

161243

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

**TEK MODEL MONTAJ HATLARININ
DENGELENMESİ VE BİR UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kamil TAŞKIN

**Enstitü Anabilim Dalı: İşletme
Enstitü Bilim Dalı: Üretim Yönetimi ve Pazarlama**

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Murat AYANOĞLU

HAZİRAN 2005

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

**TEKMODEL MONTAJ HATLARININ
DENGELENMESİ VE BİR UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Kamil TAŞKIN

Enstitü Anabilim Dalı: İşletme
Enstitü Bilim Dalı: Üretim Yönetimi ve Pazarlama

Bu tez 28/07/2005 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Murat AYAN ÖZEL Yrd. Doç. Dr. Harun R. YILMAZ Yrd. Doç. Dr. Erman ÇOŞKUN

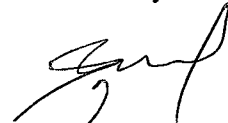
Jüri Başkanı



Jüri Üyesi



Jüri Üyesi



BEYAN

Bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

20.05.2005

Kamil TAŞKIN



ÖNSÖZ

Üretim yapan işletmelerinin çoğunun farkında olmadığı montaj hattı dengeleme sorununun çözümüne yönelik yöntemleri açıklayan bu tez Federal Elektrik'te yapılan bir uygulama ile sonuçlandırılmıştır. Uzun bir dönemi kapsayan bu çalışma ve uygulamada desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Murat AYANOĞLU'na teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca uygulama kısmında değerli bilgilerini, desteğini ve yardımları ile yanımda olan Sayın Ümit PEKPARLAK'a ve değerli Federal Elektrik çalışanlarına sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2005

Kamil TAŞKIN



İÇİNDEKİLER

TABLOLAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xii
SUMMARY	xiii
GİRİŞ	1
BÖLÜM 1 : ÜRETİM SİSTEMLERİ VE SINIFLANDIRILMASI	4
1.1. İş Yeri Düzenlemesine Göre Sınıflandırma	4
1.1.1. İş Yeri Düzenlemenin Tanımı ve Amacı	4
1.1.2. İş Yeri Yerleşim Tipleri	6
1.1.2.1. Prosese Göre Yerleşim.....	6
1.1.2.2. Mamule Göre Yerleşim.....	7
1.1.2.3. Sabit Pozisyonlu Yerleşim	8
1.2. Üretilen Mamulün Cinsine Göre.....	9
1.2.1. Birincil Üretim	9
1.2.2. Dönüştürücü Üretim.....	9
1.2.3. Sentetik Üretim	10
1.2.4. İmale Dayalı Üretim.....	10
1.2.5. Montaj Üretimi.....	10
1.3. Üretim Miktarına Göre.....	10
1.3.1. Siparişe Göre Üretim.....	10
1.3.2. Parti Üretim Sistemleri.....	11

1.3.3. Sürekli Üretim.....	11
1.3.4. Proje Üretimi.....	11
1.4. Üretim Sistemlerinde Malzeme Taşıma.....	11
BÖLÜM 2 : MONTAJ HATLARI VE HAT Dengeleme.....	13
2.1. Montaj Hatlarının İşletmelere Sağladığı Avantajlar	13
2.2. Hat Dengeleme Problemi ve Özellikleri	14
2.3. Montaj Hatlarını Dengelemenin Amaçları.....	14
2.4. Montaj Hattındaki İşgücünün Dengelemedeki Rolü.....	15
2.5.1. Çevrim Süresi.....	16
2.5.2. Öncelik İlişkileri	16
2.5.3. Hareket Kısıdı	17
2.5.4. Makinelerin Hareket Kısıdı.....	17
2.5.5. Kritik İstasyonların Durumu	17
2.5.6. Aynı İstasyonda Olması Gereken İşler	18
2.5.7. Aynı İstasyonda Olmaması Gereken İşler	18
2.6. Montaj Hatlarının Dengelemesinde Kullanılan Temel Kavramlar	18
2.6.1. İş Elemanı	18
2.6.2. İş İstasyonu	18
2.6.3. Toplam İş Süresi	19
2.6.4. İş İstasyonu Süresi	19
2.6.5. Çevrim süresi	19
2.6.6. İş İstasyonu Boş Zamanı	20

2.6.7. Denge Kaybı	20
2.6.8. Teknolojik Öncelik Diyagramı	21
2.6.9. Öncelik Matrisi	22
2.7. Montaj Sistemleri.....	23
2.8. Montaj Hatlarının Sınıflandırılması	23
2.8.1. Montaj Hatlarının Oluşturduğu Şekle Göre	23
2.8.2. Montaj Hatlarında İşlerin İlerleyişine Göre	26
2.8.3. Montaj Hattında Mevcut Model Sayısına Göre Sınıflama.....	28
2.8.3.1. Tek Modelli Montaj Hatları	29
2.8.3.2. Çok Modelli Montaj Hatları.....	29
2.8.3.3. Karmaşık Modelli Hatlar	30
2.9. Montaj Hatlarındaki İş Elemanlarının Aşırı Süreleri.....	30
BÖLÜM 3 : TEK MODEL MONTAJ HATTI Dengeleme Metotları	34
3.1. Kilbridge Wester Yöntemi	35
3.2. Salveson Metodu.....	39
3.3. Sıralanmış Konumsal Ağırlık Metodu	44
3.4. Comsoal Yöntemi	46
3.5. Jackson'un Kademeli Sıralama Çözümü	49
3.6. Hoffman'ın Öncelik Matrisi Metodu	51
3.7. Moodie Young Metodu.....	56
3.8. Sezgisel Yöntem	60

BÖLÜM 4 : MONTAJ HATTI Dengeleme Uygulaması	63
4.1. Uygulama Yapılan İşletme Hakkında Bilgi	63
4.2. Elektronik Elektrik Sayacı Montaj Atölyesi'nin İncelenmesi	64
4.3. Montaj Aşamaları.....	65
4.4. Dengeleme Öncesi Montaj Hattının Durumu	69
4.5. Hat Dengelemenin Montaj Hattında Uygulanması	72
4.5.1. Sezgisel Yönteme Göre Çözüm	80
4.5.2. Comsoal Yöntemine Göre Çözüm	83
4.5.3. Çözümler Sonrası Durum.....	88
SONUÇ	90
KAYNAKLAR	93
ÖZ GEÇMİŞ	96

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1 Öncelik Matrisi Örneği	23
Tablo 2 İş istasyonlarının işlem süreleri.....	31
Tablo 3 Düzenleme Sonrası İş İstasyonlarının Süreleri	32
Tablo 4 Örnek Montaj Hattına Ait İş Elemanlarının İşlem Süreleri	34
Tablo 5 İş Elamanlarının Gruplandırılması.....	37
Tablo 6 5 ve 4. İş Elemanlarının Değişiminden Sonraki Durum	37
Tablo 7 Kilbridge Wester ile Dengeleme Sonucu Oluşan Tablo	38
Tablo 8 Salveson Metoduna Göre Oluşan Olasılıklar	40
Tablo 9 Oluşan Olasılık Matrisleri	41
Tablo 10 Saveson Metodu İle Oluşturulan Bir Dengeleme	43
Tablo 11 Saveson Metodu İle Oluşturulan Doğru Dengeleme	43
Tablo 12 Salveson Metodu İle Oluşturulan İş İstasyonları	44
Tablo 13 Konumsal Ağırlıklarına Göre Sıralanmış İş Elemanları	45
Tablo 14 Sıralanmış Konumsal Ağırlık.....	45
Tablo 15 Konumsal Ağırlık Metoduna Göre Oluşan İş İstasyonları.....	46
Tablo 16 Comsoal Yöntemine Göre Oluşturulan A Liste	47
Tablo 17 Comsoal Metoduna Göre Oluşan B Listesi.....	47
Tablo 18 Comsoal Metodu İle Oluşan 2. A Liste.....	48
Tablo 19 Comsoal Metodu İle Oluşan 2. B Liste.....	48
Tablo 20 Comsoal Metodu Kullanılarak Dengelenilen Hattın İstasyonları	49
Tablo 21 Hoffman Metoduna Göre 1.Matris.....	52
Tablo 22 Hoffman Metoduna Göre 2.Matris.....	52

Tablo 23 Hoffman Metoduna Göre 3.Matris.....	53
Tablo 24 Hoffman Metoduna Göre 4.Matris.....	53
Tablo 25 Hoffman Metoduna Göre 5.Matris.....	54
Tablo 26 Hoffman Metoduna Göre 6.Matris.....	54
Tablo 27 Hoffman Metoduna Göre 7.Matris.....	55
Tablo 28 Hoffman Metoduna Göre 8.Matris.....	55
Tablo 29 Hoffman Metoduna Göre 9.Matris.....	55
Tablo 30 Hoffman Metoduna Göre 10.Matris.....	56
Tablo 31 Moodie Young P Matrisi.....	57
Tablo 32 Moodie Young F Matrisi.....	57
Tablo 33 Moofire Young Metodunda 2. Aşama	58
Tablo 34 Moofire Young Metodunda 3. Aşama	58
Tablo 35 Moofire Young Metodunda 4. Aşama	59
Tablo 36 Moofire Young Metodunda 5. Aşama	59
Tablo 37 Sezgisel Yönteme Göre İşlemler Tablosu.....	60
Tablo 38 Sezgisel Yönteme Göre Çözüm Tablosu	62
Tablo 39 Dengeleme Öncesi İstasyonların Yapısı (saniye cinsinden).....	70
Tablo 40 Dengeleme Öncesi İstasyonların Süreleri (Saniye Olarak).....	71
Tablo 41 Hattaki İşlemlerin Sürelerinin Belirlenmesi	74
Tablo 42 İşlemlerin Çevrim Zamanına Göre Durumu	77
Tablo 43 1. İstasyon Yerleşimi.....	80
Tablo 44 2. İstasyon Yerleşimi.....	81
Tablo 45 3. İstasyon Yerleşimi.....	81

Tablo 46 4. İstasyon Yerleşimi.....	82
Tablo 47 5. İstasyon Yerleşimi.....	82
Tablo 48 6. İstasyon Yerleşimi.....	82
Tablo 49 Comsoal Çözümüne Göre A Liste	83
Tablo 50 Oluşturulan B liste	84
Tablo 51 Oluşan 2. B Liste.....	84
Tablo 52 Oluşan 1. İstasyon.....	85
Tablo 53 1. İstasyon Sonrası B Liste.....	85
Tablo 54 Oluşan 2. istasyon	85
Tablo 55 2. İstasyon Sonrası Oluşan B Liste	86
Tablo 56 Oluşan 3. İstasyon.....	86
Tablo 57 4. İstasyonun Oluşumu.....	87
Tablo 58 4. İstasyondan Sonra Oluşan B Liste	87
Tablo 59 5. İstasyonun Oluşumu.....	87
Tablo 60 Dengelenen İş İstasyonlarının Saniye Cinsinden Süreleri	88
Tablo 61 Yerleştirme Sonucu Oluşan Boş Süreler.....	89
Tablo 62 Dengeleme Öncesi ve Sonrası İstasyonların Durumu.....	91
Tablo 63 Hat Verimliği ve Denge Düzeyinin Karşılaştırılması	91

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1 Dört İstasyonlu Bir Montaj Hattında Tam Denge	21
Şekil 2 Dört İstasyonlu Bir Montaj Hattında Tam Kurulamamış Denge	21
Şekil 3 Teknolojik Öncelik Diyagramı Örneği	22
Şekil 4 Doğrusal Montaj Hattı Dizaynı	25
Şekil 5 O Tipi Montaj Hattı Dizaynı	25
Şekil 6 Z Tipi Montaj Hattı Dizaynı	25
Şekil 7 U Tipi Montaj Hattı Dizaynı	26
Şekil 8 By-passlı Doğrusal Montaj Montaj Hattı	26
Şekil 9 Gerilemeli Doğrusal Montaj Hattı	27
Şekil 10 Dağılan işler Tipi	27
Şekil 11 Dönüşen Montaj Hatları (Converging Lines)	28
Şekil 12 İş istasyonlarının Jobshop Biçiminde dizilimi	28
Şekil 13 Çok Modelli Hatlarda Akış Diyagramı Oluşturma	30
Şekil 14 Düzenleme Öncesi İş İstasyonlarının Dizilimi ve İş Yoğunluğu	31
Şekil 15 Düzenleme Sonrası İş İstasyonlarının Dizilimi	32
Şekil 16 Örnek Montaj Hattı Öncelik Diyagramı	34
Şekil 17 Kilbridge Wester Yöntemine Göre Gruplandırılmış İş Akışı	36
Şekil 18 Kilbridge Wester İle Oluşan İstasyonlar	38
Şekil 19 Jackson Metoduna Göre Oluşan Çözüm	51
Şekil 20 Hoffman Metotuna Göre Oluşan İstasyonlar	56
Şekil 21 Uygulama Yapılan Hattaki İşlemlerin Süreleri	75

Şekil 22 İşlem Önceliği Diyagramı	79
---	----



Tezin Başlığı: “TEK MODEL MONTAJ HATLARININ DENGELENMESİ VE BİR UYGULAMA”

Tezin Yazarı: Kamil TAŞKIN

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Murat AYANOĞLU

Kabul Tarihi: 31 Mayıs 2005

Sayfa Sayısı: xiii (ön kısım) + 91 (tez)

Anabilim dalı: İşletme

Bilim dalı : Üretim Yönetimi ve Pazarlama

Henry Ford’un montaj hattını fabrikasına entegre etmesi ile başlayan kitlesel üretim, Drucker’in da belirttiği gibi, bir anda üretimde devrim olarak nitelendirilebilecek verimlilik artışı sağlanmıştır. Üretim faaliyetini seri üretim yaparak gerçekleştiren işletmelerin bünyesinde bulunan montaj hattı, birim maliyetlerde ve verimliliklerde büyük avantajlar sağlarken, bununla birlikte çözülmesi gerekli olan problemleri de beraberinde getirir. Bu problemlerin özünde ise montaj hatlarının temel sorunu olan dengeleme unsuru yatmaktadır.

İşler bir montaj hattına sahip işletme farkında olsa da olmasa da bir denge düzeyine sahiptir. İşletmeler için önemli olan mevcut durumun analiz edilerek denge düzeyini mümkün olan yüksek değerlere taşımaktır. Bu sayede işletmeler aynı donanım ve insan gücünü kullanarak önceki durumuna göre daha verimli üretim gerçekleştirebilirlerken talep değişimlerine karşılık verebilecek üretim sistemini oluşturabilirler. Üretim Hatlarının Dengelenmesi ile işletmelerde verimlilik yükselmekte, karlılık artmaktadır. İşletmelerin rekabet gücü de artmaktadır. Bu konu üzerinde yeni yapılan çalışmalar da, bu konunun önemini vurgulamaktadır.

Bu çalışma tek model üretim gerçekleştiren montaj hatlarının belli başlı dengeleme yöntemlerini sıralayıp uygulamanın minimize edilmiş bir modeli üzerinde yöntemler uygulanmıştır. Bu sayede uygulamaya elverişli olan yöntem belirlenmiş uygulamada yer alan probleme bu yolla çözüm tavsiyesinde bulunulmuştur. Uygulamanın analizinden elde edilen sonuçlar çerçevesinde söz konusu hattın önceki ve sonraki durumları karşılaştırılmıştır ve önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Tek model montaj hattı, montaj hattı dengeleme

Title of the Thesis: SIMPLE ASSEMBLY LINE BALANCING AND AN APPLIED STUDY	
Author: Kamil TAŞKIN	Supervisor: Asist. Prof. Murat AYANOĞLU
Date: 25 May 2005	No. of pages: xiii (pre text) + 96 (main body)
Department: Business Administration	
Subfield : Production Management and Marketing	
<p>As Drucker mentioned, mass production which began with entegration of H. Ford's assembly line, increase suddenly productivity that can called a revelation. Assembly line which exists in the strucure of the business enterprises that makes their product activity proves by mass production , brings problems which should be solved out while it optaines the great adventages in the productivity and unit costs. What lying in the basics of this problem is balancing factor that is the main question for assembly lines.</p> <p>An enterprise that owns an effective assembly line, no matter whether it realizes or not, it has a balance level. What is considerable for an organization enterprise is to increase balance level up, by analysing contemporary condition. Thus, enterprises can be more productive manufacture is, in comparison with the former state, by using the same rigging and human resource, while they can continue manufacturing system that can response demand chance. With balancing assembly lines, productivity lucrativenes and the competition power of the enterprise increase. New studies emphasiz the importance of this point.</p> <p>This study has sampled the certain balancing methods of assambly lines which contain a single model product. The methods have applicated on the minimized model. Among the methods, an applicable method has been determined and a solution for the problem in practics has been adviced. By the results obtained from application, the former and the later states of the assembly line has been compaired.</p>	
Key words: Simple assembly line balancing, assembly line balancing	

GİRİŞ

Çalışmanın Önemi:

İşyeri yerleşim düzeni işletmelerin verimliliğini ve karlılığını belirleyen önemli bir olgudur. İşletme, fabrika içi yerleşimin düzenine karar verilirken bu kararın işletme açısından kritik bir karar olduğu yapılan çalışmalar ile kanıtlanmıştır. Mamule göre yerleşim ile montaj hattı kurarak ilk uygulayan Ford işin bütünü küçük parçalara ayırarak tekniği tanıtmış aynı cins maldan çok miktarda üreterek pek çok maliyetten tasarruf sağlanabileceğini kanıtlanmıştır. Günümüzde, ülkemizde ve bütün dünyada işletmelerin büyük bir bölümü üretimlerini montaj yoluyla gerçekleştirmektedir. Bu tip üretim sistemlerinde montaj hatları, üretim sistemlerinin temelini oluşturmaktadır.

Montaj hatları, bünyesinde bir veya daha çok işlem yapılan ve birbiri ardına dizilmiş olan iş istasyonlarından oluşur. Genelde ilk istasyonlar olmak üzere belli istasyonlardan giren hammadde veya yarı mamuller, montaj hatlarında işlendikten sonra ürün olarak hattan çıkarlar.

Montaj hattı dengeleme, iş elemanlarının iş istasyonları arasında en uygun şekilde dağıtılması sonucu muhtemelen en uygun istasyon sayısını tespit etmeyi amaçlar. Dengeleme sonucu duruma göre uygun istasyon sayısının belirlenmesiyle beraber, uygun işçi sayısı da tespit edilmiş olur ve işletme, kapasitesinin daha büyük bir kısmını kullanabilir duruma gelir. Montaj hattında dengenin sağlanması ile hammadde, yarı mamul, mamul yığılmasına, üretimin aksamasına, çalışanların atıl kalması gibi üretimde istenmeyen durumların önüne geçilebilecektir. Montaj hattı dengelemesi yapılarak aynı işletmede, aynı ekipman ve iş gücünü kullanarak daha fazla çıktı elde edilebileceği gibi daha az ekipman ve iş gücü kullanarak dengeleme öncesi üretim seviyesi yakalana bilmektedir. Dengeyi sağlayabilmek için önce hattaki mevcut durumu tespit ederek bu duruma uygun yöntem belirlenmelidir.

Çalışmanın Amacı:

Henry Ford montaj hattını kurduktan sonra hatta dengenin sağlanamamasından kaynaklanan sorun ile karşılaştı. Çok sayıda işlemin gerçekleştiği bir montaj hattında, işlem süreleri arasında çok küçük farkların olması durumunda bile büyük kayıplar söz konusudur. Bu noktadan sonra çalışmanın amacını belirleyen dengeleme probleminin varlığı ortaya çıkmıştır. Bir montaj hattında, işlem süresi en düşük olan istasyon işlediği iş parçasını sonraki istasyona gönderdikten sonra, sıradaki parça için beklemeye başlar ve bir verimsizlik meydana getirir. Diğer taraftan süresi en fazla olan istasyon ise, yapması gerekli olan işlemleri kendinden önceki istasyon kadar kısa bir sürede yapamadığından, iş istasyonları arasında ara stoklar devamlı yığılarak ara stok seviyelerinde ki miktarlarda artış meydana getirir. Her iki durumda istenmeyen bir durumdur. Bu yığılmalar ve boş beklemelerin ortak nedeni, istasyonların işlem süreleri arasındaki farktır. Hiçbir montaj işletmecisi bu durumun meydana gelmesini istemez. Montaj hatlarının verimli bir şekilde, aksamadan çalışabilmesi için hattaki istasyonların çalışma sürelerinin birbirine yakın ya da, mümkünse, eşit olacak biçimde düzenlenmesi gerekir.

Çalışmanın Konusu:

Bu tezde montaj hattının dengelenmesi konusunun ele alınmasının sebebi montaj hatlarının pek çok işletmece kullanılmasına rağmen bu hatlara sahip işletmelerin çoğu dengeleme sorununun farkında olmamasıdır. Bu durumdaki işletmelerin sermayelerinden faydalanma oranları dengeli bir hatta sahip işletmelere oranla düşük çıkması beklenebilir.

Çalışmanın konusunu oluşturan montaj hatları üretimini sağladıkları ürünlerin sayısına göre türlere ayrılmaktadırlar. Bu türler çalışmanın ilerleyen kısımlarında anlatılmıştır. Uygulama bölümünde ele alınacak montaj hattının tek model barındıran bir hat olması sebebi ile bu çalışmada tek model montaj hatları üzerinde durulmuştur.

Uygulama bölümünde ele alınan hattaki istasyon sayısı yeniden belirlenerek yıl sonu üretim hedeflerine uygun üretim süresini yakalayacak yerleşim düzeni kurulmaya çalışılacaktır.

Çalışmanın ilk bölümünde üretim sistemlerinin genel sınıflandırmasından söz edilerek montaj hattına sahip sınıflar belirtilmiştir. Fabrika yerleşim düzeninin amaçları, iyi yerleşimin ne gibi faydalar sağladığı gibi konular açıklanmıştır.

İkinci bölümde ise montaj hatları ve hat dengeleme kavramı üzerinde durulmuştur. Montaj hattı dengelemenin işletmelere sağladığı faydalar belirtilerek montaj hattı dengeleme problemi kısıtları ve montaj hatlarında kullanılan terimler açıklanmıştır. Son olarak ise montaj sistemlerinin çeşitli biçimlerde sınıflandırmasından bahsedilmektedir.

Üçüncü bölümde tezin uygulama kısmına uygun olan tek model montaj hatlarının dengeleme yöntemlerinin başlıcalarından bahsedilerek uygulamada karşılaşılabilecek olan problemin ufaltılmış bir modeli üzerinde metotlar örnek olarak çözülmüştür.

Son bölümde uygulama yapılacak olan işletme hakkında bilgi verilerek uygulama kısmına geçilmiş önce hatta mevcut olan durum belirlenerek işlemler arasındaki ilişkilerin önemi yüzünden sezgisel yöntemle göre uygulama çözülmüştür.

Sonuç kısmında ise montaj hattının dengelemesi konusunun önemi uygulamadaki önceki ve sonraki ölçümler ile karşılaştırılarak dengelemenin sağladığı faydalar gösterilmiştir.

BÖLÜM 1 : ÜRETİM SİSTEMLERİ VE SINIFLANDIRILMASI

İstenilen ürünü, istenilen zamanda, makul maliyette, gerekli miktarda ve kalite mamuller üretmeğe yarayan sisteme üretim sistemi denilir. Bir üretim sistemi içinde pek çok fonksiyonları barındıran bir sistemdir. İşletmelerde hammadde alımından pazarlama kısmına kadar ister planlanan isterse planlanmayan muhakkak bir üretim sistemine sahiptirler. İşletmeler bu iki olgu arasındaki değişkenlerin ne kadar farkında olup bu sistemi kontrol edebilirlerse başarıları o denli artacaktır. Bu yüzden istenilen amaca uygun olan üretim sistemi belirlenip bu yolda üretim sistemi tasarımı yapılmalıdır. Üretim sistemleri çeşitli kriterlere göre sınıflanır.

1.1. İş Yeri Düzenlemesine Göre Sınıflandırma

1.1.1. İş Yeri Düzenlemenin Tanımı ve Amacı

İşletmenin yer seçimi, kapasitenin ve üretim yönteminin karar verilmesinden sonra karşı karşıya kalınan stratejik önemi olan iş yeri düzeni bir karar aşamasıdır. Yerleştirmenin yapılabilmesi için makinelerin konulacağı yerler, depolar, ve malzeme taşımada kullanılacak yöntemler belirlenmeli ve yerleştirme bu kısıtlar çerçevesinde yapılmalıdır (Karayalçın,1979: 376). Konu ile ilgili literatür taraması yapıldığında bir iş yerinin düzenlenmesi mamulün imalatı için kullanılan fiziksel tesislerin fabrika binası içindeki değişik kombinasyonlarının etüdü ve üretim verimini maksimum yapacak şekilde belirlenmesinden oluşmuştur diye bir tanım getirmiştir.

Yapılan bu düzenleme ile fabrika içinde üretime yönelik olan faaliyetleri gerçekleştirecek olan tüm eylemlerin hareket düzeyi minimum düzeye indirgenmek istenmektedir.

İş yeri düzenlemeye gerektiren koşullar aşağıdaki gibi özetlenebilir (Tanyaş; 2000: 127).

- Yeni tesis kurulması,
- İşleyişini sürdüren bir işletmenin başka binaya taşınması,

- Teknoloji yenilemeleri,
- Bazı ürünlerin üretilmesinin terk edilmesi,

İş yeri düzenlemesi ile elde edilmek istenen amaçları ise aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- İş yüklerindeki dengesizliği gidermek,
- Çalışma koşullarındaki olumsuzlukları gidermek,
- Makine ve donanımdan maksimum düzeyde yararlanmak
- İşletme içinde mevcut olan darboğaz, taşıma sorunları çözmek istemek,
- Boş bekleme sürelerini azaltarak iş gücünün kullanım oranını yükseltmek
- Toplam üretim imalat maliyetini düşürmek
- Bina ve tesislerden maksimum düzeyde yararlanmak

İş yeri düzenlemenin amacını kısaca tanımlayacak olursak üretim, yatırım ve üretim mekanı arasındaki mümkün optimum denge durumunu sağlayabilmektir denilebilir. İş yeri düzenlenirken düzenlemeye etki eden bir çok etmen göz önüne alınması gereklidir. Mamulün tipi, boyutu bunlardan en önemlisidir. Zira büyük hacme sahip mamüllerde geniş üretim bantlarına gereksinim olacaktır. Diğer bir etken ise işletmenin üretim hacmidir. Bütün imalat planlarının ana etmeni olan üretim hacmi imalat yöntemlerinin seçiminde önemli bir role sahiptir. Bu ana etkenlerin yanında iş yeri düzenlemeye etki eden diğer unsurlar ise; kalite, donatım, imalat tipi, binalar, malzeme taşımadır (Karayalçın, 1979: 378). Bu etkenlerin her birini en iyi koşulları sağlayacak şekilde maksimum fayda ile bir araya getirmek imkansızdır. Fakat yerleştirme sorunu çözülürken mümkün olan en iyi yerleştirmenin gerçekleştirilmesine önem gösterilmesi gerekir.

1.1.2. İş Yeri Yerleşim Tipleri

İşletmeler üretilen ürün, fabrika yeri seçimi, fabrikanın kapasitesi gibi kritik kararlarının ardından üreteceği ürünün niteliğine göre değişen, mantığa ve amaçlara en uygun olan iş yeri yerleşim biçimini seçme aşamasına gelirler.

Bu aşamada üretim faaliyetlerini düzenlemek, iş akışını kolaylaştırmak, iş akışlarında geri dönüşümleri minimize etmek, üretim süresini makul kılmak, ara stokları minimize etmek ve darboğaz olan işlemleri kontrolde tutmak gibi iş yeri yerleşiminden kaynaklanan sorunların üstesinden gelerek yerleştirmeden kaynaklanan maliyetleri ve işlem verimliliğini arttırmak amaçlanır (Çelikçapa, 1998: 50). Yerleştirme tipleri ürünün cinsi ve kütlesine bakarak başlıca üç şekilde gruplandırılabilir.

1.1.2.1. Prosese Göre Yerleşim

Bu tip yerleşimde imalatı gerçekleştirecek donatımın tipi ve karakteristikleri önemli rol oynar. Genel itibari ile prosese göre ayrılımda şu şekilde gerçekleşir: talaş kaldırma, freze, kaynak, pres gibi çeşitli bölümler ile meydana gelir. Sipariş üzerine değişik ürünlerin üretimini yapan işletmeler bu yerleşimi kullanır. Yerleşim yapılırken çeşitli işlem elemanlarının en önemlisinin ekonomik ve faydalı yerleştirilmesi önemlidir (Demir, 1987: 28). Bu tip yerleşimin avantajları şöyle sıralanabilir.

- Donanıma harcanacak yatırım maliyeti azdır.
- Üretim imkanları geniştir. Tezgahlar universal olduğundan aynı üretim dalında her türlü üretimin gerçekleştirilmesine olanak tanınır.
- Tezgahların başında bulunana çalışanlar işlerinde uzmanlaşmış kişilerdir. İmalattaki sorunları çözebilecek teknik becerilere sahiptirler.
- Çalışanlar devamlı aynı işi yapmadığından motivasyon düzeyleri yüksektir.

Aynı yerleşim biçiminin avantajlarının yanında bazı dezavantajlarda meydana getirir.

- Bu tip yerleşimde prosesler arasında ara mamullerin taşınması masraflı ve zaman alıcıdır.
- İşlemler arasında ara stok seviyesi yüksektir.
- Makine ve işçilerin işlere dağılımını programlamak zordur. Çalışanlar veya makineler atıl bekleyebilir.
- Aynı tip mamulün üretilmesi farklı zamanlar alabilir.
- Toplam üretim miktarı uzundur.

1.1.2.2. Mamule Göre Yerleşim

İmalatı gerçekleştirecek donatımın yerleştirilmesinde mamule uygulanacak işlemlerin önemli rol oynadığı yerleşim tipidir. Sürekli üretime uygun bir yerleşim biçimidir (Mucuk, 1980; 40). İşletmede üretilen her ürün için ayrı üretim hattı kurulur. Bu yerleşim düzeninde makine ve ekipmanların dizilimi mamule yapılacak işlemler göz önüne alınarak dizilim gerçekleşir. Ürüne ait parçalar bir işlemde peşi sıra olan diğer işleme geçerek üretim gerçekleştirilir. Üretilen toplam ürün sayısını en yavaş işleyen iş belirler. Üretim de az çeşitte standart ürünleri yüksek miktarlarda üreten işletmeler bu yerleşim tipini seçerler. Bu yerleşim tipinde iş istasyonları arasında gecikmeler, ara stok yığılmaları, işlem sürelerinin farklı olması gibi sorunların üstesinden gelme bilmesi için montaj hatlarının dengelenmesi gerekmektedir. Bu yerleşim tipi ile sağlanan başlıca avantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Taşımadan kaynaklanan maliyetler, fireler azalır.
- Mamulün üretim zamanı standartlaştırılabilir ve birim mamulün üretim süresi diğer yöntemlere göre küçüktür.
- İşlemler basitleştirilmiş olduğundan vasıfsız çalışanlar kullanılabilir.
- Fabrika içinde yer alan yarımamül stoku azdır.

- Üretimin gerçekleştirilmesi için daha az yer yeterlidir.
- Üretim planlama ve kontrol işlemleri daha basit ve kolay yapılabilir.
- Fabrika içinde iş akışı düzgün ve rasyoneldir.

Bu avantajların yanında yerleşim tipine ait dezavantajlar da mevcuttur. Yerleşim tipine ait dezavantajlar ise aşağıdaki gibi sıralana bilir.

- Tek bir ürüne yönelik uzmanlaşma sonucu esneklik azdır.
- Makineler spesifik amaçlı olduğundan makinelerin temin edilme süreci zahmetli ve pahalıdır. Bu yüzden yatırım maliyetleri yüksektir.
- Kritik iş istasyonunda meydana gelebilecek aksaklık tüm üretime etki eder.
- İş istasyonları arasında koordinasyonu sağlamak kolay olmayabilir.

1.1.2.3. Sabit Pozisyonlu Yerleşim

Üretimi gerçekleştirilecek taşınamayacak ürünlerin üretilmesinde kullanılan yöntemdir. Bu yerleşim türünde ürün ve ürüne ait malzemeler taşıyamayacağı kadar ağır veya hacimli olduğundan ürün olduğu yerde imal edilir. Aletler, işçiler ve diğer malzemeler ürünün etrafına konumlandırılır.

Birim üretim, ürünün niteliğinden kaynaklanan talep düşüklüğü olduğu durumlarda kullanılır (Koçer, 1974; 167). Uçak , gemi, baraj gibi büyük hacimli ve ağır ürünler bu tip yerleşim düzeni ile üretilir. Bu yerleşim tipinin avantajları şöyle sıralanabilir.

- Malzeme hareketi düşüktür.
- Çalışanların çalışma alanları belli olduğundan. İşin tamamlanmasına göre kontrol ve gözlem rahat yapılabilir.

Bu avantajların yanında yerleştirme tipinin getirmiş olduğu dezavantajlarda vardır.

- Malzeme ve çalışanların mamulün bulunduğu yere konumlandırmak pahalı ve zor olabilir.
- Çalışanların işlerinde uzman olmaları gerekmektedir.
- Makine ve teçhizattan yararlanama oranı düşüktür.
- Bu tür yerleşim tipinde büyük enseliğe sahiptir (Hulusi, 1987: 186).

Görüldüğü gibi her üretim tipinin bazı avantajlarının olduğu gibi diğer yandan dezavantajları mevcuttur. Bu dengeyi sağlamak için karma bir yerleşim tipi çoğu işletmeye göre uygundur. İşletmeye göre en uygun yerleşim tipi taşıma maliyetini düşük tutacak bir yerleşimdir. Çünkü üç yerleşim tipini bir birinden ayıran en önemli fark işlerin ve malzemenin taşıma şeklidir. Yanlış bir yerleşim düzeni işletmedeki iş akışını arttıracaktır.

1.2. Üretilen Mamulün Cinsine Göre

Üretim sisteminde yer alan mamuller elde edilme kaynağı aşağıdaki gibi gruplandırılabilir.

1.2.1. Birincil Üretim

Doğada ham olarak var olan elementleri girdi olarak kullanarak üretimlerini gerçekleştiren işletmelerin sahip olduğu üretim tipidir. Petrol, orman ürünleri, balıkçılık, kömür, bakır ve demir gibi üretim gerçekleştiren işletmelerin üretim tipi bu sınıfta yer alır.

1.2.2. Dönüştürücü Üretim

Doğada var olan bazı ürünlerin işlenerek parçalanıp veya ayrıştırılıp başka mamullere dönüştürülmesidir. Ham petrolün mazot, benzin ve diğer petrol ürünlerine dönüştürülmesi bu üretim grubuna örnek olabilir.

1.2.3. Sentetik Üretim

Doğada var olan bazı maddelere üretim esnasında bazı kimyasal maddeler eklenerek yeni mamuller üreten üretim tipidir. Plastik ve cam üretimi bu gruba örnek teşkil eder.

1.2.4. İmale Dayalı Üretim

Yukarıda yer alan üretim tiplerinde biri ile elde edilmiş mamulleri şekil vererek üreten sistemler bu gruba dahil olurlar. Torna, döküm imalatı yapan işletmeler bu gruba dahil olurlar.

1.2.5. Montaj Üretimi

Yukarıda sistemler ile üretilen mamullerin tamamı veya bir kısmının ürettiği ürünlerin hammadde olarak girdiği ve bu hammaddeler üzerine sistematik şekilde işlemler uygulandığı üretim sistemidir. Bu üretim tipine sahip sistemlerde ürünler bünyelerinde büyük miktarda bileşeni barındırırlar. Ayrıca bu ürünlere ait taleplerde büyük miktardadır.

1.3. Üretim Miktarına Göre

Üretim sistemi oluşturulurken işletmelerdeki üretim miktarı sisteme doğrudan etki edecek değişiklikler meydana getirmektedir. İstenilen üretim miktarını üretecek makineler, çalışanlar ve üretim yöntemleri üretim sistemlerini değiştirecektir. Bu sistemleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz (Tekin, 1999: 32).

1.3.1. Siparişe Göre Üretim

Her bir müşterinin tasarım, miktar, zaman ve kalite bakımından özel olarak belirlediği bir mamulün üretilmesinde kullanılır. üretilen her bir sipariş için ürünler ayrı bir işlem sırası ve sayısı üzerinden üretimlerini tamamlarlar. Gemi üretimi, büyük kazanlar, özel cihazlar, prototip ürünler için bu üretim yöntemi kullanılır.

1.3.2. Parti Üretim Sistemleri

Üretilen mamulün belirli miktarlarda bir sefere mahsus veya belirli aralıklar ile partiler halinde üretilmesidir. Bir parti mamulün üretilmesinden makine ve çalışanlar başka bir parti mal üretilmesi için ayarlanır. Üretim sistemi düşük üretim düzeyinde kalırken aynı zamanda üretim değişikliğine imkan sağlayan esnekliğe de sahiptir (Tavukçuoğlu, 1999; 23).

1.3.3. Sürekli Üretim

Üretimde kullanılan üretim faktörlerinin belirli mamulün üretilmesinde kullanıldığı sistemlerdir. Belirli bir üretimin sürekli olması nedeni ile standartlandırılmış işlemler üretimi gerçekleştirir. Bu sistemde üretimi gerçekleştiren özel amaçlı tezgahlardan yararlanma oranı oldukça yüksektir. Tezgahlar fabrika içinde mamulün üretilmesi için gerekli olan işlemlerin sırasına göreler. Bu yüzden üretim türünde meydana gelebilecek bir değişimi sisteme uydurabilmek için uzun bir adaptasyon sürecine ihtiyaç vardır. Dolayısı ile sistemin esnekliği zayıftır. Tezgahların birinde meydana gelebilecek bir aksaklık üretimin durmasına neden olacaktır. Bu yüzden böyle üretim sistemlerine sahip işletmelerde önleyici bakım faaliyetleri kritik önem taşımaktadır.

1.3.4. Proje Üretimi

Belirli bir mamulün yalnız bir kez üretilmesi için işgücü ve makinelerin bir araya getirildiği üretim sistemleridir. Uydu, uçak, baraj ve gemi yapımı proje üretimi tipine girer. Bu üretim tipinde kullanılan ekipmanlar ürün için özel dizayn edilmiş olup maliyetleri yüksektir ayrıca ürünlerin birim fiyatı çok yüksektir. İşlemlerin yapılabilmesi için işlerin üretim başlamadan önce öncelikleri belirlenmeli ve planlar yapılmalıdır.

1.4. Üretim Sistemlerinde Malzeme Taşıma

İşletmeler üretimde gerekli olan malzemeleri ve üretim esnasında yarı mamul olan ürünleri bir birimden diğer bir birime taşırlar. Bu amaca uygun çeşitli özellikleri üzerinde barındıran taşıma sistemleri mevcuttur. Bu sistemlerin seçimi taşıma

hareketlerinin ve yerleşim düzeninin başarılı olmasına direk etki eder. Malzeme taşıma görülmeyen bir maliyet kalemi olarak toplam maliyeti etkiler. Bu maliyeti optimum düzeyde tutabilmek için ürün depoları, mamul ara depolarının konumu, taşımanın cinsi, performansı, taşıma miktarı gibi etkenler önemli rol oynar. Taşımada kullanılacak araç ve yöntemleri ise taşınacak malzemenin miktarının yanında malzemenin özelliği, taşıma yapılacak yerin uzaklığı gibi unsurlar belirler. Bu unsurlar göz önüne alınarak üretimde başlıca üç çeşit taşıma aracı belirlenir.

Vinç: Ağır yüklerin bir noktadan diğerine taşınmasını sağlar. Sınırlı alanda işlem görür. Genelde sabit pozisyonlu yerleşimde kullanılır.

Yığıma Makineleri: Çok sayıda yükü düzenli ve yüksek kütleler halinde yığmaya yarayan makinelerdir. Sınırlı alanda çalışabilir. Depolarda veya yükleme ambarlarında kullanılır.

Forklift: Mamul ve yarı mamulleri fabrika içinde taşımaya yarayan araçtır. Hacim olarak sığabilecek her yerde taşıma yapabilir. Bu taşımanın yapılabilmesi için fabrikanın bu aracın geçişlerine olanak tanıyan yerleşim düzeninde olması gereklidir. Prosese göre yerleşime uygun bir taşıma aracıdır.

Konveyör Bantları: Belirli bir alanda bulunan hammadde veya yarı mamulü başka bir birime taşımada kullanılır. Bu taşıma sisteminin ekonomik olabilmesi için malzemedeki devamlılığın ve akıcılık gereksinimi olması lazımdır. Sabit bir rotada çalışır. Mamule göre yerleşim tipine uygun bir taşıma tipidir.

BÖLÜM 2 : MONTAJ HATLARI VE HAT DENGELEME

Montaj hatları benzer veya aynı yapıya sahip ürünlerin büyük miktarlarda üretilmesi esnasında ortaya çıkan bir durumdur (Ayanoğlu, 2004;112). Taylor'un öncülüğünde, işlerin görülürken parçalara ayrılarak ayrı ayrı yapılmasının işlemleri basitleştirdiği, üretim hızını arttırdığı ve maliyetleri düşürdüğü görüşü ortaya çıkmıştır. Buradan yola çıkılarak üretim, hareket kabiliyetine sahip bir hat etrafında iş istasyonlarının kurulu olduğu bir sistem üzerinde gerçekleştirilir. Ürüne ait malzemelerin hareketli bantlar üzerinde transfer edilirken, işgücü ve robotlar sayesinde ürüne yapılan işlemlerin aralarında öncelik ilişkileri oluşturularak üretimin gerçekleşeceği sisteme "montaj hattı" denir (Erkut;1997: 350).

İşlemleri yapacak olan çalışanlar veya makinelerin bir biri ardına montaj bandının etrafında sıralanması montaj hattını oluşturur. Hat boyunca mamul ve yarı mamuller istasyonlar arasında yer değiştirerek üzerinde işlemler yapılır (Gökçen, 1994).

Montaj hatları yapıları itibari ile işlemleri yapacak çalışanların veya makinelerin yer değiştirdiği hatlardan meydana gelebileceği gibi montaj işleminin elektrikli bir motor tarafından ilerleyen bir bant üzerinde yapıldığı konveyör bantlardan da meydana gelebilir. İş istasyonunda bulunan çalışanlar veya robotlar hareketli bant üzerinde gelen yarı mamulü gerek hat üzerinde gerekse hattın kısa bir süre alarak kendilerine ait olan iş ile ilgili işlemlerini ürüne uygularlar. Bu süreç hat boyunca uygulanarak hat sonunda ürün tamamlanmış olarak hattın düşer.

2.1. Montaj Hatlarının İşletmelere Sağladığı Avantajlar

İşletmeler montaj hatlarında mamulün konveyör sayesinde taşınmasından, taşıma esnasındaki meydana gelebilecek çizilme, kırılma, deforme olma gibi etkilerden büyük ölçüde tasarruf sağlar. Montaj hattının olmadığı durumlarda işletmeler ara stokları bir istasyondan başka bir istasyona paletler üzerinde fabrika içi taşıma araçları veya işlerin kas gücü ile yaparlar. bu da fireleri artırıcı bir etmendir.

Montaj hatları boyunca bulunan iş istasyonlarına işler eşit biçimde dağıtılacağı için işgücü dengelenmesi yapılmış olur. buda çalışanlar arasında meydana gelebilecek

huzursuzlukları ve motivasyon düşüklüğünü engeller. Ayrıca işlerin sabit istasyonlarda yapılması yapılan iş üstünde uzmanlaşmayı doğuracak buda toplam üretim miktarında bir artış meydana getirecektir.

2.2. Hat Dengeleme Problemi ve Özellikleri

Denge bir üretim veya montaj hattının tasarımında en temel konusudur. Montaj hattı tasarlandığında veya dengelenmek istendiğinde hatta yapılması gerekli olan işlerin işlem sürelerinin eşit olmadığı görülür. Bu da çalışmanın konusunu oluşturan problemin ortaya çıkmasına neden olur. Problemin çıkış noktasından da anlaşılacağı gibi buradaki amaç farklı sürelerle sahip işleri istenilen üretim düzeyi veya imkanlar dahilinde istenilen iş gruplaştırılması (iş istasyonu) sayısı çerçevesinde, iş istasyonları arasında mümkün olan en düşük süre farkı ile hattın verimli halde çalışırılığını sağlamak bilmektir. Ürünler genelde birkaç montaj işlemi gerektiren parçadan oluşur. Bu parçalarında bir çoğu yine başka parçaların montajından oluşur. Bu montajları gerçekleştirmek için ürün birçok işlemde geçer. Bu işlemler esnasında işlerin, kayıp zamanları indirgeyecek biçimde istenen sayıdaki iş istasyonlarına atanması işlemine “Montaj Hattı Dengeleme” denir (Top, 1997).

Eğer üretilen mamulün işgücü maliyeti yüksekse öncelikle işgücünün maksimum kullanımı gereklidir. Bununla beraber makinelerin oluşturduğu maliyet çok yüksekse amaç, makine kapasitelerinden en iyi şekilde yararlanmak olacaktır. İşlem için minimum zaman ve maliyet değerleri hat dengeleme ile gerçekleştirilecektir

Montaj hatlarının dengelenmesi konusu statik olmayan taleplerinin etkin olduğu günümüzde işletmelerde değişen üretim hızının verimli biçimde işletmeye adapte edilmesine de olanak sağlayarak montaj hattını barındıran bir çok sektörde önem taşır. Ayrıca üretim hattı dengelenirken çalışanların yaptıkları iş yükü de dengeleneceği için yüksek üretim miktarları ile birlikte ürünlerde kaliteyi de olumlu yönde etkileyecektir.

2.3. Montaj Hatlarını Dengelemenin Amaçları

Montaj hatları yapısı itibari ile üretimin yığın olarak gerçekleştirildiği işletmelerin üretim sistemlerinin önemli ve vazgeçilmez bir parçasıdır. Çoğunlukla ilerleyen

bantlar üzerinde ürünün ilerlemesine imkan sağlayan bu hatlar üzerinde birbirini takip eden birden fazla iş istasyonunu içerir. Bu iş istasyonlarında mamul üzerine yapılan işlemler veya parça eklemeleri sayesinde ürün adım adım tamamlanma aşamasına gelerek hat sonunda bitmiş durumunu alır. Bu sistemin işletmelerde kurulması ile hedeflenen amaçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Üretim esnasındaki boş süreleri ve denge kayıplarını düşürmek
- İnsan gücünü verimli kullanmak.
- Makinelere yararlanma oranlarını yüksek tutmak.
- Ürün üzerinde yapılan işlemlerde en düşük süreyi yakalamak.
- Ürün tamamlanması esnasındaki atıl malzeme kullanımını engellemek.
- Malzeme akışını verimli kılmak. Düzenli bir malzeme akışını sağlamak.
- Hatta kurulacak olan iş istasyonu sayısında optimum sayıyı yakalamak.
- İşleri istasyonlar arasında dengeli biçimde dağıtmak
- Hat işleme maliyetini düşük düzeyde tutmak.
- Denge kayıplarını iş istasyonlarına yaymak.
- İşletmenin kapasitesini zorlamadan istenilen üretim seviyesini yakalamak.

2.4. Montaj Hattındaki İşgücünün Dengelemedeki Rolü

Montaj hattında dengeleme işlemi yapılırken işlemlerin sürelerine ve önceliklerine bakılarak oluşturulur. Bununla birlikte işleri gören çalışanların iş yüklerinin de eşit olması sağlanmalıdır. Bu sağlanmaz ise çalışanlar arasında motivasyon eksikliği yaratarak montaj hattının dengelenmesi ile oluşması gereken iyileşme sonuçları verimli

olarak alınmayacaktır. Çalışanların iş yükünün dengelenmesi için başvurulacak yöntemler kısaca şunlardır.

- Bir işçi bir veya birden fazla tezgahda da çalışabilir.
- Kısa süreli işlemler bir gücü kullanılarak gerçekleştirilebilir.
- İş yükü fazla olan istasyondaki işçiler dinlendirilerek çalıştırılabilir.
- Çalışanlar arasındaki huzursuzluğu engellemek için istasyonlar arasında dönüşümlü olarak iş değişiklikleri sağlanabilir.

2.5. Hat Dengelemedeki Kısıtlar

Montaj hatlarının dengelenmesi esnasında dengeleme yapılmasını engelleyen bazı kısıtlar vardır. Bu kısıtlar dengeleme işleminin seyirinde önemli rol oynar. Aşağıda dengelemeyi etkileyen kısıtlar açıklanmıştır.

2.5.1. Çevrim Süresi

İşletmenin planlanmış yıllık, aylık, haftalık veya günlük üretim düzeyi çerçevesinde belirlenmiş değer istasyonlara atanacak olan işlemlerin toplam süresinin sınırını teşkil eder. Diğer bir deyiş ile ürünün bir iş istasyonuna girdiği süre ile çıktığı süre arasındaki farklıdır. Eğer bu süre aşılar ise hat dengeleme sonucun elde etmek istediğimiz sonuçların dışına çıkmış oluruz. Böylelikle hedeflerden sapılmış olur.

2.5.2. Öncelik İlişkileri

Ürünün montaj aşamasında parçalara ayrılan montaj işi ürünün bütünlük içinde tamamlanabilmesi için belirli bir sıra dahilinde birleştirilmesi gereklidir. Dolayısı ile istasyonlara işlerin atanması yapılırken öncelik ilişkisi dahilinde atama yapılmalıdır.

2.5.3. Hareket Kısıdı

Bu kısıt bantta işlem yapan çalışanların bant üzerindeki ürüne, ürünün yapısından hattın durumdan kaynaklanan işçilerin ürüne istedikleri gibi müdahale edememelerinden kaynaklanır. Bu kısıt üretim hattında büyük hacimli ürünler işlem gören montaj hatlarında ortaya çıkar. Örneğin otomobil imalatı yapan bir bantta ki çalışanın otomobilin diğer yanına müdahale etmek istediğinde şartlar gereği bunu zor gerçekleştirecektir veya gerçekleştirse bile uzun zaman kaybına uğrayacaktır. Bunun önüne geçebilmek için ise diğer tarafta da çalışan daha yerleştirilebilir.

Alt-üst konum kısıdı: montaj işlemleri esnasında bazı ağır, yüksek veya büyük hacimli nesnelerin alt veya üst kısmında işlem yapılmak istene bilir bu durumda işlem yapılmak istenen noktalara erişmek oldukça zordur. Böyle durumlarda karşılaşıldığında işlemin yapıldığı istasyona gerekli düzenekler kurularak ya ürün ters çevrilir veya bir asansör yardımı ile çalışan işlem yapmak isteği noktaya çıkartılarak işlemlerin yapıla bilirliliği sağlanır. Tahmin edilebileceği gibi her istasyona bu işlemi yapacak donanımı yerleştirmek işletme açısından ekonomik olmayacağından bu işlemi gerektirir işleri aynı iş istasyonlarında toplamak daha mantıklı olacaktır.

2.5.4. Makinelerin Hareket Kısıdı

Montaj işleminin gerçekleştirilmesinde kullanılan belirli hacme sahip makineler ve diğer ekipmanlar yapı gereği sabit olabilir. Bu durumda hattın dengelenmesi durumunda yerleri değiştirilemez

2.5.5. Kritik İstasyonların Durumu

Montaj hattı dizayn edilirken veya tekrar dengelenmek istenildiğinde hattaki bazı istasyonların montaj sürelerinin, çevrim süresinden düşük olması istenebilir. Bu durum genelde muhtemel aksaklıkların yaşanabileceği istasyonlarda istenir. Böylece bu istasyonlar ki bir aksaklık olsa da çevrim süresine erişmediği için toplam üretim miktarında bir sapma meydana getirmeyecektir.

2.5.6. Aynı İstasyonda Olması Gereken İşler

Bazı iş yapıları gereği farklı işler olmasına rağmen aynı tesisat yardımı ile meydana getirilir. Böyle durumlarda o işlerin gerekli donanıma sahip olan tek bir çalışan tarafından yapılacağından aynı istasyonda toplanması gereklidir.

2.5.7. Aynı İstasyonda Olmaması Gereken İşler

Yukarıdaki açıklamanın tersine bazı durumlarda da işlerin aynı istasyonda olmaması istenir. Bu durumunun istenmesinin nedeni ise işler arasındaki uyumsuzluk veya işgücüne aşırı yüklenmedir. Örneğin çok ağır koşulları olan iki işi tek bir istasyona koymak buradaki çalışana olumsuz etkileyecektir.

2.6. Montaj Hatlarının Dengelemesinde Kullanılan Temel Kavramlar

2.6.1. İş Elemanı

İş elemanları; yapılacak işin en küçük parçaları veya bu parçaların toplamından oluşurlar ve bu öğeler toplam işin bölünmüş parçasıdır. Diğer bir görüşe göre iş ögesi; montajcılar arasında gereksiz karışıklıklara neden olmadan, iki veya daha fazla işçi arasında paylaşılması olanaksız en küçük iş birimidir. Toplamda ürünü meydana getirecek işlerin çıkarılmasıdır. İşin toplamını meydana getiren parçaların her birimidir.

2.6.2. İş İstasyonu

İşlerin belirli koşullar dahilinde atandığı işten veya iş topluluklarından oluşan alanlardır. Bir iş istasyonunda genellikle bir çalışanı bulunur ve çalışanın bu işleri yapmasına yarayan montaj veya işlem elemanları ile donanımlandırılmıştır. Montaj hatlarına sahip işletmelerde iş istasyonları toplamında yapılan iş ürünü meydana getirir. İş istasyonları genelde içinde bir çalışanı barındırandan elemanlar olarak bilinir

2.6.3. Toplam İş Süresi

Hat boyunca ürünün gerçekleştirilebilmesi yapılması gereken işlemlerin standartlandırılmış işlem sürelerinin toplamından meydana gelir. Hattın başından ilk hammadde olarak giren ürünün hat sonunda mamul olarak kat ettiği yolda harcadığı zamanda denilebilir.

2.6.4. İş İstasyonu Süresi

İş istasyonuna atanmış olan işlerin işlem sürelerinin toplam süresinden elde edilen süredir. Bir ürün iş istasyonuna girdiği andan itibaren o istasyondan çıkış zamanına kadar geçen süredir de denilebilir. İş istasyonunun süresi istenilen çevrim süresini aşamaz.

2.6.5. Çevrim süresi

Çevrim süresi (cycle time), montaj hattındaki iş istasyonları arasında en yüksek olan iş istasyonunun süresine denir. Üretim hattında her çevrim süresi sonunda banttın bir montajı tamamlanmış ürün çıkar. Bu süre içerisinde iş istasyonundaki çalışanlar işlemlerini bitirme zorundadırlar. Çevrim süresi sayesinde ön görülen üretim miktarına ulaşmak oldukça kolaydır. Yetkililer talep edilen miktara bağlı olarak çevrim süresini azaltıp artırarak ulaşmak istedikleri üretim seviyesine dengeli biçimde erişebilirler. Tanımdan da anlaşılacağı gibi çevrim süresi hatta bulunan istasyonlar arasında en uzun zamana sahip iş istasyonunkine eşittir. Üretilmek istenen ürün miktarından yola çıkılarak çevrim süresi şu şekilde hesaplanır:

C : Çevrim Süresi

t_i : İş elemanının işlem süresi

$\sum t_i$: Hattaki iş elemanlarının sürelerinin toplamı

N : Yapılması istenen ürün sayısı. olmak üzere

$$C = \frac{\sum t_i}{N}$$

2.6.6. İş İstasyonu Boş Zamanı

Bir istasyonda işlerin tümü bitmesine rağmen diğer istasyonda işlerin bitmemesinden kaynaklanan bir bekleme meydana gelir. Buna bekleme zamanı (boş süre) diyoruz. Montaj hattı dengelemesi yapılır iken bekleme sürelerini minimum tutmak hedeflenir.

Veya Operatörlerin diğer istasyonlara kıyasla boş kalma süresidir. Hattın çevrim süresinden ölçmek istediğimiz istasyonun süresinin çıkarılması ile istasyondaki boş zaman hesaplanır. Boş zaman sembolü d_i olup; i 'nci istasyondaki boş zamanı gösterir.

$$d_i = C - t_i$$

Hat üzerinde yer alan istasyonların toplam boş sürelerini (D) hesaplamak istediğimizde ise aşağıdaki formülü kullanırız. Burada iş istasyonu sayısı (n) ile çevrim süresini çarparak elde edeceğimiz sayıdan istasyonların işlem zamanlarının toplamını çıkarırız.

$$D = n \cdot C - \sum t_i$$

2.6.7. Denge Kaybı

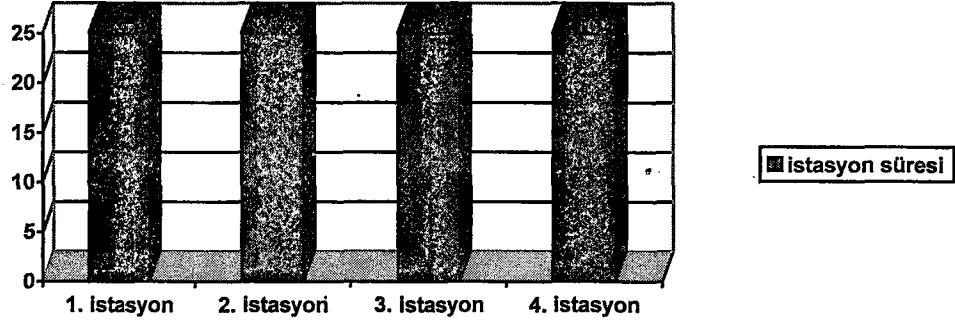
İş istasyonları oluşturulurken çevrim süresine eşitlenmek isteseler de barındırdıkları işlemlerin farklılığından kaynaklanan süre farklılıklarından dolayı toplam istasyon süreleri farklılık gösterebilir. Bazı istasyonlar çevrim süresini yakalarken bazı istasyonlar çevrim süresine erişemez. Bu durumdan kaynaklanan dengesizliğe denge kaybı denir. Denge kaybı da bu iş istasyonlarındaki ortalama boş zamanın çevrim süresine bölünmesi ile ortaya çıkar. Dengelenmiş bir istasyonda iş istasyonları süresi çevrim süresine eşit çıkar. Uygulamada böyle bir durum ile karşılaşmak mümkün değildir. Çünkü işlemler iş istasyonuna atandığında muhakkak boş süreler kalır. Dengelemedeki asıl amaç da zaten bu süreyi minimum kılmaktır.

D.K. = denge kaybı yüzdesi

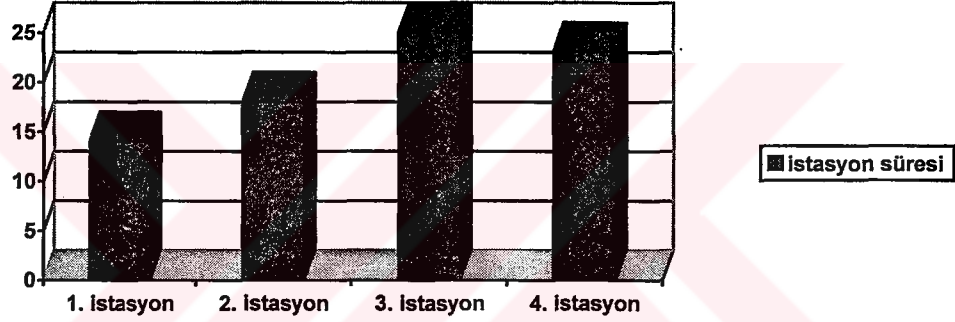
C = çevrim süresi

$$DK(\%) = \frac{(n \cdot C - \sum t_i)}{n \cdot C} \times 100$$

Şekil 1 Dört İstasyonlu Bir Montaj Hattında Tam Denge



Şekil 2 Dört İstasyonlu Bir Montaj Hattında Tam Kurulamamış Denge



Yukarıdaki şekillerde görüldüğü üzere ilk şekilde dört istasyonlu bir hatta istasyonlar arasında tam denge sağlanmış olduğundan denge kaybının sıfır çıkması beklenir. Pratikte böyle bir durumun olması beklenmez. Çünkü çevrim süresine göre istasyon sürelerinin çoğu düşük çıkma durumundadır. İkinci şekilde ise istasyonlar arasında çevrim süresinden düşük olan istasyonlar olduğu gözükmemektedir. Buradaki hatta denge kaybından söz edilebilir.

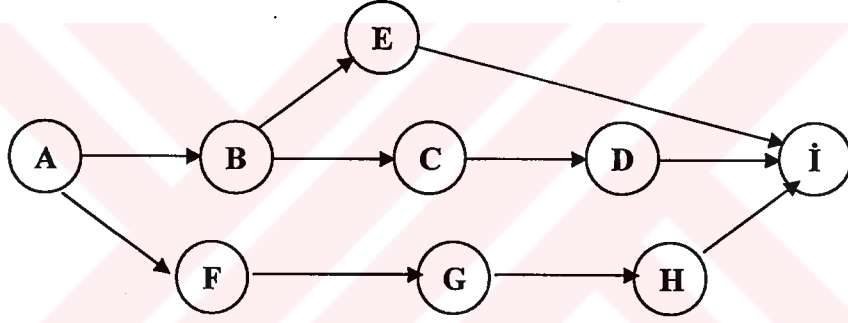
2.6.8. Teknolojik Öncelik Diyagramı

Ürünün montajının yapılabilmesi için öncelikle işlerin ayrılması ve istasyonlara dağıtılması gerektiğinden üstte bahsetmiştik. Dolayısı ile montajın gerçekleştirilebilmesi için bazı işlerin ardışık olarak birbirini takip etmesi gerekmektedir. İşlerin birbirini takip etme zorunluluğu öncelik ilişkileri olarak tanımlanır. Bu ilişkileri gösteren en basit yolu şekilsel gösterim olan öncelik diyagramıdır. Bu

diyagram sayesinde hangi işin hangisinden önce işleme alınacağı rahatlıkla gözlemlenebilir. Diyagramdaki dairelerin içindeki harf yada sayılar iş öğelerinin numaralarını gösterir. Bu numaralar verilirken işin yapılabilmesi için gerekli olan diğer işlere numara verilmiş olmasına dikkat edilmelidir. Ayrıca işlerin üzerlerinde yazan rakamlar ise o işlemin süresini göstermektedir.

Bu diyagramı bir okla birbirine bağlanmış iki iş öğesinden okun çıktığı yönde bulunanın, okun ucunda bulunan iş öğesinden daha önce işleme alınacağını gösterir. İçindeki numaralar iş öğesi numaralarını gösterir. Şekilde bir montaj hattına ilişkin öncelik diyagramı görülmektedir.

Şekil 3 Teknolojik Öncelik Diyagramı Örneği



2.6.9. Öncelik Matrisi

Yukarıda bahsi geçen öncelik diyagramının başka bir gösterim şekli ise öncelik matrisidir. Burada birbiri ile ilişkili olan ve matriste önde gelen eğer numaralı satır ile ilişkili diğer işin bulunduğu sütuna "1" bağlantısı bulunmayan diğer işlere ise "0" konur. Bu gösteriş biçimi anlaşılabilirliği zayıf olduğundan fazla kullanılmaz.

Tablo 1 Öncelik Matrisi Örneği

	A	B	C	D	E	F	G	H	İ
A	0	1	0	0	0	1	0	0	0
B	0	0	1	0	1	0	0	0	0
C	0	0	0	1	0	0	0	0	0
D	0	0	0	0	0	0	0	0	1
E	0	0	0	0	0	0	0	0	1
F	0	0	0	0	0	0	1	0	0
G	0	0	0	0	0	0	0	1	0
H	0	0	0	0	0	0	0	0	1
İ	0	0	0	0	0	0	0	0	0

2.7. Montaj Sistemleri

Montajın yapıldığı bantlarda uygulanan sistemler ikiye ayrılır. Bunlardan birincisi tek istasyonda tamamlanan montaj sistemidir. Bu sistem çalışanların montaj yaptıkları parçanın üretim hızı önemli değil ise veya parçada montajın arka arkaya seri biçimde yapılmasını gerektiren olgular içeriyorsa uygulanır. İkinci olarak, bir önceki sistemin aksine, üretiminin bir istasyondan bir istasyona akarak gerçekleştiği birden fazla istasyondan oluşan montaj sistemi mevcuttur. Bu sistem de ürün için zaman kavramı çok önemli olup ürünü gerçekleştiren işlemler parçalara ayrılabilme imkanına sahip olmalıdır. Bu tip montaj sistemlerinde bir montaj sistemi başka bir montaj sisteminin parçası olabilir.

2.8. Montaj Hatlarının Sınıflandırılması

2.8.1. Montaj Hatlarının Oluşturduğu Şekle Göre

Montajı yapılacak ürüne bağlı olarak montaj hattının şekli ve buna bağlı iş istasyonlarının yerleşim biçimi farklılık gösterir. Bunun yanında üretime bağlı olmayan üretimin yapılacağı alandan, kurulum maliyetinden ve montaj yapacak makinelerinin konumundan kaynaklanan nedenlerde montaj hatlarının dizaynında

önemli bir role sahiptir. Montaj hatlarının kurulumu esnasında bu gibi faktörlerden dolayı dizaynlar değişiklik gösterebilir.

Her problem kendi özelliklerine göre farklı koşullar altında mantıklı olan uygun yerleşim biçimi ile yerleştirilir (Kobu, 1998: 159). Örneğin işletmenin kapalı alanının yetersiz olduğu durumlarda üretim hattının fabrika içindeki boş yerlere doğru kıvrımlar çizdirilerek ilerletilmesi sağlanır. Literatürde de hattın ilerleyiş yolunun çizmiş olduğu eğri ve doğruluğuna göre isimler verilerek montaj hatlarına biçimsel birçok isimler verilir. Bunlardan başlıcaları:

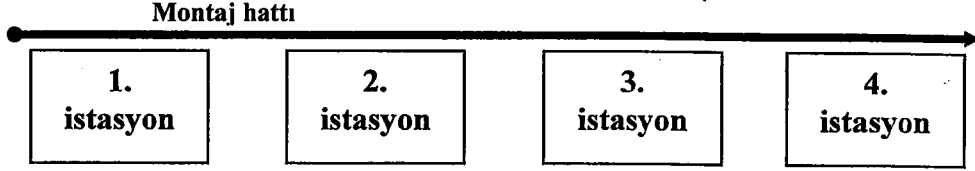
- Doğrusal montaj hatları
- U tipi montaj hatları
- tipi montaj hatları
- Z tipi montaj tipleri

Bu tip montaj hattı şekillerinin dışında bu tiplerin kombinasyonundan oluşan tiplerden de literatürde bahsedilebilir (Tekin,1999:74).

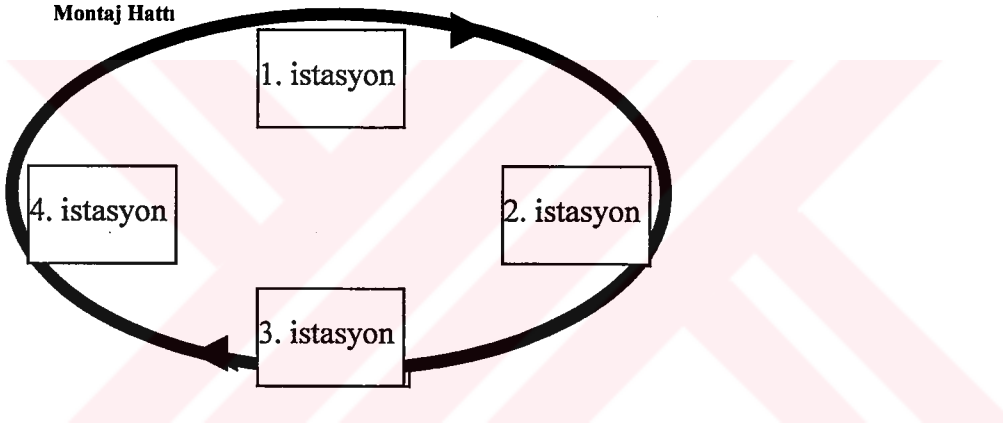
Üretimde sağladığı avantajlar ve basitliği sayesinde üretim bantlarının doğrusal olması istenir. Fakat yukarıda da belirttiğim bazı nedenlerden dolayı hatların şekillerinin doğrudan farklı şekillerde olmasının nedenlerini şöyle sıralayabiliriz. Eğer üretim yapılacak mamul birçok parçadan oluşuyorsa buna bağlı olarak montaj hattının boyuda uzun olacaktır. Dolayısı ile böyle bir hattı kapalı bir fabrika altında doğru biçiminde yerleştirmek imkansız olacaktır. Bu yüzden hattın bazı noktalarında dönüşlerin olması kaçınılmaz olur. Diğer yandan fabrikaya düz bir hat konulduğunda fabrikanın diğer yerlerinde aşırı boşluklar kalıyorsa düz bir montaj hattı başarılı bir yerleşim olmaz. Fabrikanın sahip olduğu makinelerin verimli kullanılmak istemesi de montaj hattının yerleşim şeklini etkiler. Doğrusal bir hatta makinden sadece bir noktadan yararlanılırken, u tipi bir yerleşimde makinenin konumlandırılmasından yararlanılarak makine daha verimli bir biçimde kullanılır.

Bu yerleşimlere ait şekiller aşağıdaki gibidir.

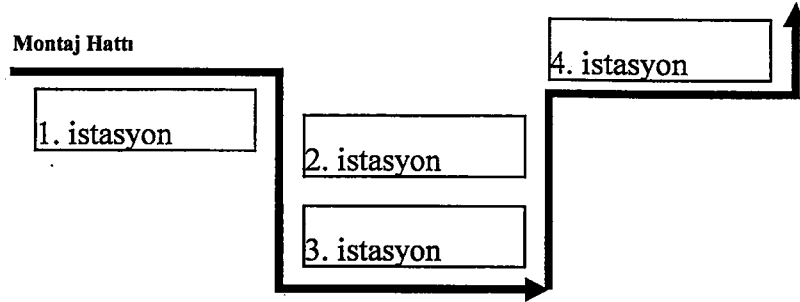
Şekil 4 Doğrusal Montaj Hattı Dizayını



Şekil 5 O Tipi Montaj Hattı Dizayını



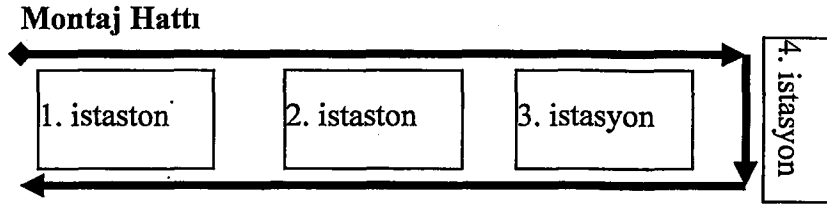
Şekil 6 Z Tipi Montaj Hattı Dizayını



U tipi montaj hattı kavramı Toyota'nın esnek üretimi gerçekleştirebilmesi için ortaya çıkmış bir hat dizilim metodudur. Bu yeni dizilimde hat düz değil u şeklinde yerleştirilir (Lai, 2003: 265). Bu hatlarda çalışacak olan işgücünün nitelikli olması

önerilir. Çalışan birden fazla işi yapmak ile görevlendirilebilir. Bu sayede üretim miktarındaki belli değişimler yapılan ufak düzenlemelerle karşılanır hale gelebilir (Ağpak, 2002: 29).

Şekil 7 U Tipi Montaj Hattı Dizayını

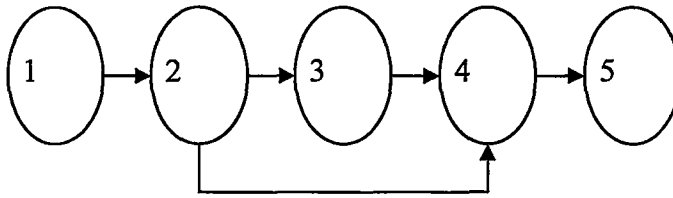


2.8.2. Montaj Hatlarında İşlerin İlerleyişine Göre

Montaj hattında yapılan ürünün niteliğine göre ürünün bazı parçaları değişik montaj aşamaları gerektirebilir. Hat boyunca bazı işlemler için geri dönülmesi, istasyon atlanması gibi özel durumlar ortaya çıkabilir.

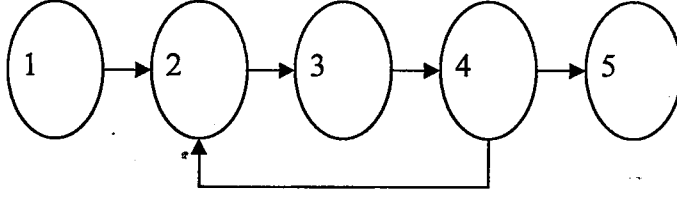
Montaj hatlarında meydana gelen çeşitli durumlara yönelik iş akışına göre çeşitlilik gösteren iş akış ve diziliş biçimleri ise aşağıdaki gibidir (Rooda, 2004; 97).

Şekil 8 By-passlı Doğrusal Montaj Montaj Hattı



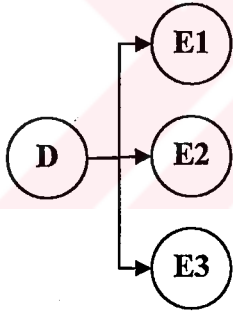
Bu şekilde bir yerleşimde bir iş istasyonunda yapılan işlem bütün ürünler üzerinde yapılmak istenemediği durumlarda uygulanır. Örneğin 3 nolu iş istasyonu otomobil üreten bir fabrikada hava yastığı takılan istasyon olarak varsayarsak otomobillerinde hava yastığı istemeyen müşterilerin araçları bu bölümden by-pass yaparak üretim bantındaki işlemlerine devam ederler.

Şekil 9 Gerilemeli Doğrusal Montaj Hattı



Bazı işlem gören ürünlerin önceki iş istasyonlara geri dönmeleri gerektiğinde kullanılan yerleşim ve iş akış tipidir. 2. istasyon boya işlemlerinin yapıldığı bir istasyon olarak var sayarsak ürene bir kısım boya uygulandıktan sonra 4. istasyonda ilaveler yapıldıktan sonra ilave olan işlemlerinde boyaya ihtiyaçları olduğunda ürün tekrar 2. istasyona gönderilir.

Şekil 10 Dağılan işler Tipi



Bir tek iş istasyonundan birden fazla iş istasyonlarına ürünün dağılması ile gözükür. Bu tür uygulama aynı montaj hattında farklı ürünler işlendiğinde görülebilir. Ürünlerin spesifik özelliklerinden dolayı bazı işlemlerde iş istasyonlarının ayrılması gerekebilir.

hattının dengelenmesi için ayrı ayrı metotlar geliştirilmiştir. Montaj hattının barındırdığı ürün sayısına göre montaj hatları; tek modelli montaj hatları, çok modelli montaj hatları ve karışık tip modelli montaj hatlarıdır.

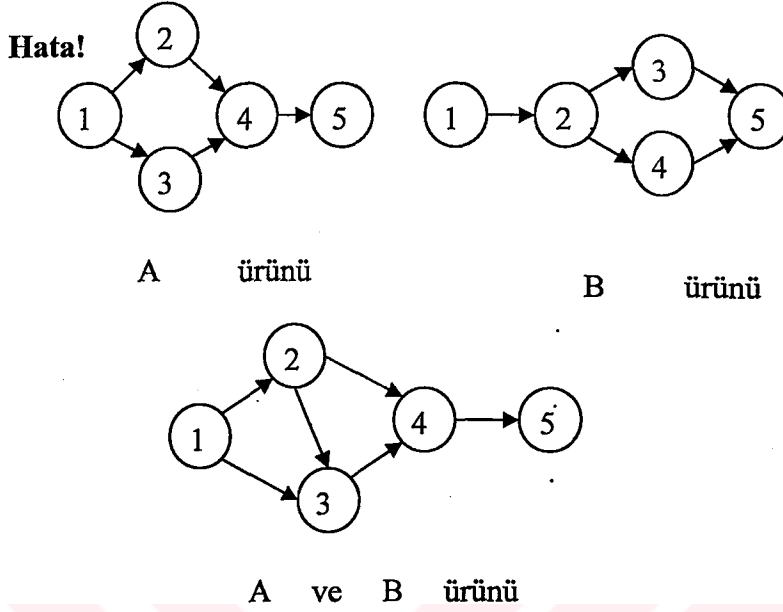
2.8.3.1. Tek Modelli Montaj Hatları

Montaj hattı boyunca tek bir modelin üretildiği montaj hatlarıdır. Uygulamamızın da konusunu teşkil eden problem tek model bir montaj hattıdır. Bu tip montaj hattında işlemler tek bir ürün üzerinden belirlenir. Önce istenen ürün miktarına bağlı çevrim süresi hesaplanır. Montaj için gerekli işlemler belirlenip öncelik diyagramlarına bağlı olarak istenen süre sınırında iş istasyonları oluşturulur. Belirlenen bu işlemler ürüne uygun olarak iş istasyonları dengelenir.

2.8.3.2. Çok Modelli Montaj Hatları

Bu tip hatlarda bir ürünün benzer tipleri veya biraz farklıklara sahip olan modeller üretilir. Üretilen modeller iş elemanı olarak çoğunlukla benzer işleri içermelidir (Sittichai ve Candace, 2001). Hattaki her ürünün talep miktarına bağlı olarak çevrim süreleri belirlenir. Montaj hatları dizayn edildikten sonra değişiklik yapılmasına uygun değildir. Her ürüne ait işlemler ve bunlara bağlı olarak iş akış diyagramları oluşturulur (Karabatı, 2003). Bu diyagramlar daha sonra tek bir diyagramda birleştirilir. Aşağıda iki ürünün akış diyagramlarının birleştirilmesine ilişkin bir örnek verilmektedir.

Şekil 13 Çok Modelli Hatlarda Akış Diyagramı Oluşturma



2.8.3.3. Karmaşık Modelli Hatlar

İki veya daha çok ürün, bir ürünün değişik türlerinin aynı anda veya karışık olarak üretildiği hatlardır. Bu hatlarda üretim değişebilen ürün niteliklerine cevap verebilecek esnekliğe sahiptir. Opsiyon seçeneklerine cevap verebilen otomobil montaj hatları bu duruma örnek gösterilebilir. Karışık modelli hatlarda modellerin özelliklerinden kaynaklanan ayrı iş parçaları buna bağlı olarak ayrı işlem süreleri sorun oluşturur. Bu sorunun üstesinden gelebilmek için daha fazla iş istasyonu kurulması gereklidir ayrıca farklı iş istasyonlarına giden montaj hatları kollarının hızları artırılıp çoğaltılarak bu dengesizlik ortada kaldırılabilir. Birden fazla farklı ürünün tek bir hatta yapılması işlemleri arttıracığından imalatı yöneltmek güç olacaktır. Bu yüzden farklı ürünlerin parti üretim ile hatta sokulmasında fayda vardır. Bu sayede kısa süreler içinde ürünlere göre hat dengelemeleri yapılarak verimlik sağlanabilir.

2.9. Montaj Hatlarındaki İş Elemanlarının Aşırı Süreleri

Montaj hatlarının dengelenmesi sırasında karşılaşılan bir diğer sorunsal montajı gerçekleştirecek olan iş istasyonlarının montaj hattına adaptasyonudur. İşlem süreleri bir birine yakın olan işleri gerçekleştiren istasyonlar arasında bu durum sorun meydana

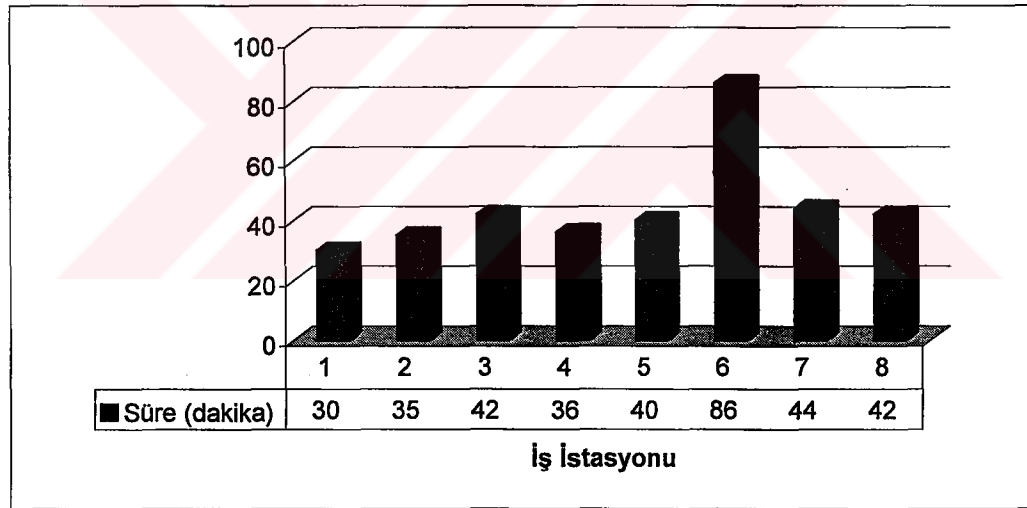
getirmese de, montaj hattı boyunca bir veya daha fazla iş istasyonunun çoğu iş istasyonuna göre aşırı işlem sürelerine sahip olması bir sorun teşkil etmektedir. Böyle durumda iki istasyon arasında yığınlar olacaktır. Bu sorunla ilgili bir örnekle vermek gerekirse:

Bir fabrikanın yıllık çalışma kapasitesi günde sekiz saat çalışma süresinden

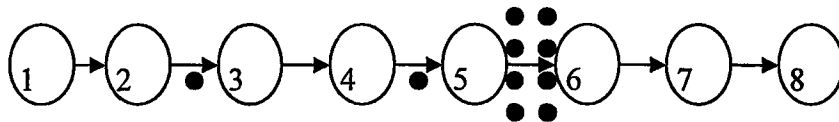
$$8 \times 365 = 2920 \text{ saat} \times 60 = 175200 \text{ dakika}$$

olsun ve fabrikadaki montaj hattında bulunan iş istasyonları ve bu iş istasyonlarındaki süreler aşağıdaki tablodaki gibi olsun. Yapılan pazar araştırmalarına göre yıllık üretim miktarı 3900 adet/ yıl olarak belirlenmiş olsun.

Tablo 2 İş istasyonlarının işlem süreleri



Şekil 14 Düzenleme Öncesi İş İstasyonlarının Dizilimi ve İş Yoğunluğu



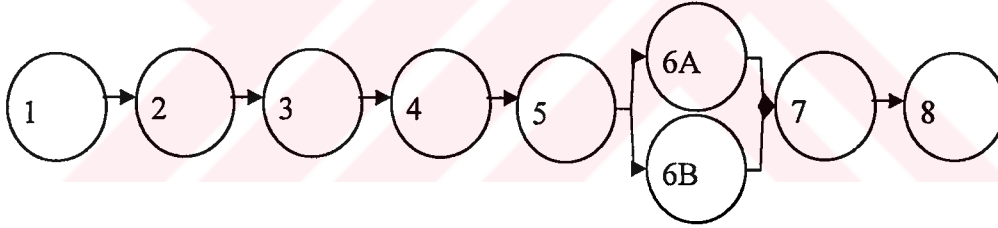
Fabrikanın böyle bir durumda üretim miktarını karşılayıp karşılayamayacağını hesaplamak gerekirse, hedeflenen çalışma süresini üretim miktarına bölmek gereklidir. Grafikten de anlaşılacağı üzere bu şartlardaki montaj hattının çevrim süresi

en uzun işlem süresine sahip olan altıncı istasyonun süresi “86 dakika” dır. Bu seviyedeki üretim miktarı ise :

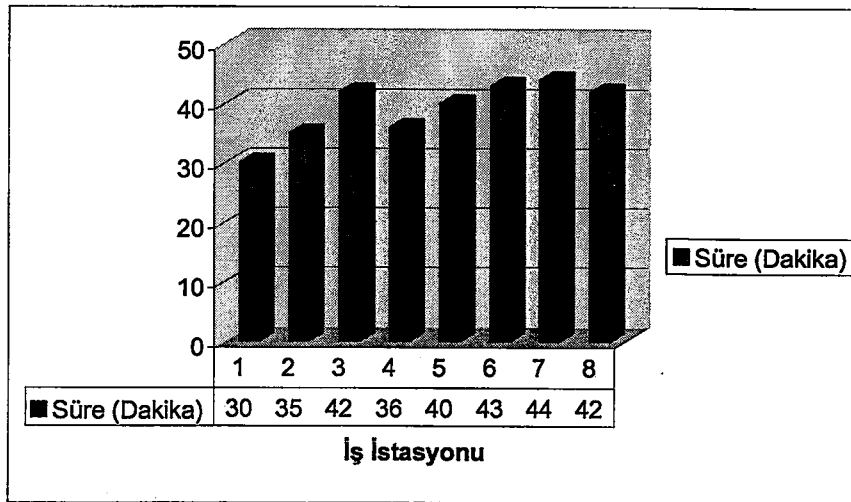
$$175200 / 86 = 2037.2 \text{ Adet / Yıl}$$

Yaklaşık 2037 adet / yıl olur. Bu üretim miktarı ise fabrikanın öngördüğü üretim miktarına ulaşmaya imkan sağlamamaktadır. Görüldüğü gibi montaj hattındaki kritik faaliyet olan 6. iş istasyonunun bulunduğu yere bir iyileşme gerekmektedir. İşlem yapılacak ürünler bu aşamaya kadar gelip bu istasyonda bir dar boğaz meydana getirir. Uzun süreye sahip bu iş istasyonunun yanına aynı işi yapan aynı donanıma sahip paralel bir montaj hattı koyarak bu sorun çözülebilir. Bu sayede 6. istasyona gelen işler ikiye bölünür ve her bir istasyon süresi aynı olduğu halde paralel olarak hatta bağlanan iki istasyonun toplam süresi bir istasyon süresinin ikiye bölümüdür. Yeni durumda montaj hattındaki iş akışını ve grafik ile işlem sürelerini aşağıdaki gibi gösterebiliriz.

Şekil 15 Düzenleme Sonrası İş İstasyonlarının Dizilimi



Tablo 3 Düzenleme Sonrası İş İstasyonlarının Süreleri



Grafikte görüldüğü üzere yapılan düzenleme ile kritik iş istasyonu olmaktan çıkmıştır ve hattın çevrim süresi 44 dakika olmuştur bu durumda öngörülen üretim düzeyinin gerçekleştirilip gerçekleştirilemeyeceğine bakılırsa:

$$175200 / 44 = 3981 \text{ adet/yıl}$$

Elde edilen yeni üretim düzeyi ile normal şartlar altında talebi karşılayacak düzeye çekilmiştir.

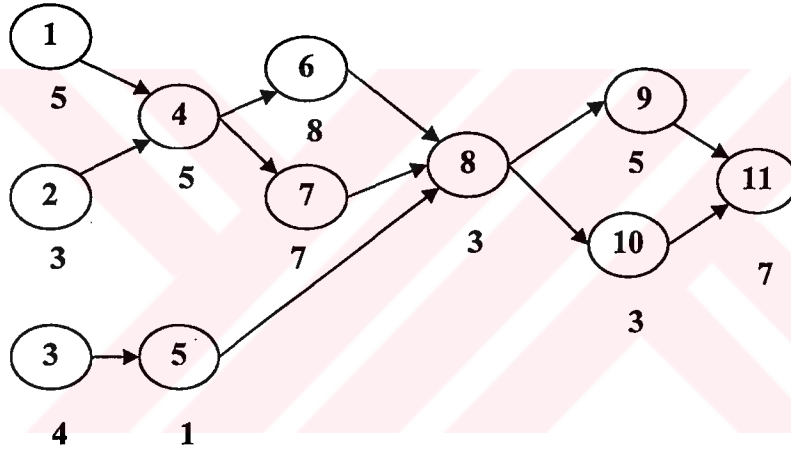
Görüldüğü gibi montaj hattının çatallaştırılması, paralelleştirilmesi gibi yöntemlerle parçalanamayacak kadar uzun işlem sürelerine sahip işler montaj hattına uygun sürelerle indirgenebilmektedir.



BÖLÜM 3 : TEK MODEL MONTAJ HATTI Dengeleme METOTLARI

Tek model montaj hattı dengeleme yöntemleri açıklanırken metotların anlatımını kolaylaştırmak için bölüm sonunda uygulama yapılacak modele uygun modelin küçük ölçeği sayılabilecek örnek montaj hattına ait 11 iş elemanı bunlara ait iş akış durumu ve öncelikleri aşağıdaki şekil ve tabloda verilmiştir. Bu örneğe ilişkin çevrim süresinin 13 dakika olduğu örneklerde kabul edilmiştir ve çözümler buna dayanılarak yapılmıştır.

Şekil 16 Örnek Montaj Hattı Öncelik Diyagramı



Tablo 4 Örnek Montaj Hattına Ait İş Elemanlarının İşlem Süreleri

İş Elemanı No	İş Elemanı Süresi (dk)
1	5
2	3
3	4
4	5
5	1
6	8
7	7
8	3
9	5
10	3
11	7
Toplam	51

3.1. Kilbridge Wester Yöntemi

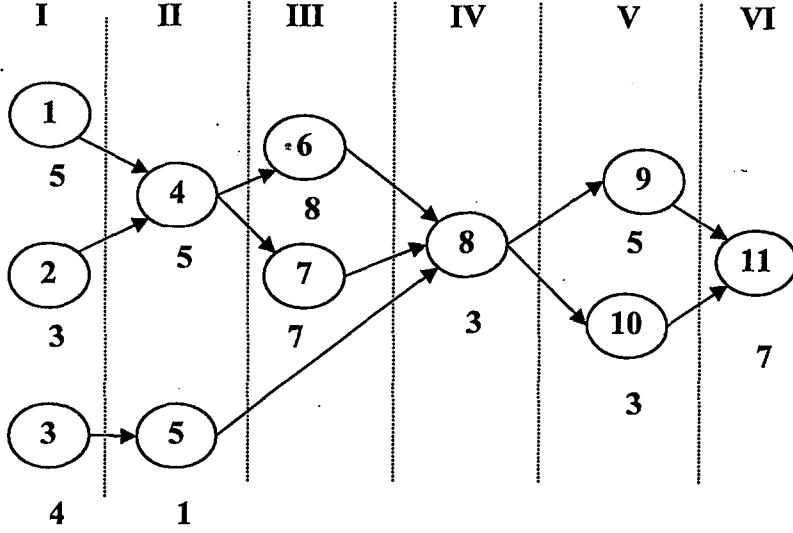
Yöntem 1962 yılında Kilbridge ve Wester tarafından geliştirilmiştir. Tek model montaj hattı dengeleme metotlarından biri olan bu yöntemin uygulanabilmesi için gerekli bilgiler şunlardır:

İşlem sayısı ve bu işlemlere ait sürelerin bilinmesi gerekir. İşlemler arasındaki öncelik ilişkilerinin bilinmesi gerekir. Teknolojik kısıtların yani hangi işlemin hangi işlemden sonra yapılabileceği çözüme geçilmeden önce bilinmelidir. Tüm bunlardan sonra planlanan üretim miktarına bağlı olarak çevrim süresinin bilinmesi gerekmektedir (Özgen, 1987; 111).

İş elemanların öncelikleri hesaba katılarak birinci gruptandırma yapılır. Bu gruptaki iş elemanları ataması tamamlandıktan öncelik olarak kalan ilk elemandan atamalar ikinci ve devamındaki gruptaki işlemlere atanır. Bu işlemlerin tamamlanmasından sonra gruplara giren işlemler tabloda belirtilerek gruplar arası değişim yapılabilecek işlemler belirlenerek tabloda belirtilir. Çevrim süresi dahilinde iş elemanları bir araya getirilerek istasyonlar meydana getirilir. Yöntem kolay ve hızlılığı açısından uygulanabilirliği fazladır. İşlemlerin öncelikleri belirtildiği için yatay transferler kolaylıkla ve hatasızca yapılabilir. Bu yöntem sonucunda elde edilen sonuç her zaman aynı çıkmayabilir buna istasyonlar arasındaki değişimler sebep olur. Atamaları yaparken mümkünse en uzun işlem süresine sahip işlemleri en önce atamakta fayda vardır. Bu sayede süre olarak düşük olan iş elemanları istasyonlar arasında rahatlıkla kaydırılabilecektir.

Yöntemin işleyişini örnek ile açıklamak gerekirse bölüm başında verdiğimiz örnekte yer alan 11 işe sahip bir montaj hattındaki öncelik diyagramı ve süreleri dikkate alınarak oluşturulan gruplar aşağıdaki gibidir.

Şekil 17 Kilbridge Wester Yöntemine Göre Gruplandırılmış İş Akışı



Diyagramdan alınan bilgilere göre en uzun süreye sahip işlem 8 dakika ile “6 ve 7” nolu iş elemanlarıdır. Çevrim süresinin bölüm başında belirtildiği gibi 13 dakika olduğunu varsayacak olursak. Montajın toplam süresi ise :

$$\sum t_i = 51 \text{ dakikadır.}$$

Bu durumda kurulması gereken en az istasyon sayısı $N = 51 / 13 = 3,92 \approx 4$ istasyon gereklidir. Mevcut Grupların durumu ise aşağıdaki tablodaki gibidir.

Tablo 5 İş Elamanlarının Gruplandırılması

Sütün	İşlem No	Yeri Değişebilen eleman	Eleman Süresi	Sütün Süresi	Toplam süre
1	1	II (5 ile)	5	12	5
	2		3		8
	3		4		12
2	4	III	5	6	17
	5		1		18
3	6		8	15	26
	7		7		33
4	8		3	3	36
5	9		5	8	41
	10		3		44
6	11		7	7	51

Toplam kolonu göz önüne alınarak toplam işlem zamanı çevrim süresine en yakın kolon olan 1. istasyonda 2. istasyondaki işler ile değişebilecek nitelikte olup olmadığına bakılıp 13 dakika olan çevrim süresini sağlayan değişiklik sağlanır. Böylelikle aşağıdaki tablo oluşturulur.

Tablo 6 5 ve 4. İş Elemanlarının Değişiminden Sonraki Durum

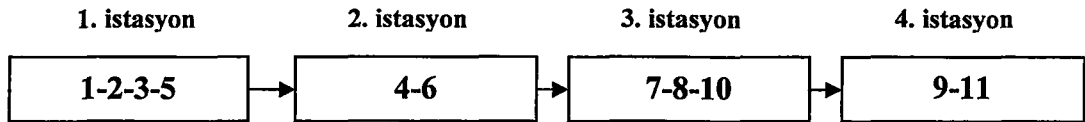
Sütün	İşlem No	Yeri Değişebilen eleman	Eleman Süresi	Sütün Süresi	Toplam süre
1	1	II (5 ile) III	5	13	5
	2		3		8
	3		4		12
	5		1		13
2	4		5	13	18
	6		8		26
3	7		7	10	33
	8		3		36
4	9		5	8	41
	10		3		44
5	11		7	7	51

Yukarıdaki tabloda 4 ve 5 elemanlarının yeri değiştikten sonra 1. istasyonun toplam süresinin 13 dakikaya ulaştığı görülür. 2. istasyonda 13 dakika süreye ulaşır. 3. istasyonda 3 dakikalık boş süre vardır. Bu süreyi de 4. istasyondan 10 nolu iş ile doldurarak dengelemeyi sağlarız.

Tablo 7 Kilbridge Wester ile Dengeleme Sonucu Oluşan Tablo

Sütün	İşlem No	Yeri Değişebilen eleman	Eleman Süresi	Sütün Süresi	Toplam süre
1	1	II (5 ile) III	5	13	5
	2		3		8
	3		4		12
	5		1		13
2	4		5	13	18
	6		8		26
3	7		7	13	33
	8		3		36
	10		3		39
4	9		5	12	44
	11		7		51

Şekil 18 Kilbridge Wester İle Oluşan İstasyonlar



Böylece 11 iş elemanı 4 istasyona tahsis edilmiş oldu. Bu tahsisin oluşan istasyonlar ve denge kaybı aşağıdaki gibidir:

$$\left((N \times c - \sum t_i) / N \times c \right) \times 100 \rightarrow (4 \times 13 - 51) / (4 \times 13) \times 100 \cong \% 01,9$$

Görüldüğü gibi bu yöntem yatay yer değiştirmelerin mümkün olduğu montaj hatlarında kolaylık sağlamaktadır. Gruplandırma yöntemi ile montaj hattının durumunu analiz eden kişi rahatlıkla kavraya bilmektedir.

Fakat bu yöntem sonucu karmaşık ilişkilerin bulunduğu durumlarda değişik çözümler elde edilebilir. Seçilen yanlış bir değişim analiz yapan kişiyi daha iyi bir çözümden döndürebilir. Bu yüzden bu yöntem karmaşık ilişkiler bulunan montaj hatlarında uygulanırken tüm olasılıklar kullanılarak sonuçlar oluşturulmalı ve sonuçlar denge kaybına göre kıyaslanarak en iyi sonuç seçilmelidir.

3.2. Salveson Metodu

1955 yılında Salveson tarafından önerilen bu model de matris kullanılarak çözüme gidilmektedir. Çevrim süresini aşmayan olası bütün kombinasyonlar iş elemanları arasında gerçekleştirilerek yazılır ve bu kombinasyonlara matrise aktarılarak en uygun kombinasyonlar boş sürelere bakılarak seçilir.

Bu metoda göre 13 dakika olan çevrim süresi dahilinde oluşan olasılıklar aşağıdaki tablodaki gibidir.

Tablo 8 Salveson Metoduna Göre Oluşan Olasılıklar

Olasılık No	Olasılıktaki İş Elemanları	Toplam Süreleri	Olasılık No	Olasılıktaki İş Elemanları	Toplam Süreleri
1	1	5	30	3-5-6	13
2	2	3	31	3-5-7	12
3	3	4	32	4-7	12
4	4	5	33	4-6	13
5	5	1	34	4-5	6
6	6	8	35	4-5-8	9
7	7	7	36	4-5-8-3	12
8	8	3	37	5-6	9
9	9	5	38	5-7	8
10	10	3	39	5-8	4
11	11	7	40	5-9	6
12	1-2	8	41	5-10	4
13	1-3	9	42	5-6-8	12
14	1-4	10	43	5-7-8	13
15	1-2-5	9	44	5-8-9	9
16	1-2-4	13	45	5-8-10	7
17	1-2-3	12	46	6-8	11
18	1-2-3-5	13	47	6-9	13
19	2-4	8	48	6-10	11
20	2-3	7	49	7-8	10
21	2-5	4	50	7-9	12
22	2-3-5	8	51	7-10	10
23	2-3-4	12	52	7-8-10	13
24	3-5	6	53	8-9	8
25	3-4	9	54	8-10	6
26	3-7	11	55	8-10-11	13
27	3-6	12	56	9-10	8
28	3-5-8	8	57	9-11	12
29	3-5-4	10	58	10-11	10

Bu olasılıklara göre oluşan matris ise aşağıdaki tablodaki gibidir.

Tablo 9 Oluşan Olasılık Matrisleri

j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
dj	8	10	9	8	12	5	6	10	8	10	6	5	4	3	4
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	X	1
3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	X
4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0

j	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
dj	0	1	0	5	6	9	5	1	7	4	2	1	5	3	0
1	1	1	1	X	0	0	0	X	0	X	X	X	X	X	X
2	1	1	1	1	1	1	1	1	0	X	X	X	X	X	X
3	0	1	1	0	1	X	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	X	X	X	1	X
5	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	X	0	1
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	X	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

j	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
dj	1	1	0	7	4	1	4	5	9	7	9	1	0	4	6
1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	1	0	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4	X	1	1	1	1	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X
5	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	0	0	1	0	X	X	1	0	X	X	X	1	X	X	X
7	1	1	0	0	X	X	0	1	X	X	X	X	1	X	X
8	0	0	0	0	1	1	0	0	1	X	X	1	1	1	1
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
10	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

j	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58
dj	2	0	2	3	1	3	0	5	7	0	5	1	3
1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
6	1	1	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7	0	X	X	1	1	1	1	X	X	X	X	X	X
8	1	X	X	1	X	X	1	1	1	1	X	X	X
9	0	1	X	0	1	0	0	1	0	X	1	1	X
10	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	X	1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1

Matrislerde X işareti koyulan yerde o kombinasyonun oluşabilmesi için daha önceden X görülen işlemin yapılması gerektiğini belirtir. Örneğin 32. olasılığı alacak olursak 4 ve 7 iş elemanlarının aynı iş istasyonunda var olabilmesi için önceden 1 ve 2 numaralı işlemlerin yapılmış olması gerekir. Bu olasılığın hesaba katılarak planlanan bir dengelemede bu işlemlerin koyulabilmesi için önceden 1 ve 2 nolu işlemin yapıldığının kontrol edilmesi lazım. Matris oluşturduktan sonra ilk boş süresi sıfır olan veya sıfıra yakın olan olasılık alınarak ilk istasyon oluşturulur. Bu istasyonda içeren işlere göre diğer istasyonlar olasılıklardan seçilir. İstasyonlar seçilirken yine boş süresi düşük olan olasılıklar içinden seçilir.

Bu modelimiz ile oluşturulan bir kombinasyon aşağıdadır.

Tablo 10 Saveson Metodu İle Oluşturulan Bir Dengeleme

j	16	24	46	50	58	TOPLAM
dj	0	7	2	1	3	
1	1	0	X	X	X	13
2	1	0	X	X	X	
3	0	1	X	X	X	
4	1	0	X	X	X	
5	0	1	X	X	X	
6	0	0	1	X	X	
7	0	0	0	1	X	
8	0	0	1	X	X	
9	0	0	0	1	X	
10	0	0	0	0	1	
11	0	0	0	0	1	

Yukarıdaki tabloda “j” satırı olasılık numarasını göstermektedir. “dj” ise bu olasılık ile oluşan istasyonun boş süresini göstermektedir. Oluşturduğumuz 58 olasılıklı matris de 1 nolu işi kapsayan boş süresi sıfır olan matris seçildi. Bunun peşinden diğer kombinasyonlar sıralandı. Sonuçta 5 iş istasyonundan oluşan 13 dakikalık boş süresi olan bir dengeleme meydana geldi. Yukarıda oluşan matristen yukarıdaki sonuç gibi bir çok sonuç çıkarılabilir. Fakat ilk olarak 18. kombinasyon seçilirse bunun peşi sıra mümkün olan, boş süreleri “0” olan diğer kombinasyonlar sıralanır ve aşağıdaki doğru sonucu elde ederiz.

Tablo 11 Saveson Metodu İle Oluşturulan Doğru Dengeleme

j	18	33	52	57	Toplam
dj	0	0	0	1	Boş S.
1	1	X	X	X	1
2	1	X	X	X	
3	1	0	X	X	
4	0	1	X	X	
5	1	0	X	X	
6	0	1	X	X	
7	0	0	1	X	
8	0	0	1	X	
9	0	0	0	1	
10	0	0	1	X	
11	0	0	0	1	

Tabloda görüldüğü üzere kombinasyondaki önceliğinde yapılması gereken işlere dikkat edilerek “0” değerleri dikkatlice takip edilecek olursa denge sağlanmış olur. Bu durumdaki istasyonlar ve işlemlerin dağılımı aşağıdaki tablo gibi olur.

Tablo 12 Salveson Metodu İle Oluşturulan İş İstasyonları

İş İstasyonu	İş Elemanları	Toplam Süre
1. İstasyon	1-2-3-5	13 dakika
2. İstasyon	4-6	13 dakika
3. İstasyon	7-8-10	13 dakika
4. İstasyon	9-11	12 dakika

Bu yöntem genel itibari ile karmaşıklığından ve anlaşılmasının güç olmasından dolayı seçilmez. Olasılıklar matrisini oluştururken yapılacak en ufak bir hata diğer işlemleride etkileyeceğinden aşırı dikkat gerektiren karmaşık bir yöntemdir. Olasılıklardan yola çıkılarak birçok dengeleme gerçekleştirilebilir. Sonuçta bunlar arasından doğrusunun bulunduğuna emin olabilmek için ikinci bir yöntem ile sonucun karşılaştırılması sonuç için iyi olacaktır

3.3. Sıralanmış Konumsal Ağırlık Metodu

1950 yılında Helgerson ve Birnie tarafından General Electric Comp.'de geliştirilmiş bir metottur. Bundan önceki bahsi geçen yöntemlere göre daha hızlıdır fakat yaklaşık sonuçlar elde edilir (Aslan, 1986: 70).

Yöntem uygulanırken hem iş elemanlarına ait özel kısıtlar hem de öncelik kısıtları göz önüne alınır (Reed, 1967: 188).

Her iş elemanının konumsal ağırlığı kendi ve kendisine bağlı diğer işlerin işlem süreleri toplanarak bulunur. Bulunan bu süreye göre iş elemanları sıralanarak konumlandırılır (Acar, 1986: 47). bu sıralamaya dayanarak konumsal ağırlığı en büyük olan iş elemanı bulunur ve bu eleman ilk sıraya konulur. İstasyon süresinden artı kalan süreye uygun ağırlık katsayısına göre başka bir işlem bu istasyona atanarak işlemler silsilesi devam ettirilir (Salvendy, 1982: 71).

Bölüm başında verilen örneğe dayanarak işlemler ve bu işlemlere göre oluşturulan konumsal ağırlıkları aşağıdaki yöntem ile hesaplanarak bu sonuçlar konumsal ağırlığa göre oluşturulmuş aşağıdaki tablodaki gibi gösterilir.

Konumsal ağırlık = İş elemanının standart süresi + iş elemanına bağlı işlemlerin standart süreleri toplamı

Tablo 13 Konumsal Ağırlıklarına Göre Sıralanmış İş Elemanları

İş Eleman No	İş Elemanı Süresi											Konumsal Ağırlığı	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		11
1	5	X			+		+	+	+	+	+	+	43
2	3		X		+		+	+	+	+	+	+	38
4	5				X		+	+	+	+	+	+	33
3	4			X		+			+	+	+	+	19
5	1					X			+	+	+	+	18
6	8						X		+	+	+	+	18
7	7							X	+	+	+	+	18
8	3								X	+	+	+	15
9	5									X		+	7
10	3										X	+	7
11	7											X	0

Tablodaki “X” ile gösterilen yerler iş elemanlarının kendilerini “+” ile gösterilen yerlerin dikeyinde yer alan iş elemanı ise o iş elemanın devamında olduğunu belirtir. Örneğin 1 nolu iş 4 nolu iş tarafından devam etmekte 6 nolu iş ise 4 nolu işten sonra devam etmektedir anlamı tablodan çıkmaktadır. Aşağıdaki tabloda elemanların kendi zamanları ve konumsal ağırlığa göre sıralanmış durumları gösterilmektedir.

Tablo 14 Sıralanmış Konumsal Ağırlık

İş Eleman No	1	2	4	3	5	6	7	8	9	10	11
İş Elemanı Süresi	5	3	5	4	1	8	7	3	5	3	7
Konumsal Ağırlığı	43	38	33	19	18	18	18	15	7	7	0

1 nolu iş elemanı konumsal ağırlığından dolayı birinci istasyona atanmalıdır. Bu atama 1. elemanın 13 dakika olan çevrim süresini aşmadığından uygundur. İkinci olarak pozisyon ağırlığı itibari ile en büyük iş elemanı 2 nolu iştir. Bu iş elemanı da 1.

istasyona atandığında çevrim süresini aşmadığından atanmasında bir sakınca yoktur. Konum ağırlığına göre 4. elaman 1. istasyona atanır. Çevrim süresi toplamda 13'e ulaştığından istasyon kapatılır ve ikinci istasyona atamalar yukarıdakine benzer gerçekleştirilerek aşağıdaki tablo elde edilir.

Tablo 15 Konumsal Ağırlık Metoduna Göre Oluşan İş İstasyonları

İş İstasyonu	Atanan İş	Konumsal Ağırlık	Önceki İş	İş Süresi	Kümülatif Süre	Boş Süre
1	1	43	-	5	5	8
	2	38	-	3	8	5
	4	33	1-2	5	13	0
2	3	19	-	4	4	9
	5	18	3	1	5	8
	6	18	4	8	13	0
3	7	18	4	7	7	6
	8	15	5-6-7	3	10	3
	10	7	8	3	13	0
4	9	7	8	5	5	8
	11	0	9-10	7	12	1

Bu metoda göre oluşan iş istasyonları önceki modeller ile oluşanlardan farklı olsa da sonuç itibari ile toplam boş sürenin aynı çıkması nedeni ile denge kaybı aynı çıkacaktır.

Bu yöntem konumsal ağırlığa bağlı kalınarak atama yaptığından bazı durumlarda sakıncalar doğurmaktadır. Çünkü bazı durumlarda öncelik sırasını bozmadan daha yüksek sonuçlar elde etmek mümkün olmaktadır.

3.4. Comsoal Yöntemi

Montaj hattı dengeleme metotlarından biri olan Comsoal (computer method of sequencing operatianos for assembly lines) Arcus tarafından 1965'te geliştirdi. Bu yöntem hattaki dengesizliklerin giderilmesi için mümkün olan çözümlerin bir bilgisayar programı yardımı ile hızlı biçimde çözülmesine dayanır. Bu yöntemde iş elamanları iş istasyonlarına atanarak dengeye gelen istasyon sayısı saptanır ve önceki denge durumu ile karşılaştırılır. Yöntemin işleme prensipleri örnek ile aşağıda açıklanmıştır.

11 iş elamanına sahip çevrim süresi 13 dakika olan montaj hattını comsoal yöntemi ile çözebilmemiz için bütün iş elemanlarını içeren bir "A Liste" oluşturulur. Bu listede birinci sütunda iş elemanları, ikinci sütunda bir nolu sütunda bulunan işi takip eden işler, üçüncü sütunda iş elamanının kendisinden önceki işlerin sayısı yazılarak tablo aşağıdaki gibi oluşturulur (Palekar, 1999).

Tablo 16 Comsoal Yöntemine Göre Oluşturulan A Liste

İş Elemanı	Bir Sonraki İş	Bir Önceki İş
1	4	0
2	4	0
3	5	0
4	6-7	2
5	8	1
6	8	1
7	8	1
8	9-10	3
9	11	1
10	11	1
11	-	2

A liste oluşturulduktan sonra kendisinden önce iş elemanı gelmeyen işlerden (listede 0 değerine sahip işler) bulunarak yeni oluşturulan "B Listesi"ne yerleştirilir.

Tablo 17 Comsoal Metoduna Göre Oluşan B Listesi

Bir Önceki İşin "0" Olanlar	Süre
1	5
2	3
3	4

B listesinde yer alan bir eleman rastgele seçilerek bu eleman iş istasyonuna atanır. Sırayla B listesinde yer alan iş elemanları çevrim süresini aşmamak kaydı ile iş istasyonuna atanır. Bu aşamada çevrim süresi 13 dakika olan iş istasyon süresi aşılmadığı için bütün işler 1 nolu istasyonda tahsis edilir. B listedeki bütün elemanların atanmaları bittikten sonra A liste de bu işlemler çıkarılarak bir önceki işlerin sayısı sütunundaki değerlerden 1 eksiltir ve aşağıdaki tablo meydana gelir.

Tablo 18 Comsoal Metodu İle Oluşan 2. A Liste

İş Elemanı	Bir Sonraki İş	Bir Önceki İş
4	6-7	1
5	8	0
6	8	0
7	8	0
8	9-10	2
9	11	0
10	11	0
11	-	1

Yukarıdaki tabloda “0” değerine sahip iş elemanları seçilir ve yeni B listesi oluşturulur.

Tablo 19 Comsoal Metodu İle Oluşan 2. B Liste

Bir Önceki İş "0" Olanlar	Süre
5	1
6	8
7	7
9	5
10	3

Oluşturulan 2. B listesinde 1. istasyonun boş süresine eş değer işlem varsa ve bu işlem öncelik itibari ile yerleştirilmeye müsait ise o işlem önce yerleştirilir. Görüldüğü üzere burada 5. iş elemanı 12 süreli iş elemanına uyan bir süreye sahip. 5. iş elemanının 1. istasyona katılması ile istasyon toplam süresi çevrim süresine denk olmuştur. Bu seviyeden sonra diğer işler ikinci istasyona aynı yöntemle atanır. Fakat görülüyor ki ikinci B listesinden atama yapılabilmesi için önce 4 nolu iş elemanının gerçekleşmesi gereklidir. Bu atama gerçekleştirilerek B listesindeki 6 nolu iş elemanı 2. istasyonu tamamlarlar. Kalan 7 nolu iş elemanı 3. iş istasyonuna atanır. B listesinde bulunan 9-10 nolu işlerin yapılabilmesi için kendisi B listesinde yer almayan 8 nolu işlemin gerçekleştirilmesi gerekir bundan dolayı 8 nolu iş 3. istasyona atanarak toplam süre 10 olur. B listesinden çevrim süresini aşmayacak şekilde en uygun atama olan 10 3. iş elemanı olarak 3. istasyona atanır ve 3. istasyon çevrim süresine ulaştığından

kapatılarak 4. istasyona yapılacak olan işlemlere geçilir. 4. istasyona ilk olarak atama yapılacak olan işlem B listesinde son kalan eleman olan 9 nolu iş elemanıdır. Bu atam gerçekleşikten sonra 11 nolu işlem son iş olarak kalır ve iş istasyon süresini 12'ye yükselterek iş istasyonuna yapılan atamalar bitmiş olur. Sonuç itibari ile Comsoal tekniği kullanılarak yapılan atamalar sonucunda oluşan iş istasyonları ve bunlara dahil olan iş elemanları aşağıdaki gibi olur.

Tablo 20 Comsoal Metodu Kullanılarak Dengelenilen Hattın İstasyonları

İş İstasyonu	İş Elemanı	Bir Sonraki İş	Bir Önceki İş	Eleman Süresi	İstasyon Süresi	Boş Süre
1	1	4	0	5	13	0
	2	4	0	3		
	3	5	0	4		
	5	8	1	1		
2	4	6-7	2	5	13	0
	6	8	1	8		
3	7	8	1	7	13	0
	8	9-10	3	3		
	10	11	1	3		
4	9	11	1	5	12	1
	11	-	2	7		

3.5. Jackson'un Kademeli Sıralama Çözümü

Bu yöntemde sezgiye dayalı olarak ilişkiler dikkate alınarak tüm işlerin olabirliği birleştirilir. Birleştirmeler sırasında eğer bir grup başka bir grubu içinde barındırır ise o grup çözümden çıkarılır ve gruplandırmaya bu şekilde devam edilir. Çevrim süresinin 13 dakika olduğu ve işlem önceliklerinin önceden belirlenmiş olduğu örneğimiz bu yöntemde uygularsak ilk olarak aşağıdaki gruplamayı yaparız. Burada 1,2,3 iş elemanları ile kurulabilecek boş zamanı sifira yakın bütün iş istasyonları yazılarak seri başları oluşturulur.

a (1-2-3-5) b (1-2-4) c (3-5)

oluşturulan bu seri başlarına bağlı olarak diğer alternatifler hepsinde üretilir.

a* (1-2-3-5)→4

b* (1-2-4) →3

c* (3-5) →1-2-4

$$a (1-2-3-5) \rightarrow 4-6 \quad b^* (1-2-4) \rightarrow 3-5$$

$$a (1-2-3-5) \rightarrow 4-7 \quad b^* (1-2-4) \rightarrow 7$$

$$b^* (1-2-4) \rightarrow 6$$

$$b (1-2-4) \rightarrow 3-5-7$$

$$b^* (1-2-4) \rightarrow 3-6$$

$$b (1-2-4) \rightarrow 3-5-6$$

Yukarıdaki serilerden kenarında yıldız (*) imi bulunanlar başka bir seride tekrarlandığından yada başka bir seri tarafından içerilmesinden dolayı çözümden çıkartılıp 3. serileri oluşturma işlemine geçilir.

$$a^* (1-2-3-5) \rightarrow (4-6) \rightarrow 7$$

$$b^* (1-2-4) \rightarrow (3-5-7) \rightarrow 6$$

$$a^* (1-2-3-5) \rightarrow (4-7) \rightarrow 6$$

$$b^* (1-2-4) \rightarrow (3-5-6) \rightarrow 7$$

$$a^* (1-2-3-5) \rightarrow (4-6) \rightarrow 7-8$$

$$b (1-2-4) \rightarrow (3-5-7) \rightarrow 6-8$$

$$a (1-2-3-5) \rightarrow (4-6) \rightarrow 7-8-10$$

$$b^* (1-2-4) \rightarrow (3-5-6) \rightarrow 7-8$$

$$a (1-2-3-5) \rightarrow (4-7) \rightarrow 6-8$$

$$b (1-2-4) \rightarrow (3-5-6) \rightarrow 7-8-10$$

Üçüncü gruplamada yapıldıktan sonra kalan serilerden 4. gruplar oluşturulmaya çalışılır.

$$a^* (1-2-3-5) \rightarrow (4-6) \rightarrow (7-8-10) \rightarrow 9$$

$$b^* (1-2-4) \rightarrow (3-5-7) \rightarrow (6-8) \rightarrow 9$$

$$a (1-2-3-5) \rightarrow (4-6) \rightarrow (7-8-10) \rightarrow 9-11$$

$$b (1-2-4) \rightarrow (3-5-7) \rightarrow (6-8) \rightarrow 9-10$$

$$a^* (1-2-3-5) \rightarrow (4-7) \rightarrow (6-8) \rightarrow 9$$

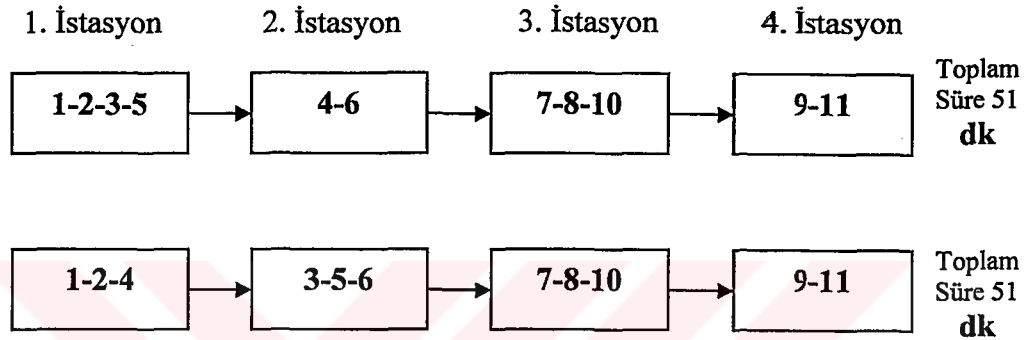
$$b^* (1-2-4) \rightarrow (3-5-6) \rightarrow (7-8-10) \rightarrow 9$$

$$a (1-2-3-5) \rightarrow (4-7) \rightarrow (6-8) \rightarrow 9-10$$

$$b (1-2-4) \rightarrow (3-5-6) \rightarrow (7-8-10) \rightarrow 9-11$$

Dördüncü gruplandırma tamamlandıktan sonra görüldüğü üzere “a ve b” grubundan türeyen iki adet grupta tüm işlemler çevrim süresine göre yerleştirilmiştir. Buradan yola çıkılarak iki adet optimum yerleştirmenin 4 istasyon çerçevesinde yerleştirilebileceği anlamı ortaya çıkar. Bu istasyonların içerdiği elemanlar ve çevrim süreleri aşağıdaki gibidir.

Şekil 19 Jackson Metoduna Göre Oluşan Çözüm



3.6. Hoffman'ın Öncelik Matrisi Metodu

1963 yılında geliştirilen bu metot deterministik iş eleman zamanlarını dikkate alan bir metoddur. Tek model montaj hatlarının dengelenmesinde kullanılan bu yöntem sayesinde problemin optimum çözümü uzun süren adım adım ilerleyerek fazla yorum katılmadan yapılan işlemler sayesinde kolaylıkla elde edilir. Metotta kullanılan matriste bir ve sıfır değerleri oluşturularak işlemlerin öncelik sıraları belirlenir. İki iş elemanı arasında öncelik varsa ve 1. ve 2. iş elemanından önce geliyor ise matriste 1. iş elemanının satırı 2. iş elemanının sütununun kesiştiği yere bir rakamı koyulur. Matriste diğer yerlere sıfır koyularak diğer elemanların bir birleri ile olan ilişkileri gösterilir. Matrisin en alt satırına sütun olarak kod değerlerinin toplamı yazılarak atama işlemi burada sıfır değere sahip en büyük sayı ile başlar.

Bölüm başında verilen örneğin öncelik diyagramı ve iş elemanlarının süreleri dikkate alınarak yine 13 dakikalık çevrim süresinde Hoffman yöntemine göre dengeleme işlemleri ve başlangıç matrisi aşağıdaki gibi olur.

Tablo 21 Hoffman Metoduna Göre 1.Matris

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Top	0	0	0	2	1	1	1	3	1	1	2

Tabloda toplam satırında yer alan "0" toplamı iş elemanlarından en büyük değere sahip olan iş elemanı 1. istasyona atanır ve bu istasyonda ki boş süre $13 - 5 = 8$ dakika olur. Bu durumda oluşacak yeni matris aşağıdaki gibi olur.

Tablo 22 Hoffman Metoduna Göre 2.Matris

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Top	0	0	1	1	1	1	3	1	1	2

Toplam satırında "0" değerine sahip en büyük işlem süreli eleman "3" olduğundan ve çevrim süresini aşmadığından 3 nolu işlem 1. istasyona atanır. Böylelikle 1. istasyonun boş süresi $13 - 5 - 4 = 4$ dakika olur. Ataması yapılan 2 nolu işlem matristen çıkartılıp yeni matris oluşturulur.

Tablo 23 Hoffman Metoduna Göre 3.Matris

	2	4	5	6	7	8	9	10	11
2	0	1	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	1	1	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	1	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	0	0	0
7	0	0	0	0	0	1	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	1	1	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Top	0	1	0	1	1	3	1	1	2

Görüldüğü üzere 3 nolu işlemin matristen çıkması ile 5 nolu işlemde “0” değerine ulaşmış oldu. 2 ve 5 nolu işlemler arasında en büyük değere sahip ve 1. istasyona sığabilecek olan işlem 2, birinci istasyona atanarak istasyondaki boş süre $13 - 5 - 4 - 3 = 1$ dakika olarak belirlenir. Bu aşamadan sonra 4. yeni matris oluşturulur.

Tablo 24 Hoffman Metoduna Göre 4.Matris

	4	5	6	7	8	9	10	11
4	0	0	1	1	0	0	0	0
5	0	0	0	0	1	0	0	0
6	0	0	0	0	1	0	0	0
7	0	0	0	0	1	0	0	0
8	0	0	0	0	0	1	1	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	1
11	0	0	0	0	0	0	0	1
Top	0	0	1	1	3	1	1	2

Sıfır toplamı değerine 4 ve 5 nolu işlem sahiptir. 4 nolu işlem 5 dakika süre ile ilk ele alınacak iş elemanıdır. Fakat 1. iş istasyonunda ki süreye uymamasından dolayı 5 nolu iş elemanı istasyona yerleştirilir ve birinci istasyon 1-3-2-5 işlemlerinden oluşturularak iki nolu iş istasyonuna atamaların yapıla bilmesi için yeni durumdaki matris oluşturulur.

Tablo 25 Hoffman Metoduna Göre 5.Matris

	4	6	7	8	9	10	11
4	0	1	1	0	0	0	0
6	0	0	0	1	0	0	0
7	0	0	0	1	0	0	0
8	0	0	0	0	1	1	0
9	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	1
11	0	0	0	0	0	0	1
Top	0	1	1	2	1	1	2

Matristeki son satıra göre 4. iş elemanı 2. istasyona atanır ve istasyonda $13 - 5 = 8$ dakikalık bir süre boş kalır. İş elemanının yerleşmesinin ardından yeni matris oluşturulur.

Tablo 26 Hoffman Metoduna Göre 6.Matris

	6	7	8	9	10	11
6	0	0	1	0	0	0
7	0	0	1	0	0	0
8	0	0	0	1	1	0
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	1
11	0	0	0	0	0	1
Top	0	0	2	1	1	2

Altı ve yedi nolu iş elemanları sıfır değerine ulaşarak atanmaya hak kazanır. İki iş elemanı arasındaki işlem süresi en uzun olan eleman 6. iş elemanıdır. 8 dakikalık işlem süresinin 2. istasyona eklenmesi ile istasyon çevrim süresine ulaşmış olur ve bir sonraki matrisden elde edilen sonuç 3. iş istasyonuna yazılır. Böylelikle 2. iş istasyonunun elemanları 4 - 6 işlemleri olur.

Tablo 27 Hoffman Metoduna Göre 7.Matris

	7	8	9	10	11
7	0	1	0	0	0
8	0	0	1	1	0
9	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	1
11	0	0	0	0	1
Top	0	1	1	1	2

Yedinci iş elemanı 3. istasyona atanır ve $13 - 7 = 6$ dakikalık boş süre kalır. Bu boş süreye atanacak iş elemanları 8. matris ile buluna bilir.

Tablo 28 Hoffman Metoduna Göre 8.Matris

	8	9	10	11
8	0	1	1	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	1
11	0	0	0	1
Top	0	1	1	2

3. İş istasyonuna yedinci iş elemanının ardından sekizinci iş atanarak $13 - 7 - 3 = 3$ dakikalık boş süre istasyonda kalır.

Tablo 29 Hoffman Metoduna Göre 9.Matris

	9	10	11
9	0	0	0
10	0	0	1
11	0	0	1
Top	0	0	2

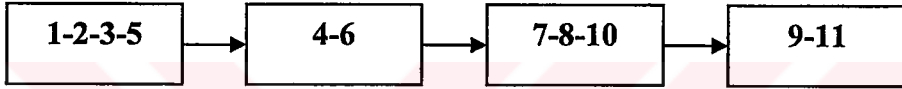
3. iş istasyonunda kalan boş süreye en uygun seçim matriste toplamı "0" olan değerler arasından 3 dakika işlem süresi ile 10. işlemdir. Bu işlem de 3. istasyona katılarak istasyon süresi çevrim süresine eşit hale getirilir. Oluşacak yeni matrise göre 4. istasyona atama yapmaya devam edilir.

Tablo 30 Hoffman Metoduna Göre 10.Matris

	9	11
9	0	0
11	0	1
Top	0	1

Dokuz nolu işlem 4. istasyona atanarak $13 - 5 = 8$ dakikalık boş süre kalır. Bu atamanın ardından tek kalan işlem olan 11. işlem de 7 dakikalık süreye sahip olduğundan 4. iş istasyonuna atanır. Metodun uygulanmasından sonra oluşan istasyonlar ve içerikleri aşağıdaki şekilde gibidir.

Şekil 20 Hoffman Metotuna Göre Oluşan İstasyonlar



3.7. Moodie Young Metodu

1965 yılında Moodie ve Young hem işlem sürelerinde değişme olduğu zaman hemde sabit iş elemanlarını içeren montaj hatlarında dengeleme imkanı ortaya koyan bir metot ileriye sürdüler. Metot en büyük aday mantığına dayanarak işlemlerin bir birini takip eden iş istasyonlarına atanmasını kapsar. Bu yöntemde aday tahsisleri kolaylaştırılması için öncelik (predecessor) "P" ve takipçi (successor) "F" matrisi oluşturulur. P matrisinde işlemin yapılabilmesi için bir önceki işlemler gösterilir. F matrisinde ise işlemden sonraki işlemler belirtilir.

Bölüm başında öncelikleri ve işlem süreleri verilen örneğe göre 11 iş elemanına sahip çevrim süresi 13 dakika olması istenen montaj hattında bu metodu uygulanacak olursa işlemler aşağıdaki gibi olur.

Örnekteki iş akış diyagramını incelenerek P ve F matrisleri oluşturulur.

Tablo 31 Moodie Young P Matrisi

İşlem No	Bir Önceki İşlemler		
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	1	2	0
5	3	0	0
6	4	0	0
7	4	0	0
8	5	6	7
9	8	0	0
10	8	0	0
11	9	10	0

Tablo 32 Moodie Young F Matrisi

İşlem No	Bir Sonraki İşlemler	
1	4	0
2	4	0
3	5	0
4	6	7
5	8	0
6	8	0
7	8	0
8	9	10
9	11	0
10	11	0
11	0	0

P matrisi içinde yer alan işlemlerden hepsi sıfır olan değerler arasından en büyük süreye sahip değer seçilir ve birinci istasyona atanır. Kalan boş süre dahilinde önceliği bulunmayan 2 ve 3. elemanlarda aynı istasyona yerleştirilir. Bu durumda istasyonda 1 dakikalık boşluk meydana gelir. İstasyonlara yerleştirdiğimiz işlemler P matrisinden çıkarılır ve bu işlemin bulunduğu satırın kontrol kısmına işlemin atandığına dair işaret konulur. Yeni oluşan matrislere göre ikinci yerleştirilmesi gerekli eleman belirlenir.

Tablo 33 Moofire Young Metodunda 2. Aşama

P Matrisi				F Matrisi			
İşlem No	Bir Önceki İşlemler			İşlem No	Bir Sonraki İşlemler		Kontrol
	4	0	0		0	1	
5	0	0	0	2	4	*	
6	4	0	0	3	5	*	
7	4	0	0	4	6	7	
8	5	6	7	5	8		
9	8	0	0	6	8		
10	8	0	0	7	8		
11	9	10	0	8	9	10	
				9	11		
				10	11		
				11			

4 ve 5 nolu işlemlerden önce işlem olmadığı için atanmaya hak kazanmışlardır. İkisi arasında en yüksek süreye sahip eleman eğer çevrim süresini aşmıyorsa 1. istasyona atanır. Kalan sürede 5. iş elemanına yettiği için 1. iş istasyonu tamamlanmış olur. 4 nolu iş istasyonu ise ikinci istasyonda yer alır. Tablo yeniden düzenlenir.

Tablo 34 Moofire Young Metodunda 3. Aşama

P Matrisi				F Matrisi			
İşlem No	Bir Önceki İşlemler			İşlem No	Bir Sonraki İşlemler		Kontrol
	6	0	0		0	1	
7	0	0	0	2	4	*	
8	0	6	7	3	5	*	
9	8	0	0	4	6	7	
10	8	0	0	5	8	*	
11	9	10	0	6	8		
				7	8		
				8	9	10	
				9	11		
				10	11		
				11			

Tabloda P matrisinde “0” değerlerine sahip olan 6 ve 7. iş elemanlarından 2. istasyon süresine uygun olan 6 nolu iş elemanı seçilir. 7. iş elemanı boş süre kalmadığından 3. istasyona atanır. Sonuçta yeni tablo aşağıdaki gibi olur.

Tablo 35 Moofire Young Metodunda 4. Aşama

P Matrisi				F Matrisi			
İşlem No	Bir Önceki İşlemler			İşlem No	Bir Sonraki İşlemler	Kontrol	
	8	0	0				0
9	8	0	0	2	4	*	
10	8	0	0	3	5	*	
11	9	10	0	4	6	7	*
				5	8		*
				6	8		*
				7	8		*
				8	9	10	
				9	11		
				10	11		
				11			

Tabloda sıfır değerlerine sahip 8 nolu iş elemanı 3. istasyona süresinin uygun olmasından dolayı atanır ve istasyondaki boş süre 3 dakikaya düşer. Tablo yeniden oluşturulur.

Tablo 36 Moofire Young Metodunda 5. Aşama

P Matrisi				F Matrisi			
İşlem No	Bir Önceki İşlemler			İşlem No	Bir Sonraki İşlemler	Kontrol	
	9	0	0				0
10	0	0	0	2	4	*	
11	9	10	0	3	5	*	
				4	6	7	*
				5	8		*
				6	8		*
				7	8		*
				8	9	10	
				9	11		
				10	11		
				11			

Tabloda görüleceği üzere 9 ve 10. iş elemanları değerleri sıfır olduğundan iş istasyonlarına atana bilirler. Süresi en fazla olan 9. iş elemanı 3. istasyonun boş süresini aşan bir süreye sahip olduğundan 10 numaralı işlem 3. iş istasyonuna atanır. 9 nolu iş elemanı ise 4. istasyona yerleştirilir. Tek alan iş olan 11. iş de 4. istasyonun süresi müsait olduğundan bu istasyona atanır. Atama sonunda 4 istasyonlu, 1 dakika süre kayıplı bir dengelenmiş montaj hattı oluşur.

3.8. Sezgisel Yöntem

Montaj hattı dengeleme problemlerinde genellikle kullanımının kolaylığı ve anlaşılabilirliğinden dolayı en çok kullanılan bu yöntem Dannenbring, Khumawala, Pinto tarafından 1978 de ortaya atılmıştır. Bu yöntem tek model montaj hattı dengeleme problemlerinde toplam işlem süreleri bilindiğinde iş istasyon sayısı veya çevrim süresini uygun hale getirilir (Balsak, 45).

Metodun uygulanması için işlemlerin süreleri, öncelikleri, işlemlerin etkilediği diğer işler bir tablo yardımı ile gösterilir. Bu tabloyu bölümün başında verilmiş örneği ele alarak oluşturulacak olursak aşağıdaki tablo elde edilir (Jin, 2002; 161).

Tablo 37 Sezgisel Yönteme Göre İşlemler Tablosu

İşlem No	İşlem Süresi	Bir Önceki İşlemler	Bir Sonraki İşlemler
1	5	-	4
2	3	-	4
3	4	-	5
4	5	1-2	6-7
5	1	3	8
6	8	4	8
7	7	4	8
8	3	5-6-7	9-10
9	5	8	11
10	3	8	11
11	7	9-10	0

Tabloda yer alan işlemler içinden önceliği olmayan işlemler elverişli işlemler olup bu işlemler içinden en uzun süreli iş elemanı seçilir ve birinci iş istasyonunda görevlendirilir. Görevlendirilecek iş elemanı süresini çevrim süresine tamamlayacak veya çevrim süresine yakın bir değere ulaştıracak önceliği tamamlanmış bir diğer iş

elemanı ve iş elemanları birinci istasyona atanarak istasyon tamamlanır. Görevlendirilen iş elemanları hesaba katılmadan ikinci istasyon atmamsınageçilir. Yine önceliği kalmayan elemanlar arasında en uzun işlem süresine sahip iş elemanı seçilerek yukarıda anlatılan işlemler bu kez ikinci iş istasyonu için uygulanır. Bu uygulamalar en son iş elemanı iş istasyonuna görevlendirilene kadar ilerler. Daha sonra istasyonda kalan boş süreyi tamamlayacak işlem aranır. Bu yöntemi örneğimizde uygulayacak olursak aşağıdaki işlemleri gerçekleştiririz.

Bölüm başında değinildiği gibi çevrim süremizin 13 dakika olması istenmekteydi. Bu durumda her istasyondan maksimum 13 dakikada bir mamul çıması gereklidir. Bu yönleme göre hatta minimum kaç istasyon kurulması gereklidir sorusunun cevap bulabilmesi için işlem süreleri toplamı istenen çevrim süresine bölünerek elde edilen asal sayı yukarıya doğru yuvarlanarak bir tam sayıya çevrilerek bulunur. Örneğimiz için bu değer:

$$\sum t_i / c = 51 / 13 = 3,92 \approx 4 \text{ istasyon olur.}$$

Dengeleme sonunda hedeflenen istasyon sayısı bulunduktan sonra yukarıdaki kaideler uygulanarak ilk atanacak eleman olarak süresi en fazla olan 1 nolu iş elemanı seçilerek istasyon içindeki boş süreyi $13 - 5 = 8$ dakikaya düşürür. Bu süreyi dolduracak öncelikleri tamamlanmış bir iş olmadığından sırası ile 2 ve 3 nolu işlemlerin görevlendirilmesi yapılarak istasyondaki boş süre 1 dakikaya düşer. Bu süreye uygun iş istasyonu 5 seçilerek istasyon istenilen çevrim süresine uygun olarak doldurulur. İkinci istasyona sıra geldiğinde önceliklere göre ilk anması gerekli olan işlem 4 istasyona atanır. Atama sonunda istasyonda $13 - 5 = 8$ dakikalık boş süre kalır. Bu süreyi tamamlayacak nitelikteki uygu işlem ise 8 dakikalık işlem süresine sahip 6 nolu iştir. 3. istasyonun atanmasına öncelik sebebi ile 7 nolu istasyon atanır. Sırada atanabilir başka işlem olmadığından 8 nolu işlem istasyona atanarak 3 dakikalık bir boş süre istasyonda kalır. 8. işlemin atanmasından sonra 9 ve 10 nolu işlemlerden uygun zamana sahip olan 10 seçilerek 3 numaralı iş istasyonuna atanır. Geriye kalan 9 nolu iş istasyonu yeni istasyona atanır. Arta kalan süre 11 iş elemanın atanmasına uygun olduğundan eleman bu istasyona atanarak dengeleme işlemi tamamlanır. Atama sonucu istasyonların durumu aşağıdaki gibi olur.

Tablo 38 Sezgisel Yönteme Göre Çözüm Tablosu

İş İstasyonu	İş E. No	İş Süresi	Boş Süre	İst. Toplam S.i
1	1	5	8	13
	2	3	5	
	3	4	4	
	5	1	0	
2	4	5	8	13
	6	8	0	
3	7	7	6	13
	8	3	3	
	10	3	0	
4	9	5	8	12
	11	7	1	

Atamalar sonucunda 4 iş istasyonu ve 1 dakikalık boş süre ile montaj hattı dengelenmiş olur. Bu durum da oluşan denge kaybı ise;

$$D = \frac{(4*13) - 51}{4*13} \times 100 = \% 01,9$$

1 dakikalık bir boş süre sistemde yaklaşık %2 lik bir denge kaybına neden olmaktadır.

BÖLÜM 4 : MONTAJ HATTI DENGELEME UYGULAMASI

Dengelemeye geçmeden önce uygulama yapılacak olan işletme hakkında bilgi verilecektir.

4.1. Uygulama Yapılan İşletme Hakkında Bilgi

İşletme alçak gerilim şalt cihazları üreten, 30.000 m² kapalı alana sahip bir üretim fabrikasıdır. Gerek işletmelere gerekse nihai tüketicilere hitap eden ürünlerin üretiminin yapıldığı fabrikada kabaca şalterler, ölçü aletleri, röleler, kondaktör, güç kondansitörleri üretilmektedir. Bu ürünlerin üretilmesi için ürün gruplarına göre farklılık gösteren uzun, kısa montaj hatları mevcuttur. Fabrikada uygulama yapılacak kısım yeni üretime geçmiş mamül olan elektronik elektrik sayaçlarının montaj kısmıdır. Bu bölümde daha önceden yapılmış bir ölçüm mevcut olmadığından önce işlemlerin zaman etütleri yapılmıştır.

Federal Şirketler Grubunda bulunan şirketlerden biri olan Federal Elektrik ilk olarak 1987 yılının Şubat ayında Adelsan adı altında Adapazarı Modern Sanayi Sitesi'nde kurulmuştur. 1992 yılında Federal Elektrik adıyla Anonim Şirket hüviyeti alarak, Adapazarı Modern Sanayi Sitesi içerisinde 7500 m² si kapalı alanda ilk fabrikasıyla faaliyete geçmiştir. Federal Elektrik aynı yıl "Federal Elektrik" markasını tüm Dünya'da tescil ettirmiştir. Federal ismi, hemen her lisanda okunuşu ve yazılışının aynı olması, kolay akılda kalması sebebiyle tercih edilmiştir. Federal Elektrik bünyesinde 50'si mühendis olmak üzere toplam 500 kişi çalışmaktadır. CAD-CAM yazılımlarından olan Silicon Graphics ve Uni Graphics'in kullanıldığı Ar-Ge bölümünde ürünler tasarlanır ve üretime hazırlanır. Federal Elektrik Unigraphics adlı 3 boyutlu tasarım programını Türkiye'de kullanmaya başlayan ilk özel sektör kuruluşudur. Ar-Ge bölümünde tasarlanan ve biçimsel olarak son şeklini alan ürünlerin tüm parçaları prototip olarak Federal Elektrik bünyesinde üretilir. Federal Elektrik'te kalıp imalatından kaynak işlerine kadar bütün işlemler firmanın bünyesindeki makine ve ekipmanlarla gerçekleştirilir. Kısa sürede hassas kalıpların üretilebildiği Charmilles Technologies tel ve dalma erozyon tezgahları, CNC dik işleme merkezleri 3 boyutlu

hassas ölçme yapan DEA cihazı, Shimadzu Microvickers ve Wolpert Rockwell sertlik ölçüm cihazları bunlardan bazılarıdır.

Türkiye’de Adapazarı merkez olarak 3 şube 5 temsilcilik ve yaklaşık 120 bayiden oluşan dağıtım kanalı bulunan Federal Elektrik satış temsilcileriyle hizmet vermektedir. Federal Elektrik 2003 yılı itibarı ile başta Fransa, Almanya, İngiltere, İsveç, İtalya, Suudi Arabistan, Mısır, Kuveyt, Türki Cumhuriyetler, Suriye, Ürdün, Irak, B.A.E, Rusya, Sri Lanka olmak üzere, 40’tan fazla ülkeye üretiminin %50’ sinden fazlasını ihraç etmektedir.

Federal Elektrik Türkiye dışında birçok ülkede de yatırımlar yapmaktadır. Mısır ve Kuzey Afrika pazarlarına yönelik çalışan Mısır’da kurulmuş olan fabrikasında 6000m² lik kapalı alanda Federal Electric Egypt 2003 yılında üretime başlamıştır. İran’da Federal Kaveh Joint Venture şirketi vasıtası ile ve Suudi Arabistan’da benzer bir yatırım için çalışmalar devam etmektedir. İngiltere’de kurulan Federal Electric U.K. şirketi vasıtasıyla bu ülkeye ve diğer Avrupa ülkelerine yapılmakta olan ihracatın artırılması hedeflenmektedir (www.federal.com.tr/tr/profil.php).

4.2. Elektronik Elektrik Sayacı Montaj Atölyesi’nin İncelenmesi

Fabrikanın ürün ailesine yeni katmış olduğu elektronik elektrik sayıcı yeni oluşturulan bir montaj bandında tamamlanmaktadır. Bantta üretimi gerçekleştirilen tek model bir ürün mevcuttur. Montaj hattının konumlandırıldığı alan hatta istenildiği gibi çevrimler yapılmasına olanak sağlamamaktadır. Hattın düz biçimde devam etmesi hattaki iş istasyonlarının beslemelerin sağlıklı yapılabilmesi için önem taşır. Aksi takdirde yeteri kadar hareket kabiliyeti kalmayacaktır. Montaj için gereken ekipmanları ise ikiye ayırabiliriz. Birinci kısımdakiler her iş istasyonuna kolayca yerleştirilebilecek: havalı tornavida, havya makinesi, ölçüm cihazı ve falçatadır. İkinci grupta ise sabit olan ve sayısı arttırılamayan montaj ekipmanları vardır. Bunları okuma camını üst kapağa yapışmasını sağlayan makine ve cihazları kalibre edip aynı zamanda son teste tutan iki adet kalibrasyon tezgahı mevcuttur. Bu tezgahların çalışabilmesi için 6 makinenin aynı anda tezgaha bağlanması gereklidir. Dolayısı ile bu bölümden önce yeteri kadar stoklamanın yapılması gereklidir. Ayrıca bu aşamadan sonra fabrikada montaj bandı

bitmekte tamamen çalışanların taşımaları şeklinde parçalar diğer aşamalara gitmektedir. Bu çalışma neticesinde ürünlerin kolileme aşamasına kadar montaj hattını kullanması sağlanacaktır.

4.3. Montaj Aşamaları

Hat dengeleme çalışmasını yapabilmek için öncelikle, her bir operatörün gerçekleştirdiği operasyonlara ait işlem sürelerinin bilinmesi gerekmektedir. Uygulama yapılan hatta daha önce işlemlerin açık olarak belirtildiği bir çalışma yapılmadığından işlemleri belirlemek amacı ile çalışma yapıldı. Ardından bu işlemlere ait zaman etüdü çalışması yapıldı. Yapılan zaman etüdünde çalışanların bayan oluşu ve yapılan işlemlerin yeni öğrenilmiş olduğu göz önüne alınarak standart süreler belirlendi. Bu esnada çalışanların bu işlemleri gerçekleştirmeleri için gerekli donanımın ne olması gerektiği belirlenerek toplamda ürünü meydana getiren işler en ufak parçasına kadar bölündü. Toplamda ürünü meydana getiren montaj aşamaları aşağıdaki gibidir.

1.Karta Program Yüklenmesi

Operatör daha önce fabrikanın başka bölümlerinde üretilip montaj kısmına getirilen üzerinde elektronik parçalar barındıran dijital göstergeye sahip elektronik Switch kartı program yükleme aparatı vasıtası ile karta kablo bağlayarak sistemin çalışmasını sağlayacak programı karta yükler.

2.Karta Pil Lehimleme

Operatör karta program yüklemesinden sonra karta ait bilgilerin hafızada tutulabilmesi için gerekli olan pili eli ile yuvasına oturtturarak lehim aleti kullanarak karta bağlantısını yapar.

3.Kartın İletişim Testi

Test aparatı vasıtası ile operatör kartı test aparatına kablo vasıtası ile bağlar. Bu sayede ileriki aşamalarda oluşabilecek ürüne program yüklenirken bilgisayar ile cihaz arasında karttan kaynaklanabilecek arızanın önüne geçilmektedir.

4.Kartın Elektrik Testi

Operatör kablolar vasıtası ile karta elektrik veriyor ve karta elektrik testini uyguluyor. Kart üzerindeki display ekran sayesinde testi gerçekleştiriyor. Bu aşamadan sonra elektronik kart montaja hazır aşamaya geliyor.

5.Klemens ile Şönt Birleştirme İşlemi

Meydana getirilecek olan cihazın elektrik şebekesine bağlantısını sağlayacak olan kısmın oluşturulma işlemidir. Şönt iki vida sayesinde havalı tornavida aracı ile kelemense monte edilir. Klemens ve şönt parçaları daha önceden iş istasyonuna depodan getirilerek stoklanmışdır.

6.Klemens ile Nötür Birleştirme İşlemi

Klemens kompleksi ile nötür tablosu havalı tornavida ile tek vida kullanılarak birleştirilir. Nötür parçası daha önceden iş istasyonuna getirilmiş olmalıdır.

7. Klemensin Alt Gövdeye Birleştirilmesi

Tamamlanan klemens kompleksi havalı tornavida ile tek vida kullanarak alt gövdeye monte edilir. Alt gövde daha önceden depo kısmından iş istasyonuna çekilmiş ve stoklanmıştır.

8. Switch Kartın Alt Gövdeye Montajı

Switch kartı tek bir vida kullanılarak sayaç alt gövdesine havalı tornavida yardımı ile birleştirilir. Alt gövde bu işlem ile hazır hale gelir.

9. Alt gövde ile Kartın Lehimlenmesi

Alt gövdede bulunan klemens kompleksinden karta bağlantıyı sağlayacak olan altı adet lehim yapılır. Bu işlemi yaparken lehim makinesi kullanılır.

10. Barkod etiketinin Karta Takılması

Barkot etiketi bir cımbız yardımı ile alt gövdenin üzerine oturtulmuş kartın, üst gövde üzerine oturtulduğunda şeffaf plastikten görünecek yerine yapıştırılır.

11. Süngerin Karta Montajı

Kart üzerine üst kapakla kartın sıkışmasını sağlayacak sünger parçasının montajı.

12. Led Dürbünlerinin Takılması

Kartın üzerinde bulunan iki adet lede tek parça olan led dürbünün takılması. Operetör iş istasyonunun stoklarında bulunan led dürbünü ellerini kullanarak yerine yerleştirir.

13. Sayaç Kapağına Şeffaf Plastik Oturtma

Sayacın üst kapağını oluşturacak kısım ile dijital göstergenin okunabilmesini sağlayan sert şeffaf plastik bir sonraki birleştirme işlemi için şeffaf plastiğin bulunduğu kutudan çıkartılıp sayaç kapağının üzerine koyulması ile gerçekleştiriliyor. Sayaç kapağı ve şeffaf plastik malzemeleri önceden iş istasyonuna stoklanmaktadır.

14. Sayaç Kapağı ve Şeffaf Plastiği Birleştirme

Bu işlemde önceden üst üste koyulmuş olan kapak ve plastik makine sayesinde bir birine yapıştırılıyor.

15. Kapağa Buton Montajı

Yukarıdaki işlem gerçekleştirilmiş olan kapağa plastik bir buton havya vasıtası ile dört köşesinden eritilerek montajı sağlanır.

16. Kapağa Okuma Pulu Montajı

Okuma pulu daha önceden kapağa birleştirilmiş olan şeffaf plastiğe yapıştırıcı kullanılarak yapıştırılır. Bu işlemde yapılması ile ürünün üst kapağını oluşturan parçanın montajı tamamlanmış olur.

17. Kapağın Alt Gövdeye Montajı

Üst kapak iki vida yardımı ile alt gövdeye oturtulur. Bu işlem kapağın iki vidanın havalı tornavida yardımı ile alt gövdeye montajı ile gerçekleştirilir.

18. Sayacın Kalibrasyon Cihazına Yerleştirilmesi

Ürünü oluşturan çoğu montajın tamamlanması ile ürünün test aşamasına gelmiş olur bu testi sağlayan kalibrasyon panolarına altı adet kalibre olması gereken cihaz yerleştirilir.

19. Sayaç Barkotlarının Okutulması

Kalibrasyon panosuna yerleştirilen ürünlerin barkot numaraları barkot okuyucu vasıtası ile okutularak veriler bilgisayara kaydedilir. Bu sayede bilgisayar kalibre olacak ürünün bilgilerini alarak bir sonraki aşamaya kendini hazırlar.

20. Test ve Kalibrasyonun Başlatılması

Kalibrasyon cihazına altı adet sayacın yerleştirilmesinin ardından operatör cihazların elektrik ölçümlerini sağlayacak olan programı ve bu değerlerin doğruluğunu kontrol eden programı bilgisayardan başlatarak kalibrasyon gerçekleşir.

21. Sayacın Mühürlenmesi

Kalibrasyon aşaması biten ve hatası olmayan cihaz kapağın açılmasını engellemek için mühürlenir. Bu işlem yasal bir işlemdir.

22. Askı Aparatı Montajı

Cihazın duvara montajını sağlayan sert metalden askı aparatı cihazın arka kısmına bir vida ile havalı tornavida kullanılarak monte edilir. Askı aparatında bulunan çıkıntıdan dolayı bu işlemin mühürleme işleminden önce yapılması olanaklı değildir. Aksi halde mühür cihazına yerleştirilemeyecektir.

23. Klemens Kapağı Montajı

Sayacın elektrik ile bağlantısının sağlayan klemensin bağlantı sağlandıktan sonra üzerini kapamaya yarayan kapağın montajıdır. Bir vida ile havalı tornavida kullanılarak klemense monte edilir.

24. Etiket Yapıştırma

Cihazın arkasına cihazın özelliklerinin model numarasının yazılı olduğu yapışkan etiketi operatör yapıştırır.

25. Nihai Barkot Oluşturma

Cihazların üzerindeki barkot numaraları barkot okucuya okutularak yazıcıdan bu numarada iki adet çıktı alınır. Alınan çıktılardan biri sayaçın üzerine diğeri sayacın kutusuna yapıştırılır. Bu sayede ürünün bitmiş ürün olduğu ve garantisinin kaydı bilgisayara girilir.

26. Kutuya Hazırlanması

Düz bir mukavva şeklinde olan kutu katlama yerlerinden kıvrılarak kutu şekline sokulur ardından sayacın kutusuna gerekli olan garanti ve kullanım kılavuzu konularak kutu hazır hale getirilir.

27. Sayacın Kutulanması

Hazır durumdaki sayaç şeffaf poşete konularak kutu içine yerleştirilir. Böylelikle ürün hazır duruma gelmiş olur.

4.4. Dengeleme Öncesi Montaj Hattının Durumu

Hat dengeleme çalışmasının yapılacağı hattın dengeleme öncesi işlemler ve istasyonların toplam süreleri ve hattın çevrim süresi saniye cinsinden aşağıdaki gibidir.

Tablo 39 Dengeleme Öncesi İstasyonların Yapısı (saniye cinsinden)

İstasyon No	İş Elemanı	İşlem Süresi	Toplam İst. Süresi	İstasyon Boş Süresi
1	1	13,40	13,40	32,54
	2	13,70	27,10	
	3	13,90	41,00	
	4	13,90	54,90	
2	5	17,40	17,40	32,34
	6	10,10	27,50	
	7	14,80	42,30	
	8	12,80	55,10	
3	9	32,70	32,70	36,71
	10	6,08	38,78	
	11	5,34	44,12	
	12	6,61	50,73	
4	13	14,30	14,30	66,09
	14	7,05	21,35	
5	15	10,10	10,10	41,54
	16	16,60	26,70	
	17	19,20	45,90	
6	18	7,97	7,97	0
	19	4,94	12,91	
	20	74,53	87,44	
7	21	8,31	8,31	56,77
	22	8,21	16,52	
	23	9,69	26,21	
	24	4,46	30,67	
8	25	24,19	24,19	13,87
	26	23,08	47,27	
	27	26,30	73,57	

Dengeleme öncesi hatta mevcut 8 istasyon mevcuttur. Bu istasyonlardan en uzun süreli işlem çevrim süresini göstermektedir. Bu yerleşime göre çevrim süresi 87,44 saniyedir. Çünkü en uzun süreye sahip olan istasyon 6. istasyonun süresidir.

Bu yerleşimin verimliliği hattaki işlemlerin toplam sürelerinin çevrim süresi ile istasyon sayına çarpımının bölünmesi ile bulunur.

$n = \text{İstasyon Sayısı}$

C = Çevrim Süresi

t_i = i. İstasyon süresi

$$\text{Hat Verimliliği} = (\sum t_i / n * C) * 100$$

$$= (422,61 / 8 * 87,44) * 100 = \% 60,4$$

Bu yerleşime göre mevcut olan denge kaybı ise

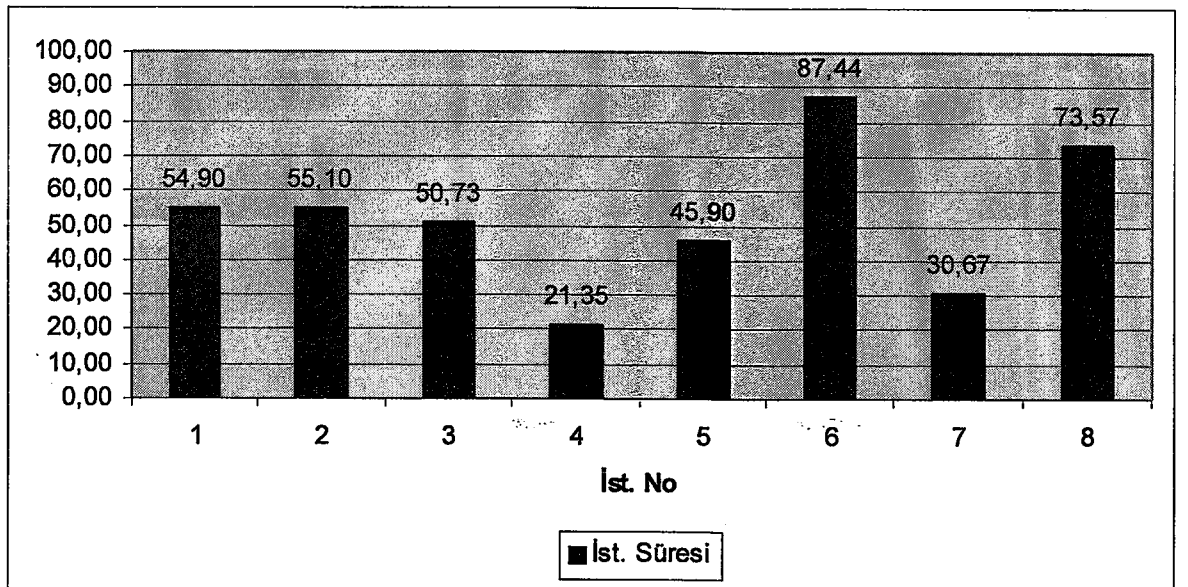
$$\text{Denge Kaybı} = ((n * C - \sum t_i) / n * C)$$

$$= ((8 * 87,44 - 422,61) / 8 * 87,44)$$

$$= \% 39,5$$

Hattın yerleşimine bağlı çevrim süresi ile hattın mevcut durumda %39,5 luk bir denge kaybı mevcuttur. 8 iş istasyonuna dağılmış olan işlerin toplam süreleri arasında büyük farklar vardır. Çevrim süresine göre istasyonların dağılımı aşağıdaki grafikte görüldüğü gibidir.

Tablo 40 Dengeleme Öncesi İstasyonların Süreleri (Saniye Olarak)



Yukarıdaki tabloda oluşan duruma göre çevrim süresini belirleyen 6. istasyon ile 4. istasyonun süreleri arasındaki fark bu hatta dengeleme ile ilgili bir problemin olduğunun bir işaretidir.

4.5. Hat Dengelemenin Montaj Hattında Uygulanması

Montaj hattında yapılan işlerin daha önceden standart süreleri hesaplanmadığı için çalışma öncesinde bu işlerin süreleri kabaca hesaplanmaya çalışılmıştır. Yapılan zaman etüdü çalışmasında, montajın ayrıntılarıyla anlatılan her bir aşaması çıkarılarak işlere ait zamanları belirlemek için öncelik ile minimum kaç adet ölçüm yapılması gerektiğini belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için minimum örnek büyüklüğünü hesaplama yöntemlerinden istatistiksel yöntem metodu kullanılarak gerekli olan ölçüm adeti bulunmaya çalışılmıştır.

Buna göre gözlemlerin %10 güvenlik sınırları içinde %95 doğru çıkacağı önkoşulu ile ne kadar ölçüm yapmamız gerektiğini belirleyecek olursak aşağıdaki formülü kullanırız (Akal, 211, 1997).

$$(\hat{\sigma}_p)^2 = p \cdot q / n$$

Burada;

$\hat{\sigma}_p$ = örneğin standart hatası

p= boş zaman yüzdesi

q= çalışılan zaman yüzdesi

n= istenen örnek büyüklüğü

Yapılan 50 tane denetleme sonucunda çalışılmayan denetleme sayısı 1 olarak gözlenmiştir. Bu gözlem sayısı yüze çıkarıldığında 100 denetlemeden 2'sinde boş zaman olacaktır. Bu durumda yapılması gereken minimum gözlem sayısını bulmak gerekirse;

Yüzde 95 güvenlik düzeyinde

1,96 $\delta p = 10$ olduğundan

$\delta p \cong 5$ 'tir.

Şimdi n'i bulmak için eşitliğe dönecek olursak;

$$(\delta p)^2 = pq / n$$

$$(5)^2 = 2 * 98 / n$$

$$n = 7,84$$

$$n \cong 8$$

Minimum yapılması gereken gözlem sayısı 8 belirlenmesine rağmen 10 adet gözlem yapılarak her bir aşama için standart zamanı hesaplanarak ve bu standart zamanları hat dengelemede işlem süreleri olarak kullanıldı. Normal zamanı hesaplarken kullanılan tempo değerini çoğu operatörün bayan olmasından kaynaklanan bir değer olan 100 üzerinden 90 temposunu, çalışma temposu belirgin derecede düşük olanlar için bu değeri 80-85 temposu belirlendi (Taniyaş, 1985: 24). Birkaç işlemin erkek çalışanlar tarafından yapılmasından dolayı tempo 95 üzerinden hesaplanmıştır. Yapılan süre ölçümleri ve hesaplanan standart süreler tablo da yer almaktadır.

Tabloda 10 ölçüm sonunda hesaplanan sürelere tempoları yansıtmak için

n= ölçülen süre

i= i. ölçülen iş

t= belirlenen tempo

s= standart süre

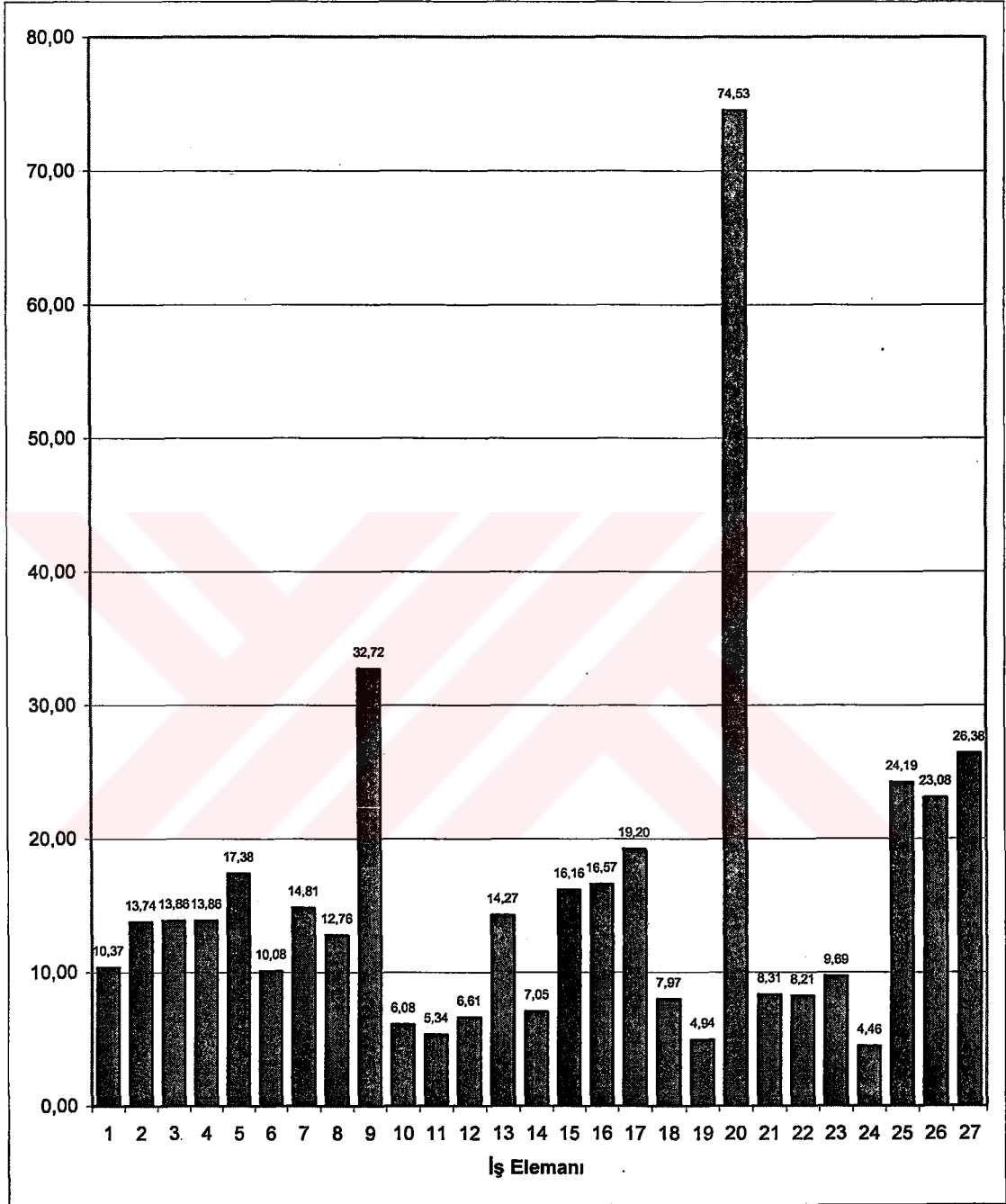
$$s = ((t_1 + \dots + t_i) / (100 * i)) * ((n_1 + \dots + n_i) / i)$$

Tablo 41 Hattaki İşlemlerin Sürelerinin Belirlenmesi

Süre Ölçümleri ve İşlemlerin Standart Süreleri																
SIRA NO	İŞLEM	GÖZLEM NO										Orün Adedi	ÖLÇÜLEN ZAMAN	NORMAL ZAMAN	STANDART ZAMAN	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
1	karta program yüklenmesi	süre	10,00	14,81	10,50	11,20	10,80	14,40	11,80	10,70	10,80	10,10	10,00	115,21	11,52	10,37
		tempo	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00			
2	karta pil lehimleme	süre	13,20	14,00	15,07	13,85	13,88	15,17	17,30	14,25	11,73	16,20	10,00	144,65	14,47	13,74
		tempo	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00				
3	kartın iletişim testi	süre	12,20	14,23	14,80	14,53	15,20	16,20	17,00	13,73	12,40	15,56	10,00	145,86	14,59	13,86
		tempo	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00				
4	kartın enerji testi	süre	11,30	15,20	15,20	14,20	14,23	15,05	15,20	13,73	15,00	16,73	10,00	145,85	14,59	13,86
		tempo	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00				
5	klemens ile şant birleştirme	süre	16,50	25,70	15,50	18,20	23,20	19,30	21,10	21,80	15,80	15,80	10,00	193,10	19,31	17,38
		tempo	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00				
6	klemens ile notur birleştirme	süre	10,20	9,80	11,60	9,70	10,80	12,50	12,40	11,70	12,20	11,04	10,00	112,04	11,20	10,08
		tempo	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00				
7	klens ile alt gövde birleştirme	süre	25,80	19,50	20,00	26,10	13,50	13,00	11,20	11,50	12,10	11,70	10,00	164,50	16,45	14,81
		tempo	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00				
8	swich kartın alt gövdeye mon.	süre	14,40	11,10	13,80	16,80	10,40	14,50	11,40	13,60	13,50	16,20	10,00	135,70	13,57	12,76
		tempo	85,00	85,00	85,00	80,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	80,00				
9	alt gövdeden karta 6 lehim (sayaç kapağına ve cam oturtma)	süre	27,70	29,70	41,80	28,80	41,20	30,60	30,80	36,30	39,20	45,50	10,00	351,80	35,18	32,72
		tempo	85,00	85,00	85,00	85,00	80,00	85,00	85,00	80,00	80,00	80,00				
10	barkotun kart üzerine yapıştırılması (sayaç kapağı ve cam birle.)	süre	4,10	3,80	5,60	6,50	5,90	6,80	7,00	8,70	8,90	9,30	10,00	67,60	6,76	6,08
		tempo	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00				
11	Süngerin Yerleştirilmesi	süre	7,80	4,50	7,80	5,70	5,50	6,20	6,00	4,80	5,25	5,80	10,00	59,35	5,94	5,34
		tempo	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00				
12	karttaki lede dürbün takılması	süre	3,20	3,40	7,80	2,10	5,30	7,50	8,80	10,40	10,70	14,20	10,00	73,40	7,34	6,61
		tempo	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00				
13	sayaç kapağına ve cam oturtma (alt gövdeden karta 6 lehim)	süre	15,30	11,35	12,01	10,80	11,88	14,87	18,87	25,50	20,60	17,40	10,00	158,56	15,86	14,27
		tempo	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00				
14	sayaç kapağı ve cam birle (barkotun kart üzerine yapıştırılması)	süre	8,69	7,84	8,35	8,50	6,40	7,60	9,80	6,00	7,90	6,50	10,00	78,38	7,84	7,05
		tempo	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00				
15	butonun montajı (Süngerin Yerleştirilmesi)	süre	15,90	16,80	16,00	15,80	14,50	19,09	20,80	21,30	19,00	20,50	10,00	179,59	17,96	16,16
		tempo	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00				
16	okuma pulunun montajı (karttaki lede dürbün takılması)	süre	17,80	22,60	15,10	17,20	19,00	18,80	14,80	18,70	17,80	22,10	10,00	184,10	18,41	16,57
		tempo	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00				
17	kapağın gövdeye oturtulması	süre	20,30	22,10	19,17	20,30	24,60	22,20	20,60	18,50	24,10	21,50	10,00	213,37	21,34	19,20
		tempo	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00				
18	sayaç kalibrasyon panosuna yerleştirme	süre	7,50	8,60	7,00	10,10	12,50	8,70	8,10	8,40	8,84	7,80	10,00	88,54	8,85	7,97
		tempo	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00				
19	barkotların okutulması	süre	4,50	4,50	6,20	6,60	5,80	4,80	5,10	4,10	3,30	7,00	10,00	52,00	5,20	4,94
		tempo	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00				
20	test ve kalibrasyonun başlatılması	süre	75,90	78,80	77,50	80,20	78,20	79,00	78,80	79,20	77,80	78,20	10,00	784,50	78,45	74,53
		tempo	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00				
21	sayaçın mühürlenmesi	süre	7,80	8,72	7,86	7,81	8,53	8,92	9,17	11,00	8,76	8,27	10,00	87,44	8,74	8,31
		tempo	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00				
22	askı aparatı montajı	süre	5,62	4,30	7,50	11,00	7,50	11,50	9,50	15,60	9,10	6,60	10,00	91,22	9,12	8,21
		tempo	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00				
23	klemus kapağı kapatma	süre	6,24	10,30	7,16	12,70	15,80	15,80	10,20	8,40	8,85	11,20	10,00	107,65	10,77	9,69
		tempo	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00				
24	etiket yapıştırma	süre	4,72	3,15	7,50	6,44	3,40	7,00	4,50	5,00	3,50	4,40	10,00	49,61	4,96	4,46
		tempo	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00				
25	sayaç barkotu okutulması ve barkotların yapıştırılması	süre	22,80	30,62	28,40	26,50	28,40	25,23	27,49	28,05	24,14	28,18	10,00	268,81	26,88	24,19
		tempo	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00				
26	kutuya hazırlama	süre	25,00	20,10	18,00	28,70	27,70	28,50	27,20	29,40	25,20	26,80	10,00	256,40	25,64	23,08
		tempo	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00				
27	sayaçın kutulanması	süre	39,40	33,60	32,80	34,60	34,30	28,40	29,30	27,20	30,80	29,50	10,00	319,70	31,97	28,38
		tempo	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00				

Toplam: 422,61

Şekil 21 Uygulama Yapılan Hattaki İşlemlerin Süreleri



Zaman etüdü ile işlemlerin standart sürelerini belirledikten sonra, hat dengeleme çalışmasına başlayabilmek için çevrim süresinin tespit edilmesi gerekmektedir. Bu değer hesaplanabilmesi için uygulama yapılan işletmede yıl sonu talep tahininden

yola çıkarak çevrim süresi hesaplanır. Fabrika tek vardiya olarak haftada 45 saat çalışmaktadır. Bu durumda üretim zamanı:

$$(45 \times 60) \times 60 = 162000 \text{ sn / vardiya haftalık olarak hesaplanır.}$$

Talep tahminleri yıllık yapıldığı için 2005 yılında normal çalışma hafta sayısı ile bu değer çarpılarak talep miktarına ulaşabilmek için ne kadar bir süreye sahip olduğu hesaplanır. Yıl içindeki resmi ve dini bayramlar sebebi ile olan tatillerde yıl içi çalışma takviminden çıkartılarak yıllık çalışma günü belirlenir. Bu sayı toplam 6 gündür. Dolayısı ile yıllık çalışma saati hesaplanırken yıldaki 51 hafta ve 1 gün hesap edilerek yıllık çalışma süresi hesaplanır.

$$162000 \text{ sn} \times 51 = 8262000 \text{ sn}$$

8262000 sn bu değere bir günlük çalışma süresinde eklediğimizde

$$162000 \text{ sn} / 6 = 27000 \text{ sn günlük kapasite}$$

$$8262000 + 27000 = 8289000 \text{ sn}$$

8289000 sn yıllık toplam süre olarak bulunur.

İşletmenin sahip olduğu süre hesaplandıktan sonra hattın arızalı ürün çıkarma oranı üretim planına ilave edilir. Montaj hattında arızalı ürün çıkma oranı fabrikadaki mühendislerin verdiği bilgiye göre %03 dür. Fabrikada yıllık planlanan üretim miktarı tahmini olarak 90000 adet/ yıldır. Montaj esnasında verilen fireyi de bu sayıya katarak yıl sonunda ne kadar ürün üretilmesi gerektiği bulunur.

$$90000 \times 1,03 = 92700$$

92700 adet ürün hattın yıl boyunca çıkmalıdır. Bu veriler ışığında çevrim süresi aşağıdaki formül ile bulunur.

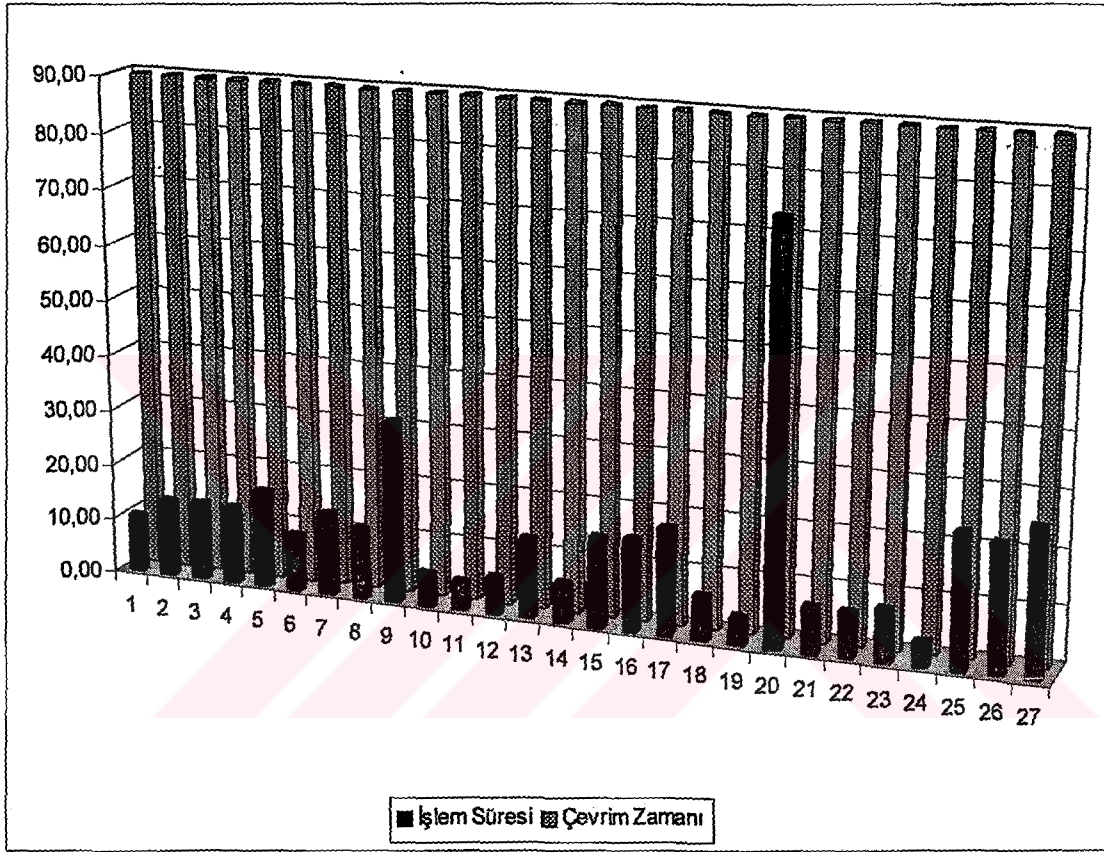
$$\text{Çevrim zamanı (C)} = \text{Üretim Zamanı} / \text{İstenen Üretim}$$

$$= 8289000 / 92700$$

$\cong 89,41$ saniye

89,41 sn çevrim süresi olarak belirlenir. Bu durumda mevcut işlerin çevrim süresini aşağıdaki grafikteki gibi olur.

Tablo 42 İşlemlerin Çevrim Zamanına Göre Durumu



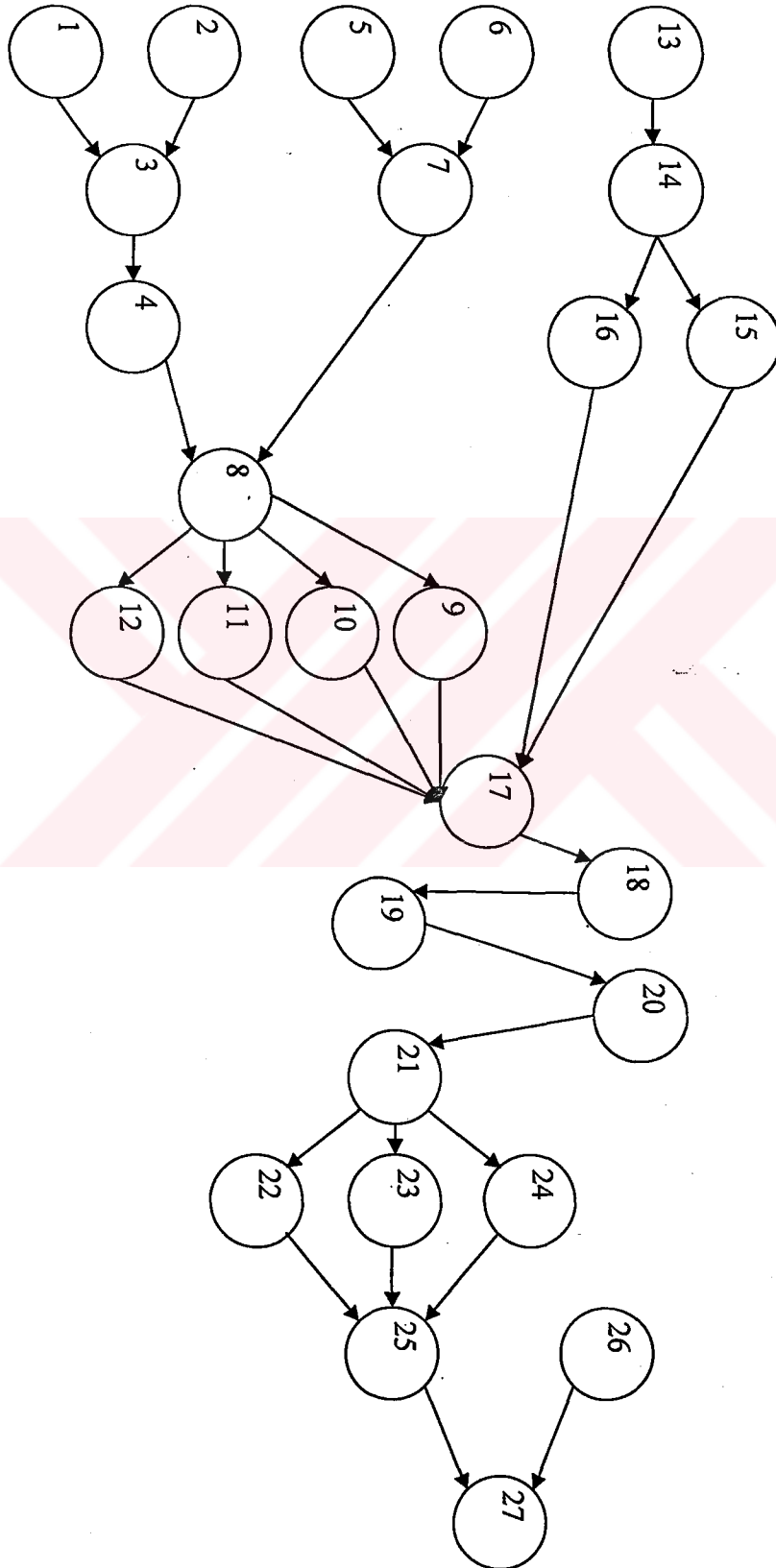
Tabloda da görüldüğü üzere işlem zamanlarından hiç biri hedeflemiş olduğumuz çevrim süresini aşmamıştır. Bu demek oluyor ki şu an mevcut olan üretim teknolojisi hattı ulaştırmak istediğimiz çevrim zamanına uygundur ve ek bir yatırım gerektirmez.

Ele alınan montaj hattı yapısı gereği tek model üreten bir hattır. Bu montaj hattının dengelenmesinde tek model montaj hattı dengeleme metotlarından sezgisel metot uygulanacaktır. Hat dengeleme işlemine geçmeden önce öncelik kısıtlarını dikkate alarak söz konusu aşamaların öncelik diyagramı aşağıda verilmiştir. Bu sayede

özümün her aşamasında, öncelikli duruma gelen operasyonları kolayca görmemizi sağlayarak sonuca ulaşmamızı kolaylaştırır.



Şekil 22 İşlem Önceliği Diyagramı



4.5.1. Sezgisel Yönteme Göre Çözüm

Montaj hattı dengeleme çalışmalarının büyük çoğunluğunun çözülmesinde bu yöntem basitliği çözüme çabuk sonuca gidişi ve işlemler arasındaki bağıntıları göz önüne alınması sebebi ile bu yöntem uygulamada kullanılmıştır. Bu yöntemde çevrim zamanını istenilen çevrim süresine indirmek sureti ile çözüme sistematik olarak ulaşan bir yol önerilmiştir. Sonuçta metodu kullanarak belirli sayıdaki iş istasyonu dahilinde en iyi çözümü vermesi beklenir. Çözüme ulaşmak için birkaç literasyon sonunda analiz edenin son cevaba ulaşıp ulaşmadığını kendisi karar verdiği için sezgisel olarak adlandırılmıştır. Gerekli bilgiler olan: öncelik diyagramı, işlemlerin süreleri, istenilen üretim hızı gibi bilgiler elde edildikten sonra olarak istenilen üretim hızının işlem sürelerinin herhangi birisini aşmaması gerektiği de kontrol edildikten sonra istasyonlara işlemler atanmaya başlar.

1. İş İstasyonu: Basit sezgisel yöntem gereği, işlem süresi en yüksek olan elverişli elemanı seçeriz ve 1. istasyona atarız. Bu durumda, 1. elemandan sonra gelen 2. iş elemanı elverişli eleman olur. 89,3 sn olarak belirlediğimiz C' den 1. iş elemanının işlem süresini çıkarttığımızda 1.istasyonun kalan boş süresi : $89,3 - 10,37 = 78,93$ sn bulunur. Bu süre, 2. iş elemanının 13,86 sn olan işlem süresinden Büyük olduğundan 1. istasyona atana bilir. 1. istasyona atanan diğer atamaları alttaki tabloda görebiliriz.

Tablo 43 1. İstasyon Yerleşimi

1. istasyon		C=	89,41 sn
İş no	Süre	Toplam süre	Kalan Süre
1	10,37	10,37	79,03
2	13,74	24,11	65,29
3	13,86	37,97	51,43
4	13,86	51,83	37,57
5	17,38	69,21	20,19
6	10,08	79,29	10,11

Tablodan da görüleceği üzere 7. iş elemanının teknolojik olarak 1. istasyona koyulmasına engel bir durum bulunmamasına rağmen çevrim süresinin aşılmasından

dolayı bu işi 1. istasyona atamıyoruz. 13. iş elemanı da yerleşime uygun olmasına rağmen bu elemanda süreye uygun olmadığından bu istasyona atanamaz. Bu durumdan sonra ikinci istasyona atamalarımızı devam ettiriyoruz.

Tablo 44 2. İstasyon Yerleşimi

2. istasyon		C=	89,41sn.
İş no	Süre	Toplam süre	Kalan Süre
7	14,8	13,74	75,66
8	12,8	27,57	61,83
9	32,7	60,29	29,11
10	6,08	66,37	23,03
11	5,34	71,71	17,69
12	6,61	78,32	11,08

2. İş İstasyonu: 7. iş elemanı tek elverişli elemandır ve 2. iş istasyonuna atanır. Bu atamadan sonra 8. iş elemanı elverişli konuma gelir. Bu eleman iş istasyonuna atandıktan sonra işlemlerin devamlılığı gereği 9 nolu iş elemanı istasyona atanır. Bu atamadan sonra kalan boş süre diğer işlemler olan 10 ve 11 nolu eleman yerleştirilmesine uygundur. 12. iş elemanını istasyona koyduğumuzda kalan sürenin 11,08 saniye olarak görürüz. 13. iş süresinin bu süreyi aşmasından dolayı bu işi bu istasyona atayamayız 17. elemanın yerleştirile bilmesi için ise 13. elemanın tamamlanması gerekmektedir bu yüzden yeni bir iş istasyonu açarız.

Tablo 45 3. İstasyon Yerleşimi

3. istasyon		C=	89,41 sn.
İş no	Süre	Toplam süre	Kalan Süre
13	14,3	13,74	75,66
14	7,05	21,32	68,08
15	10,1	31,42	57,98
16	16,6	47,99	41,41
17	19,2	67,19	22,21
18	7,97	75,16	14,24
19	4,94	80,1	9,3

3. İş İstasyonu: Elverişli durumdaki tek iş elemanı olan 13. eleman, 3. iş istasyonuna atanır ve bu durumda 14. eleman elverişli olur. Devamındaki diğer iş istasyonları kalan süre dikkate alınarak istasyona yerleştirilir. 20. iş elemanının süresi iş istasyonundaki

19. elemanın eklenmesi ile kalan süresinden büyük olduğundan 20. iş elemanı diğer istasyona atanır.

Tablo 46 4. İstasyon Yerleşimi

4. istasyon		C= 89,41 sn	
İş no	Süre	Toplam süre	Kalan Süre
20	74,53	74,53	14,87
21	8,31	82,84	6,56

4. İş İstasyonu: Tek elverişli iş elemanı olan 20. eleman, 4. iş istasyonuna atanır ve atama sonucu kalan 14,87 süreye uygun olan 21. eleman elverişli olur. 21. iş elemanı da atandıktan sonra istasyonun kalan süresi: 6,56 sn olur. Kalan süre, 22. elemanın 8,21 sn olan süresinden az olduğu için ve istasyona başka bir işlem atanamayacağı için 4. istasyona başka bir atama yapılamaz.

Tablo 47 5. İstasyon Yerleşimi

5. istasyon		C= 89,41 sn.	
İş no	Süre	Toplam süre	Kalan Süre
22	8,21	8,21	81,2
23	9,69	17,9	71,5
24	4,46	22,4	67
25	24,19	46,6	42,9
26	23,08	69,6	19,8

5. İş İstasyonu: 22. eleman elverişli tek elemandır ve 5. iş istasyonuna atanır. 23, 24, 25. atamalardan sonra elverişli duruma gelen 26. iş elemanı 5. istasyona atanarak boş süreyi 19,8 saniyeye düşürür. Atamalar sonucu 27. eleman elverişli olur. İstasyonun boş süresi: 19,8 sn' dir. Bu süre 27. elemanın 26,3 sn işlem süresinden fazladır. Bu , 5. istasyonda 27. iş elemanının da yapılmasına yetecek kadar boş zamana sahip olmadığından 27. eleman da 5. istasyona atanamaz.

Tablo 48 6. İstasyon Yerleşimi

6. istasyon		C= 89,41 sn.	
İş no	Süre	Toplam süre	Kalan Süre
27	26,3	26,3	63,1

6. İş İstasyonu: iş elemanlarından sonuncusu olan 27 elemanın yerleştirilmesi ile iş elemanı kalmadığından istasyona başka iş atanmaz.

4.5.2. Comsoal Yöntemine Göre Çözüm

Bu yönteme göre işleri, bu işleri takip eden işleri ve işlerden önce bitirilmesi gereken işlemleri gösterir A liste oluşturulur.

Tablo 1 Comsoal Çözümüne Göre A Liste

İş Elemanı	Bir Sonraki İş	Bir Önceki İş
1	3	0
2	3	0
3	4	1-2
4	8	3
5	7	0
6	7	0
7	8	5-6
8	9-10-11-12	4-7
9	17	8
10	17	8
11	17	8
12	17	8
13	14	0
14	15-16	13
15	17	14
16	17	14
17	18	9-10-11-12-15-16
18	19	17
19	20	18
20	21	19
21	22-23-24	20
22	25	21
23	25	21
24	25	21
25	27	22-23-24
26	27	0
27	0	26-27

A listenin oluşturulmasından sonra hangi işlemlerin atanabileceğini bulmak için B liste oluşturulur ve 1. istasyona atanabilecek olan işlemler seçilir.

Tablo 2 Oluşturulan B liste

İş Elemanı	Bir Sonraki İş	Süre (Saniye)
1	3	10,37
2	3	13,74
5	7	17,38
6	7	10,08
13	14	14,27
26	27	23,08

Yukarıdaki yerleştirmeye müsait olan işlerden çevrim süresini aşmayacak şekilde 1. istasyona yerleştirilir. Bu yerleştirmeler yapılırken her bir atama sonucu B listeye önceliği tamamlanmış yeni iş elemanının girip girmediği kontrol edilir. Atamalar yapılırken işlemler arasındaki bağlar göz önünde bulundurulur. 1. ve 2. iş elemanlarını atadığımızda 3 iş elemanı öncelikleri tamamlandığı için B listeye geçer ve bu iş elemanı da istasyona atanır. B liste aşağıdaki gibi oluşur.

Tablo 3 Oluşan 2. B Liste

İş Elemanı	Bir Sonraki İş	Süre (saniye)
5	7	17,38
6	7	10,08
13	14	14,27
26	27	23,08
4	8	26,38

3. iş elemanına bağlı olan 4. iş elemanı işlemlerin devamlılığı için 1. istasyona yerleştirilir. Bu işlemin ardından 8. iş elemanının olması için 5, 6 ve 7 nolu iş elemanlarının yapılması gerekmektedir. 1. istasyonun toplam süresi çevrim süresine ulaşmadığı için 5 ve 6. iş elemanları bu istasyona atanır ve istasyon süresi 79,29 saniyeye ulaşır. B listede kalan işlerden artık süreye ($89,41 - 79,29 = 10,12$ sn) uygun iş bulunmadığından istasyon bu aşağıdaki şekilde oluşur.

Tablo 4 Oluşan 1. İstasyon

1. istasyon		C=	89,41 sn
İş no	Süre	Toplam süre	Kalan Süre (saniye)
1	10,37	10,37	79,03
2	13,74	24,11	65,29
3	13,86	37,97	51,43
4	13,86	51,83	37,57
5	17,38	69,21	20,19
6	10,08	79,29	10,11

Tablo 5 1. İstasyon Sonrası B Liste

İş Elemanı	Bir Sonraki İş	Süre (Saniye)
13	14	14,27
26	27	23,08
7	8	14,81

Bu tablonun oluşmasından sonra ikinci istasyona atanabilecek üç iş arasından seçim yapılması gereklidir bunu kolaylaştırmak için ise işlem önceliği diyagramı göz önüne alınır. İşlerin devamlılığının ve iş istasyonunda farklı bir birinden bağımsız montajların önüne geçebilmek için 7. işin atanması uygun olur zira bu atamadan sonra 8. iş uygun duruma çıkarak bu iş elemanı atanarak takip eden 9, 10, 11, 12 nolu işler çevrim süresi sınırları içerisinde 2. istasyona atanır.

Tablo 6 Oluşan 2. istasyon

2. istasyon		C=	89,41 (saniye)
İş no	Süre	Toplam süre	Kalan Süre
7	14,81	14,81	74,59
8	12,76	27,57	61,83
9	32,72	60,29	29,11
10	6,08	66,37	23,03
11	5,34	71,71	17,69
12	6,61	78,32	11,08

2. istasyonun kalan boş süresini tamamlayacak başka bir işin bulunmamasından dolayı istasyonun tamamlandığı varsayılarak 3. istasyona yerleştirilebilecek işlerin listesi olan yeni B liste hazırlanır.

Tablo 7 2. İstasyon Sonrası Oluşan B Liste

İş Elemanı	Bir Sonraki İş	Süre (Saniye)
13	14	14,27
26	27	23,08

3. istasyona atanacak ilk işi bulmak istersek işlem önceliği diyagramına baktığımızda 17. iş elemanına kadar gelen işlerin bir kısmının yapıldığını görürüz. 13. iş ile başlayan diğer tarafının yapılmadığını görürüz. Dolayısı ile bu işlemi atadıktan sonra sırası ile 14, 15 ve 16 atanabilir duruma gelir. 17. iş elemanının öncelikleri tamamlanarak bu işin atanmasında süre olarakta bir engel bulunmamasından dolayı istasyona atanarak istasyonda boş süre olarak 22,21 saniye kalır. Bu süreye uygun olarak 18. ve 19. istasyonlarda istasyona atanarak istasyonun boş süresi 9, saniyeye kadar indirilir ve istasyon şu şekilde olur.

Tablo 8 Oluşan 3. İstasyon

3. istasyon		C= 89,41 sn.	
İş no	Süre	Toplam süre	Kalan Süre
13	14,3	13,74	75,66
14	7,05	21,32	68,08
15	10,1	31,42	57,98
16	16,6	47,99	41,41
17	19,2	67,19	22,21
18	7,97	75,16	14,24
19	4,94	80,1	9,3

Bu aşamadan sonra oluşacak yeni B listede 20. iş ile 26. iş yer alır. İşlem önceliği diyagramına bakılarak yüksek süreye sahip olan 20. iş atanır. Bu istasyonun kalan zamanına uygun olarak 21 nolu iş atanarak 4. istasyon aşağıdaki gibi tamamlanır.

Tablo 9 4. İstasyonun Oluşumu

4. istasyon		C=	89,41 sn
İş no	Süre	Toplam süre	Kalan Süre
20	74,53	74,53	14,87
21	8,31	82,84	6,56

Tablo 10 4. İstasyondan Sonra Oluşan B Liste

İş Elemanı	Bir Sonraki İş	Süre (Saniye)
26	27	23,08
22	25	8,21
23	25	9,69
24	25	4,46

Bu işlemler den işlem önceliği diyagramına bakılarak atanacak olan 22, 23, 24. işlemler atanarak 25. işin B listeye girmesi sağlanır. 25 iş elemanı da atandıktan sonra kalan süreye uygun olarak 26. iş istasyona eklenerek 5. istasyonun tamamlanması sağlanır.

Tablo 11 5. İstasyonun Oluşumu

5. istasyon		C=	89,41 (saniye)
İş no	Süre	Toplam süre	Kalan Süre
22	8,21	8,21	81,20
23	9,69	17,90	71,51
24	4,46	22,36	67,05
25	24,19	46,55	42,86
26	23,08	69,63	19,78

27 nolu işlem 5. istasyona istasyon süresi aştığından yerleştirilemez ve bu iş yeni bir istasyona atanır.

6. istasyon		C=	89,41 (saniye)
İş no	Süre	Toplam süre	Kalan Süre
27	26,38	26,38	63,02

4. 5.3. Çözümler Sonrası Durum

İş elemanlarının toplam süresi olan 422,61 sn ($\sum t_i$) yi çevrim süresi olan 89,41 (C) sn ye böldüğümüzde elde edilen değer bizim dengeleme sonucunda elde etmemiz gereken minimum istasyon sayısını belli eder.

$$\text{Minimum İstasyon Sayısı} = \sum t_i / C$$

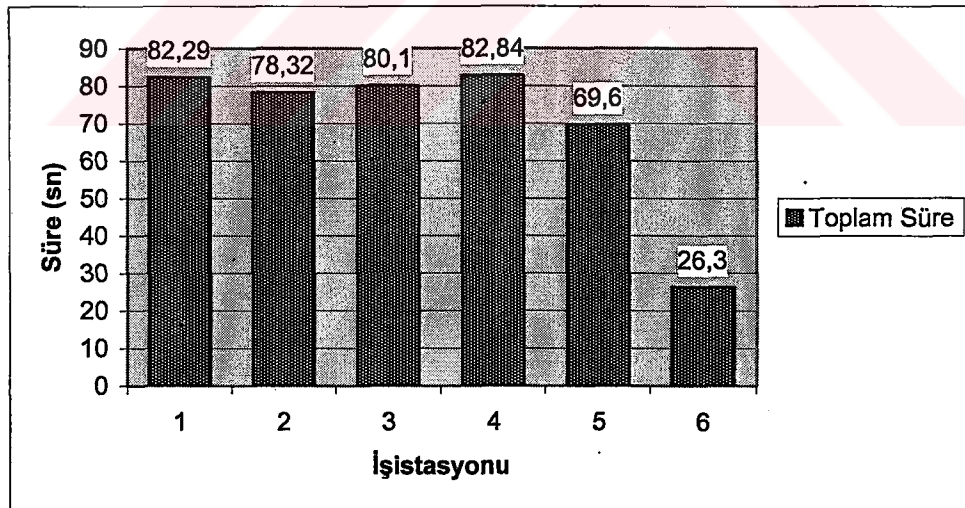
$$= 422,61 / 89,41$$

$$= 4,726652$$

≈ 5 iş istasyonu kurulabilir.

Sonuçta iki metodu kullanarak 6 istasyon elde edildi. Bu istasyonlara ait işlem süreleri (saniye) aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Tablo 60 Dengelenen İş İstasyonlarının Saniye Cinsinden Süreleri



Bu yerleştirmeye göre dengeleme verimliliğini hesaplamak gerekirse toplam işlem sürelerini istasyon sayısı (n) ile çevrim süresinin çarpımından elde edilen sayıya bölerek bulabiliriz. Yeni kurduğumuz istasyonlardan en uzun süreli olan 4. istasyon süresi çevrim süresi alınır.

$$\text{Hat Verimliliği} = \frac{\sum t_i}{n \times C}$$

$$= 422,61 / 6 \times 82,84 \text{ saniye}$$

≈ % 85'lık bir verimlilik oranı elde edilir.

Atama yapılan 6 iş istasyonu için montaj hattındaki toplam boş süre ise her bir iş istasyonunun boş süreleri toplanarak bulunur.

Tablo 61 Yerleştirme Sonucu Oluşan Boş Süreler

İş istasyonu	Toplam Süre	Boş Süre
1	82,7	0,14
2	78,32	4,52
3	80,1	2,74
4	82,84	0
5	69,6	13,24
6	26,3	56,54
C	82,84	
Toplam		77,18

Oluşturduğumuz iş istasyonlarının boş süresi 77,18 sn dir. Bu durumda dengeleme sonucu oluşan denge kaybını hesaplayacak olursak boş süre toplamını toplam süreye bölerek bu değeri hesaplayabiliriz.

$$\text{Denge Kaybı} = \frac{\sum (n \cdot C - t_i)}{\sum t_i}$$

$$= 77,18 / 422,61$$

$$\approx \% 18$$

oranında bir denge kaybı oluşur. Denge kaybı oranın yüzde olarak düşük çıkması istenen bir durumdur. Daha önceki hat dizilimine göre bu denge düzeyi daha iyi sonuç vermiştir.

SONUÇ

Montaj hatlarının dengelenmesi problemine 20. yüzyılın ortalarına kadar montaj hattında yer alan ustabaşı veya atölye sorumlusu olan mühendislerin çözmesi gerekli bir sorun gözü ile bakılmıştır. Üretimde farklı konularda karşılaşılan sorunlara yönelik akademik çalışmalar yapılmasına rağmen montaj hatlarının dengeleme çalışmaları 1955'te Salveson'un öne sürdüğü çalışma ile başlamıştır.

Montaj üretiminde hammadde ve yarı mamuller ardarda dizilmiş istasyonlardan geçerken işlem görerek son istasyondaki işlemlerin bitirilmesi ile bitmiş bir ürün halini almaktadır. Montaj hatlarında yapılan modifikasyonların ve çalışmaların amaçları mamülün oluşmasını sağlayacak olan işlemlerin en uygun biçimde bir araya getirilerek ürünün istenen nitelikte, işlem zamanı en uygun, boş sürelerin minimize edilmek istenmesidir. Bu nitelikleri sağlama bilmek için istasyon sayısının azaltılarak boş sürelerinin minimize edilmesi gerekir. İstasyon sayılarının minimize edilmesi ile sermaye maliyetleri indirgenebilir. Bunu sağlamanın yolu ise hattın dengelenmesinden geçer.

Bu çalışmada iyi bir yerleşimin yararlarının yanında montaj hatlarının bulunduğu sistemler irdelenerek bu sistemlerin sağladığı yararlar belirtilmiştir. Üzerinde üretilen model sayısına göre çeşitlilik gösteren montaj hatları tek modelli, çok modelli ve karışık modelli olarak ayrıştırılarak bunlardan tek modelli montaj hatları üzerinde durulmuştur. Daha sonraki bölümde tek model montaj hatlarına yönelik geliştirilen dengeleme yöntemleri incelenmiştir. Bu metotlarının incelenmesindeki amaç montaj yapan işletmelerin önemli problemi olan hat dengeleme problemine çözüm temin edecek bir çok metot verilerek mevcut sistemlerine adapte etmelerine yardımcı olmaktır.

Bu tezde kitlesel üretim metodu kullanarak elektronik elektrik sayacı üretimini gerçekleştiren işletmenin montaj hattında bu yöntemlerin hiç biri kullanılmadan montaj bölümünden sorumlu kişiler tarafından oluşturulmuş yerleşimin yerine dengeleme yöntemlerinden Dannenbring, Khumawala, Pinto tarafından ortaya atılmış olan sezgisel yöntem kullanılarak bir yerleşim biçimi önerinde bulunularak dengeleme konusundaki

açıklamalar somutlaştırılmıştır. Hat üzerindeki işler arasındaki bağların yerleşim planına yansıya bilmesi için dengeleme işlemi sezgisel yöntem kullanılarak yapılmıştır. Uygulamada gerçekleşen değişimler sonucunda iki düzen arasında fark aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 62 Dengeleme Öncesi ve Sonrası İstasyonların Durumu

İst. No	Dengeleme Öncesi Durum		Dengeleme Sonrası Durum	
	Top. İst. Süresi	İst. Boş Sü.	Top. İst. Süresi	İst. Boş Sü.
1	54,9	32,54	82,29	0,55
2	55,1	32,34	78,32	4,52
3	50,73	36,71	80,1	2,74
4	21,35	66,09	82,84	0
5	45,9	41,54	69,6	13,24
6	87,44	0	26,3	56,54
7	26,21	61,23	-	-
8	73,57	13,87	-	-

Dengeleme öncesi 8 iş istasyonuna sahip olan hattın çevrim süresi 87,44 saniye iken dengeleme işleminin hatta uygulanmasının ardından istasyon sayısı 6 ya düşerken çevrim süresi de 82,84'e düşürülmüştür. Çevrim süresinde %05'lik bir azalma sağlanmasına rağmen istasyon sayısında da %20'lik bir azalma meydana gelmiştir. Ayrıca hat verimliği ve denge kaybı açısından önceki ve sonraki durumu karşılaştıracak olursak aşağıdaki tablodaki gibi bir durum meydana gelir.

Tablo 63 Hat Verimliği ve Denge Düzeyinin Karşılaştırılması

	Dengeleme Öncesi Durum	Dengeleme Sonrası Durum
Hat Verimliği	60,4%	85,0%
Denge Kaybı	39,6%	18,3%

Dengeleme probleminin çözümü ile çevrim süresi ve istasyon sayısının azalması ile beraber verimlilik göstergeleri de olumlu yönde değişmiştir. Hat verimliliğinde %40'lık bir artış sağlanmıştır. Bunun yanında hattın boş sürelerinin bir gösterge oranı olan denge kaybının da olumlu olarak düştüğü gözlemlenmiştir.

Tezin içinde de değinildiği gibi yerleşim düzeni bozukluğundan kaynaklanan çevrim süresi ve iş istasyonu fazlalığı azaltılarak verimlilik dengeleme yöntemlerinin vaat ettiği gibi sağlanmıştır.

Bu tür çalışmalar yerleşim düzeni sorunlu olan tüm işletmeler tarafından yapılarak ülkemizde kıt bulunan bir üretim faktörlerinin en önemlisi sermayeyi etkin olarak kullanabilir. Buna bağlı olarak ise işletmelerin karlılığı ile beraber sektörlerinde rekabet güçleri de artmaktadır.



KAYNAKLAR

ACAR, Nesime ve ESTAŞ, S. (1986), Kesikli Seri Üretim Sistemlerinde Planlama ve Kontrol Çalışmaları, M.P.M Yayınları, 2. Baskı, Ankara

AĞPAK, Kürşad ve GÖKÇEN, Hadi (2002), Basit U Tıptı Montaj Hattı Dengeleme Problemine Bulanık Programlama Yaklaşımı, Deü Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt: 4 Sayı: 2.

AKAL, Zühal (1997), İş Etüdü, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, Ankara

ASLAN, Demir (1986), Üretim Planlama, ?,İzmir

AYANOĞLU, Murat (2004), Üretim Yönetimi, Sakarya Kitap Evi, Sakarya

BASKAK, Murat (1991), Montaj Hattı Dengelemesinde Çok Amaçlı Yaklaşım, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. İşletme Fakültesi, İstanbul

BECKER, Armin, SCHOLL, Armin, (2003), A Survey On Problems and Methods in Generalized Assembly Line Balancing, Jenaer Schriften zur Wirtschaftswissenschaft, Volume 21 s. 1-26

ÇELİKÇAPA, F. Omdan (1998), Endüstri İşletmelerinde Üretim Yönetimi ve Teknikleri, Vipaş Yayınları, Bursa

DEMİR, Hulisi M.(1987), Fabrika Yerleşim Düzeni, D.E.Ü.İ.İ.B.F Yayını, İzmir

ERKUT, Haluk ve BASKAK, Murat (1997), Tesis Tasarımı, İrfan Yayıncılık, İstanbul

Federeal Elektrik (2005), İşletme Profili <http://www.federal.com.tr/tr/profil.php> 04.04.2005

GÖKÇEN, Hadi (1994), Karmaşık Modelli Deterministik Montaj Hattı Dengeleme Problemleri İçin Yeni Modeller, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

JIN, Mingzhon. Wu, S. David (2002), A New Heuristic Method For Mixed Model Assembly Line Balancing Problem, Computer and Industrial Engineering Vol. 44 s. 159- 169

KARABATI, Selçuk, SAYIN Serpil (2003), Assembly Line Balancing In A Mixed Model Sequencing Environment With Synchronous Transfer, European J. Operation Resurce Volume 149 No 2 s. 417-429

KARAYALÇIN, İ. İlhami (1979), Kantitatif Planlama ve Karar Verme Yöntemleri, Meneteş Kitabevi, İstanbul

KOBU, Bülent (1998), Üretim Yönetimi, Avcıol Basım, İstanbul

KOÇER, Melih (1974), Fabrika Organizasyonu ve Dizaynı, Ankara

LAI, C.L., LEE, W.B.(2003), A Study Of System Dynamics In Just In Time Logistics, Journal Of Materials Processing Technology Vol. 138 s. 265-269

MARTIN, K. Starr (1989), Managing Production And Operations, London Prentice Hall

MUCUK, İsmet (1980), Modern Pazarlamada Mamul Planlama ve Geliştirme Stratejileri, İst. Ün. İ.F., İstanbul

ÖZGEN, Hüseyin (1987), Üretim Yönetimi, Çukurova Ü. İ. İ. B. F. Yayın, Adana

PALAKER, S. Udatta (1999), An Integer Programing Model For Paced Line

REED, Ruddell (1967), Fabrika Yerinin Seçimi Yerleşme Düzeni ve Bakımı Çev. MPM YAYINLARI, İstanbul

ROODA, J.E. ve VERVOORT, J.(2004), Analysis Of Manufacturing Systems, Eindhoven

SALVENDY, Gavriel (1982), Handbook of Industrial Engineering, J. Wiley and Sons

SITTICHAJ, Matanachi ve CANDACE, Arai Yano (2001), Balancing Mixed-Model Assembly Lines To Reduce Work Overload, IIE Transactions, Vol 33 s. 29-42

TANYAŞ, Mehmet (2000), Endüstri Mühendisliğine Giriş, Avcı Ofset, İstanbul

TANYAŞ, Mehmet (1985), Endüstri Mühendisliğine Giriş Ders Notları, BİLİMSel ve Teknik Yayınları, İstanbul

TAVUKÇUOĞLU, Cengiz (1999), Yeni Üretim Tekniklerine Bir Bakış, Kara Harp Okulu Yayınları, No 199, İstanbul

TEKİN, Mahmut (1999), Üretim Yönetimi, Arı Ofset, Konya

TOK, Aykut (1997), Üretim Sistemleri, Alfa Yayınları, İstanbul

ÖZ GEÇMİŞ

1980 yılında Bolu'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Sakarya ilinde tamamladı. 1998 yılında Sakarya Anadolu Lisesini bitirip aynı yıl Sakarya Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İşletme Bölümünü kazandı. 2002 yılında lisans eğitimini tamamladı. Daha sonra aynı yıl içinde Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler İşletme Bölümü Üretim Yönetimi ve Pazarlama programına kayıt hakkı kazandı. 2003 yılı Ocak ayından itibaren İşletme Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

