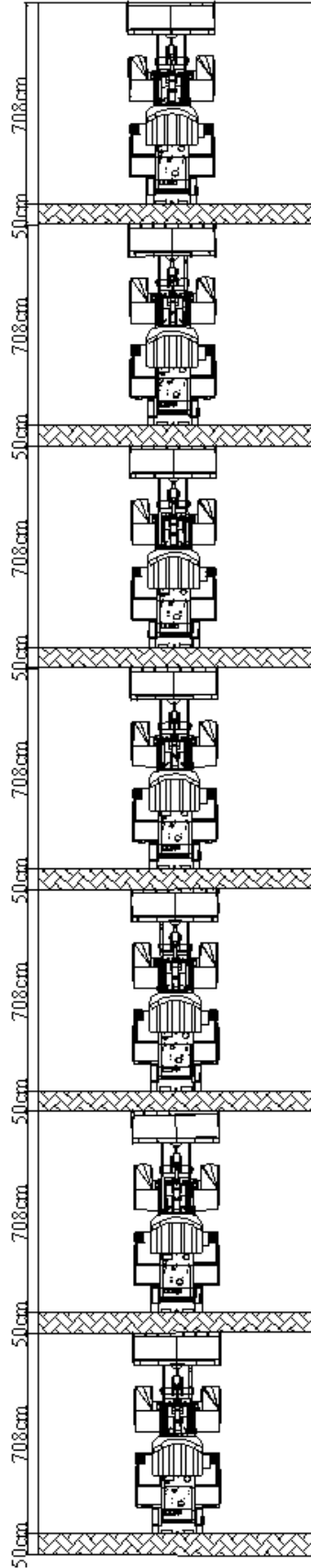


Şekil 4.9. Flexible Line Balancing Run

İş öğelerinin her satıra ayrı ayrı girilmesi ve öncelik sıralarının belirtilmesi işlemlerinden sonra Şekil 4.9'da gösterildiği gibi run butonuna basılır. Run butonuna basıldıktan sonra çıkan kutucukta istenilen istasyon sayısı ya da her bir istasyonda olması istenen sürenin ne olacağı istenir. Worker istasyon sayısını, takt time ise dakika cinsinden bir montaj istasyonu için belirlenen maksimum montaj süresidir.

#### 4.6 İstasyon Sayısı ve İş Akışı Kombinasyonları

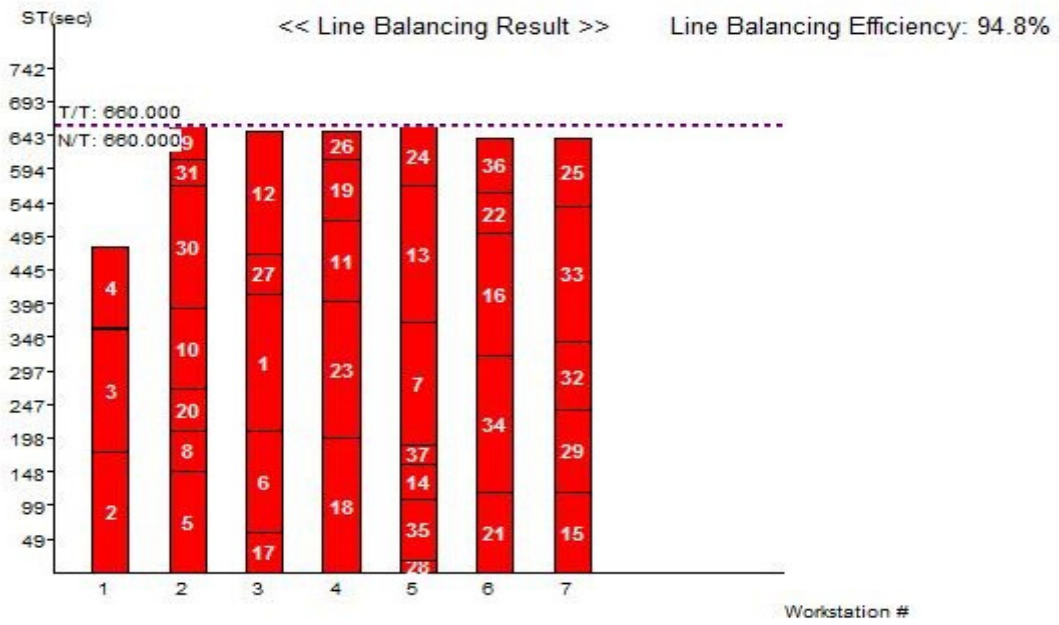
Hattın kurulması planlanan alanın boyu ile makinanın boy uzunluğu, makinanın konum kısıdı ve istasyonlar arası olması gereken boşluklar hesaba katıldığında alana en fazla 7 istasyonun sığabileceği kararlaştırılmıştır. Montaj yapılırken çalışma rahatlığı açısından istasyonlar arası boşluğun 50 cm olmasına karar verilmiştir. Montaj hattı kurulumunda makinaların alacağı konumun gösterimi Şekil 4.10'da gösterilmiştir. 7 istasyona karar verilmesi ile beraber makinanın montajı için gerekli olan toplam süre 4380 dk olduğundan toplam süre 7 istasyona bölüldüğünde her istasyona 625.7 dk düşmektedir. Bu çalışmada montaj süreleri eşit olan 7 istasyonlu montaj hattı tasarlanmıştır. Bu sebepten dolayı bir hattan diğer hatta geçişte arada geçecek olan süreler, çıkabilecek aksilikler ve ön hazırlıklar düşünüldüğünde takt time denemelerinin 660'den 800'e kadar yapılmasına karar verilmiştir. 7 istasyondan başka istasyon seçeneğimizin bulunmamasından dolayı da sadece worker 7 denemesi yapılmıştır.



Şekil 4.10. Makinanın İstasyonlarda Yerleşimi

Farklı takt time süreleri ve worker sayısı girilerek kombinasyonlar elde edilmiştir. Aynı takt time değerleri ve aynı worker değeri birçok kez girilerek her RUN edildiğinde farklı sonuçlar elde edilmiştir. Bu şekilde program bir çok kez çalıştırılmıştır. Amacımız en yüksek verimlilikteki üretim kapasitesine sahip hattı kurmak olduğu için aynı takt time ve workerların arasından yüksek verimli kombinasyonlar seçilmiştir. Aşağıda kombinasyon sonuçları mevcuttur.

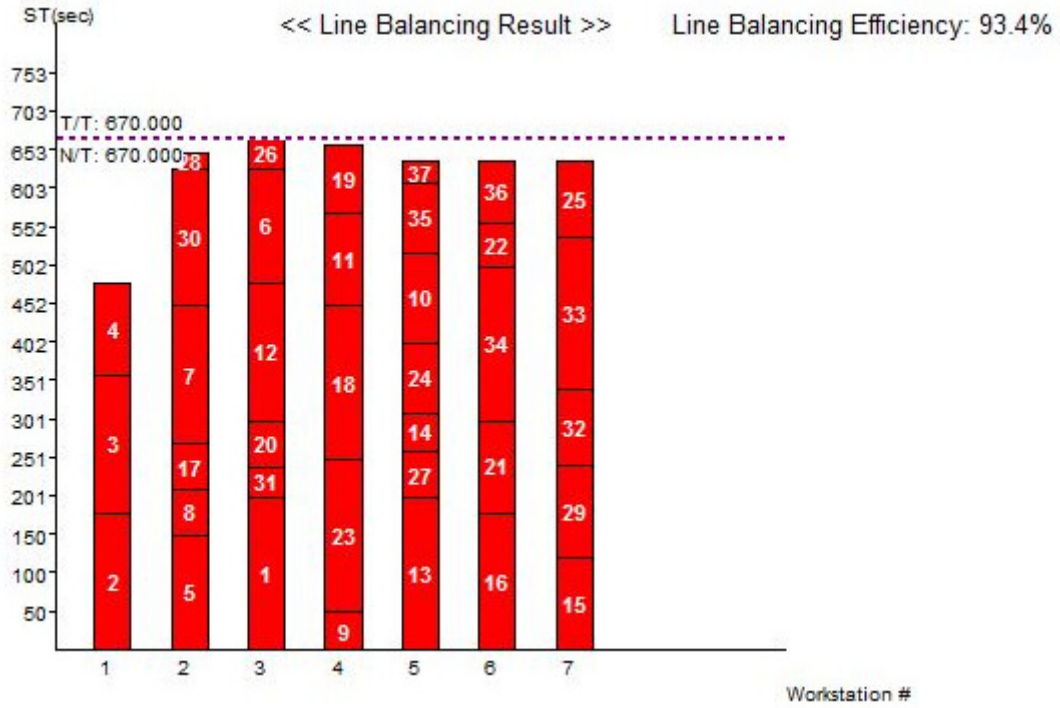
#### 4.6.1. Takt Time 660 Deneme Sonucu



**Şekil 4.11.** Line Balancing Result Takt Time 660

İlk çalıştırmamız olan Takt Time 660'nın sonucu Şekil 4.11' de mevcuttur. Takt Time 660 seçildiği zaman program hat verimliliğini % 94.8 olarak vermiştir. Program girilen Takt Time süresine en az bir istasyonda sağlandığı sonucunu vermiştir (T/T:660 - N/T:660).

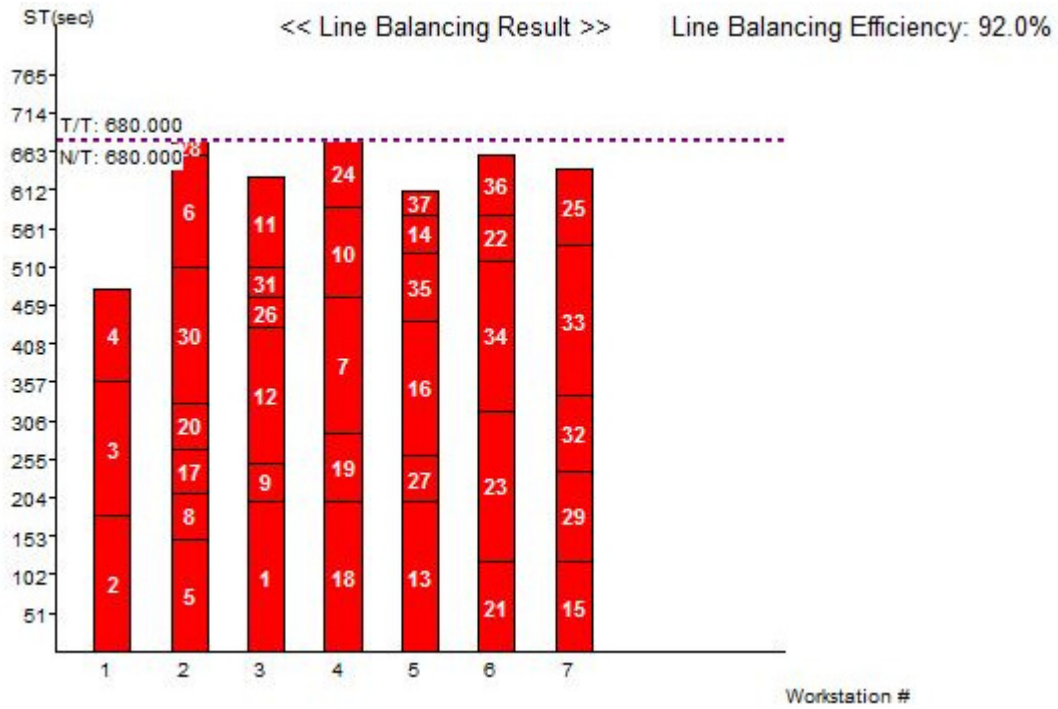
#### 4.6.2. Takt Time 670 Deneme Sonucu



Şekil 4.12. Line Balancing Result Takt Time 670

İkinci çalıştığımız Takt Time 670 ile yapılmıştır. Sonuç Şekil 4.12’de gösterilmiştir. Takt Time 670 girilmesi ile hat verimliliği % 93.4 olarak elde edilmiştir. Program girilen Takt Time süresine en az bir istasyonda sağlandığı sonucunu vermiştir (T/T:670 – N/T:670).

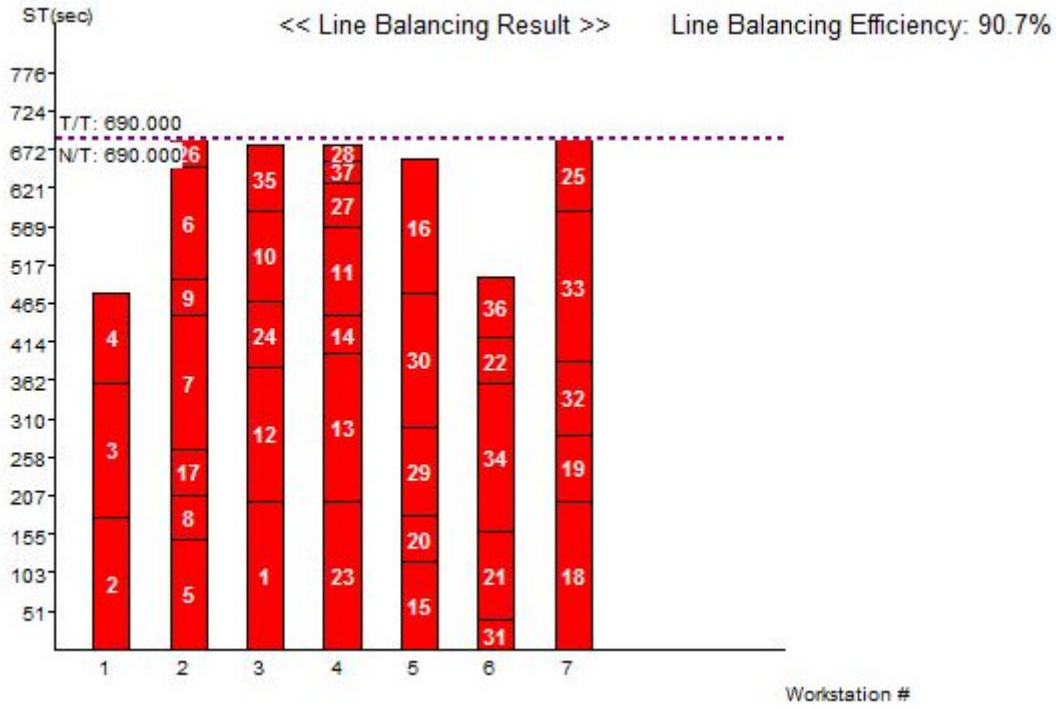
#### 4.6.3. Takt Time 680 Deneme Sonucu



**Şekil 4.13.** Line Balancing Result Takt Time 680

Takt Time 680 ile çalıştırılması sonucu Şekil 4.13'da gösterilmiştir. Takt Time 680 girilmesi ile hat verimliliği % 92 olarak elde edilmiştir. Program girilen Takt Time süresine en az bir istasyonda sağlandığı sonucunu vermiştir (T/T:680 – N/T:680).

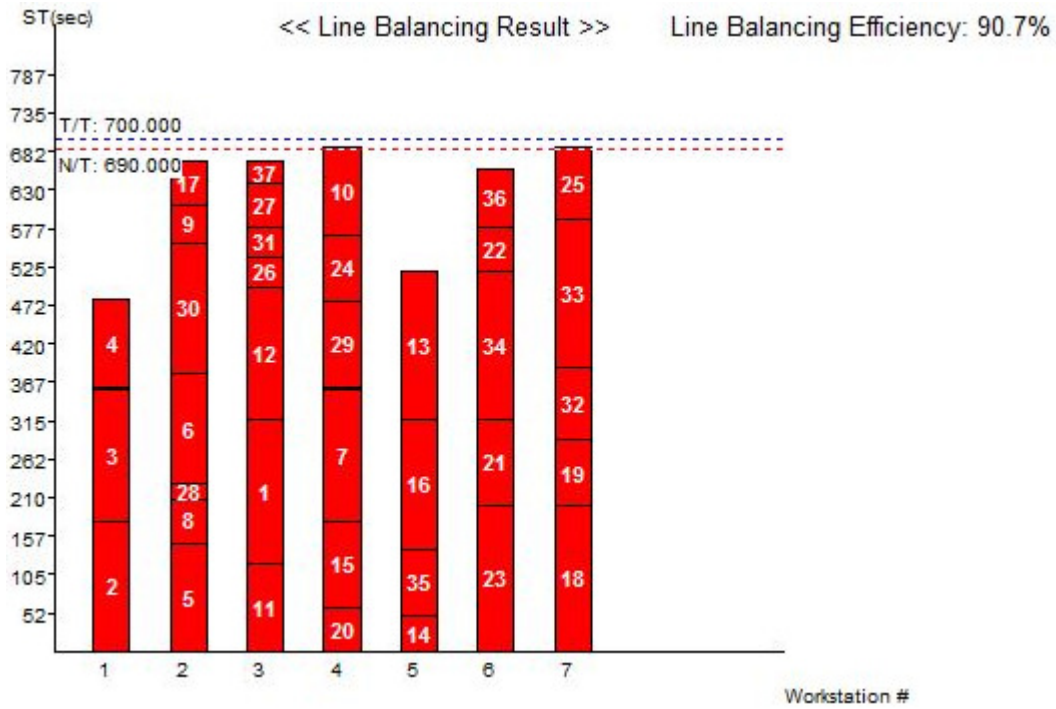
#### 4.6.4. Takt Time 690 Deneme Sonucu



**Şekil 4.14.** Line Balancing Result Takt Time 690

Takt Time 690 ile çalıştırılması sonucu Şekil 4.14'da gösterilmiştir. Takt Time 690 girilmesi ile hat verimliliği % 90.7 olarak elde edilmiştir. Program girilen Takt Time süresine en az bir istasyonda sağlandığı sonucunu vermiştir (T/T:690 – N/T:690).

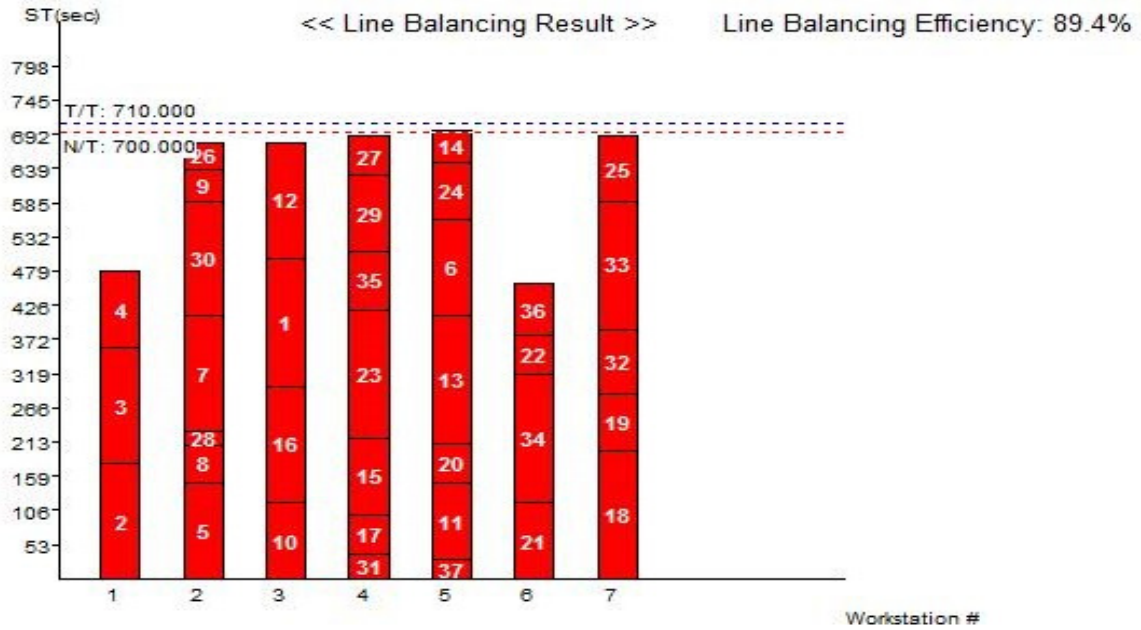
#### 4.6.5. Takt Time 700 Deneme Sonucu



Şekil 4.15. Line Balancing Result Takt Time 700

Takt Time 700 ile çalıştırılması sonucu Şekil 4.15'da gösterilmiştir. Takt Time 690 girilmesi ile hat verimliliği % 90.7 olarak elde edilmiştir. Program girilen Takt Time süresine hiçbir istasyonda ulaşılmadığını, 700 yerine 690 dakikada en az bir istasyonda montaj süresine ulaşıldığı bilgisini vermiş Takt Time süresini 690 almıştır. (T/T:700 – N/T:690).

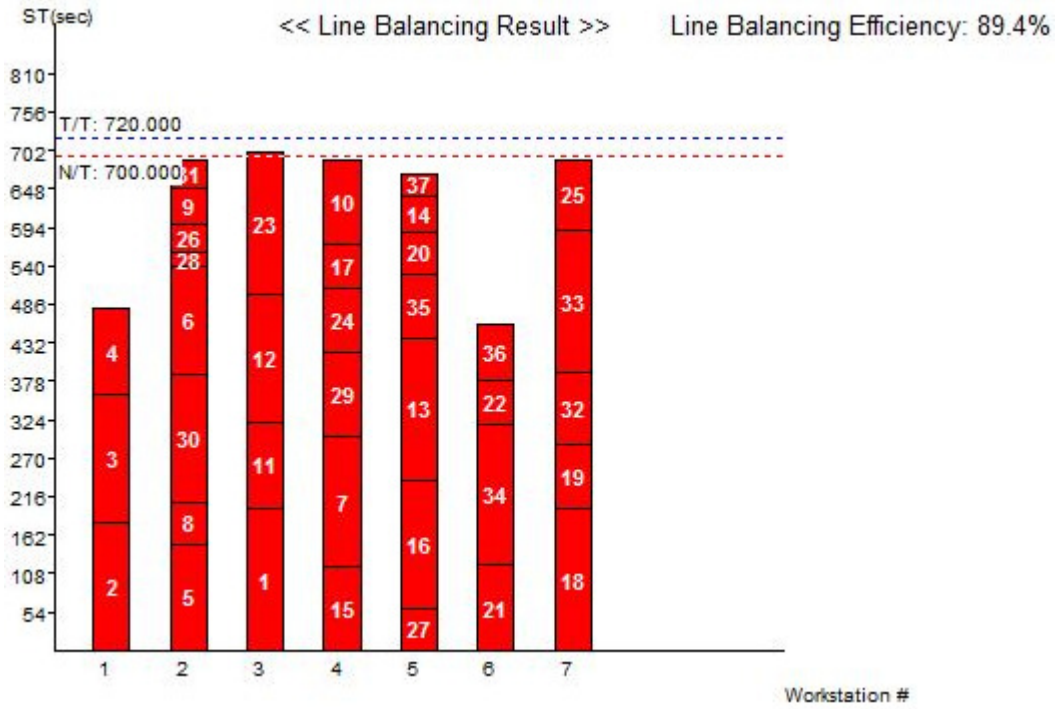
#### 4.6.6. Takt Time 710 Deneme Sonucu



Şekil 4.16. Line Balancing Result Takt Time 710

Takt Time 710 ile çalıştırılması sonucu Şekil 4.16'da gösterilmiştir. Takt Time 700 girilmesi ile hat verimliliği % 89.4 olarak elde edilmiştir. Program girilen Takt Time süresine hiçbir istasyonda ulaşılmadığını, 710 yerine 700 dakikada en az bir istasyonda montaj süresine ulaşıldığı bilgisini vermiş Takt Time süresini 700 almıştır. (T/T:710 – N/T:700).

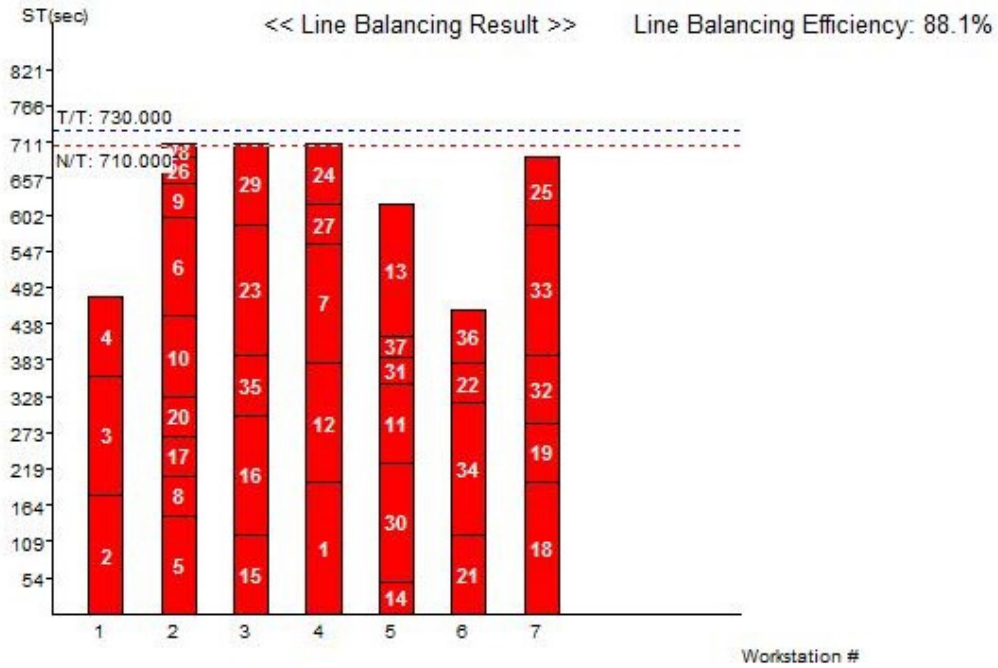
#### 4.6.7. Takt Time 720 Deneme Sonucu



Şekil 4.17. Line Balancing Result Takt 720

Takt Time 720 ile çalıştırılması sonucu Şekil 4.17’de gösterilmiştir. Takt Time 720 girilmesi ile hattımızın verimliliği % 89.4 olarak elde edilmiştir. Program girilen Takt Time süresine hiçbir istasyonda ulaşılmadığını, 720 yerine 700 dakikada en az bir istasyonda montaj süresine ulaşıldığı bilgisini vermiş Takt Time süresini 700 almıştır. (T/T:720 – N/T:700).

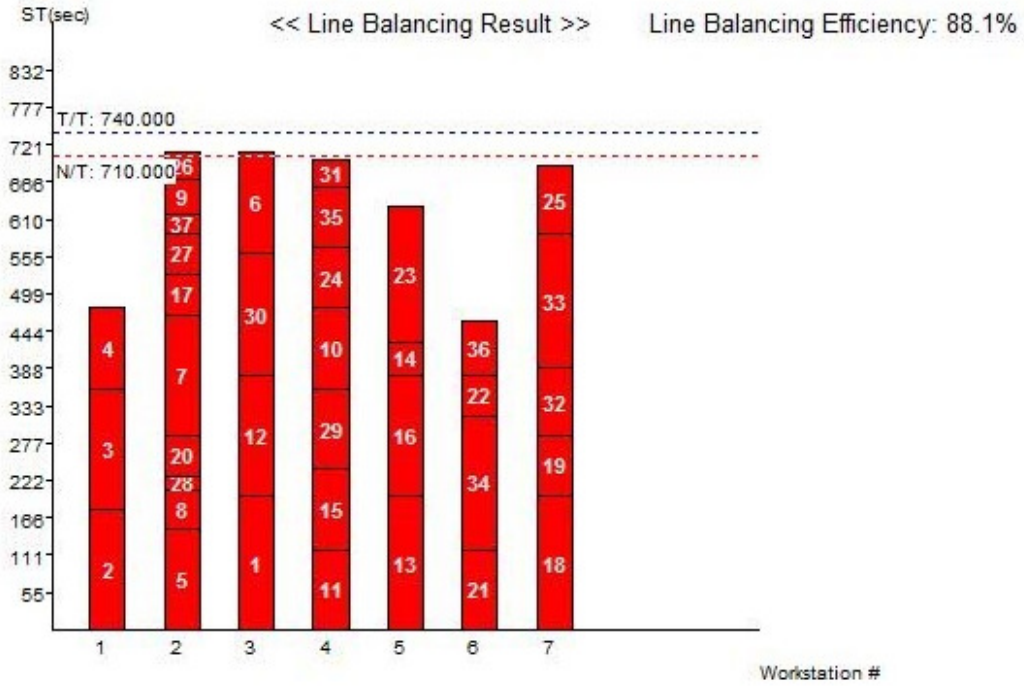
#### 4.6.8. Takt Time 730 Deneme Sonucu



**Şekil 4.18.** Line Balancing Result Takt Time 730

Takt Time 730 ile çalıştırılması sonucu Şekil 4.18'da gösterilmiştir. Takt Time 730 girilmesi ile hattımızın verimliliği % 88.1 olarak elde edilmiştir. Program girilen Takt Time süresine hiçbir istasyonda ulaşılmadığını, 730 yerine 710 dakikada en az bir istasyonda montaj süresine ulaşıldığı bilgisini vermiş Takt Time süresini 710 almıştır. (T/T:730 – N/T:710).

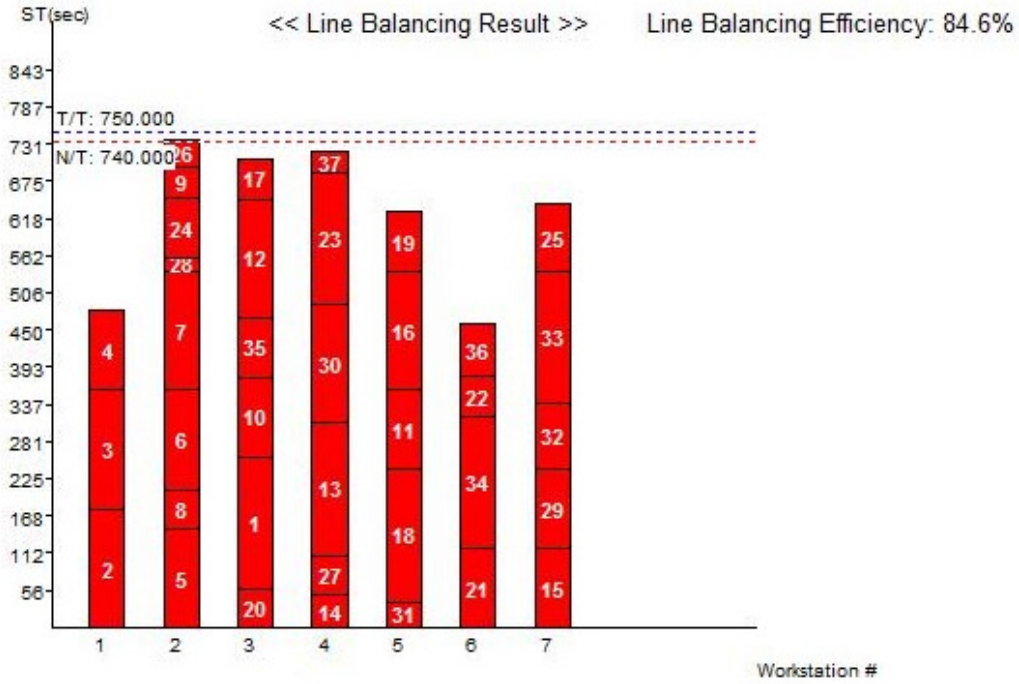
#### 4.6.9. Takt Time 740 Deneme Sonucu



Şekil 4.19. Line Balancing Result Takt Time 740

Takt Time 740 ile çalıştırılması sonucu Şekil 4.19'da gösterilmiştir. Takt Time 740 girilmesi ile hattımızın verimliliği % 88.1 olarak elde edilmiştir. Program girilen Takt Time süresine hiçbir istasyonda ulaşılmadığını, 740 yerine 710 dakikada en az bir istasyonda montaj süresine ulaşıldığı bilgisini vermiş Takt Time süresini 710 almıştır. (T/T:740 – N/T:710).

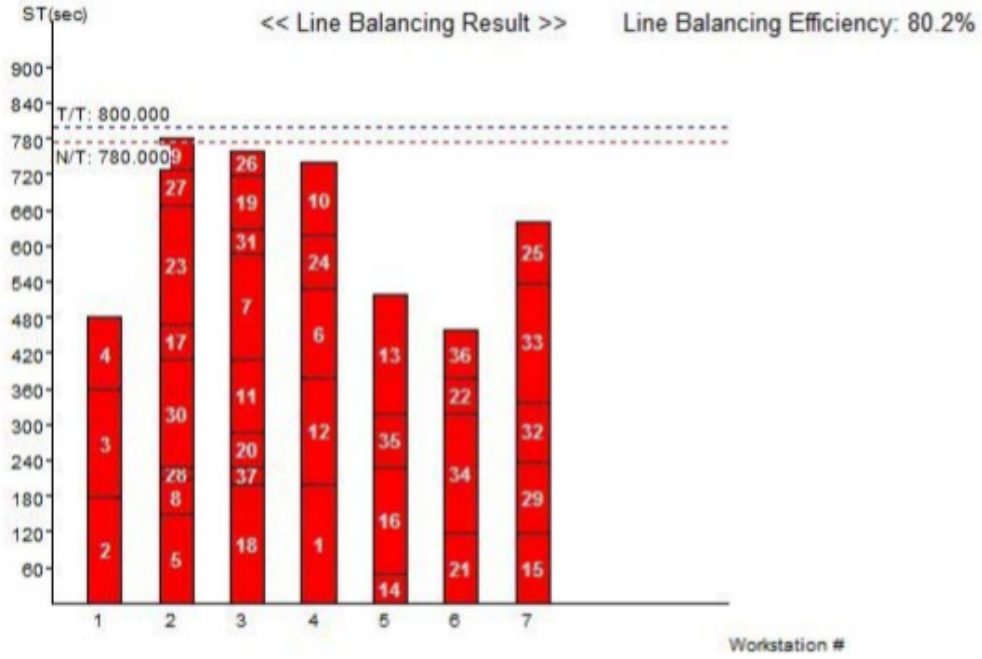
#### 4.6.10. Takt Time 750 Deneme Sonucu



**Şekil 4.20.** Line Balancing Result Takt Time 750

Takt Time 750 ile çalıştırılması sonucu Şekil 4.20'da gösterilmiştir. Takt Time 750 girilmesi ile hattımızın verimliliği % 84.6 olarak elde edilmiştir. Program girilen Takt Time süresine hiçbir istasyonda ulaşılmadığını, 750 yerine 740 dakikada en az bir istasyonda montaj süresine ulaşıldığı bilgisini vermiş Takt Time süresini 740 almıştır. (T/T:750 – N/T:740).

#### 4.6.11. Takt Time 800 Deneme Sonucu

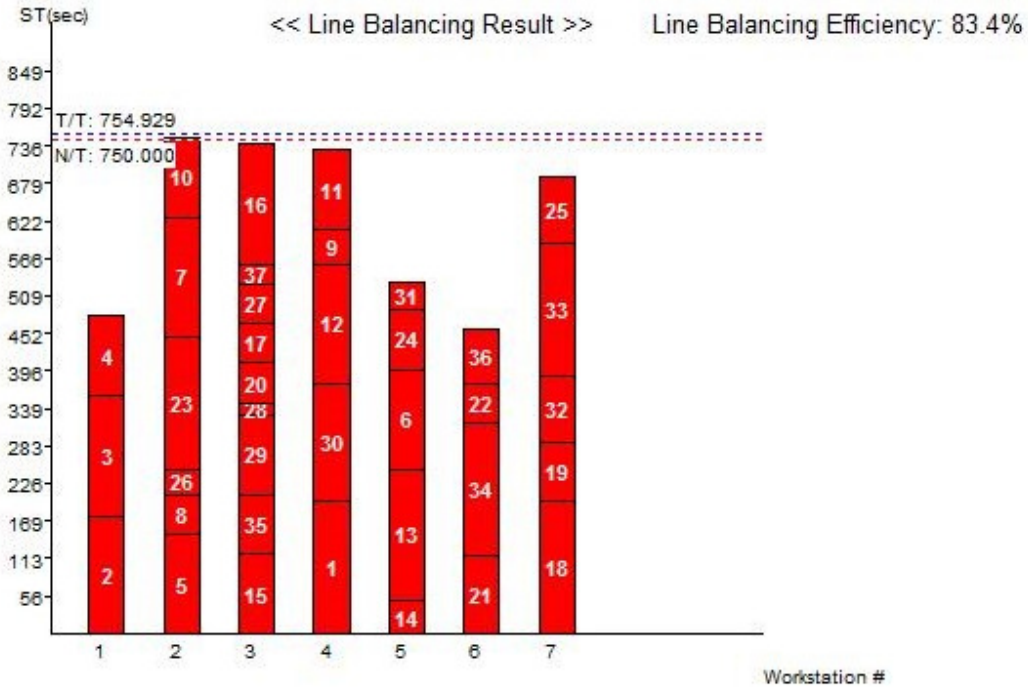


**Şekil 4.21.** Line Balancing Result Takt Time 800

Takt Time 800 ile çalıştırılması sonucu Şekil 4.21'da gösterilmiştir. Takt Time 800 girilmesi ile hattımızın verimliliği % 80.2 olarak elde edilmiştir. Program girilen Takt Time süresine hiçbir istasyonda ulaşılmadığını, 800 yerine 780 dakikada en az bir istasyonda montaj süresine ulaşıldığı bilgisini vermiş Takt Time süresini 780 almıştır. (T/T:800 – N/T:780).

#### 4.6.12. Worker 7 Deneme Sonucu

Bu çalışmada programın 2 opsiyonlu çalışma imkanı vermesinden dolayı iş sıralarının değişip değişmeyeceğini ve verimin ne olacağını merak edilmesinden worker 7 denemesi de yapılmıştır. Worker 7 denemesi sonucu Şekil 4.22'de gösterilmiştir.



Şekil 4.22. Line Balancing Result Worker 7

Programın Worker 7 ile çalıştırılması sonucu Şekil 4.22'da gösterilmiştir. Worker 7 girilmesi ile hattımızın verimliliği % 83.4 olarak bulunmuştur. Program makinelerin tam kapasite çalışmayacağını, 754 yerine 750 dk da çalışabileceği bilgisini vermiştir. (T/T:754 – N/T:750).

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

### 5.1. Takt Time Seçilmesi

Yapılan denemeler sonucunda Flexible Line balancing programında en iyi sonuç alınana kadar program RUN edilerek verimlilikler saptanmıştır. Burada bahsedilen verimlilik, gerçekte bir istasyonda yapılan iş parçası montaj sürelerinin toplamının; o istasyon için belirlenen (girilen Takt Time süreleri) süreye oranı ile elde edilen sayıların toplamının, istasyon sayısına bölünmesi ve yüzde olarak ifade edilmesi şeklindedir. Program çalıştırıldığında Program istasyonun tam kapasite çalışamayacağı uyarısı (istasyon için girilen Takt Time süresinin hiçbir istasyonda sağlanamaması durumudur) vermesi durumunda N/T olarak belirtilen hat süresi verim hesabında Takt Time olarak alınması gerekmektedir.

$$[ (T1_{istasyon}/Takt\ Time)+ \dots\dots\dots+(T7_{istasyon}/Takt\ Time) ]/7*100 \quad (5.3)$$

Takt Time 660 için verimi yukarıda belirtilen tanım gereği 5.3 eşitliği ile hesaplamamız mümkün olacaktır.

Birinci istasyonda 2-3-4 iş parçalarının montajı bu istasyonda yapılacaktır. Toplam süre 480 dk dır. Takt Time 660'ın sağlanma oranı  $480/660 = 0,7272$

İkinci istasyonda 5-8-20-10-30-31-9 iş parçalarının montajı bu istasyonda yapılacaktır. Toplam süre 660 dk dır. Takt Time 660'ın sağlanma oranı  $660/660 = 1$

Üçüncü istasyonda 17-6-1-27-12 iş parçalarının montajı bu istasyonda yapılacaktır. Toplam süre 650 dk dır. Takt Time 660'ın sağlanma oranı  $650/660 = 0,9848$

Dördüncü istasyonda 18-23-11-19-26 iş parçalarının montajı bu istasyonda yapılacaktır. Toplam süre 650 dk dır. Takt Time 660'ın sağlanma oranı  $650/660 = 0,9848$

Beşinci istasyonda 28-35-14-37-713-24 iş parçalarının montajı bu istasyonda yapılacaktır. Toplam süre 650 dk dır. Takt Time 660'ın sağlanma oranı  $660/660 = 1$

Altıncı istasyonda 21-34-16-22-36 iş parçalarının montajı bu istasyonda yapılacaktır. Toplam süre 650 dk dır. Takt Time 660'ın sağlanma oranı  $640/660 = 0,9696$

Yedinci istasyonda 15-29-32-33-25 iş parçalarının montajı bu istasyonda yapılacaktır. Toplam süre 650 dk dır. Takt Time 660'ın sağlanma oranı  $640/660 = 0,9696$

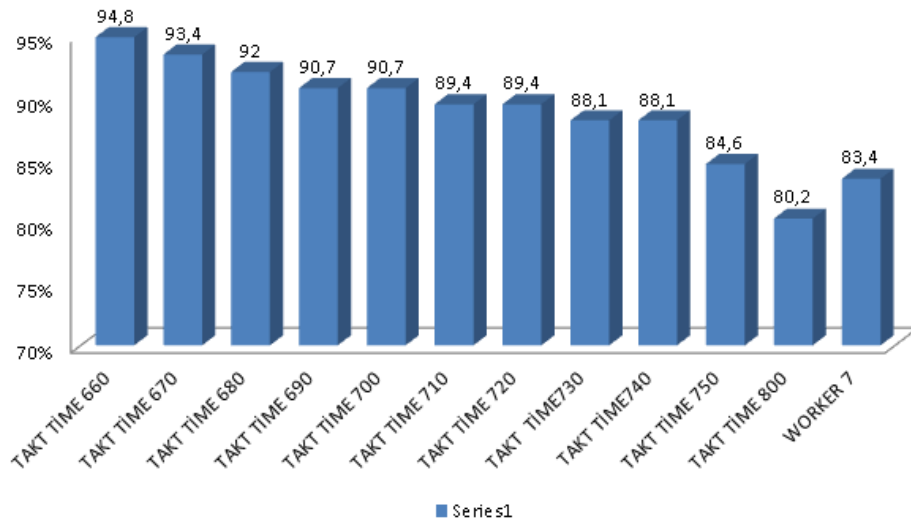
$$Verim_{Takt\ Time\ 660} = [ (0.7272+1+\dots\dots\dots) ]/7*100 = \%94,8 \quad (5.4)$$

İstasyonların verim yüzdelerinin hesaplanmasının ardından her istasyonun verimin toplanması ile Takt time 660'ın verimi 5.4 eşitliğinde % 94.8 olarak bulunmuştur.

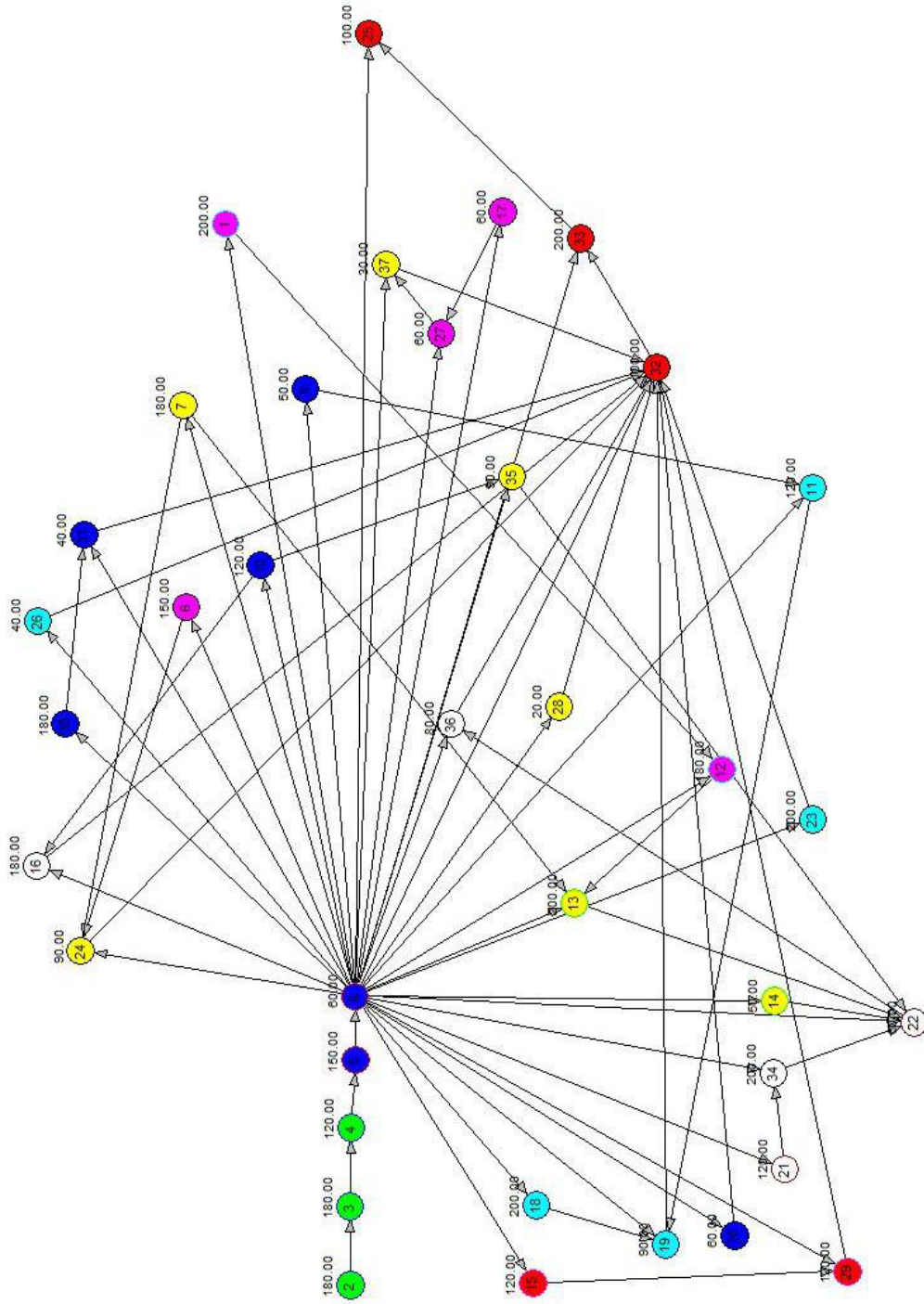
Tüm deneme sonuçları bir araya getirilerek verimlik yüzdeleri tespit edilmiştir (Şekil 5.1.). Program bize verimi en yüksek istasyon olarak Takt Time 660'ı vermiştir. İstasyonların tam verimlilikte kullanılması ve verimin en yüksek olmasından dolayı düz montaj hatlı istasyonun kurulumunda takt time 660'a karar verilmiştir. Takt Time 660'a göre hangi işin hangi istasyonda olacağı Şekil 5.2. ve Şekil 5.3.'de gösterilmiştir. Şekil 5.2'de her renk bir istasyonda olacak olan iş öğesini temsil etmektedir.

Yerinde yapılan montaj sürecinde 940 model lastik tekerlekli yükleyicinin 1 adetinin montajının yapılması için geçen süre 4380 dk dır. Diğer bir deyişle her 4380 (73saat) dakikada bir makinanın montajı yapılmaktadır.

Tez kapsamında yapılan çalışma sonucunda düz tip montaj hattı kurulması ve 7 istasyonlu, eşit sürede (660 dk her istasyon için montaj süresi) montaj yapılması önerilmiştir. Bunun sonucunda ilk 4380 dk sonrasındaki her 660 dk da bir makinanın montajının tamamlanacağı belirlenmiştir. Diğer bir deyişle her iki süreç montaj yapılan makine sayısı açısından karşılaştırıldığında ilk 4380 dk sonrası göz önünde tutulduğunda tez kapsamında önerilen düz tip montaj hattı, yerinde yapılan montaj hattına (her 4380 dk da bir makinanın montajı yapılmaktadır) göre her 4380 dk da 7 adet makinanın montajının yapılacağını göstermektedir.



Şekil 5.1. Verim Grafiği



Şekil 5.2 İş İstasyon Şeması

No	Workstation #	Work Area	Elem Task Description	ST	Elem Task #	Prec	Sep	Ind	Grp
1	1		ÖN ARKA ŞASE BİRLEŞTİRİLMESİ	180	2			F	A
2			ÖN DİNGİL MONTAJI	180	3	2		F	A
3			ARKA DİNGİL MONTAJI	120	4	3		F	A
4			MOTOR TALİ MONTAJI	150	5	4		F	D
5	2		MOTOR VE ŞANZİMAN ŞASE MONTAJI	60	8	5		F	D
6			ÖN ÇAMURLUK MONTAJI	60	20	8		F	
7			BOOM VE MANİVELA MONTAJI	120	10	8		F	
8			ÇAMURLUKLARIN MONTAJI	180	30	8		F	
9			MERDİVEN MONTAJI	40	31	8,30		F	
10			MOTOR ŞANZİMAN SOĞUTUCU MONTAJI	50	9	8		F	
11			MOTOR AĞIRLIK MONTAJI	60	17	8		F	
12			YAKIT DEPO MONTAJI	150	6	8		F	
13	3		HİDROLİK SİLİNDİR TALİ MONTAJI	200	1	8		F	G
14			AKÜ SANDIĞI MONTAJI	60	27	8,17		F	
15			HİDROLİK SİLİNDİR MAKİNAYA MONTAJI	180	12	1,8		F	G
16			MOTOR KAPUTU TALİ MONTAJI	200	18	8		F	B
17	4		TEKERLER MAKİNAYA MONTAJI	200	23	8		F	
18			RADYATOR VE YAĞ SOĞUTUCU MONTAJI	120	11	8,9		F	
19			MOTOR KAPUTU ŞASE MONTAJI	90	19	8,11,18		F	B
20			KORUMA SACI MONTAJI	40	26	8		F	
21			TAKIM SANDIĞI MONTAJI	20	28	8		F	
22			ŞASE ÜZERİ BOOM TESİSATI MONTAJI	90	35	8,10		F	
23			FREN DEVRELERİ MONTAJI	50	14	8		F	E
24			AKÜ BAĞLANTILARI MONTAJI	30	37	8,27		F	
25	5		HİDROLİK DEPO MONTAJI	180	7	8		F	
26			HİDROLİK DEVRELER MONTAJI	200	13	7,8,12		F	E
27			YAĞ VE YAKIT İKMALI	90	24	6,7,8		F	
28			KABİN TALİ MONTAJI	120	21	8		F	C
29	6		KABİN İÇİ ELEKTRİK TESİSATI MONTAJI	200	34	8,21		F	
30			KEPÇENİN MAKİNAYA MONTAJI	180	16	8,10		F	
31			KABİN ŞASE MONTAJI	60	22	8,13,14,34,35		F	C
32			SAPKA VE LAMBA BAĞLANTILARI MONTAJI	80	36	8,22		F	
33	7		ARA YATAK MONTAJI	120	15	8		F	F
34			ŞAFT MONTAJI	120	29	8,15		F	F
35			ETİKET VE İŞARETLER	100	32	8,16,19,20,23,24,26,28,29,31,36,37		F	
36			SON KONTROL VE TAMAMLAMA	200	33	8,32		F	
37			İLK ÇALIŞTIRMA	100	25	8,33		F	

Şekil 5.3. İşlerin İstasyonlara Ayrılması

## 5.2. İstasyonlarda İşlerin Öncelik Sırası

Kurulacak olan istasyonda Takt time 660'a karar verilmesi ile beraber istasyonlardaki öncelik ilişkileri de tespit edilerek işlerin birbirini engelleyip aksatmasının önüne geçilmiştir. Her istasyonda yapılacak ilk montaj işi 1 rakamıyla ve takip eden montaj işi 2 rakamıyla, son yapılacak montaj ise o istasyondaki en büyük rakam ile belirtilmiştir. Aralarında öncelik ilişkilerinin bulunduğu iş öğeleri ve sıraları Tablo 5.1.'da verilmiştir.



**Tablo 5.1.** İş sırası

	İş ögesi	Öncelik sırası
1. İstasyon	Arka dingilin arka şaseye montajı	1
	Ön şasenin arka şaseye montajı	2
	Ön dingilin ön şaseye montajı	3
2. İstasyon	Motor Tali Montajı	1
	Motor ve Şanzıman Şase montajı	2
	Motor Şanzıman Soğutucu montajı	3
	Merdiven Montajı	4
	Çamurlukların Montajı	5
	Ön Çamurluk Montajı	6
	Boom ve Manivela Montajı	7
3. İstasyon	Arka Ağırlık Montajı	1
	Akü Sandığı Montajı	2
	Yakıt Depo Montajı	3
	Hidrolik Silindir Tali Montajı	4
	Hidrolik Silindir Makinaya Montajı	5
4. İstasyon	Radyatör ve Yağ Soğutucu Montajı	1
	Motor Kaputu Tali Montajı	2
	Motor Kaputu Şase Montajı	3
	Koruma Sacı Montajı	4
	Tekerler Makinaya Montajı	5
5. İstasyon	Hidrolik Depo Montajı	1
	Hidrolik Devreler Montajı	2
	Fren Devreleri Montajı	3
	Takım Sandığı Montajı	4
	Akü Bağlantıları Montajı	5
	Şase Üzeri Boom Tesisatı Montajı	6
	Yağ ve Yakıt İkmali	7
6. İstasyon	Kabin İçi Elektrik Tesisatı Montajı	1
	Kabin Tali Montajı	2
	Kabin Şase Montajı	3
	Şapka ve Lamba Bağlantıları Montajı	4
	Keçenin Makineye Montajı	5
7. İstasyon	Ara Yatak Montajı	1
	Şaft Montajı	2
	Etiket ve İşaretler	3
	Son Kontrol ve Tamamlama	4
	İlk Çalıştırma	5

### 5.3. İşçi Sayısının Belirlenmesi

Daha önce Çukurova Makine İmalat ve Tic. A.Ş. de 'Yerinde Montaj' tekniği ile montajı yapılan 940 model Wheel Loader makinasının bir adedinin bitmesi için geçen süre 4380 dk iken, Tez kapsamında önerilen düz hatlı montaj istasyonu ile ilk makina montajından sonra 660 dk da bir makinanın montajının yapılması mümkün olacaktır.

Yerinde montajı yapılan eski tip sistemde 4 işçiye ihtiyaç duyulurken, yeni kurulacak olan düz hatlı montaj istasyonunda 7 istasyon olacağından ve istasyonlar boş bırakılmayacağından işçi ihtiyacı artmıştır. Her iş parçasının montaj aşamalarında kaç eleman gerekliliği ve montaj sürelerinin belirtildiği Tablo 4.2 ve Takt Time 660'a göre hangi işin hangi istasyonda olacağını gösteren Şekil 5.2. ve Şekil 5.3.'de gözönünde bulundurularak her istasyon için gerekli eleman sayıları belirlenmiştir. Belirlenen montaj eleman sayılarının istasyonlara dağılımı Tablo 5.2'de gösterilmiştir. Tablonun oluşturulmasında ayrıca her istasyon için en az bir eleman bulunması gerekliliği de değerlendirilmiştir. Düz hatlı montaj istasyonunda 7 istasyon için gerekli toplam 10 montaj elemanına ihtiyaç olduğu belirlenmiştir.

**Tablo 5.2.** İşçi Sayısı

	İş ögesi	İşçi Sayısı
1. İstasyon	Arka dingilin arka şaseye montajı	3
	Ön şasenin arka şaseye montajı	
	Ön dingilin ön şaseye montajı	
2. İstasyon	Motor Tali Montajı	1
	Motor ve Şanzıman Şase montajı	
	Ön Çamurluk Montajı	
	Boom ve Manivela Montajı	
	Çamurlukların Montajı	
	Merdiven Montajı	
	Motor Şanzıman Soğutucu montajı	
3. İstasyon	Arka Ağırlık Montajı	1
	Yakıt Depo Montajı	
	Hidrolik Silindir Tali Montajı	
	Akü Sandığı Montajı	
	Hidrolik Silindir Makinaya Montajı	
4. İstasyon	Motor Kaputu Tali Montajı	2
	Tekerler Makinaya Montajı	
	Radyatör ve Yağ Soğutucu Montajı	
	Motor Kaputu Şase Montajı	
	Koruma Sacı Montajı	
5. İstasyon	Takım Sandığı Montajı	1
	Şase Üzeri Boom Tesisatı Montajı	
	Fren Devreleri Montajı	
	Akü Bağlantıları Montajı	
	Hidrolik Depo Montajı	
	Hidrolik Devreler Montajı	
	Yağ ve Yakıt İkmali	
6. İstasyon	Kabin Tali Montajı	1
	Kabin İçi Elektrik Tesisatı Montajı	
	Kepçenin Makineye Montajı	
	Kabin Şase Montajı	
	Şapka ve Lamba Bağlantıları Montajı	
7. İstasyon	Ara Yatak Montajı	1
	Şaft Montajı	
	Etiket ve İşaretler	
	Son Kontrol ve Tamamlama	
	İlk Çalıştırma	

## 5.4 Öneriler

Bu tez konusu üzerinde çalışma yapacak arkadaşlar için geliştirilmeye müsait bir tasarım çalışmasının olmasının yanı sıra çoklu montaj istasyonu kurulabilir. İşletmede istasyonun kurulması aşamasından sonra ilk montajda her istasyon için takt time süresinin ve toplam montaj süresinin kontrol edilmesi de ayrıca önerilmektedir.

Birinci istasyonda montajı yapılacak 2-3-4 iş öğeleri için toplam montaj süresi 480 dk dır. Bu istasyon için ayrılan montaj süresi ise 660 dk dır. 180 dk 3 elemanın boşta bekleme süresi vardır. Bu bekleme süresinde birinci istasyonda bulunan montaj elemanları ikinci ve beşinci istasyonlar öncelikli olmak üzere üçüncü ve dördüncü istasyonlarda sürmekte olan montaj işlerine katkı yapabilecekleri öngörülmektedir.

Her 660 dk da bir makine montajının tamamlanacağı belirlendiğinden kuruluştaki 940 model lastik tekerlekli yükleyicinin imalatı yapılan kısımların bir adet makinanın imalat süreci ve zamanı ayrıca tedarik edilen aksamların tedarik zamanı açısından gerekli tedbirlerin alınması gerektiği önerilmektedir. Diğer bir deyişle her 660 dk sürede bir takım montaj parçaları üretilmiş ve/veya parçaların tedariki yapılmış olunmalıdır.

## KAYNAKLAR

- [1]. Özkıran, A., Düşünür, H., Otomotiv sektöründeki bir işletmede montaj hattının analizi ve dengeleme çalışması, Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği, İzmir, 2011.
- [2]. Altuntaş, S., İşlier, A.A., Birliktelik kısıtları altında montaj hattı dengeleme problemi için bir çözüm yaklaşımı önerisi ve bir işletmede uygulama, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2010, Cilt 16, Sayı 1.
- [3]. Erkut, H., Baskak, M., *Stratejiden Uygulamaya Tesis tasarımı*, İrfan Yayıncılık, İstanbul, 1997, 35-54.
- [4]. Günay, K., Çetin, T., Baykoç, F.Ö., Montaj hattı dengelemede geleneksel ve U tipi hatların karşılaştırılması ve bir uygulama çalışması, *Teknoloji Dergisi*, 2004, Cilt 7, Sayı 3, 351-359.
- [5]. Ergün, M., Hat Dengeleme Modelleri, Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, 1987.
- [6]. Mallı, T., Aksoy, C.O., Köse, H., Küçük Ölçekli Madencilikte Tekerlekli Yükleyiciler için Ekonomik Taşıma Mesafesi, 19. Uluslararası madencilik Kimgre.it ve fuarı, İzmir, 09-12 Haziran 2005.
- [7]. Artuışık, O., Birgün, S., *Bir Otomotiv Fabrikasının Alt Montaj İşlemlerinde İsrâf Azaltımı*, Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu, İstanbul, 2005.
- [8]. Tanyaş, M., Baskak M., *Üretim Planlama ve Kontrol*, İrfan Yayıncılık.: İstanbul, 2003.
- [9]. Çakır, B., Stokastik İşlem Zamanlı Montaj Hattı Dengeleme İçin Tavlama Benzetimi Algoritması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006.
- [10]. Gökçen, H., Karışık modelli deterministik montaj hattı dengeleme problemi için Yeni Modeller, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1994.
- [11]. Yılmaz, M.M., Bulanık Operasyon Zamanlı Geleneksel Montaj Hattı Dengeleme Problemi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006.
- [12]. Baykasoğlu, A., Demirkol Akyol, Ş., Ergonomik montaj hattı dengeleme, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2014, Vol 29, No 4, 785-792.

- [13]. Üstün, S., Bir Üretim Atölyesinde Darboğaz Problemlerinin Benzetimle Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2005.
- [14]. Kalender, Y.F., Yılmaz, M.M., Türkbey, O., Montaj Hattı Dengeleme Problemine Bulanık Bir Yaklaşım, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2008, Vol 23, No 1, 129-138.
- [15]. Azzi, A., Battini, D., Faccio, M., Persona, A., Mixed model assembly system with multiple secondary feeder lines: layout design and balancing procedure for ATO environment, *International Journal of Production Research*, 2012, Italy, Vol. 50, No. 18, 5132-5151.
- [16]. Arora, K.C., *Production and operations management*, Firewall Media, 1954, s 1399.
- [17]. Kuvvetli, Y., Karma modellenli montaj hattı dengeleme ve işgücü atama problemi için yeni bir yaklaşım, Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi Endüstri Mühendisliği, Adana, 2010.
- [18]. Murthy, P.R., *Production and operation management*, New age international Publishes, Delhi, 2005.
- [19]. Kılıçcı, Ö., Basit montaj hattı dengeleme problemi çözümü için bir petri ağı yaklaşımı, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2004, Cilt: 6 Sayı: 2 s. 1-15.
- [20]. Halaç, O., (1991). *Kantitatif Karar Verme Teknikleri*, 3. Baskı, İstanbul: Evrim Dağıtım.
- [21]. Hançerlioğulları, A., Monte Carlo Simülasyonu Metodu ve MCNP Kod Sistemi, *Kastamonu Eğitim Dergisi*, 2006, vol:14, no:2, 545-556.
- [22]. Uzmen, M., Montaj Hattı Dengeleme, İTÜ Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 1990.
- [23]. Çelikçapa O. F., *Üretim Planlaması*, 1990, İstanbul: Alfa basım, 219 s, 116-138.

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı ve Soyadı** : İpek LUZUMLU

**Doğum Tarihi** : 24.07.1984

**E-mail** : ipekaricikusu3328@windowlive.com

**Öğrenim Durumu** :

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lisans	Tasarım ve Konst. Öğrt.	Karabük Üniversitesi	2006-2011
Yüksek Lisans	Makine Mühendisliği	Mersin Üniversitesi	2012 - 2017
Doktora			

**Görevler** :

Görev Ünvanı	Görev Yeri	Yıl
Arge Teknik Öğrt.	Çukurova Makina İmalat ve Tic. A.Ş. MERSİN	2011/....