

U TİPİ MONTAJ HATTI DENGELEME PROBLEMLERİ VE
UYGULAMADA KARŞILAŞILAN SORUNLAR

Banu DOĞAN

Yüksek Lisans Tezi

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

2004

**U-SHAPED ASSEMBLY LINE BALANCING PROBLEMS AND
DIFFICULTIES THAT ARE OBSERVED IN PRACTICE**

Banu DOĞAN

Master of Science Thesis

Industrial Engineering Major

2004

U TİPİ MONTAJ HATTI Dengeleme Problemleri ve
Uygulamada Karşılaşılan Sorunlar

Banu DOĞAN

Osmangazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Bilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Servet HASGÜL

2004

Banu DOĞAN'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "U Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemleri ve Uygulamada Karşılaşılan Sorunlar" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmenliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

29.12.2004

Üye: Yrd.Doç.Dr. Servet HASGÜL



Üye: Doç.Dr. A.Attila İŞLİER



Üye: Yrd.Doç.Dr. Aykut ARAPOĞLU



29.12.2004

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun14...12...2004..... gün
ve 2004-18/7.... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. M. Selami KILIÇKAYA



Enstitü Müdürü

ÖZET

Endüstrileşme sürecinde, toplam işin öğelerine ayrılarak, bu parçaların ayrı ayrı işçiler tarafından yapılmasıyla daha hızlı ve kitlesel (seri) ve daha ucuz üretim yapılabileceği görüşü ortaya çıkmıştır. Bunun sonucu olarak üretim, üzerinde değişik iş istasyonlarının bulunduğu belirli bir hat üzerinden parçaların geçirilmesi yoluyla yapılır.

Son yıllarda tam zamanında üretim prensiplerinin uygulanmasının bir sonucu olarak birçok üretim hattı U hat şekline dönüşmektedir.

Bu çalışmanın amacı, U tipi hat dengeleme problemlerini incelemek, bir uygulamayla U hattının düz hatta üstünlüklerini ortaya koymak ve U hattının uygulanması sürecinde karşılaşılan sorunları belirlemektir.

U hattını dengelemede sezgisel yöntemlerden enbüyük pozisyon ağırlıklandırma yöntemi ve alternatif bir çözüm elde edebilmek için de enbüyük aday yönteminden faydalanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, U hat yerleşiminin, hattın etkinlik göstergelerinde iyileşme sağlayacağını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Montaj hatları, U tipi hat, Hat dengeleme

ABSTRACT

During the industrial revolution, the view arose that it is possible to accomplish the job in a faster and cheaper manner by separating it into its components and assigning each item to a different worker. Consequently, production is performed by moving the items through a given definite line along which there are workstations.

In the recent years, many production lines have been switched to U-type lines as a consequence of implementation of JIT principles into operations.

The aim of this study is to investigate the U-type line balancing problem and reveal the problems that are faced in the U-line application. An application is presented to show the advantages of U line over straight line.

Maximum candidate method in order to obtain an alternative solution and maximum position method which is an heuristic method are used to balance the U line. Obtained results have shown that U-line provides improvement in the line effectiveness indicators.

Keywords: Assembly lines, U shaped line, Line balancing

İÇİNDEKİLER

ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TABLolar DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. MONTAJ HATLARI VE HAT Dengeleme	3
2.1 Üretim Sistemleri ve Montaj Hatları	3
2.1.1 Üretim Sistemleri	3
2.1.2 Üretim Hatları	4
2.2 Hat Dengeleme Kavramı	6
2.2.1 Hat Dengeleme Probleminin Yapı Taşları	7
2.2.2 Hat Dengelemede Ölçütler	10
2.2.3 Hat Dengeleme Problemlerinde Karşılaşılan Kısıtlar	13
2.3 Montaj Hattı Dengeleme Problemlerinin Sınıflandırılması	13
2.4 Montaj Hattı Dengeleme Teknikleri.....	17
2.4.1 Sezgisel Yöntemler	18
2.5 Hat Dengelemenin İyileştirilmesini Sağlayan Uygulamalar	25
3. U HATLAR ve HAT Dengeleme PROBLEMLERİ.....	27
3.1 U Tipi Hatların Gelişimi.....	27

3.2 U Tipi Hat Problemleri Üzerine Yapılan Çalışmalar	30
3.3 U Hatlarının Sağladığı Yararlar.....	31
3.4 U Tipi Hat Dengeleme Probleminin Modellenmesi	35
3.5 Tamsayı Programlama Yaklaşımı ile U Tipi Hat Dengeleme Problemi	37
3.6 Dinamik Programlama Yaklaşımı ile U Tipi Hat Dengeleme Problemi	40
3.7 Yöntemlerin Değerlendirilmesi	40
4. MONTAJ HATTI DENGELEME ÇALIŞMASI VE U TİPİ HAT UYGULAMASI	41
4.1 Problemin Tanıtımı ve Analizi	41
4.2 Çözümde Kullanılan Yöntem ve Seçimi	42
4.3 Hattın Dengelenmesi ve Sonuçlar	44
4.4 Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması.....	45
4.5 Çalışmanın Değerlendirilmesi	46
4.5.1 U Tipi Hattın Kurulumu ve İşletiminde Karşılaşılan Sorunlar	47
4.5.2 U Hatlarının Etkin Çalışmasını Sağlayan Gereklilikler	48
4.5.3 Uygulama Çalışmasında Karşılaşılan Sorunlar.....	50
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	53
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	56
EKLER.....	61

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Üretim Sistemlerinin Gösterimi	5
Şekil 2.2. Öncelik Diyagramı	8
Şekil 2.3. Montaj Hattı Dengeleme Probleminin Sınıflandırılması	15
Şekil 2.4. Montaj Hattı Dengeleme Tekniklerinin Gösterimi	17
Şekil 3.1. Sürece Göre Piston Üretim Hattının Gösterimi.....	28
Şekil 3.2. U Tipi Hat (Piston Üretim Hattı) Gösterimi.....	29
Şekil 3.3. Düşük Talep Durumunda Montaj Hattı Gösterimi.....	34
Şekil 3.4. Yüksek Talep Durumunda Montaj Hattı Gösterimi	34
Şekil 3.5. U Tipi Hatların Yararlarının Gösterimi.....	35
Şekil 3.6. Hayali Öncelik Diyagramı İlave Edilerek Genişletilmiş Öncelik Diyagramının Gösterimi.....	38

TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1. Öncelik Matrisi.....	9
Tablo 4.1. İncelenen Ürünlerin Günlük Üretilmesi Gereken Miktarları ve Çevrim Süreleri	43
Tablo 4.2. Dengeleme Sonucunda Hattın Başarı Göstergeleri.....	44
Tablo 4.3. Uygulanan Yöntemler ile Dengeleme Sonucunda Hattın Başarı Göstergeleri	45



1. GİRİŞ

Günümüzde, ülkemizde ve bütün dünyada işletmelerin büyük bir bölümü montaj yoluyla üretim yapmaktadır. Bu tip üretim sistemlerinde montaj hatları, sistemin 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 optimum istasyon sayısını tespit etmeyi amaçlar. Dengeleme sonucu optimum istasyon sayısının belirlenmesiyle beraber, optimum işçi sayısı da tespit edilmiş olur ve işletme, kapasitesinin daha büyük bir kısmını kullanabilir duruma gelir.

Geleneksel hat dengeleme probleminde modellenen üretim hattı “düz” olarak organize edilmiştir. İşletmelerdeki yerleşim, işgücü ve benzeri kısıtlardan dolayı Geleneksel montaj hatları yetersiz kalmaktadır. Toyota'nın TZÜ (Tam Zamanında Üretim) prensiplerinin uygulanabilmesi için üretim hattını “U” tipinde organize etmesiyle yeni bir hat tasarımı ortaya çıkmıştır. Geleneksel hatlardan farklı olarak U-tipi montaj hatlarında yerleşim U şeklinde olup, hattın giriş ve çıkışı aynı pozisyonda bulunmaktadır.

Geleneksel hat dengeleme problemi ile U hattı dengeleme problemi arasındaki anahtar fark; geleneksel hat dengeleme probleminde, atanabilir görevler kümesindeki görevlerin (öncülleri daha önceden atanmış görevler) seçilerek ilgili istasyona atanması, U hattı dengeleme probleminde ise, atanabilir işler kümesinin öncülleri atanmış işler kümesi ile ardılları atanmış işler kümesinin birleşiminden oluşmasıdır. İstasyona atanacak işler bu kümeden seçilecektir.

Konuyla ilgili olarak yapılan çalışmada, U tipi montaj hattı dengeleme problemleri üzerinde durulmuş ve düz hatta üstünlüklerine yer verilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde montaj hatları ve hat dengeleme kavramı ele alınmaktadır, hat dengeleme problemlerinde amaç kriterleri ortaya konmakta ve hat dengelemenin iyileştirilmesini sağlayan uygulamalardan bahsedilmektedir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde, U tipi hatların gelişimi ve U tipi hat problemlerinde yapılan çalışmalar hakkında bilgi verilmekte, U tipi hatların sağladığı yararlar ve hat dengeleme problemleri ele alınmaktadır.

Çalışmanın dördüncü bölümünde, bir montaj hattı dengeleme çalışması yapılmış, daha sonra montaj hattının, U tipi hat olduğu varsayımıyla dengeleme yapılarak U tipi montaj hatları ile düz hatlarının başarı göstergeleri karşılaştırılmıştır.

Beşinci ve son bölümde ise, uygulama sonunda elde edilen sonuçlar ve yapılan çalışma ile edinilen bilgi birikimi aktarılmakta ve konuyla ilgili olarak yapılabilecek çalışmalara yol gösterici öneriler sunulmaktadır.

2. MONTAJ HATLARI VE HAT DENGELEME

Sürekli üretim sistemlerinde, üretimin birimler halinde gerçekleştirildiği ve kitle talebin olduğu durumlarda, yüksek üretim hızıyla talebi karşılamanın en makul yolu montaj hatlarının yapılandırılmasıdır (Ağpak vd., 2002)

Bir veya birkaç ürün için kurulacak montaj hattı tasarlandığında; bu hattaki iş istasyonlarına ilişkin işlem sürelerinin dengelenmesi sorunu ortaya çıkar (Erkut ve Baskak, 1997). Dengeli bir hat, şu şekilde tanımlanabilir: İşin bir eylemden diğerine, istenilen hızda akmasını sağlayacak şekilde, yaklaşık eşit üretim hızındaki işlemlerin seri olarak düzenlenmesi (Acar ve Eştaş, 1986).

2.1 Üretim Sistemleri ve Montaj Hatları

En kaba şekliyle üretim, "emek, sermaye, arazi ve bunların birleşiminden doğan ve buna eklenen organizasyon ögesinin yarattığı mal ve hizmet" olarak tanımlanmaktadır. Tanımdan da anlaşılacağı gibi, üretim bir dönüşümü ifade eder.

Üretim sistemleri ise hammadde ve/veya yarı mamullerin bir dönüşüm süreci ile ürün haline getirildiği sistem olarak tanımlanabilir (Gökçen,1994).

2.1.1 Üretim Sistemleri

Üretim sistemlerini genel olarak üç başlık altında toplamak mümkündür.

Sipariş Tipi Üretim Sistemi :

Az sayıda mamulün bir defada üretimi veya talep edildikçe belirli/belirsiz aralıklarla üretimini içeren, düşük üretim miktarına karşın ürün çeşitliliğinin çok olduğu üretimlerdir (Gökçen,1994). Atölye tipi üretim sistemi olarak da adlandırılan bu sistemde tezgahların yerleştirilmesi, işlevsel (sürece göre) düzenleme olarak adlandırılan, aynı işlemleri tezgahların gruplanarak belirli alanlarda toplanmasıyla sağlanır. Bu tip üretim, iş akışının karmaşık olmasına neden olmaktadır. Karmaşık iş akışı ise, uzun üretim süresi, büyük süreç içi stokları, kayıp sipariş ve kötü kalite şeklinde üretime yansır (Erkut ve Baskak, 1997).

Parti Tipi Üretim Sistemi :

Belirli bir siparişi ya da sürekli talebi karşılamak için benzer veya aynı cins ürünlerin belirli/belirsiz zaman aralıklarında partiler halinde üretimidir. Bu sistemlerin en büyük özelliği, bir parti bitmeden diğerinin üretimine geçilmemesidir. Ayrıca talep süreklidir ve sipariş tipi üretimde olduğu kadar değişken değildir (Gökçen,1994).

Seri (Akış Tipi) Üretim Sistemi :

Talebin büyük, ürün çeşitliliğinin ise az olduğu üretimlerdir (Gökçen,1994). Bu üretim sisteminde hammadde ve yarı mamul olarak alınan malzemeler bir hat boyunca sıralanmış olan makineler ve özel donanımlar aracılığıyla ardışık olarak işlenirler ve hat sonunda işlemleri tamamlanmış veya ürün durumuna gelmiş olarak alınırlar. Üretim sırasında her makine işlemi için belirli bir süre ayrılmıştır. Bu nedenle duraklama ve ara bekleme süreleri en aza indirilmiştir. Hat üretiminde boş bekleme, gecikme ve ara depolardaki yığılmalar; işlem süreleri arasındaki farklardan dolayı oluşur. Bu farkları gidermek için, “üretim hattı dengelemesi” yapılır (Erkut ve Baskak, 1997).

2.1.2 Üretim Hatları

Seri (Akış tipi) üretim olarak adlandırılan üretim tipi kendi içinde;

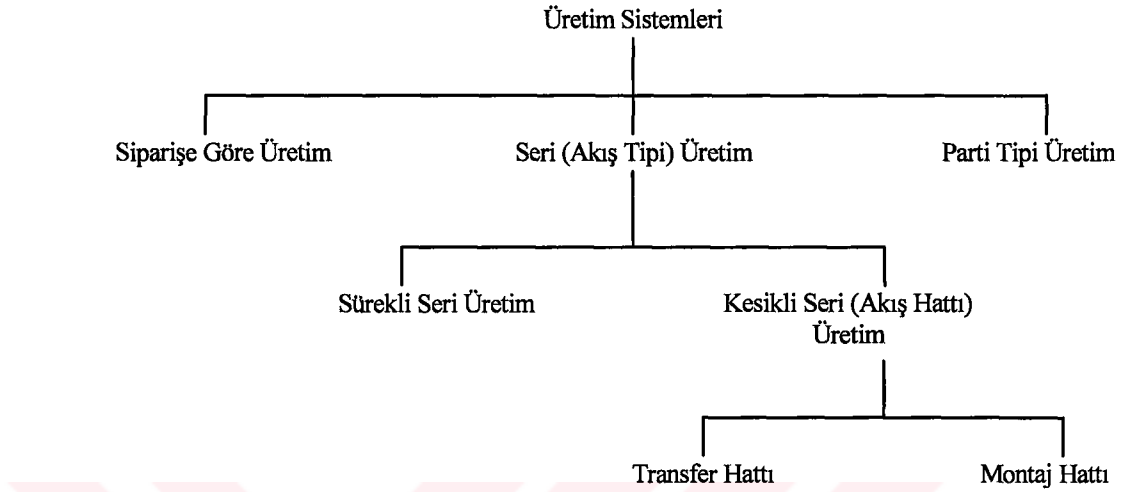
- sürekli seri üretim akış hatları,
- kesikli seri üretim akış hatları

olmak üzere ikiye ayrılır (Erkut ve Baskak, 1997). Sürekli seri üretimde üretilen ürünler doğal yapıları itibariyle kendiliğinden akar. Kesikli seri üretimlerde ise, ürünler tek tek birimler halinde birbirini takip eden iş istasyonlarında gerekli işlemlerin yapılmasıyla meydana gelir. Seri üretim sistemlerinin ilk şartı üretilen ürüne sürekli talebin olmasıdır (Gökçen, 1994).Kesikli seri üretim akış hattı ise kendi içinde;

- transfer hattı,
- montaj hattı

olarak ikiye ayrılır (Erkut ve Baskak, 1997).

Şekil 2.1'de üretim sistemlerinin sınıflandırılması gösterilmektedir (Gökçen,1994).



Şekil 2.1. Üretim Sistemlerinin Gösterimi

Ürün veya ürünlerin montajı için malzemelerin bir hat boyunca çoğunlukla işgücünden yararlanılarak hatta bulunan iş istasyonlarında işlenmesi ve hat boyunca transferi şeklinde oluşan montaj hatları ile malzemelerin hat boyunca otomatik transferi ve otomatik imalat makinalarında işlenmesi olarak adlandırılan transfer hatlarından oluşan akış hatları, ürünler yönüyle incelendiğinde 3 temel tipte akış hattından bahsedilebilir. Bu akış hatlarını şu şekilde sıralayabiliriz (Acar ve Eştaş,1991);

- Tek bir tip ürünün veya modelin üretildiği tek modelli hatlar,
- Birden fazla modelin aynı anda üretildiği karma modelli hatlar,
- Aynı hatta farklı modellerde yığınlar halinde üretimin yapıldığı çok modelli hatlar.

Akış hatlarının tasarımında toplam iş yükünün iş istasyonlarına dengeli bir şekilde dağıtılması ve üretim hattındaki bazı iş istasyonlarında diğerlerinden daha fazla iş yükü olması durumunda ortaya çıkan verim düşüklüklerinin ve bir takım kayıpların giderilmesi amaçlanmaktadır. Bütün iş istasyonlarında belirli bir zaman süresinde eşit sayıda ürün işlenmesini sağlamak amacıyla, yapılan işle ilgili kısıtlamaları da (öncelik

kısıtları, bölgesel kısıtlamalar,vb.) göz önünde bulundurarak belirlenen kriterlerin (minimum istasyon sayısı, çevrim süresi, işgücü ve stok maliyetleri,vb.) en iyilenmesini sağlayacak şekilde işlerin iş istasyonlarına atanması problemine hat dengeleme problemi adı verilir. Hat dengeleme çalışmalarında ulaşılmak istenen amaçlar şunlardır (Erkut ve Baskak,1996);

- Düzenli bir malzeme akışını sağlamak,
- İnsan gücü kullanımını en üst düzeye ulaştırmak,
- Makine kapasitelerini en üst düzeyde kullanmak,
- İşlemler için en az süreyi kullanmak,
- En az miktarda malzeme kullanmak,
- Boş süreleri veya dengeleme kayıplarını en küçükleme,
- İş istasyonu sayısını en küçükleme,
- Dengeleme kayıplarını iş istasyonları arasında düzgün dağıtmak, vd.

Hat dengeleme çalışmasında ulaşılmak istenen bazı amaçlar birbirleriyle çelişebilmektedir. Bu tip durumlarda hepsini göz önünde bulundurarak en büyük faydayı sağlayacak şekilde uygun bir dengeleme çalışması yapılmalıdır.

2.2 Hat Dengeleme Kavramı

Endüstrileşme sürecinde, toplam işin öğelerine ayrılarak, bu parçaların ayrı ayrı işçiler tarafından yapılmasıyla daha hızlı ve kitlesel (seri) ve daha ucuz üretim yapılabileceği görüşü ortaya çıkmıştır. Bunun sonucu olarak üretim, üzerinde değişik iş istasyonlarının bulunduğu belirli bir hat üzerinden parçaların geçirilmesi yoluyla yapılır (Erkut ve Baskak, 1997).

Montaj işleminin yapılabilmesi için gerekli işler, bu işlerin aldıkları süreler ve aralarındaki öncelik ilişkileri verildiğinde, işlerin bir performans ölçüsü eniyilenecek şekilde sıralı iş istasyonlarına atanması, montaj hattı dengeleme problemi olarak tanımlanmaktadır (Ağpak vd., 2002).

2.2.1 Hat Dengeleme Probleminin Yapı Taşları

Bir montaj hattının temel özelliği, iş parçalarının bir istasyondan diğer bir istasyona hareket etmesidir. Montaj hattında bir ürünün montajı, birçok parça, bileşen ve alt montajın bir araya getirilmesi ve bunların üzerinde bir takım işlemlerin uygulanmasıyla gerçekleştirilir. İşlemleri yapacak olanlar, hat boyunca sıralanmış iş istasyonlarıdır.

İş Elemanı :

İşler, temel hareketlerden veya iş parçacıklarından oluşur. İş elemanları; toplam işin uygun ve pratik en küçük alt parçalarıdır ve bu iş parçacıklarının bir veya birkaçı tarafından oluşturulurlar. İş elemanı; bir üretim sürecinde yapılması gereken işlemlerin gözlemleme ve ölçüme izin verecek şekilde mantıksal olarak bölünmüş kısmıdır. Diğer bir görüşe göre iş ögesi; montajcılar arasında gereksiz karışıklıklara neden olmadan, iki veya daha fazla işçi arasında paylaşılması olanaksız en küçük iş birimidir. Yani toplam işin kaç aşamada tamamlanacağını ve bunların hangi aşamalar olacağını belirleyen, işi yeterli ve anlamlı en azlara bölme sonucu ortaya çıkan birimler ve yapılacak işlemlerdir.

$$T_{ej} = \text{j. iş elemanının süresi}$$

$$n_e = \text{Toplam iş elemanı sayısı}$$

İş İstasyonu :

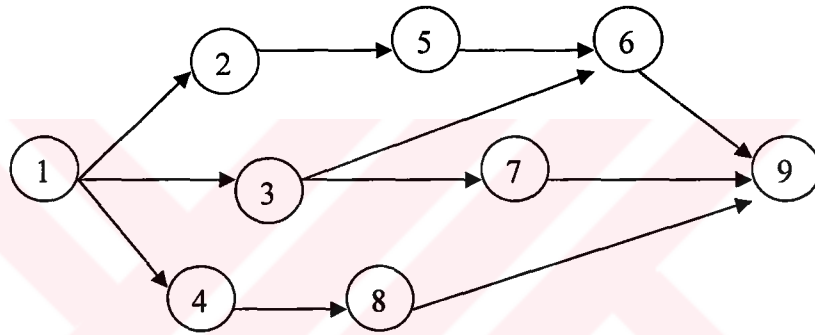
Üretim hattında yapılması gereken toplam iş miktarının bir kısmının yerine getirildiği yerdir

$$n_{enk} = \text{enk istasyon sayısı}$$

$$n_{enk} \geq \text{enk tamsayı} \frac{\sum_{j=1}^{n_n} T_{ej}}{C}$$

Öncelik Diyagramı :

Montajın teknik özelliklerinden dolayı, bazı iş elemanlarının zorunlu olarak birbirini izlemesi gerekir. Bu özelliklerin tümü öncelik ilişkileri adı altında toplanır. Ürünün yapılabilmesi için gerekli iş elemanları arasındaki öncelik ilişkilerinin gösterimini sağlayan ağ model, öncelik diyagramı olarak adlandırılır. Bu diyagram, bir okla birbirine bağlanmış iki iş elemanından okun çıktığı yönde bulunanın, okun ucunda bulunan iş elemanından daha önce işleme alınacağını gösterir. İçindeki numaralar iş elemanı numaralarını, dairelerin sağ üstündeki sayılar ise iş elemanı sürelerini gösterir. Şekil 2.2’de bir montaj hattına ilişkin öncelik diyagramı görülmektedir.



Şekil 2.2. Öncelik Diyagramı

Öncelik Matrisi :

Öncelik matrisi bir üst üçgen matristir. Öncelik diyagramında, i görevini j görevi takip ediyorsa, i. Satır ve j. Sütun için giriş 1 olarak yazılır. Diğer durumlarda ise, bu değer sıfırdır. Şekil 2.2’de gösterilen öncelik diyagramı için oluşturulan öncelik matrisi Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Öncelik Matrisi

		Görevler								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Görevler	1	-	1	1	1	1	1	1	1	1
	2		-	0	0	1	1	0	0	1
	3			-	0	0	1	1	0	1
	4				-	0	0	0	1	1
	5					-	1	0	0	1
	6						-	0	0	1
	7							-	0	1
	8								-	1
	9									-

İş Hacmi :

Montaj hattı üzerinde bir ürünün montajı için gerekli olan sürelerin veya işi oluşturan tüm iş elemanlarının standart sürelerinin toplamıdır.

$$T_{ih} = \sum_{j=1}^{n_e} T_{ej}$$

Çevrim Süresi :

Çevrim süresi, montaj hattında, ürünün bir istasyonda kalabileceği en büyük süre veya bir iş istasyonundaki işçinin o istasyonda yapılması gerekli işleri tamamlaması için gerekli süre olarak tanımlanabilir (Baskak, 1998).

Çevrim süresi, iş istasyonu süresine eşit veya daha büyük olabilen, iş istasyonundaki işçinin, işini tamamlayabilmesi için kullanabileceği süredir.

Kuramsal olarak çevrim süresi, gerçekleşmesi istenen ürün çıktısından hesaplanabilir. T birim sürede Q birim parça üretilmesi durumunda:

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

n_{enk} verilmesi durumunda:

$$C = \frac{\sum_{j=1}^{n_e} T_{ej}}{n_{enk}}$$

Çevrim süresi enbüyük iş elemanı süresine eşit veya büyük olmalıdır .

$$\max T_{ej} \leq C \leq \sum_{j=1}^{n_e} T_{ej}$$

İş İstasyonu Süresi :

Bir istasyona atanmış iş elemanlarının süreleri toplamıdır. Bir iş istasyonu süresi, o hattaki iş elemanı sürelerinin en büyüğünden küçük olamaz.

$$\sum_{i=1}^n T_{si} = \sum_{j=1}^{n_e} T_{ej}$$

Çevrim süresi iş istasyonu süresine eşit veya büyük olmalıdır

$$C \geq T_{si} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

2.2.2 Hat Dengelemede Ölçütler

Montaj hattı dengeleme problemlerinde amaç, işin yapılışı ile ilgili kısıtları göz önünde bulundurarak belirlenen bir kriteri eniyileyecek şekilde işlemlerin iş istasyonlarına atanmasıdır. Hat dengeleme problemlerinde kullanılan amaçlar iki temel tipte sınıflandırılmıştır. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir (Ghosh ve Gagnon,1989);

Teknik ölçütler:

- Verilen çevrim süresi için iş istasyonu sayısının enküçüklenmesi,
- Verilen iş istasyonu sayısı için çevrim süresinin enküçüklenmesi,
- Hat boyunca toplam aylak zamanın enküçüklenmesi,
- Denge gecikmesinin enküçüklenmesi,

- Hat uzunluğunun enküçüklenmesi,
- İş yapma zamanının enküçüklenmesi,
- İş istasyonlarının çevrim süresini aşma olasılığının enküçüklenmesi,

Ekonomik ölçütler:

- İşgücü, iş istasyonu ve bitmemiş işlerin toplam maliyetinin enküçüklenmesi,
- İşçilik maliyetinin enküçüklenmesi,
- Verimsizlik durumunda katlanılan toplam (ceza) maliyetin enküçüklenmesi,
- Stok, ayar ve aylak zaman maliyetlerinin enküçüklenmesi,
- Süreç içi stok maliyetinin enküçüklenmesi,
- Net karın enbüyüklenmesi,

Teknik ölçütler arasında verilen çevrim süresi için iş istasyonu sayısının enküçüklenmesi en çok kullanılan olmakla beraber verilen iş istasyonu sayısı için çevrim süresinin enküçüklenmesi ve hat boyunca toplam aylak zamanın enküçüklenmesi de montaj hattı dengeleme problemleri için geliştirilmiş olan yöntemlerde sıklıkla kullanılan diğer teknik ölçütlerdir. Ekonomik olarak da işgücü, iş istasyonu ve bitmemiş işlerin toplam maliyetinin enküçüklenmesi ve işçilik maliyetinin enküçüklenmesi en çok kullanılan ekonomik ölçütlerin başında gelir (Ghosh ve Gagnon,1989).

Yaygın olarak kullanılan ve bu çalışmada benimsenen süre ve ölçütler şu şekilde açıklanabilir :

İstasyon Boş Süresi :

Her bir iş istasyonu için çevrim süresi ile istasyon süresi arasındaki farktır. Dengeleme kriterinin seçimi genel olarak boş süre ile ilgilidir.

Denge Kaybı :

İş istasyonları arasındaki montaj işlemlerinin dengesiz bir şekilde dağıtılmasından kaynaklanan boş zamandır. Herhangi bir iş istasyonu için istasyon boş süresinin çevrim süresine oranından elde edilir ve elde edilen sonuç o istasyonun verimsizliğinin göstergesidir.

$$d_i = \frac{C - T_{si}}{C} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

Bütün hat için denge kaybı:

$$d = \frac{n * C - \sum_{j=1}^{n_e} T_{ej}}{n * C}$$

Düzensizlik İndeksi :

İstasyon boş sürelerinden yararlanılarak hattın düzensizliğini belirleyen indekstir. Sıfıra yaklaşması hat dengelemenin başarılı olduğunu gösterir.

$$S.I = \sqrt{\sum_{i=1}^n (C - T_{si})^2}$$

Hat Etkinliği :

İş hacminin çevrim süresi ile istasyon sayısının çarpımına oranı ile belirlenir. Bu ölçek, montaj hatları için önemlidir. Montaj hattındaki toplam işgücünün ne kadarlık bir yüzdesinin kullanıldığını gösterir.

$$\frac{\sum_{i=1}^n T_{si}}{n * C} = \frac{\sum_{j=1}^{n_e} T_{ej}}{n * C}$$

2.2.3 Hat Dengeleme Problemlerinde Karşılaşılan Kısıtlar

Hattın performansını arttırmak, istasyonlara eşit iş yükü dağıtımını sağlamak amacıyla yapılan hat dengeleme çalışmasında uyulması gereken bazı temel kurallar vardır. Bunlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Sönmez,1991);

- Bütün işler ve iş elemanları iş istasyonlarına atanmalıdır,
- Bir iş elemanı sadece bir iş istasyonuna atanabilir,
- İş istasyonuna atanan elemanların toplam süreleri çevrim süresini geçemez,
- İş elemanları arasındaki teknolojik ilişkilerden ortaya çıkan ve işin yapılış sırasını etkileyen öncelik ilişkileri bozulamaz.

Bu temel kısıtların yanı sıra hat dengeleme probleminde ürünün ve hattın özelliğine göre oluşan kısıtlarla da karşılaşılabilir. Bu kısıtlara ait örnekler aşağıda verilmiştir (Ghosh ve Gagnon,1989);

- Bir grup iş elemanının aynı iş istasyonuna atanmasını engelleyen (negatif) veya bazı iş elemanlarının aynı iş istasyonunda yapılmasını gerektiren (pozitif) bölgesel kısıtlar,
- Paralel istasyonların gerekliliği,
- Ekipman sayısının sınırlı olması,
- İstasyonların hattın sağında ve solunda olma durumu,
- Dar boğaz yaratan istasyonların bulunması,
- Hat uzunluğunun sınırlı olması,
- İşçiler için belirli bir hareket zamanının bulunması, v.d

Gerçek hayatta karşılaşılan hat dengeleme problemlerinin çözümünde teknolojik sınırlamalar, ekipman kısıtları, iş istasyonu ile ilgili kısıtlar, çalışanlar ile ilgili sınırlamalar, süreçle ve tesisle ilgili sınırlamaların göz önünde bulundurulması ve bu koşulları eniyileyecek uygun bir çözümün bulunması gerekmektedir.

2.3 Montaj Hattı Dengeleme Problemlerinin Sınıflandırılması

Montaj işleminin yapılabilmesi için gerekli görevler, bu görevlerin aldıkları süreler ve aralarındaki öncelik ilişkileri verildiğinde, bir performans ölçüsü eniyilenecek

şekilde, görevlerin sıralı istasyonlara atanması, Montaj Hattı Dengeleme Problemi (MHDP) olarak tanımlanabilir. Kullanılan performans ölçülerinin önemli bir bölümü, iki ana grupta toplanabilir: Birinci grup, hat boyunca yerleştirilen istasyon sayısı, ikinci grup ise istasyonlara verilen sürelerdir(çevrim süresi). Birinci grup işgücü maliyetini enküçüklemekte, ikinci grup ise üretim miktarını enbüyüklemektedir.

Montaj Hattı Dengeleme Problemlerinde, çok genel iki farklı durum söz konusudur:

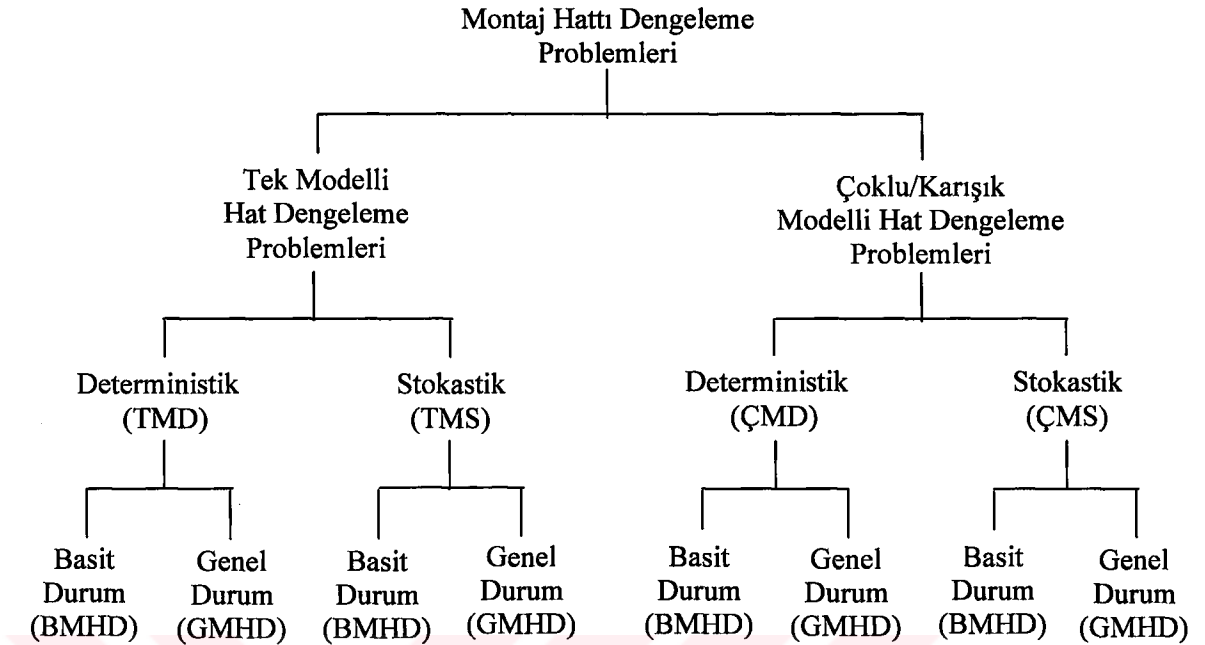
1. İşlem zamanlarının belirli olması (Deterministik MHD)
2. İşlem zamanlarının değişken olması (Stokastik MHD)

Deterministik MHD problemlerinde, görev zamanlarının verilmiş olduğu ve bu zamanların bir birimden diğerine herhangi bir değişim göstermediği varsayılmaktadır.

Stokastik MHD problemlerinde ise, görev zamanları, belirli bir dağılımla ifade edilir. İnsan unsuru, görev zamanlarının değişken olmasına yol açmaktadır. Söz konusu değişkenliğin sebepleri arasında yorulma, dikkatin dağılması, yetersiz nitelikli işgücü, iş tatminsizliği, hatalı girdiler, araç/gereç bozulmaları sayılabilir. Bu durum istasyonlara atanan işlerin aldıkları toplam sürenin, çevrim süresini aşmasına ve dolayısıyla da bazı görevlerin bitirilememesine sebep olabilmektedir. Özellikle işler arasındaki öncelik ilişkileri göz önüne alındığında, bazı görevlere hiç başlanamamaktadır (Gökçen, 1994).

Montaj Hattı Dengeleme Problemleri dört kategoride sınıflandırılabilir: Tek Modelli Deterministik (TMD), Tek Modelli Stokastik (TMS), Çoklu/Karma Modelli Deterministik (ÇMD), Çoklu/Karma Modelli Stokastik (ÇMS) problemler.

Şekil 2.3'de montaj hattı dengeleme problemlerinin sınıflandırılması gösterilmektedir (Ghosh ve Gagnon,1989).



Şekil 2.3 Montaj Hattı Dengeleme Probleminin Sınıflandırılması

BMHD, montaj hattı dengeleme problemlerinin en basit ve orijinal şeklidir. Eğer modele bir takım kısıtlamalar veya faktörler (Paralel istasyonlar, bölgeleme kısıtları vb.) dahil edilirse, problem Genel Hat Dengeleme (GMHD) problemine dönüşür.

Tek modelli deterministik hat dengeleme problemleri :

Ürünün üretilmesi için gerekli olan işlerin sürelerinin değişken olmadığı, her tekrarda aynı sürede gerçekleştirildiği durumları içerir. İşler, öncelik ilişkileri sağlanacak ve belirli bir performans ölçütü eniyilenecek şekilde iş istasyonlarına atanırlar. Bu tip problemlerde en sık kullanılan performans ölçütü istasyon sayısının enküçüklenmesidir. Bunun dışında toplam boş zamanın enküçüklenmesi, verilen istasyon sayısı için çevrim zamanının enküçüklenmesi ve denge gecikmesinin enküçüklenmesi gibi performans ölçütleri de bu tip problemlerde kullanılmaktadır (Gökçen,1994).

Tek modellenli stokastik hat dengeleme problemleri :

Bu problem tek tip ürün veya modelin üretildiği hatlarda işlerin gerçekleşme sürelerinin özellikle işgücü performansının değişkenliğinden kaynaklanan farklılaşmaların meydana geldiği durumları içerir. İşlerin gerçekleşme sürelerinin değişkenliğinin sebepleri arasında yorulma, dikkatin dağılması, yetersiz nitelikli işgücü, iş tatminsizliği, hatalı girdiler ve araç/gereç bozulmaları sayılabilir (Erel,1991). Bu tip problemlerde amaç toplam işgücü ve toplam beklenen tamamlanmama maliyetinden oluşan toplam sistem maliyetinin enküçüklenmesidir (Gökçen,1994).

Çoklu veya karma modellenli deterministik hat dengeleme problemleri :

Çok modellenli ve karma modellenli hatlarda işlerin yapılış sürelerinin her tekrarda aynı olduğu durumları içerir. Fakat bu problemlerde tek modellenli hatlarda yapılan çalışmaların yanısıra model seçimi, model sıralaması, model parti büyüklükleri gibi kriterlerinde belirlenmesi gerekmektedir. Model sıralama probleminde tezgah hazırlama maliyetlerini enküçükleyen sıralamanın seçilmesi için geliştirilmiş yöntemlerden yararlanılır (Ghosh ve Gagnon,1989).

Çoklu veya karma modellenli stokastik hat dengeleme problemleri :

Çok modellenli ve karma modellenli hatlarda işlerin yapılış sürelerinin değişkenlik gösterdiği durumları içerir. Bu problemlerin çözümünde öğrenme etkisi, işçilerin yetenek düzeyleri, işlerin yapılış sürelerindeki değişkenlik gibi faktörlerde göz önünde bulundurulmalıdır. Ancak bu analizlerin farklı modeller için yapılacak olması problemin çözümünü zorlaştırmaktadır (Ghosh ve Gagnon,1989).

Çok modellenli hatlarda yapılan dengeleme işlemleri karma modellenli hatlarda yapılan işlemlerden daha kolaydır. Çünkü bu hatlarda yapılan üretimlerde benzer imalat gereksinimleri olduğundan hattın bir model için dengelenmesi (tasarlanması) ve elde edilen sonuçlardan yararlanılarak hat üzerinde gerekli düzenlemelerin yapılmasıyla diğer modeller için de uygun bir hale getirilmesi mümkündür. Çok modellenli ve karma hatların dengelenmesi probleminin çözümünde yaşanan zorluklar nedeniyle bu tip

problemler için eniyi çözümleri veren kesin çözüm yöntemleri yerine sezgisel yöntemlerden yararlanır.

2.4 Montaj Hattı Dengeleme Teknikleri

Montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümü için kullanılan teknikler iki grupta toplanır. Bunlar eniyi çözümleri veren kesin çözüm yöntemleri ve eniyi çözüme yakın bir çözüm veren sezgisel yöntemlerdir. Her iki yöntem için kullanılan teknikler Şekil 2.4'de verilmiştir (Ghosh ve Gagnon,1989);



Şekil 2.4. Montaj Hattı Dengeleme Tekniklerinin Gösterimi

Eniyi sonucu veren kesin yöntemler çoğunlukla tek modelli hatların dengelenmesinde kullanılır. Tamsayı programlama ve dinamik programlama bu teknikler arasında en çok kullanılanlardır.

Sezgisel yöntemler ise kesin sonucu vermemekle birlikte eniyeye yakın çözümler verdiklerinden özellikle karma ve çok modelli hatlar gibi en iyi çözümün bulunmasının zor olduğu durumlarda yaygın olarak kullanılırlar. Enbüyük pozisyon ağırlıklandırma yöntemi bu teknikler arasında en çok kullanılanların başında gelir.

2.4.1 Sezgisel Yöntemler

Geleneksel hat dengeleme problemleri için birçok sezgisel yöntem geliştirilmiştir. Bu teknikler tek geçişli, bileşik ve backtraking yöntemleri olmak üzere 3 kategoride toplanabilir. İlk kategoride yer alan karar kuralları işlemlerin niteliklerinden yararlanılarak ağırlıklandırılması esasına dayanır. İkinci kategoride yer alan karar kuralları ise ilk kategoride yer alan tek geçişli karar kurallarının bileşimini içerir ve çeşitli tek geçişli karar kuralından elde edilen çözümlerin en iyisinin seçimidir. Backtraking yöntemi olarak adlandırılan son kategoriye ise Hoffmann'ın sayımlama yöntemi ile Dar-El tarafından geliştirilen MALB örnek olarak gösterilebilir (Boctor,1995).

2.4.1.1 Tek Geçişli Karar Kuralları

Bu kategoride enbüyük konum ağırlık yöntemi, enbüyük işlem süresi gibi herbiri işlemin farklı niteliğinden yararlanarak ağırlıklandırma yapan 13 adet ağırlıklandırma kuralı bulunmaktadır. Bu yöntemin uygulanması ana hatlarıyla aşağıdaki adımları içerir. Atanmamış işler varken;

1. Adım : Atanmaya aday işlerin listesini saptama,
2. Adım : Eğer liste boş ise yeni bir iş istasyonu ilave et ve 1.Adıma dön, diğer durumda 3.Adıma git,
3. Adım : Enyüksek ağırlığa sahip aday işi istasyona ata.

Bu adımlarda aday işleri tüm öncelikleri atanmış ve süresi kalan iş istasyonu süresinden büyük olmayan işler oluşturur (Boctor,1995).

Bu kategoride yer alan ağırlıklandırma kuralları ile ilgili bazı kavramlar aşağıda verilmiştir;

i veya j = iş elemanı göstergesi,

N = Toplam iş elemanı sayısı,

C = Çevrim süresi,

t_i = i işleminin tamamlanması için gereken süre,

NS_i = i işleminin ardıl elemanlarının toplamı,

NP_i = i işleminin öncül elemanlarının toplamı,

NIS_i = i işleminin doğrudan ardıl elemanlarının sayısı,

NIP_i = i işleminin doğrudan öncül elemanlarının sayısı,

S_i = i işleminin ardıllarının kümesi ,

P_i = i işleminin öncüllerinin kümesi,

Tek geçişli ağırlıklandırma kuralları (Talbot v.d.,1986):

Kural	Tanım
1.Enbüyük işlem süresi	t_i
2.Enbüyük doğrudan ardıl sayısı	NIS_i
3.Enbüyük ardıl sayısı toplamı	NS_i
4.Karışık işlem ataması	<i>Karışık (Düzenli-Uniform)</i>
5.Enküçük işlem numarası	i
6.Enbüyük pozisyon ağırlıklandırma	$RPW_i = t_i + \sum_{j \in S_i} t_j$
7.Enbüyük ort. pozisyon ağırlıklandırma	$RPW_i / (NS_i + 1)$
8.Enküçük üst sınır	$UB_i = N + 1 - \left\lceil \left(t_i + \sum_{j \in S_i} t_j \right) / C \right\rceil^+$
9.Toplam ardıl sayısına bölünen enküçük üstsınır	$UB_i / (NS_i + 1)$
10.Üst sınır tarafından bölünen enbüyük işlem süresi	t_i / UB_i
11.Enküçük alt sınır	$LB_i = \left\lceil \left(t_i + \sum_{j \in P_i} t_j \right) / C \right\rceil^+$
12.Enküçük bolluk	$UB_i - LB_i$
13.Toplam işlem bolluğu tarafından bölünen enbüyük toplam işlem ardıl sayısı	$NS_i / (UB_i - LB_i)$

Kilbridge ve Wester metodu, enbüyük pozisyon ağırlıklandırma yöntemi, enbüyük aday yöntemi ve Moodie ve Young yöntemi tek geçişli yöntemlere örnek olarak gösterilebilir.

a. Enbüyük Aday Yöntemi :

İş elemanlarının sürelerinin incelenmesi ve en uzun işlem süreli elemanın öncelikle atanması ilkesine dayanılarak geliştirilen bir yöntemdir. Bu yöntemin uygulamasına ait adımlar aşağıda verilmiştir;

1. Adım : İş elemanlarını işlem sürelerine göre büyükten k  ge doğru sırala,
2. Adım : Süresi evrim süresini aşmayacak ve öncelik kısıtlarını ihlal etmeyecek şekilde listenin başındaki elemanı eldeki istasyona ata,
3. Adım : Eldeki istasyon için 2. adımı uygula,
4. Adım : Tüm iş elemanları atanıncaya kadar 2. ve 3. adımları diğer istasyonlara uygula.

b. Kilbridge ve Wester Yöntemi :

Bu yöntem işlemlerin, işlem süreleri, işlemler arası öncelik ilişkileri ve istenen çevrim süresi bilgilerinden yararlanılarak oluşturulan öncelik diyagramındaki yerlerine göre atanması ilkesine dayanır. Bu yöntemin uygulanmasına ait adımlar aşağıda verilmiştir;

1. Adım : İşlemler, işlem süreleri ve öncelik ilişkileri bilgilerinden yararlanılarak ilk yapılabilecek işlemlerin ilk kolonda, bunları izleyen işlemlerin ikinci kolonda yer alacağı öncelik diyagramını iz,
2. Adım : Oluşturulan  ncelik diyagramındaki kolon sayısından yararlanılarak işlemlerin süreleri, servis zamanları ve toplam zaman bilgileri ile hangi işlemlerin kolonlar arasındaki transfer edilebilir olduğunu gösteren bilgileri içeren tabloyu oluştur,
3. Adım : İstasyonların servis zamanları ve belirlenen çevrim zamanları bilgilerinden yararlanarak işlemlerin kolonlar arasında kaydırılması ile uygun çözümü bul.

c. Enbüyük Pozisyon Ağırlıklandırma Yöntemi :

Bu yöntem her bir iş elemanının o işlemi yapmak için gerekli süre ve seri olarak ondan sonra gelen işleri yapmak için gerekli sürelerin toplamından elde edilen pozisyon ağırlıklarına göre sıralanması ve atamalarında yine bu kurala göre yapılması ilkesine dayanır. Bu yöntemin uygulanmasına ait adımlar;

1. Adım : Her bir iş elemanının pozisyon ağırlığını hesapla,
2. Adım : İş elemanlarını pozisyon ağırlıklarına göre büyükten küçüğe sırala,
3. Adım : Çevrim süresi ve öncelik kısıtları gibi verileri göz önünde bulundurarak işlemleri ,en yüksek pozisyon ağırlığına sahip elemana öncelik verilecek şekilde ata.

d. Moodie ve Young Yöntemi :

İş elemanlarının iş istasyonlarına atanmasından sonra boş sürelerin istasyonlar arasında eşit olarak atanması ilkesine dayanan bir yöntemdir.

2.4.1.2 Bileşik Karar Kuralları

a Bileşik-13 (Composite-13)

Bazı durumlarda verilen karar kuralı mevcut listedeki işlerin arasında ayırım yapılmasını sağlayamaz. İşlem süreleri temelinde yapılan ağırlıklandırma buna örnek gösterilebilir. Bu durumda kalan 12 karar kuralından biri ayırımı sağlamak için kullanılır. Böylece problemin çözümü için $156 (=13*12)$ adet karar kuralı elde edilmiş olur. Ancak verilen hatta dengelemenin diyagramın son işleminden başlanarak geri gidilmesi ihtimali de olduğundan 13 karar kuralının kullanılmasıyla hattın dengelenmesinde kullanılacak $312 (=13*12*2)$ adet karar kuralına ulaşılabilir (Talbot, Patterson ve Gehrlein,1986).

- i. En Büyük Ardıl/Öncül Sayısı ve İşlem Numarası Bileşimi
- ii. En Büyük Ardıl/Öncül Sayısı ve En Büyük İşlem Süresi Bileşimi
- iii. En Büyük İşlem Süresi ve En Büyük Ardıl/Öncül Sayısı Bileşimi

iv. En Büyük İşlem Süresi ve En Büyük Pozisyon Ağırlıklandırma Yönteminin Bileşimi

b Comsoal Yöntemi

Arcus tarafından geliştirilmiş olan bu yöntem yanlı örnekleme yaklaşımı ile istasyonlara atanacak işler için uygun bir sıralama yapılmasını sağlamakta kullanılır. Yöntem istasyonlara atanabilecek işlemlerin olasılıksal seçimi temeline dayanır. Bu sıralama işlemi birçok kere tekrarlanır ve elde edilen farklı sonuçlardan en iyisi çözüm olarak seçilir. Arcus tarafından geliştirilen Comsoal algoritmasına ait adımlar aşağıda verilmiştir.

1. Adım : İlk sütununda iş elemanlarının numaraları, ikinci sütununda ise bu iş elemanlarının hemen önünde yer alan öncüllerinin sayısının bulunduğu A listesini hazırla,
2. Adım : A listesinin 2.sütununda 0 değerini alan (öncülü olmayan) elemanlardan oluşan B listesini hazırla,
3. Adım : Süresi çevrim süresini aşmayacak şekilde B'den rasgele bir eleman seç,
4. Adım : A ve B listelerini güncelle,
5. Adım : Tüm iş elemanları istasyonlara atanıncaya kadar 3. ve 4.adımları tekrarla,
6. Adım : Bu atama işlemi birçok kere tekrarla ve elde edilen farklı sonuçlardan en uygun çözüm olarak seç.

2.4.1.3 Geri İzleme Karar Kuralları

a Hoffmann'ın Sayımlama Yöntemi

Hoffmann tarafından geliştirilen sezgisel yöntem istasyon aylak zamanını enküçükleyecek işlemlerin birleşiminin sayısal düzen içerisinde atanması esasına dayanır. Yöntem ilk istasyon ile başlar, istasyon aylak zamanını enküçükleyecek işlemlerden elde edilecek uygun işlem listesi sayımlama yöntemi ile bulunur ve bu

işlemler ilk istasyona atanır. Bu yöntem tüm işlemler istasyonlara atanıncaya kadar tekrarlanır. Bu yöntemin uygulanabilmesi için öncelik matrisi ve bu matrisin her sütunun kendi arasında toplanması ile elde edilen kod numaraları dizisi oluşturulmalıdır. Hoffmann'ın sayımlama yönteminin uygulanmasına ait adımlar aşağıda verilmiştir (Erkut ve Baskak,1996);

1. Adım : Kod numaraları dizisi içerisinde soldan sağa doğru 0 olan ilk ögeyi ara ve ilk sıfırın bulunduğu noktaya karşı gelen iş ögesi numarasını seç,
2. Adım : Bu iş elemanının işlem süresini kalan istasyon süresinden çıkart,
3. Adım : Kalan süre ≥ 0 ise 4. adıma, kalan süre < 0 ise 5. adıma git,
4. Adım : İş ögesine öncelik matrisinden karşı gelen satırı ve sütunu bu matristen çıkart ve yeni kod numaraları dizisini oluştur,
5. Adım : 3. adımda bulunan kalan süre 0'dan küçük ise atama yapma, aksi durumda iş elemanını mevcut istasyona ata. 1.-5. adımlar arasını tekrarla ve 6. adıma git,
6. Adım : Bir sonraki iş istasyonu için 1. adıma dön, Tüm iş elemanları atanıncaya kadar bu işlemi sürdür.

Hoffmann'ın sayımlama yönteminin U tipi hat dengeleme problemleri için olan uygulama adımları ise aşağıda verilmiştir;

1. Adım : İstasyon sayısına 0 ata; ($s=0$)
2. Adım : İstasyon sayısını bir arttır, $s=s+1$, atanmamış işlemlerin kümesini, W, belirle, $W=\emptyset$ ise bütün işlemler atanmıştır uygulamayı bitir, değilse 3.Adıma git,
3. Adım : Sayımlama yaklaşımından yararlanarak $\sum_{k \in J} t(k) = C$ sağlayacak J ideal alt kümesini bul. Eğer ideal çözüm mevcut değilse, $C - \sum_{k \in J} t(k) > 0$ enküçükleyecek uygun çözümü seç. J altkümesindeki işlemleri s istasyonuna ata, 2.Adıma geri dön.

b Hoffmann'ın Geliştirilmiş Sayımlama Yöntemi

Hoffmann'ın asıl yaklaşımı istasyonların sayısal düzen içerisinde sayılmasını içerdiğinden dolayı aylak zamanın bir sonraki istasyonda birikmesi eğilimi söz konusudur. Ayrıca uygun işlem listesinin uzun olduğu, sıfır aylak zamanlı çözümün olmadığı bulunmasının zor olduğu durumlarda önemli miktarda hesaplama süresinin harcanması ile karşılaşmaktadır. Bu zorlukların giderilmesi amacıyla geliştirilen bu metotta, Hoffmann'ın asıl yaklaşımında yer alan herbir iş istasyonundaki enküçük aylak zamanın belirlenmesi ilkesi yerine minimuma yakın, kabul edilebilir bir sonuç araştırılması ilkesinden yararlanmaktadır.

Bu yöntemde minimuma yakın, kabul edilebilir bir çözümün belirlenmesinde istasyon başına düşen ortalama aylak zamanın miktarı kullanılmaktadır. Bu verinin türetilmesinde $M * C$ niceliği bir birimlik ürünün üretilmesi için tahsis edilmiş enküçük süreyi verir. Bu nicelikte toplam iş hacmi arasındaki ilişki $(M * C) \geq \sum_i t_i$ şeklinde gösterilebilir. Bu iki nicelik arasındaki fark ise, $\left((M * C) - \sum_i t_i \right)$, enküçük hat aylak zamanını verir. Bu niceliğin ihtiyaç duyulan enküçük istasyon sayısına, M , bölünmesiyle bir iş istasyonuna ayrılan tahmini ortalama aylak zaman belirlenir. İzleyen ilişkiden yararlanılarak istasyonların aylak zamanını enküçükleyen işlemler dizisi σ belirlenir (Talbot, Patterson ve Gehrlein, 1986).

$$0 \leq C - \sum_{\sigma} t_i \leq \theta \left(\left[(C * M) - \sum_i t_i \right] / M \right)$$

Yukarıdaki ilişkide yer alan θ parametresinin 0.5, 1.0 ve 2.0 değerlerinden biri olduğu farzedilir. Talbot ve diğerleri., Hoffmann'ın prosedüründe küçük bir değişiklik yaparak işlem dizilerinin belirlenmesinde her bir araştırma süreci için gereken zamanı azaltmışlardır.

c Dar-El'in Sezgisel Hat Dengelemesi

Dar-El tarafından geliştirilmiş olan bu metot esasında istasyon sayısının sabit olduğu ve enküçük çevrim süresinin araştırıldığı 2.tip problemlerin çözümü için oluşturulmuştur. Enbüyük pozisyon ağırlıklandırma yöntemine dayanan bu sezgisel metot yapılabilen tüm iş atamalarını araştırarak geri izleme karar kuralı (backtracking) algoritmasıyla da güçlendirilmiştir (Talbot, Patterson ve Gehrlein,1986).

2.5 Hat Dengelemenin İyileştirilmesini Sağlayan Uygulamalar

Hattın tasarlanması sırasında üretim kaynaklarının verimli kullanılması, iş yükünün istasyonlara eşit şekilde dağıtılması, yüksek derecede hat verimliliğinin sağlanması amacıyla yapılan hat dengeleme çalışmasında dengelemeyi kolaylaştırıcı yönde bazı uygulamalar bulunmaktadır. Bunlar;

- İşin yapımı esnasında gereksiz olan faaliyetlerin yok edilmesi veya sürelerinin azaltılması ile daha etkili yöntemlerin bulunması ve verimliliğin artırılmasının sağlandığı metot etüdü,
- Teknik açıdan bölünmesi mümkün olmasına rağmen donanım yetersizlikleri gibi bazı nedenlerden dolayı bölünemeyen işler çevrim süresinin uzamasına neden olabilmektedir. İşlerin mümkün olduğunca alt parçalara bölünmesi hat dengelemesini olumlu yönde etkiler,
- Özellikle işlem sürelerinin değişkenlik gösterebildiği karmaşık elle yapılan işlerde işlem zamanından sapmalar gösteren istasyonlardan önce tampon stokların konulması tıkanıklıkların giderilmesini sağlar,
- Otomatik donanımların kullanıldığı istasyonlarda oluşan darboğazların giderilmesi amacıyla cihaz ve tezgahların ayarlarının değiştirilerek işleme hızlarının artırılması hattın dengelenmesinde yararlanan bir diğer uygulamadır,
- Üretim hattında kullanılacak bazı parçaların hat dışında önceden hazırlanması hatta uygulanacak işlemi kolaylaştırarak standart zamanını kısaltır. Hat dışı parça hazırlaması montaj hattındaki iş yükünün azaltılmasını sağlar,

- Üretim hattında darboğaz oluşturan ve diğer istasyonlara göre daha büyük standart zamana sahip olan istasyonlarda işin niteliği ve hattın fiziksel koşullarına uygunsa paralel istasyonların kullanılması o istasyonun darboğaz oluşturmaması sorununu giderir.

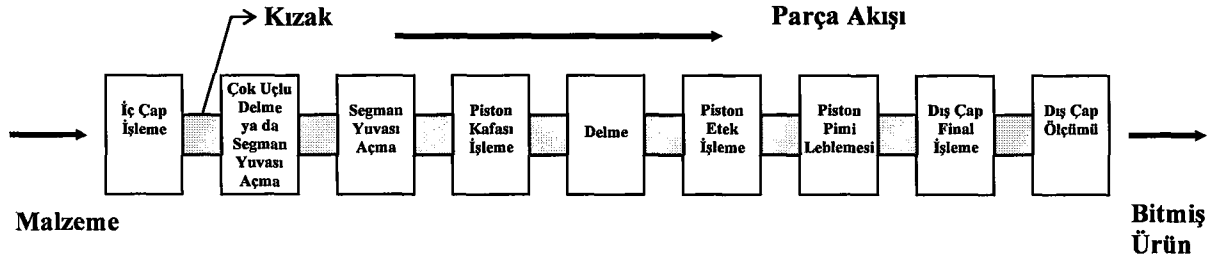


3. U HATLAR VE HAT DENGELEME PROBLEMLERİ

3.1 U Tipi Hatların Gelişimi

Donanımın ve iş istasyonlarının yerleşim biçimi, hat tipindeki üretimleri etkileyen önemli bir etmendir. Hattın bulunduğu yer ve üretilecek ürünün özellikleri hattın alacağı şekli belirler. Fiziksel montaj hatları, Ek-1'de örnekleri verilen düz, dairesel, rastlantısal, değişik açılı, U-şekilli ve zig-zag gibi değişik biçimlerde tasarlanabilir (Erkut ve Baskak, 1997).

Son yıllarda işletmelerin tam zamanında üretim ilkesini uygulamaya başlaması ile geleneksel düz hatların yerini U tipi hatlar almaya başlamıştır. Yalın üretim yaklaşımında bir fabrika veya atölyenin işleyişinde olabilecek en büyük israf ya da zaman kayıplarından biri, çalışanların bir yerden bir yere gitme, makinaların çalışmasını kontrol etme ya da makina başında makinanın işleminin bitmesini bekleme gibi üretime değer katmayan eylemlerden doğan zaman kayıplarıdır. Makinaların doğru çalışıp çalışmadığının kontrolü, makinaya parça yerleştirme, işlenmiş parçayı alma gibi eylemleri mekanikleştirerek ve otomatikleştirerek, kazanılan zaman her işçinin birden fazla makineyi çalıştırması şeklinde değerlendirilebilir. Böylece bir yandan aynı işi çok daha az sayıda işçiyle gerçekleştirmek mümkün olabilir, diğer yandan da talep yükselme/düşme durumlarında sadece işçi sayısı ile oynanarak üretim verimini talepteki esnekliğe adapte etme olanağı elde edilebilir. Bu düşünceden hareketle, bir işçinin birden fazla makinadan sorumlu olması ilkesi, tek parça akışı (parçanın süreçler arasında beklemeden teker teker aktarılması) ve süreç bazlı hat (bir parçanın son halini alması için gereken tüm makinaların, parçaların işleme akışına dayanarak birbiri ardı sıra yerleştirilmeleri) anlayışıyla da birleşince ortaya çıkan yerleşim düzeni U hatları olmuştur. Şekil 3.1'de sürece göre piston üretim hattı gösterilmektedir (Okur,1997).



Şekil 3.1. Sürece Göre Piston Üretim Hattının Gösterimi

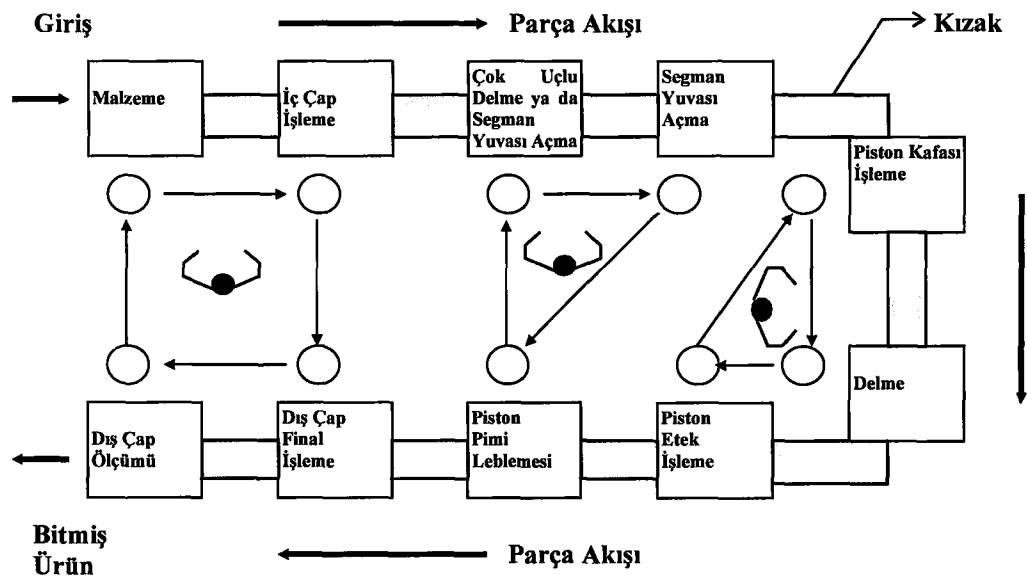
Pek çok yazar U şekilli üretim hattını tam zamanında üretim sistemlerinde kullanılan hücreli üretimin özel bir tipi olarak tanımlıyor. TZÜ, amacı üretim sistemindeki tüm israfı yok ederek ürün kalitesini ve maliyetini geliştirmek olan bir takım teknikler için bir şemsiye terimi olarak tanımlanır. U hattında, üretim işlemlerinin yapıldığı sırada bir U şekilli hattın etrafına makinalar dizilidir. Operatörler U hattının içinde çalışır. Bir operatör hattın hem girişini hem de çıkışını denetler. Makine işi, makinalar mümkün olduğunca bağımsız bir şekilde çalışabilsin diye operatör işinden ayrılmıştır. Standart operasyon tabloları tüm işlerin nasıl yapılacağını tam anlamıyla açıkça belirtir. U hattı basit ya da karmaşık yapıda olabilir. Ürün gereksinimleri değiştiğinde hat yeniden dengelenir. U hattı akış tipi üretim prensiplerine uyar. Bu operatörlerin pek çok farklı makine ya da süreçleri işletebilmesi için çok fonksiyonlu olmalarını gerektirir. Bu aynı zamanda işçilerin ayakta ve yürüyerek çalışmalarını gerektirir. Hazırlık süresi göz ardı edilebilecek kadar kısa olduğunda, U hatları her istasyonun herhangi bir çevrimde, herhangi bir ürünü üretebildiği karma modelli hatlar olarak işletilir. Hazırlık süresi daha büyük olduğunda, çoklu U hatları oluşturulur ve farklı ürünlere hizmet verir.

Düz montaj hattı sistemlerini U tipi montaj hattı sistemlerine dönüştürme kararı, büyük bir yerleşim tasarımı değişikliği ve montaj işlemleri için yatırımı içerir. Yalın üretim destekçileri ve tam zamanında üretim felsefesi, U tipi montaj hattı sistemlerinin geleneksel düz hat yerleşiminden daha fazla işgücü verimliliği gelişimini içeren fayda sunduğunu ileri sürer. Bu faydalar firmaların montaj hatlarını neden geleneksel düz hattan, U tipine dönüştürmeyi düşündüklerinin esas sebebini genellikle ortaya koyar (Aase, Olson ve Schniederjans, 2003).

Dünya-kalitesinde üretim ya da yalın üretim çalışmaları dış rekabet ortamındaki değişimlerle başa çıkmak için esnek üretim sistemlerini gerektirir. Tam zamanında üretimin faydalarından biri firmayı dış çevredeki değişimlere uyarlama yeteneğidir (Miltenburg, 1998). Araştırmalar TZÜ'ün dış çevredeki değişimlerle başa çıkabilmesinin, çok fonksiyonlu işçiler ve etkin tesis yerleşimlerini içeren pek çok sebebi olduğunu ileri sürüyor (Scholl ve Klein, 1999b; Hall, 1983; Monden, 1983; Schonberger, 1982).

Çok fonksiyonlu işçilerden yararlanma çabasında olan firmalar genellikle U tipi montaj hattı yerleşiminin kullanımını benimserler. Geleneksel düz montaj hatlarını, U tipi yerleşim biçiminde düzenleme yoluyla, işçiler düz bir hat yerleşiminde mümkün olmayan görev birleştirmelerini yerine getirebilmek için U hattının iki bacağı arasında hareket edebilirler. Bu esneklik TZÜ firmalarına, tesislerinde toplam işçi sayılarını muhtemelen azaltma ve bu şekilde daha etkin bir tesis yerleşimi yaratma imkanı verir.

TZÜ destekçileri, U tipi yerleşimin TZÜ prensiplerini daha iyi desteklediğini ve işgücü verimliliğinde gelişmeyi içeren pek çok fayda sunduğunu ileri sürmektedir (Aase, Olson ve Schniederjans, 2003). Şekil 3.2'de örnek bir U tipi hat gösterilmektedir (Okur,1997).



Şekil 3.2. U Tipi Hat (Piston Üretim Hattı) Gösterimi

3.2 U Tipi Hat Problemleri Üzerine Yapılan Çalışmalar

U tipi montaj hatlarıyla ilgili küçük fakat gelişen bir literatür vardır. Schonberger Japonya'daki üretimde kullanılan U tipi hatlar ile ilgili ilk çalışma olarak dikkat çekmektedir(Schonberger, 1982). Fakat U tipi hatlarla ve uygulamalarıyla ilgili en bilinen çalışmalar Hall ve Monden'e aittir (Hall, 1983; Monden, 1983). Basit U tipi hat dengeleme probleminde optimal çözüm sunan algoritmaların birincisi, Miltenburg ve Wijngaard tarafından ortaya konan ve 20 göreve kadar çözüm sağlayabilen dinamik programlama, diğeri ise Urban tarafından geliştirilen, 45 görev ve 15 istasyona kadar çözüm sunabilen tam sayılı programlama algoritmasıdır (Miltenburg ve Wijngaard, 1994; Urban, 1998). Her iki algoritma da problemin NP-Hard yapıda olması nedeniyle kısıtlı büyüklükteki problem kümeleri için iyi bir performans sağlayabilmektedirler.

Yine Miltenburg ve Wijngaard, geleneksel MHD problemleri için geliştirilen sezgiselleri U tipi MHD problemine uyarlamışlardır (Miltenburg ve Wijngaard, 1994). Sparling ve Miltenburg, karışık modelli U tipi hat dengeleme problemi için bir yaklaşık çözüm algoritması sunmuşlardır (Sparling ve Miltenburg, 1998). Miltenburg, belli bir sayıda U hatta sahip tesiste optimal dengeyi bulan bir dinamik programlama algoritması sunmuştur (Miltenburg, 1998). Çalışmada her bir U hattı 22 görevden fazlasını yapamamalı ve geniş öncelik diyagramlarına sahip olmamalıdır. Scholl ve Klein, U tipi hatları dengelemek amacıyla dal-sınır prosedürünü kullanan ve oldukça etkin sonuçlar üretebilen ULINO (U Line Optimizer) sezgiselini geliştirmişlerdir (Scholl ve Klein, 1999). Yöntem, 45 görevden büyük problemler için oldukça etkin çözümler sunabilen, literatürdeki tek çalışma olarak bilinmektedir.

Nakade ve arkadaşları, stokastik U tipi hat dengeleme probleminin genel durumu için hattın beklenen çevrim zamanının alt ve üst sınırlarının tespiti üzerinde çalışmışlardır (Nakade vd., 1997). Nakade ve Ohno, birden fazla çok fonksiyonlu işçinin olduğu ve herbir işçinin, çeşitli makinalardan sorumlu olduğu U tipi montaj hatları üzerinde çalışmışlardır (Nakade ve Ohno, 1997). U tipi hattın konveks özelliği ve geriye dönülebilirliği (reversibility), petri net ve genelleştirilmiş yarı markov prosesi ile gösterilmiştir. Nakade ve Ohno, tek, çok fonksiyonlu U tipi üretim hattını dikkate almışlardır (Nakade ve Ohno, 1997). Birimlerin proses zamanları, işlem zamanları ve

operatörün makinalar arasındaki yürüme zamanları sabit alınarak, operatörün bekleme zamanı ve hattın çevrim zamanının çıkarılmasına yönelik çalışmışlardır. Aynı çalışmada, hatta birden fazla operatörün olması durumu da analiz edilmiştir.

Ajenblit ve Wainwright, U tipi hat dengeleme problemi için genetik algoritma çözümü geliştirmişlerdir. Nakade ve Ohno, yine birden fazla çok fonksiyonlu işçinin olduğu U tipi montaj hattını analiz etmişlerdir (Ajenblit ve Wainwright, 1998; Nakade ve Ohno, 1999). Talebi karşılayacak en az operatör sayısı altında, tüm çevrim zamanını enküçükleyecek optimal operatör ataması üzerine çalışmışlardır. Çalışmada, tüm proses, işlem ve yürüme zamanları deterministik olarak dikkate alınmıştır.

Cheng ve arkadaşları, düz ve U tipi hat yerleşimlerinin, hatta üretilen ürünlerin kalitesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır (Cheng vd., 2000). Miltenburg, U tipi hatlarda arızaların etkisini incelemiştir (Miltenburg, 2000). Miltenburg'un, U tipi hatlarla ilgili olarak pratikteki örneklerini içeren kapsamlı bir çalışması da bulunmaktadır (Miltenburg, 2001). Çalışmada gerçek 114 Amerikan ve Japon U hatları analiz edilmiştir.

Ağpak ve Gökçen, U tipi montaj hatlarının dengelenmesi için yeni bir sezgisel metot geliştirmiştir. Geliştirilen metot, geleneksel problemler için geliştirilen COMSOAL metodunun, U tipi montaj hattı dengeleme problemlerini çözebilecek şekilde düzenlenmesiyle oluşturulmuştur (U-COMSOAL) (Ağpak ve Gökçen, 2001). Yine Ağpak ve Gökçen, U tipi montaj hattı literatüründeki ilk bulanık tamsayılı programlama (U-FP) modelini geliştirmişlerdir (Ağpak ve Gökçen, 2002). Ağpak ve diğerleri görev zamanlarının normal dağılımla ifade edildiği (stokastik) U tipi montaj hattı dengeleme problemi için yeni bir sezgisel prosedür de önermişlerdir (Ağpak, Gökçen, Saray ve Özel, 2002).

3.3 U Hatlarının Sağladığı Yararlar

Pek çok faktör U hattının popülaritesine katkıda bulunmuştur. Bu faktörler ve U hattının faydaları literatürde birçok bilim adamı tarafından tartışılmış ve izleyen fayda ve faktörler bulunmuştur (Cheng, Miltenburg ve Motwani, 2000).

Miktar Esnekliği :

JIT ortamında bir hattın üretim hızı sık sık değişir. Böylesi bir ortamda, miktar esnekliğinden dolayı U tipi hat düz hatta tercih edilir. Hattaki operatör sayısını artırma ya da azaltma yoluyla, şirket gereksinim duyulduğunda üretim hızını ayarlayabilir. Miktar esnekliğini bu ölçüde düz bir hatla elde etmek zordur.

Operatör Esnekliği :

U tipi hatta yürüme mesafesi düz hattan daha kısa olduğu için, bir operatörün pek çok iş merkezini izlemesi daha kolaydır.

İş İstasyonu Sayısı :

U tipi hatta gereksinim duyulan iş istasyonu sayısı düz hatta gereksinim duyulandan asla daha fazla değildir, bazen daha azdır. Bu U tipi hattaki iş istasyonlarına görev gruplamada daha fazla imkan olduğundandır.

Malzeme Taşıma :

U tipi hatlar konveyörler ve özel malzeme taşıma operatörleri gibi özel malzeme taşıma ekipmanlarına ihtiyacı ortadan kaldırır. Onun yerine üretim operatörleri ürünleri makine den makine ye taşır.

Görülebilirlik ve Ekip Çalışması :

Küçük boyutlu bir U hattı görülebilirlik ve iletişimi geliştirir. Bu ekip çalışmasını geliştirir, daha büyük bir ait olma duygusu verir ve operatörlerin uzun bir hat boyunca birbirlerinden ayrı hareket ettikleri ve belki stok duvarlarıyla ayrıldıkları düz bir hattan daha çok sorumluluğu ve sahipliği artırır.

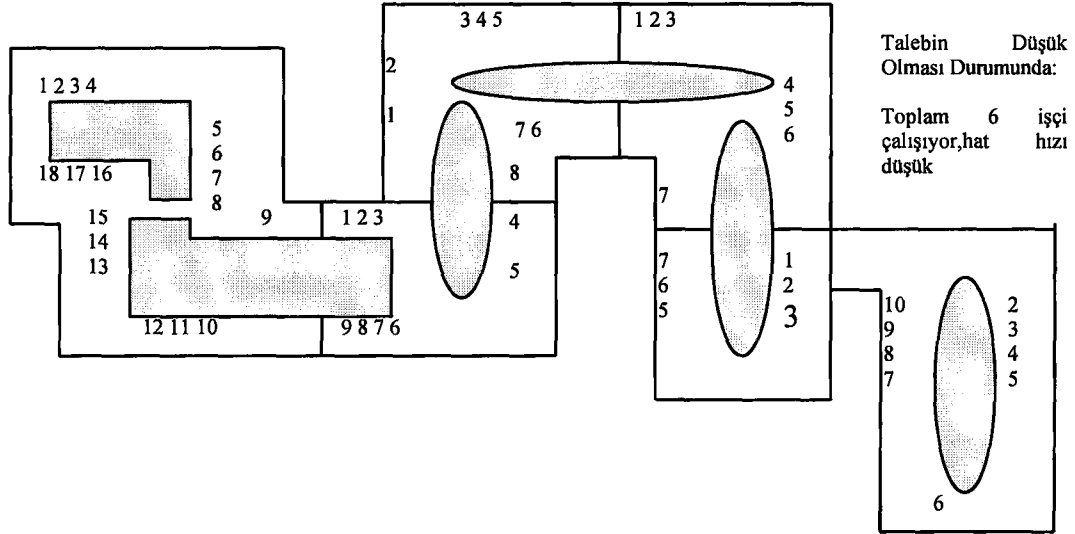
Yeniden İşleme :

Toplam Kalite Yönetiminin bir prensibi, hatalı bir ürün üretildiği istasyona geri döndükten sonra ilk fırsatta kalite problemlerini düzeltmeyi gerektiren kaynak kalitesidir. Bir U hattında hatalı ürünün geri dönmesi için mesafe, bu prensibi izlemeyi

daha kolaylaştıracak kadar kısadır. Bu, hatalı ürünü ayrı bir yeniden işleme bölgesine gönderen geleneksel politikayla çelişir.

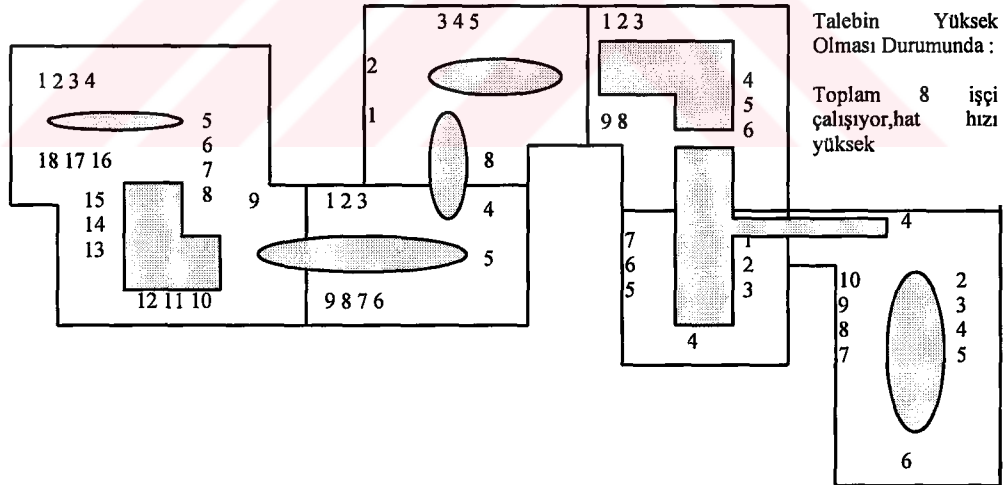
Geleneksel düz hatların yerine U hatların tercih edilmesinin çeşitli yararları vardır. Bunlar ;

- Yerleşim nedeniyle çalışanların birbirleriyle daha rahat görsel temas ve iletişim kurmaları sağlanır. Bu durum bir kalite problemi meydana geldiğinde daha çabuk belirlenmesini ve karar verilmesini sağlar (Miltenburg ve Wijngaard,1994).
- Çalışanlar U hatlarda birçok işi yerine getirebilecek veya birçok farklı makinayı kullanabilecek yüksek beceriye sahip hale gelirler. Bu durum çevrim süresinin veya çıktı hızının değiştirilmesinin gerektiği zamanlarda işçilerin herhangi bir makinaya hemen adapte olmalarını sağlar. Ayrıca çalışanlar birden fazla işi yerine getirebilme düzeyine ulaştıklarında işler arasındaki ilişkileri anlamaktadırlar. Böylece çalışanların gelişime daha iyi katkıda bulunmaları sağlanmaktadır (Miltenburg ve Wijngaard,1994).
- Tam zamanında üretim uygulamasının sonucunda talepteki değişikliklere uyum sağlanabilmesi kolaylaşmıştır. U hattın çıktı hızı hatta yeni işçi ilave edilmesi veya işçi eksiltilmesi ile düzenlenebilmektedir. Talep düşük olduğunda hatta az işçi çalıştırılmakta ve bu durumda herbir işçi oldukça yüksek sayıda makinadan sorumlu olduğundan hattın üretim hızı düşmektedir. Sonuçta üretim adetleri de talebe uygun hale gelmektedir. Hattaki ürüne talep arttığı zaman ise, hatta işçi takviyesi yapılmaktadır. Bu durumda herbir işçi daha az sayıda makinadan sorumlu olacağından üretim hızı ve üretim miktarı talebe uyumlu hale gelecektir. Geleneksel düz hatlarda ise işçilerin farklı işlere ve farklı makinalara uyum sağlamaları güç olduğundan bu hatlarda tekrar dengeleme çalışması yapılması çok zordur. Bu tip hatlarda çevrim süresi genellikle değişmediğinden talepteki değişim hattın çalışma süresinin düzenlenmesi ile karşılanmaya çalışılır. Şekil 3.3'de talebin düşük olduğu durumdaki montaj hattı gösterilmektedir (Okur, 1997).



Şekil 3.3. Düşük Talep Durumunda Montaj Hattı Gösterimi

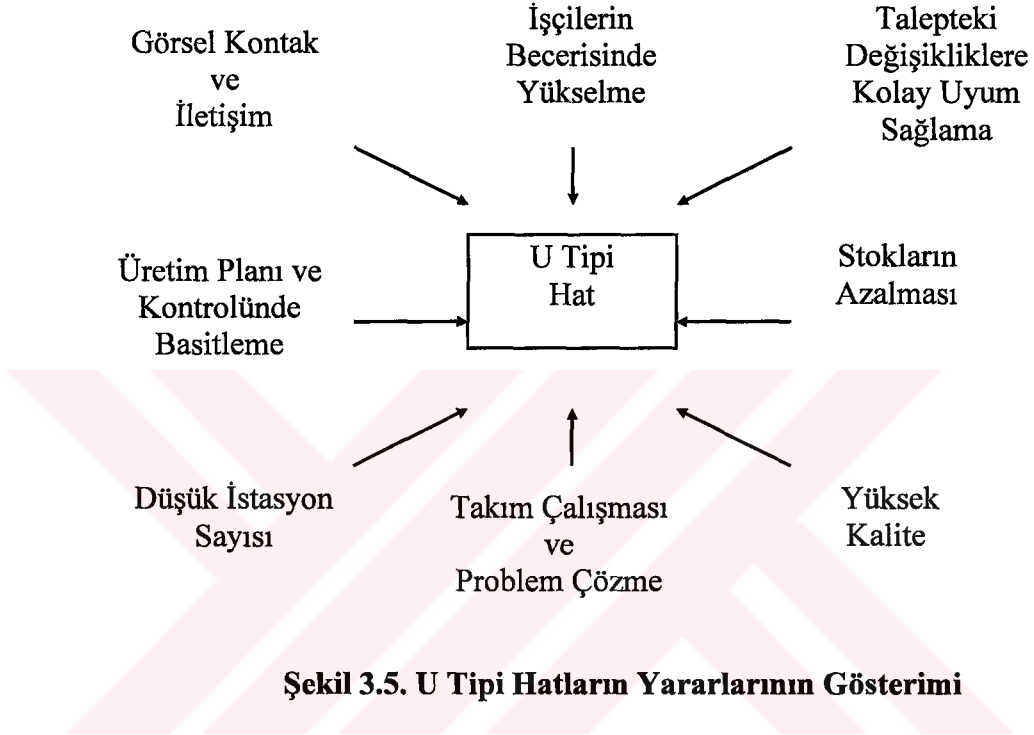
Şekil 3.4'de talebin yüksek olduğu durumdaki montaj hattı gösterilmektedir (Okur, 1997).



Şekil 3.4. Yüksek Talep Durumunda Montaj Hattı Gösterimi

- U hatlarda ihtiyaç duyulan istasyon sayısı geleneksel hatlarda ihtiyaç duyulandan daha azdır. Çünkü U hatlarda işlerin istasyonlarda gruplandırılması için birçok olasılık vardır (Miltenburg ve Wijngaard,1994).

Stokların azaltılması, malzeme taşımalarının basitleştirilmesi, üretim planlaması ve kontrolünün kolaylaştırılması, takım çalışması ve problem çözmeye elverişli olması, daha iyi kalite kontrol sağlanması gibi birçok sebepten dolayı U hatlar tercih edilmektedir. Şekil 3.5’de U tipi hatların yararları gösterilmektedir.



3.4 U Tipi Hat Dengeleme Probleminin Modellenmesi

Geleneksel hat dengeleme problemleri istasyonların bir hat boyunca ardışık olarak dizildiği üretim hatlarını kapsar. Geleneksel problemlerde dengeleme öncelik diyagramındaki ilk işten başlanarak öncelik diyagramında ileri doğru gidilerek işlerin istasyonlarda atanması şeklinde gerçekleştirilir. Bu tip dengeleme çalışmalarında kullanılan bir diğer alternatif ise öncelik diyagramındaki son işten başlanarak öncelik diyagramında geriye doğru hareket edilerek işlerin istasyonlarda atanması şeklindedir. U hatların dengeleme problemleri ise geleneksel hat dengeleme problemlerinden daha karmaşıktır. Çünkü işler öncelik diyagramında ileri, geri hareket edilerek veya her iki yönde de aynı anda hareket edilmesi ile gruplandırılır (Miltenburg ve Wijngaard,1994).

Geleneksel hat dengeleme problemlerinde işlemler öncülleri atanmış işlemlerin oluşturduğu gruptan seçilir ve istasyonlara atanır. U tipi hat dengeleme problemlerinde ise bu grup öncülleri atanmış işlemlerin oluşturduğu küme ile ardılları atanmış işlemlerin oluşturduğu kümenin birleşiminden elde edilir ve istasyonlara atanacak işlemler bu gruptan seçilir. Bu özellik problemin tanımlanmasında dikkat edilmesi gereken unsurdur. Basit U tipi hat dengeleme problemi aşağıdaki şekilde tanımlanır;

İş elemanlarının kümesi $F=\{k| k=1, 2, \dots, n \}$, öncelik kısıtlarının kümesi $P=\{(x,y)| x \text{ işlemi } y \text{ işleminden önce tamamlanmalıdır}\}$, işlem sürelerinin kümesi $T=\{t(k)| k=1, 2, \dots, n \}$, ve çevrim süresi C göz önünde bulundurularak aşağıdaki kısıtlar altında F 'in alt kümesi (S_1, S_2, \dots, S_N) bulunur ($S_i=\{k| i. \text{ istasyonda yapılan } k \text{ işlemi}\}$) (Miltenburg ve Wijngaard,1994).

$$\bigcup_{i=1}^N S_i = F \quad (1)$$

$$S_i \cap S_j = \emptyset \quad i \neq j \quad (2)$$

$$\sum_{k \in S_i} t(k) \leq C \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

Herbir y işlemi için :

$$\text{Eğer } (x,y) \in P, x \in S_i, y \in S_j \text{ ise herbir } x \text{ için } i \leq j \text{ 'dir; veya} \quad (4)$$

Eğer $(y,z) \in P, y \in S_j, z \in S_k$ ise herbir z için $k \leq j$ 'dir.

$$Enk \left[NC - \sum_{i=1}^N \sum_{k \in S_i} t(k) \right]. \quad (5)$$

Yukarıda yer alan birinci kısıt kümesinde tüm işlemlerin istasyonlara atanması sağlanır. İkinci kısıt kümesi sonucunda (basit bir U hattında hat dengeleme problemi işlemlerin istasyonlar arasında paylaşılmasına izin vermediği için) her bir işlem sadece bir kez atanır. Üçüncü kısıt kümesi her bir istasyondaki işin çevrim süresini

aşmasını engeller. Dördüncü kısıt kümesi U hatlarda öncelik ilişkilerinin bozulmasını engeller. 5'deki amaç fonksiyonunda ise iş istasyonlarının sayısının enküçüklenmesi sağlanır.

3.5 Tamsayılı Programlama Yaklaşımı ile U Tipi Hat Dengeleme Problemi

U tipi hat dengeleme probleminde m tane, ($j=1, \dots, m$), iş istasyonuna atanacak ve tamamlanma süreleri t_i ($i=1, \dots, n$) olan n tane işlem olduğu varsayıldığında, verilen 1. tip problem (çevrim süresinin sabit olduğu, enküçük istasyon sayısının araştırıldığı) için amaç; ihtiyaç duyulan istasyon sayısının, m^* , C çevrim süresi içinde enküçüklenmesidir (Urban,1998).

$$\lceil m_{\min} \rceil \leq m^* \leq m_{\max} \leq n$$

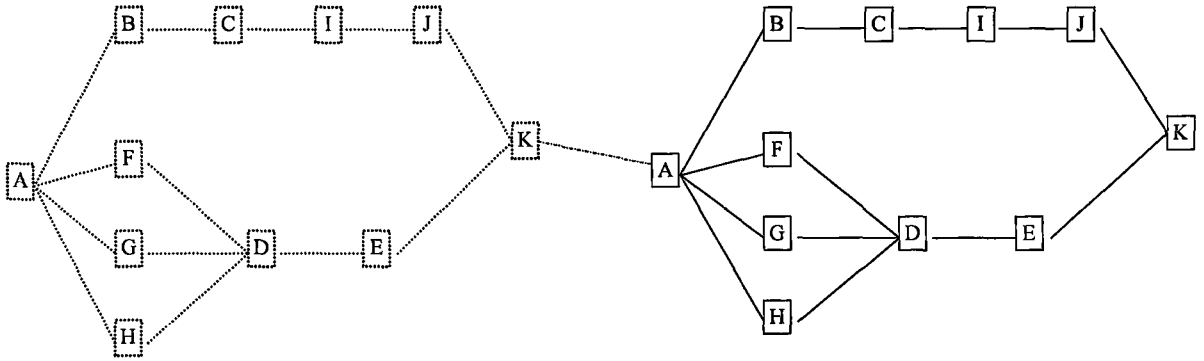
m_{\min} teorik olarak ihtiyaç duyulan enküçük istasyon sayısıdır.

$$m_{\min} = \frac{\sum_i t_i}{C}$$

$\lceil x \rceil$, x 'e eşit veya büyük enküçük tamsayıyı verir.

m_{\max} ise ihtiyaç duyulabilecek enbüyük istasyon sayısıdır ve işlem sayısı ile düz hat problemlerinden elde edilen eniyi çözümden enküçük olana eşittir.

U tipi hat dengeleme problemlerinin ayırt edici özelliği, montajın ilk ve son işleminin aynı istasyona atanabilmesinde olduğu gibi işlerin istasyonlara ileri ve geri atanmasına izin vermesidir. Ancak geleneksel hatlarda bu tür bir uygulama gerçekleştirilemez. U tipi hat dengeleme probleminin tamsayılı programlama yaklaşımı ile çözümünde Şekil 3.6'da gösterildiği gibi asıl öncelik diyagramına ilave edilen hayali bir öncelik diyagramından yararlanılmaktadır. Genişletilen diyagramın ortasından başlanılmasıyla asıl diyagramda ileri, hayali diyagramda geri veya aynı anda her iki yöne de istasyonlara atama yapılarak optimal dengeleme elde edilir (Urban,1998).



Şekil 3.6. Hayali Öncelik Diyagramı İlave Edilerek Genişletilmiş Öncelik Diyagramının Gösterimi

Problemin çözümünde kullanılacak değişkenler aşağıda tanımlanmıştır ;

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{asıl ağdaki } i \text{ inci işin } j \text{ inci} \\ & \text{istasyona atanması durumu,} \\ 0 & \text{diğer durumlar;} \end{cases}$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{hayali ağdaki } i \text{ inci işin } j \text{ inci} \\ & \text{istasyona atanması durumu,} \\ 0 & \text{diğer durumlar;} \end{cases}$$

$$z_{ij} = \begin{cases} 1 & j \text{ inci istasyondan} \\ & \text{yararlanılması durumu,} \\ 0 & \text{diğer durumlar;} \end{cases}$$

Öncelik ilişkilerini yansıtan düzenlenmiş iş çiftlerinin kümesi $P=\{1, \dots, p, \dots, |P|\}$ olarak verilsin. $(p=(r,s)$, r işlemi s işleminden hemen önce gelmektedir) Bu durumda U tipi hat dengeleme problemi için geliştirilmiş tamsayı programlama modeli aşağıdaki gibi gösterilir (Urban,1998);

$$\lceil m_{\min} \rceil \leq m^* \leq m_{\max} \leq n \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^{m_{\max}} (x_{ij} + y_{ij}) = 1 \quad i = 1, \dots, n, \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n t_i (x_{ij} + y_{ij}) \leq C \quad j = 1, \dots, \lceil m_{\min} \rceil, \quad (3a)$$

$$\sum_{i=1}^n t_i (x_{ij} + y_{ij}) \leq Cz_j \quad j = \lceil m_{\min} \rceil + 1, \dots, m_{\max}, \quad (3b)$$

$$\sum_{j=1}^{m_{\max}} (m_{\max} - j + 1)(x_{rj} - x_{sj}) \geq 0 \quad \text{bütün } (r, s) \in P \text{ için}, \quad (4a)$$

$$\sum_{j=1}^{m_{\max}} (m_{\max} - j + 1)(y_{sj} - y_{rj}) \geq 0 \quad \text{bütün } (r, s) \in P \text{ için}, \quad (4b)$$

$$x_{ij}, y_{ij}, z_j \in \{0,1\} \quad \text{bütün } i, j \text{ için}. \quad (5)$$

kısıtları altında (k.a)

$$Enk \quad \sum_{j=\lceil m_{\min} \rceil+1}^{m_{\max}} z_j \quad (6)$$

Modelin amacı ihtiyaç duyulan istasyon sayısının enküçüklenmesidir. İkinci kısıt kümesi her işlemin, ya asıl diyagramda yada hayali diyagramda, sadece bir istasyona atanmasını sağlar. Üçüncü kısıt kümeleri her bir istasyona atanan işlemlerin sürelerinin toplamının çevrim süresini aşmamasını sağlar, z_j değişkeni birinci $\lceil m_{\min} \rceil$ kısıtı için gerekli değildir çünkü bu istasyonların gerekli olduğu bilinmektedir.. Dördüncü kısıt kümeleri ise işlemler arasındaki öncelik ilişkilerinin uygulanmasını sağlar. Bu ilişkiler hayali diyagramda tersine çevrilmiştir. Elde edilen bu model $(2n+1)m_{\max} - \lceil m_{\min} \rceil$ değişken ve $n + m_{\max} + 2|P|$ tane kısıt içermektedir (Urban,1998).

3.6 Dinamik Programlama Yaklaşımı ile U Tipi Hat Dengeleme Problemi

Dinamik programlama yaklaşımıyla hat dengeleme probleminde en yüksek verimi sağlayacak işlem sırasının belirlenmesi çok kademeli bir karar problemi olarak ele alınmaktadır. Bu problemde her kademede bir karar problemi bulunmakta ve her kademede elde edilen çözüm izleyen kademdeki çözümü doğrudan etkilemektedir. Bu sayede problemin kademeleri ve her kademde sistemin/değişkenin alabileceği değerler bütünlük olarak incelenmesi sayesinde optimal çözüme ulaşılmaktadır.

3.7 Yöntemlerin Değerlendirilmesi

Bu bölümde U tipi hat dengeleme problemlerinin çözümünde kullanılan tamsayı programlama yaklaşımı ve dinamik programlama yaklaşımı başlığı altında ayrıntılı olarak açıklanan yöntemler incelenmiştir.

Bu yöntemler arasından tamsayı programlama yaklaşımı en iyi çözümü vermesine rağmen iş elemanı sayısının artması sonucu çözümde kullanılacak modelin kısıt sayısı ve değişken sayılarının fazlalığı bu yöntemin gerçek hayat problemlerinin çözümünde tercih edilmemesine neden olabilmektedir.

Kesin çözüm veren bir diğer yöntem olan dinamik programlama yaklaşımının U tipi hat dengeleme problemlerinde uygulaması geleneksel hat dengeleme yaklaşımından farklıdır. U tipi hat dengeleme problemlerinin dinamik programlama yaklaşımı ile çözümünde uygun sıralamanın belirlenmesinde ileri, geri ve her iki yönde de hareket edilmesi gerekliliği bu yaklaşımın da tercihinde etkili olmaktadır.

Hat dengeleme problemlerinin çözümünde kullanılan sezgisel yaklaşım ise, en iyi çözümü vermemesine rağmen uygulama kolaylığı ve gerçek hayat problemlerindeki iş elemanları arasındaki öncelik ilişkilerinin karmaşıklığı gibi sebepler karşısında kesin çözüm veren yöntemlerden daha çok tercih edilmektedir.

4. MONTAJ HATTI Dengeleme Çalışması ve U Tipi Hat Uygulaması

Bu çalışmada, bir üretim işletmesindeki mevcut montaj hatları incelenmiştir. İncelenen montaj hatlarında seçilen üç ürünle dengeleme çalışması yapılmış, sonuçlar U hatta dönülmesi varsayımıyla hesaplanan sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

4.1 Problemin Tanıtımı ve Analizi

İşletmede, tek tek birimler halinde birbirini takip eden iş istasyonlarında gerekli mekanik işlemleri biten parçalar, sızdırmazlık testi yapılmak, kullanım ve görünümle ilgili parçalar takılmak ve ürün olarak ambalajlanmak üzere montaj atölyesine gelmektedirler. Montaj atölyesinde ürünlerin montajı için malzemeler işletmede bulunan düz montaj hatları boyunca, çoğunlukla işgücünden yararlanılarak, hatta bulunan iş istasyonlarında işlenmektedirler. Bu işletmeden en çok üretilen üç ürün incelenmek üzere seçilmiştir.

Hatta yapılan incelemeler sonucunda, bazı istasyonlar arasında yığılma ve darboğazın oluştuğu, toplam iş yükünün iş istasyonlarına dengeli bir şekilde dağıtılmadığı gözlenmiştir. Bu aksaklıkları gidererek denge kaybını ve istasyonlar arasında oluşan boş sürelerden yararlanılarak hattın düzgünlüğünü belirleyen düzgünlük indeksini en küçükleme amacıyla hat dengeleme çalışması yapılmıştır.

Montaj hattı dengeleme çalışmasının yapılabilmesi için hattın özellikleri incelendiğinde, montaj hattında değişik modellerin (ürünlerin) üretildiği ve bunların birbirlerine hiçbir zaman karıştırılmadıkları gözlenmiştir. Modeller farklı ürün grupları ya da aynı ürün grubunun farklı ürün çeşitleri olabilmektedir. Her iki durumda da ürünler aynı olmayan fakat benzer işlemler görmektedirler. Montaj hattında yapılan işlemlerin çoğunun işlem süreleri değişkenlik göstermemektedir. Montaj hattı, üretilen ürün için (birinci ürün) hazırlanmakta ve bunun üretimi bittikten sonra üretilen diğer ürünler için (ikinci, üçüncü vb.) hatta gerekli düzeltmeler yapılmaktadır (sızdırmazlık testi için test cihazının üretilen ürüne göre ayarlanması gibi). Bu özellikler doğrultusunda montaj hattı dengeleme problemi, Çok Modelli Deterministik

Hat Dengeleme Problemleri sınıfına girmektedir. Bu durumda her model üretimi için hat dengeleme problemi, birbirinden bağımsız olarak tek model montaj hattı dengeleme problemi gibi çözülmüştür.

Ayrıca düz hatlardaki atama kısıtlarını ortadan kaldırarak oluşturulabilecek iş gruplandırma sayısını arttırmak ve daha az sayıda istasyona ihtiyaç duyulan hat yerleşimini elde edebilmek amacıyla inceleme yapılan düz hattın U tipi hatta dönüştürülmesi durumunda karşılaşılabilecek sorunlar ele alınmıştır. Elde edilen sonuçlar düz hat yerleşim sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda bulunan U tipi yerleşimin montaj atölyesine uygunluğu araştırılmıştır. Montaj atölyesine ait yerleşim planı EK-2’de verilmiştir.

4.2 Çözümde Kullanılan Yöntem ve Seçimi

Montaj hattı dengeleme çalışmasında gerekli hesaplamaların yapılabilmesi için, incelenen ürünlerin gerektirdiği işlerin iş akış şemaları oluşturulmuş, işler iş elemanlarına ayrılmış ve bunlar arasındaki öncelik ilişkileri belirlendikten sonra iş elemanlarının standart süreleri hesaplanmıştır. İncelenen ürünlerin işlemlerine ilişkin öncelik diyagramları EK-3 (A Ürünü), EK-4 (B Ürünü) ve EK-5 (C Ürünü)’de, işlemlere ilişkin bilgiler (tanımı, standart süresi ve öncelik sırası) ise sırasıyla EK-6, EK-7 ve EK-8’de verilmiştir.

Yaygın olarak kullanılan bir çok programda Assembly Line Balancing modülü mevcuttur. Fakat sadece düz hat için çözüm üretebilmektedirler. U tipi hatlar için çözüm üreten modüller bilindiği kadarıyla henüz geliştirilmemiştir. Yapılan literatür taraması çalışmasında yalnızca Scholl ve Klein’e ait pascal programı kullanılarak hazırlanmış DOS ortamında çalışan, hızlı işletim sistemleri tarafından desteklenmeyen ve akademik çalışmalara destek olabilecek ULINO yazılımına rastlanmıştır. Bu program çevrim süresi, iş elemanı süreleri ve öncelik ilişkilerini kullanarak 45 görevden büyük problemler için oldukça etkin çözümler sunabilen, literatürdeki tek çalışma olarak bilinmektedir. ULINO bazı test problemlerinin karşılaştırmalı çözümünde kullanılmak üzere hazırlanmıştır. Çalışmada U hatta yönelik dengeleme çalışmasında kullanılan sezgisellerin dengeleme sonuçları ULINO programının sonuçlarıyla da

karşılaştırılmıştır. İncelenen ürünlerin ULINO'yla U hattı varsayımıyla elde edilmiş sonuçları Ek-9, Ek-10 ve Ek-11'de verilmiştir.

Uygulamada düz hat dengeleme çözümlerini elde edebilmek için bilgisayar ortamında kullanım kolaylığı sağlaması nedeniyle STORM paket programı seçilmiş ve programın «Assembly Line Balancing » modülü kullanılmıştır. Ancak bu modülden elde edilen çözüm, sistemi yalnızca düz hat olarak dengelemektedir. Yani atama yaparken öncülleri atanmış işlemler kümesini kullanmaktadır. Biz sistemin bir de U hat olduğu varsayımını kullanarak dengeleme çözümü istediğimizden, literatürde yer alan, U hatlar için geliştirilmiş ve daha az hesaplama ve karmaşıklık içeren sezgisellerden yararlandık. U hatlarda atama yapılırken çözüm kümesi daha büyüktür. Çünkü atama yapılırken öncülleri atanmış işler kümesinin yanı sıra ardılları atanmış işler kümesi de göz önüne alınır. Çalışma sürecinde Visual Basic'de geliştirilmiş, UDENGE adı verilen ve literatürdeki iki sezgisel dengeleme yönteminin çözüm algoritmalarını kullanarak istasyonlara atama yapan bir program hazırlanmıştır. Bu program, U hatta yönelik dengeleme sonuçlarını daha kısa sürede ve daha güvenilir bir şekilde sunmaktadır.

Hat dengelemede kullanılacak çevrim süresi hesaplanırken haftalık plana göre 1 günde üretilmesi gereken miktar dikkate alınmıştır. İşletmede günlük net çalışma süresi 450 dakikadır. İncelenen ürünlere ilişkin çevrim sürelerinin hesaplanmasında aşağıdaki formülasyon kullanılmıştır.

$$\text{Çevrim Süresi} = \text{Günlük Çalışma Süresi} / \text{Günlük Üretim Adedi}$$

Tablo 4.1' de incelenen ürünlerin günlük üretilmesi gereken miktarları ve bu verilere göre hesaplanan çevrim süreleri gösterilmektedir.

Tablo 4.1. İncelenen Ürünlerin Günlük Üretilmesi Gereken Miktarları ve Çevrim Süreleri

Ürün Adı	Günlük Üretilmesi Gereken Miktar (Adet)	Çevrim Süresi (sn/adet)
A	286	94
B	600	45
C	768	35

İncelenen ürünlerin üretildiği düz hattın U tipi hatta çevrilmesi için, iş elemanı sayısının 15 den fazla olduğu durumlarda karşıya geçişli istasyonların artışı sağlayan ve en iyiye yakın çözümleri az bir hesaplama ile veren Sezgisel Yöntemler kullanılmıştır. Sezgisel yöntemleri seçerken işletmelere en az hesaplama süresini sunan, kolay kullanılabilen ve anlaşılabilen sezgisel yöntemler incelenmiş ve sezgisel yöntemlerden Enbüyük Pozisyon Ağırlıklandırma Yöntemi ile Enbüyük Ardıl/Öncül Sayısı ve Enbüyük İşlem Süresi Bileşimi problem çözümü için seçilmiştir. Çalışmada iki farklı sezgisel yöntem seçilmesinin nedeni işletmeye karşılaştırılabilir çözümler sunmaktır. Bu iki sezgiselin çözüm algoritmalarını kullanarak oluşturduğumuz UDENGE programına ait bir ekran görüntüsü Ek-12’de verilmiştir.

4.3 Hattın Dengelenmesi ve Sonuçlar

STORM paket programının «Assembly Line Balancing» modülünden yararlanarak probleme ilişkin değerler çözdürülmüş ve kurulan istasyonlar, atanan işçi sayıları ve denge kaybı bilgilerini içeren çözüm sonuçları incelenen ürünler için sırasıyla EK-13, EK-14 ve EK-15’de verilmiştir.

STORM paket programı ile yapılan dengeleme sonucunda incelenen ürünler için hattın başarı göstergeleri Tablo 4.2’deki gibi bulunmuştur. Bu çözüm hattın düz hat olarak ele alınması durumunda elde edilen çözümdür.

Tablo 4.2. Dengeleme Sonucunda Hattın Başarı Göstergeleri

Ürün Adı	Denge kaybı (%)	Düzensizlik İndeksi	İstasyon Sayısı
A	29.79	1.63	5
B	10.56	0.18	4
C	22.38	0.41	6

Üretimin yapıldığı düz hattın U tipi hatta çevrilmesinde kullanılan Enbüyük Pozisyon Ağırlıklandırma ile En Büyük Ardıl/Öncül Sayısı ve En Büyük İşlem Süresi Bileşimi Yöntemlerini kullanan UDENGE programına verilerin girilmesiyle, incelenen ürünlere ait elde edilen sayısal veriler ve her bir ürün için modelin çözümü sonucunda oluşturulan iş gruplandırmaları Ek-16, Ek-17, Ek-18, Ek-19, Ek-20 ve Ek-21’de verilmiştir.

4.4 Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması

İncelenen ürünler için Storm paket programı (Düz Hat) ve Enbüyük Pozisyon Ağırlıklandırma Yöntemi (U Tipi Hat) ile alternatif bir yöntem olarak Enbüyük Ardıl/Öncül Sayısı ve Enbüyük İşlem Süresi Bileşimi kuralının (U Tipi Hat) ayrı ayrı çözülmesi sonucu farklı sonuçlar elde edilmiştir. Düz ve U tipi hat üzerinde yapılan dengeleme çalışması sonucu incelenen ürünlerin çevrim süresi ve istasyon süreleri arasındaki ilişki ile istasyon boş sürelerinin grafiksel gösterimi Ek-22, Ek-23 ve Ek-24'de verilmiştir.

Grafiklerden de görüldüğü üzere, özellikle A ürünü için U tipi hat dengeleme sonucu istasyon boş süreleri azalmıştır. Böylece U tipi yerleşim ile Düz yerleşime göre daha düzgün bir hat elde edilmiştir.

B ve C ürünü için karşılaştırma yapıldığında, dengeleme sonucu oluşan istasyon boş sürelerinde pek bir değişiklik olmadığı görülmektedir. Hangi hat yerleşiminin daha düzgün olduğunun belirlenmesi için hatların düzgünlük indekslerine bakılmalıdır.

Düz ve U tipi hatlarda yapılan dengeleme sonucunda elde edilen hatta ait başarı göstergeleri karşılaştırmalı olarak Tablo 4.3'de verilmiştir.

Tablo 4.3. Uygulanan Yöntemler ile Dengeleme Sonucunda Hattın Başarı Göstergeleri

	DÜZ HAT YERLEŞİMİ			U TİPİ HAT YERLEŞİMİ								
	STORM			ENB.POZİSYON AĞ.			ENB.A./Ö.SAY. ve ENB.İŞL.SÜR.BİL.			ULINO		
	Denge Kaybı(%)	Düğünlük İndeksi	İstasyon Sayısı	Denge Kaybı(%)	Düğünlük İndeksi	İstasyon Sayısı	Denge Kaybı(%)	Düğünlük İndeksi	İstasyon Sayısı	Denge Kaybı(%)	Düğünlük İndeksi	İstasyon Sayısı
A	29,79	1,63	5	12,23	0,56	4	12,23	0,56	4	12,23	0,56	4
B	10,56	0,18	4	10,56	0,26	4	10,56	0,21	4	10,56	0,21	4
C	22,38	0,41	6	22,38	0,48	6	22,38	0,48	6	6,86	0,15	5

Tablo 4.3'de görüldüğü üzere, A ürünü için her iki sezgisel yöntemde de dengeleme gecikmeleri düz hat çözümüne göre daha düşük çıkmıştır. Bunun nedeni, toplam iş yükünün U tipi çözümle istasyonlara daha dengeli bir şekilde dağıtılmış olmasıdır. ULINO sonuçlarına baktığımızda da A ürünü için U tipi hattın daha verimli olacağı görülmektedir. U tipi hat çözümlerinde düzgünlük indeksinde de bir iyileşme mevcuttur, istasyon sayısı da azaldığından bu ürün için U tipi yerleşim daha uygun görünmektedir.

B ürününün istasyon boş süreleri değişmediğinden hesaplanan denge kaybı ve istasyon sayıları değişmemiştir.

C ürünü için Enbüyük Ardıl/Öncül Sayısı ve Enbüyük İşlem Süresi Bileşimi Yöntemi ve Enbüyük Pozisyon Ağırlıklandırma Yöntemiyle bulunan başarı göstergeleri, düz hat yerleşimindeki göstergelerden daha iyi değildir. Ancak ULINO sonuçlarına baktığımızda istasyon sayısında da, başarı göstergelerinde de bir iyileşme görülmektedir. ULINO'nun yaptığı yerleşim ataması benimsendiğinde C ürünü için de U hattın daha etkin olacağı görülmektedir.

İncelenen üç üründen ikisinde, hat dengeleme çalışmalarında hattın başarısını gösteren denge kaybı ve düzgünlük indeksinin olabildiğince küçük olması istendiğinden U tipi hat yerleşimi ile daha verimli hat kullanımı ve istasyonlara dengeli iş dağıtımı sağlanmıştır. Ayrıca bu yöntemle oluşturulabilecek iş gruplandırma sayısı artırılmış ve daha az sayıda istasyona ihtiyaç duyulan hat yerleşimi elde edilebilmiştir.

4.5 Çalışmanın Değerlendirilmesi

U tipi hatta geçişte çeşitli adımlar vardır. Bunlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Miltenburg, 2001);

1. U tipi hattın tasarımı,
2. Tasarıma göre operatörleri eğitmek, birden fazla operasyonda çalışabilir hale getirmek,

3. Operatörlerin işlemleri, operasyonların nasıl yapılacağı ile ilgili belirli tanımlamaları takip ederek U hattının çevrim süresine eşit olacak şekilde, belirli sürelerde yapmalarını sağlamak,
4. Operatörlerin ayakta ve yürüyerek çalışmasını sağlamak,
5. Küçük, yavaş ve ucuz makineler atamak.

4.5.1 U Tipi Hattın Kurulumu ve İşletiminde Karşılaşılan Sorunlar

U tipi hatta geçiş sürecinde ve kurulan U tipi hattın işletilmesinde çeşitli sorunlarla ve mevcut durumlardan kaynaklanan kısıtlamalarla karşılaşılabilir.

Okur, bu tür kısıt ve sorunları aşağıdaki şekilde sıralamıştır;

- U tipi hatlarda, parçayı makinelere otomatik olarak yerleştiren, ve işlem bitince yine otomatik olarak makineden alıp kızaklara ileten donanım olmasa da (yani bu işleri işçinin kendisi yapsa da), sistem içinde mutlaka makinelerin doğru çalışıp çalışmadığını kontrol edici donanımın bulunması şarttır. Böylece bir makine çalışırken, işçi o makineyi gözlemlemek/kontrol etmek zorunda kalmadan, bir sonraki/önceki makineye parçayı yerleştirip/alıp, makineyi çalıştırabilir.
- U hatlarından kazanç sağlanması için dikkat edilmesi gereken bir nokta vardır. U hatlarda kullanılan makinelerin, birçok işlevi bir araya toplayan büyük otomatik makineler yerine, tek bir işi yapan, yine de bir üründen diğerine çok kısa sürede geçebilen esnek ve basit makineler olmaları önemlidir.
- U hatlarında bir işçinin birden fazla makineden sorumlu olması ve beklemeyle hiç vakit kaybetmeyip, hiç durmadan ürüne değer katıcı işlemleri birbiri ardı sıra yapıyor olması, doğaldır ki net aktif çalışma süresini artıracak, dolayısıyla işçi sürekli olarak çok yüksek bir tempoda çalışmak zorunda kalacaktır. Bu durumun iş stresini artırıcı olduğu ve işçilerde memnuniyetsizliğe yol açabileceği açıktır. U hatlarına geçişte bu tür durumları engellemek için önceden bazı önlemler alınmalıdır. Verilecek eğitimlerle, ön bilgilerle, çalışan kişide, birden fazla

makineden sorumlu olması ve gereksiz hiçbir şey yapmaması durumunda, aslında emeğinin lüzumsuz eylemlerle harcanmadığı duygusunu uyandırmalıdır. Ayrıca U hatlarda işçilerin becerileri de artacağı için, çalışanlar yaptıkları işlerden eskisine göre çok daha tatmin olacaklardır. Yönetim, artan iş yükünün öğle tatili dışında işçilere belirli zamanlarda verilecek molalarla hafifletebilir, tanınan bu dinlenme sürelerinin stres azaltmada önemli işlev göreceği açıktır. U hatlara geçişte bu tür düzenlemelere dikkat edilmesi önemlidir.

- U hatları üretim sistemindeki ücret belirlemesine baz olan iş tanımlarının ya da iş kategorilerinin yeniden gözden geçirilmesini gerekli kılar. Kitle üretim sisteminde her iş için, işin tüm ayrıntılarını belirten bir kategori bulunmaktadır, ve işçinin aldığı ücret ve işinde yükselmesi bu kategorilere bağlıdır. Oysa, işçinin sürekli bir işten diğerine geçebildiği ve her an değişebilecek sayıda makineden/işlemden sorumlu olduğu yalın üretimde, ayrıntılı iş kategorizasyonu sistemi geçerliliğini yitirmektedir. Fakat işçi sendikaları iş kategorilerinin azaltılması ve tanımlarının geniş tutulmasına karşı çıkabilirler. Çünkü genellikle geniş iş tanımlarının işçi çıkarlarına ters düşeceği düşünülür.

4.5.2 U Hatlarının Etkin Çalışmasını Sağlayan Gereklilikler

Miltenburg'un, Amerika ve Japonyadaki 114 U hattını incelediği çalışmasında U hatlarını kurabilmek ve işletebilmek için gereklilikler aşağıdaki şekilde sıralanmıştır (Miltenburg, 2001);

- Operatörler, birden fazla operasyonda çalışabilir hale getirilirken çoklu makine yönetimi ve çoklu işlem yönetimi uygulanmalıdır. Çoklu makine yönetiminde, bir operatörün aynı tipte birden fazla makineyi çalıştırabilmesi kastedilmekte, çoklu işlem yönetiminde ise bir operatörün farklı işlemleri ve makineleri yürütmesi kastedilmektedir. Bunun için çeşitli gereklilikler vardır. Birincisi; operatörlerin farklı işlemleri yürütebilmesi için çoklu beceriye sahip olmaları gerekir. İkincisi; operatörlerin işlemden işleme ayakta ve yürüyerek çalışıyor olması gerekir. Üçüncüsü ise; operatör işini makine işinden ayırmak gerekir, öyleki makine işlerinin operatör işlerinden ayrı ayrı, birbirinden bağımsız

şekilde çalışabiliyor olması gerekir. Tüm bu gereklilikler operatörün iş yükünü artıracığından iş tatminsizliğini ve memnuniyetsizliği de artıracaktır.

- Bir şirket geniş sayıda makineye ihtiyaç duyabilir. Bu da maliyeti yükseltir. Büyük makinelerden kaçınılmalıdır. Aynı zamanda yüksek hızlı ve çok fonksiyonlu makineler de her zaman uygun olmayabilir. Makineler ucuz olmalıdır ve o hücredeki işi tam olarak karşılamalıdır. Yeni bir makine alınacağı zaman genelde küçük, daha ucuz ve standart makineler alınmalıdır. Bölüm bölüm değişikliği çabuk olan makineler tercih edilmelidir. Gelecekte iş değiştiğinde küçük bir değişiklikle işe adapte edilebilecek makineler olması gerekir. Bu gereklilikler gerçekleşmezse ya da mevcut durumda mümkün değilse U hatları çok etkin çalışmayacaktır.
- U hatlarının verimli çalışabilmesi için üretim, müşteri talebiyle senkronize hale getirilmelidir. Amaç sadece çok hızlı, çizelgeye uygun üretim yapmak değil, aynı zamanda durağan bir hızda üretimde sürekliliği sağlamak olmalıdır. Ne tüm operasyonun ne de alt operasyonların tam kapasiteyle çalışması gerekmez. Tam kapasiteyle çalıştıklarında boş zaman oluşabilir. En ufak bir boş zaman oluştuğunda üretim aksayabilir.
- U hatlarının kapasitelerinin müşteri talebiyle uyumlu hale getirilmesi, tedarikçilerle fabrika arasındaki ve fabrika içindeki aktivitelerin koordinasyonu ve geliştirme aktivitelerine teşvik etmek için KANBAN, MRP gibi bilgi sistemi kullanılmalıdır. Bilgi sistemiyle operasyonların kontrolü sağlanır.
- Fabrika yerleşimlerinde malzemelerin yer değiştirmeleri mümkün olduğunca minimum olmalıdır. Malzeme iletiminin senkronizasyonu sağlanmalıdır. Tedarikçiler üretim çizelgesine göre çalışmalıdır.
- U hatlarının kullanımında işlemlerin entegrasyonunda şunların standardı sağlanmalıdır. Sahada oluşabilecek tüm çöplerin yok edilmesi, hücrelerin proseslerinin diğer hücrelere göre ayarlanması, sürekli bir üretim akışımı karışık bir üretim akışımı karar verilmesi ve bunun sağlanması, çoklu işlem yönetiminin

sağlanıp sağlanamayacağı, kontrol sistemlerinin kullanılıp kullanılmayacağı, bilgi sisteminin nasıl kullanılacağı.

- o Üretim sonsuza kadar aynı çıktı oranlarında devam edemez. Gerekli çıktı oranları değiştiği zaman U hatlarını yeniden dengelemek gerekebilir. Dengelemeyle kastedilen; üretim oranlarını artırmak için operatör eklemek ya da çıkartmak, makinelerin yerini değiştirmek ve standart akış tablolarını değiştirmektir. Çıktı oranındaki değişiklik büyükse makinelerin yerini değiştirmek gerekebilir. Makinelerin ve iş masalarının daha kolay hareket edebilmeleri için mümkün olanlarına tekerlek yerleştirilmelidir. Zemine sabitlenen makineler kalıcı olarak yerleşir. Pazardaki ve tesisin gelişimindeki değişiklikler makine yerleşiminde ürüne göre değişiklik gerektirdiğinde bu tür sabit makineler durumu zorlaştıracaktır. Makineler hareketli olmalıdır ki U hattı kolaylıkla yeniden dengelenebilsin. Gerçekten önemli olan şey gelecekte ürüne olan talep artış ya da azalışıyla başa çıkabilmek için ekipmanların hatta nasıl eklenip nasıl çıkarılacağına karar vermektir. Aynısı operatörler içinde geçerlidir. Sahip olunan operatörleri ikiye ya da üçe katlamak anlamında zor görünebilir, fakat günden güne uygulanacak gereksinim %20 ya da %50 değişiklik olabilir. U hattının yeniden dengelenmesine ihtiyaç duyulduğunda zorluklarla ve ciddi engelleyici kısıtlarla karşılaşmamak için tasarım aşamasında tüm bunlar göz önüne alınmalıdır.

4.5.3 Uygulama Çalışmasında Karşılaşılan Sorunlar

U tipi montaj hatlarının ele alındığı bu çalışmanın başlamasıyla birlikte uygulamanın yapıldığı firma da konuya ilgi göstermiş ve U hatta dönüşüme yönelik bazı tasarım çalışmalarına başlamıştır. Öncelikli olarak belirledikleri bazı hatlarda dönüştürme işlemi gerçekleştirilmiş, diğer hatlar için ise üretimi aksatmadan gerçekleştirebilmek için uygun zaman beklenmektedir. Mevcut durumda sahada çok büyük bir karmaşa gözlenmektedir. Saha içi atıkların, yarı mamullerin yerleşimlerinin, saha içi taşımaların yarattığı bu karmaşanın U hatta geçildiğinde ortadan kaldırılması amaçlanmaktadır. Uygulama çalışmasında bugüne kadar U hatlarına dönüştürme

çalışmalarında karşılaşılan ve bundan sonra karşılaşılabilecek sorunlar ve kısıtlamalar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- U hatlarını uygulayabilmek için mevcut fiziksel alanın elverişli olması gerekmektedir. Uygulama yapılan atölyede U hatlarına yönelik düzenleme için yeterli alan mevcuttur. Ancak aynı işlemleri tezgahların gruplanarak belirli alanlarda toplanmasıyla oluşturulan başka bir atölyede U hatta dönme çalışmasında mevcut alan yeterli gelmemiş, düz hat tercih edilmiştir. Ancak göz ardı edilen bir husus oluşturulan hattaki mevcut tezgahların çok büyük olmasıdır. Bu da U hattın oluşturulmasında daha önce bahsettiğimiz gibi bir dezavantaj oluşturmaktadır. Firma bu tezgahlar yerine daha fonksiyonel ve küçük tezgahlar kullanıyor olsaydı mevcut alan U hatta izin verebilirdi. Mevcut tezgahlarla U hat oluşturmaya çalışan firmaların bu tür problemlerle karşılaşacakları aşikardır. Bu noktada firma, ya yeni tezgah alımı gerçekleştirilmeli ki bu firmaya büyük maliyetler oluşturabilir, ya da firmanın yaptığı gibi Ek-1’de verilen farklı fiziksel montaj hatlarından mevcut yerleşim alanına uygun olanı seçmelidir. Montaj atölyesinde hatlardaki ekipmanlar U hattın yerleşimi ve esnekliği için gerekli olduğu hacimde ve fonksiyonelliktedir. Bu açıdan U hattı uygulamasında bir problem oluşmayacağı düşünülmektedir. Ekipmanlardan sadece test cihazlarının ürün değiştiğinde üretilen ürüne göre kontrolü gerçekleştiren küçük aparatları değiştirmekte bu da kısa sürede tamamlanabilmektedir.
- Firmada, mevcut bir düz hatta 11 operatörle çalışan bir sistemin U hat şeklinde 5 operatörle çalışabileceği ve verimliliğin artacağı tespit edilmiş fakat hattın mevcut bulunduğu yer U hat yerleşimine izin vermemiştir. Elde edilecek iyileşme göz ardı edilemediğinden hat, mevcut yerinden başka atölyeye taşınarak U hattı uygulanabilmiştir.
- İlk U hatta geçiş çalışmalarında işçilerin çok büyük tepkisiyle karşılaşan firma yetkilileri, sendika ve işçileri ikna edebilmek için uzun süre çalışmanın amaçlarını ve işçilerin aleyhine olmayacak iyileştirmeleri toplantılarla açıklamışlardır. U hattın gerektirdiği iş yükü artışlarının, çoklu beceriye sahip

olmaları için gerekli eğitimlerin, U hattının dengelenmesiyle daha az atanan işçi sayılarının onların işten atılması anlamına gelmediği konusunda taahhütler vermişlerdir. Her yeni U hatta dönme çalışmasında işçiler kendilerine ve işlerine zarar gelmeyeceği konusunda biraz daha ikna olmuşlar ve tepkileri giderek azalmıştır. Uygulama yapılan montaj atölyesinde U hatta dönüleceği zaman, işçilerden daha önceki tecrübeler sebebiyle olumsuz bir tepki beklenmemektedir. Firmanın bu konuda işçilerinin güvenini kazandıkları düşünülmektedir.

Hattın işleyişinde konveyör sistemi yoktur. Hat, üzerinde işlemlerin gerçekleştirildiği masalardan oluşmaktadır. Daha önce başka atölyelerde yine masa sistemi ve az iş elemanı olan düz hatlarda yapılan U hattı çalışmalarında firma, U hattını farklı bir tasarımla uygulamıştır. Masanın boyutlarını değiştirerek operatörleri hattın içine değil de karşılıklı ve yan yana birbirine çok yakın olacak şekilde oturarak masanın etrafına yerleştirmişlerdir. Bu tasarım literatür taramasında karşımıza çıkan ve savunulan operatörlerin hattın içine yerleştirilmesi ve ayakta olması durumundan farklıdır. Firma montaj atölyesinde de aynı tasarımla hatları U hattına dönüştürmeyi düşünmektedir.

Firma için, bu yerleşimin mi yoksa bilinen U hat yerleşiminin mi daha etkin olacağı bir benzetim çalışması ile tespit edilebilir. Benzetim, teorik ya da gerçek fiziksel bir sisteme ait neden-sonuç ilişkilerinin bir bilgisayar modeline yansıtılmasıyla, değişik koşullar altında gerçek sisteme ait davranışların bilgisayar modelinde izlenmesini sağlayan bir modelleme tekniğidir. Benzetim tek başına problemi çözemez fakat problemi açıkça tanımlar ve sayısal olarak alternatif çözümleri değerlendirir. Bu teknik aracılığıyla sistemin farklı durumlarda nasıl davranacağı konusunda fikrimiz olabilecek böylece firma için hangi tip yerleşimin daha uygun olabileceğini saptayabileceğiz.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışma sonucunda U tipi hattın düz hatta göre daha az sayıda istasyonla daha verimli ve düzgün işlemeden dolayı montaj hattının düz hat şeklinden ziyade U hat şeklinde düzenlenmesi önerilebilir.

Proje konusu olan montaj hattı dengeleme çalışmasında geniş kapsamlı olmayan problemin çözümü için sezgisel yöntemler kullanılmıştır. Kullanılan sezgisel yöntemler en iyi çözümü garantilememekle beraber problemin çözümü için gerekli olan hesaplama süresini önemli ölçüde azaltmıştır. Ancak seçilen sezgiseller için geliştirilen UDENGE programı sebebiyle geniş kapsamlı problemlerin çözümü de mümkün kılınmıştır.

İşletmelerde kurulu düzenin değiştirilmesi ve bu durumun da işletmeler için maliyet artırıcı uygulamalar içermesine karşın U tipi yerleşime geçilmesi işletmeler için birçok konuda maliyet tasarrufunu sağlamaktadır. U tipi yerleşimin üretimdeki gereksizlikleri en aza indirmesi ile bunun işletmeye sağlayacağı yararlardan bazıları aşağıda verilmiştir;

- Tezgahlar arasındaki taşıma uzaklıklarının azalmasından dolayı taşıma maliyetleri azalacaktır. Böylece maliyetleri çok sayıda parçaya yaymak için büyük partiler oluşturulmasına gerek kalmayacaktır,
- Bir işin yapılması için daha az sayıda işçiden yararlanılacağından her çalışan için yapılacak olan ücret, sosyal yardım, sigorta vb. ödemelerde tasarruf sağlanacaktır,
- Akış süreleri ve süreç içi stok miktarları azalacağından elde tutma maliyetlerinde tasarruf sağlanacaktır,
- Stokların azalması sermaye dönüşüm hızını ve karlılığı arttıracaktır,
- Stoklarda doğan depolama, taşıma, vergiler, sigorta ve koruma giderleri, stokları bulundurma amacıyla yürütülen işlemlerin gerektirdiği işçilik maliyetleri azalacaktır,

- Stoklara yatırılan nakdin bir başka girişime yatırılabilir olması sayesinde işletmeler için bir fırsat maliyeti oluşacaktır.

Bu gibi maliyetlerin ve getirecekleri katkının belirlenmesi için ayrı bir proje konusu olabilecek maliyet analizi çalışması yapılabilir.

Yapılan çalışmada U hatta dönme durumunda sistemin verileri incelendiğinde her ürün için U hattın uygun olmayabileceği görülmüştür. Ürünler için elde edilen hattın başarı göstergelerinden B ürünü için U Tipi hat uygulamasının anlamsız olduğu görülmektedir. U hattına yönelik uygulanan hiç bir yöntemde B ürünü için etkin bir sonuç alınamamıştır. U Tipi hatta dönme kararı verilirken bütün koşulların değerlendirilmesi gerekmektedir. B ürünü için uygun bir sonuç alınamamış olabilir fakat düz hat göstergelerinden daha kötü bir sonuç da elde edilmemiştir. Firma bu noktada U hatlarının operatör ve istasyon sayılarında azalma işlevinden değil de başka yararlarından faydalanabilir. Örneğin montaj atölyesinde saha içi karışıklıktan bahsetmiştik, U hattı uygulaması bu karmaşayı giderebilir. Üretim sürecinin daha düzenli işlenmesini sağlayabilir. Bunun gibi bir çok durum incelendikten sonra firma kendisi için uygun çözümü üretmelidir. İzleyen çalışmalarda firmaya ait tüm ürünler incelenerek U hattın etkin olacağı ürünler tespit edilip, bu ürünleri U hatta dönüştürülen sistemlere atayarak diğer ürünler için başka çözüm yöntemleri araştırılabilir.

Firma literatürde bilinen U hat yerleşiminden farklı bir yerleşim benimsemiştir. Operatörlerin masanın etrafına ve oturur düzende yerleştirildiği bu uygulamanın literatürde bilinen U hat uygulaması ile karşılaştırılması önerilmektedir. Bu çalışma için benzetim teknikleri uygun olabilir. Az iş elemanı olması durumlarında bu farklı yerleşim düzeni uygun olabilir. Ancak bu düzenin etkin çalışabilmesi için üretilen ürünün büyüklüğü de önem kazanmaktadır. Mevcut montaj hatlarında üretilen ürünler elden ele kolayca aktarılacak büyüklükte ürünlerdir. Daha büyük ürünlerin üretildiği ve konveyör sistemleriyle çalışan hatlarda, bu tür operatörlerin hat etrafına ve oturarak çalıştığı yerleşim düzenleri uygun olmayabilir. Bu farklı U hattı tasarımının yukarıda bahsettiğimiz gibi benzetim teknikleriyle etkinliğinin araştırılması önerilmektedir. Bazı durumlarda çok uygun bir yerleşim şekli olabilir.

Literatürde U hatlarına yönelik çözüm üreten paket programlarına rastlanmamıştır. Çalışma süresince sektörde bu yönde bir ihtiyaç olduğu gözlenmiştir. Çalışma sürecinde geliştirilen UDENGE programı bizlere çözüme kısa sürede ulaşma açısından kolaylık sağlamıştır. U hatlarına yönelik çözüm ararken geliştirilen algoritmaları elle çözmek hem çözücünün çok vaktini almakta hem de algoritmayı çok iyi bilmesi gerekmektedir. U hatlarına yönelik çözüm ararken kullanıcının hem çok zamanını almayacak hem de çözüm yöntemlerini bilmeden çözüm üretebileceği bir programa ihtiyaç vardır. İzleyen çalışmalarda UDENGE programı geliştirilerek U hat dengelemesi için tüm sezgisel ve optimal çözüm yöntemlerini içeren bir karar destek sistemi tasarlanabilir. Bu sistem kullanıcıya çeşitli dengeleme sonuçlarını sunar ve karar vericide kendine uygun olan çözümü benimseyebilir.



KAYNAKLAR DİZİNİ

- Aase, G.R., Olson, J.R. ve Schniederjans, M.J.**, (2004), U-shaped assembly line layouts and their impact on labor productivity: An experimental study, *European Journal Of Operational Research*, Vol. 156, No. 3, 698-711.
- Acar, N. ve Eştaş, S.**, (1986), Kesikli Seri Üretim Sistemlerinde Planlama ve Kontrol Çalışmaları, *Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları*, 156s.
- Ağpak, K. ve Gökçen, H.**, (2001), U Tipi Montaj Hatlarının Dengelenmesi İçin Bir Sezgisel Metot: Düzenlenmiş Comsoal (U-Comsoal), *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, Vol. 12, No. 2, 23-32.
- Ağpak, K., Gökçen, H., Saray, N.N. ve Özel, S.**, (2002), Stokastik Görev Zamanlı Tek Modelli U Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemleri İçin Bir Sezgisel, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Vol. 17, No. 4, 115-124.
- Ağpak, K. ve Gökçen, H.**, (2002), Basit U Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemine Bulanık Programlama Yaklaşımı, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, Vol. 4, No. 2, 29-40.
- Ajenblit, D.A. ve Wainwright, R.L.**, (1998), Applying Genetic Algorithms To The U-Shaped Assembly Line Balancing Problem, *Proceedings of the IEEE Conference on Evolutionary Computation, ICEC*, 96-101.
- Amen, M.**, (2000), Heuristic methods for cost-oriented assembly line balancing: A survey, *International Journal of Production Economics*, Vol. 68, 1-14.
- Arcus, A.L.**, (1966), COMSOAL: A Computer Method of Sequencing Operations for Assembly Lines, *International Journal of Production Research*, Vol. 4, No. 4, 259-277.
- Aydoğan, E.K., Gencer, C., Gökçen, H. ve Ağpak, G.**, (2004), Basit U Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemi İçin Yeni Bir Optimal Çözüm Yöntemi: En Kısa Yol Modeli, Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği-XXIV Ulusal Kongresi, 15-18 Haziran 2004, Gaziantep-Adana.
- Bartholdi, J.J. ve Eisenstein, D.D.**, (1996), A Production Line That Balances Itself, *Operations Research*, Vol. 44, No. 1, 21-34.

- Baybars, I.**, (1986), A survey of exact algorithms for the simple assembly line balancing problem, *Management Science*, Vol. 32, No. 8, 909-932.
- Baybars, I.**, (1986), An efficient heuristic method for the simple assembly line balancing problem, *International Journal of Production Research*, Vol. 24, No. 1, 149-166.
- Chand, S. ve Zeng, T.**, (2001), A Comparison of U-Line and Straight-Line Performances Under Stochastic Task Times, *Manufacturing & Service Operations Management*, Vol. 3, No. 2, 138-150.
- Cheng, C.H., Miltenburg, J. ve Motwani, J.**, (2000), The Effect of Straight- and U-Shaped Lines on Quality, *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 47, No. 3, 321-333.
- Erel, E. ve Sarin, S.C.**, (1998), A survey of the assembly line balancing procedures, *Production Planning and Control*, Vol. 9, No. 5, 414-434.
- Erel, E. ve Gökçen, H.**, (1999), Theory and Methodology: Shortest-route formulation of mixed-model assembly line balancing problem, *European Journal of Operational Research*, Vol. 116, 194-204.
- Erel, E., Sabuncuoglu, I. ve Aksu, B.A.**, (2001), Balancing of U- type Assembly Systems Using Simulated Annealing, *International Journal of Production Research*, Vol. 39, No. 13, 3003-3015.
- Erlebacher, S.J. ve Singh, M.R.**, (1999), Optimal Variance Structures and Performance Improvement of Synchronous Assembly Lines, *Operations Research*, Vol. 47, No. 4, 601-618.
- Ghosh, S. ve Gagnon, R.J.**, (1989), A comprehensive literature review and analysis of the design, balancing and scheduling of assembly systems, *International Journal of Production Research*, Vol. 27, No. 4, 637-670.
- Goldman, A.**, (1992), Japanese Managerial Psychology, *Journal of Managerial Psychology*, Vol. 7, No. 1, 17-20.
- Gökçen, H.**, (1994), Karışık Modelli Deterministik Montaj Hattı Dengeleme Problemleri İçin Yeni Modeller, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 187s.
- Gökçen, H. ve Erel, E.**, (1997), A goal programming approach to mixed-model assembly line balancing problem, *International Journal of Production Economics*, Vol. 48, 177-185.

- Gökçen, H. ve Baykoç, Ö.F.**, (1999), A new line remedial policy for the paced lines with stochastic task times, *International Journal of Production Economics*, Vol. 58, 191-197.
- Gutjahr, A.L. ve Nemhauser, G.L.**, (1964), An Algorithm For The Line Balancing Problem, *Management Science*, Vol. 11, No. 2, 308-315.
- Hasgül, S.**, (1999), Çok Seviyeli Üretim Sistemlerinde Karma Modelli Montaj Hattı Sıralama Problemleri ve Yeni Çözüm Önerileri, *Doktora Tezi*, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 128s.
- Hoffman, T.R.**, (1990), Assembly line balancing: a set of challenging problems, *International Journal of Production Research*, Vol. 28, No. 10, 1807-1815.
- İşleyen, S.K. ve Baykoç, Ö.F.**, (2004), Tek Modelli Stokastik U Tipi Montaj Hattının Deterministik Dengeleme Teknikleri Kullanılarak Dengelenmesi Ve Benzetimi: Arçelik A.Ş.'de Bir Uygulama, Yöneylem Araştırması/Endüstri mühendisliği-XXIV Ulusal Kongresi, 15-18 Haziran 2004, Gaziantep-Adana.
- İşlier, A.A.**, (1998), Üretim Sistemleri, Osmangazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 123s.
- İşlier, A.A.**, (1999), Üretim Hattı Nedir? Hat Dengeleme Ne Demektir?, *MMO Eskişehir Şubesi Bülteni*, Vol. 7, No. 35, 17-21.
- Jackson, J.R.**, (1956), A Computing Procedure for A Line Balancing Problem, *Management Science*, Vol. 2, No. 3, 261-271.
- Johnson, R.V.**, (1988), Optimally balancing large assembly lines with 'Fable', *Management Science*, Vol. 34, No. 2, 240-253.
- Kara, Y.**, (2003), U-Tipi Montaj Hatlarının Tasarımı ve Dengelenmesi, IV. Endüstri İşletme Mühendisliği Kurultayı, 12-13 Aralık 2003, Denizli.
- Kara, Y., Özcan, U. ve Peker, A.**, (2004), Balancing And Sequencing Of Mixed-Model U-Lines With Multiple Objectives, Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği-XXIV Ulusal Kongresi, 15-18 Haziran 2004, Gaziantep-Adana.
- Kara, Y., Özcan, U. ve Peker, A.**, (2004), A Simulated Annealing Approach For Balancing And Sequencing Of Mixed-Model U-Lines, Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği-XXIV Ulusal Kongresi, 15-18 Haziran 2004, Gaziantep-Adana.

- Kara, Y. ve Özcan, U.,** (2004), Karışık Modelli U-Tipi Montaj Hatlarının Paralel İş İstasyonları İle Dengelenmesi İçin Bir Sezgisel Metot , IV. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu, 8-10 Ekim 2004, Konya.
- Lee, T.O., Kim, Y. ve Kim, Y.K.,** (2001), Two-sided assembly line balancing to maximize work relatedness and slackness, *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 40, 273-292.
- McMullen, P.R. ve Frazier, G.V.,** (1998), Using Simulation and Data Envelopment Analysis to Compare Assembly Line Balancing Solutions, *Journal of Productivity Analysis*, Vol. 11, 149-168.
- Miltenburg, G.J. ve Wijngaard, J.,** (1994), The U-line Line Balancing Problem, *Management Science*, Vol. 40, No. 10, 1378-1388.
- Miltenburg, J.,** (1998), Balancing U-lines in a multiple U-line facility, *European Journal Of Operational Research*, Vol. 109, 1-23
- Miltenburg, J.,** (2000), The effect of breakdowns on U-shaped production lines, *International Journal of Production Research*, Vol. 38, No. 2, 353-364.
- Miltenburg, J.,** (2001), U-shaped production lines: A review of theory and practice, *International Journal Of Production Economics*, Vol. 70, 201-214.
- Miltenburg, J.,** (2001), One-piece flow manufacturing on U-shaped production lines: a tutorial, *IIE Transactions*, Vol. 33, No. 4, 303-321.
- Mitra, D. ve Mitrani, I.,** (1990), Analysis of a Kanban Discipline for cell coordination in production lines, *Management Science*, Vol. 36, No. 12, 1548-1566.
- Moussa, S.e., Moghrabi, C. ve Eid, M.S.,** (1999), Simulating The First Operation In An Assembly Line, *Computers&Industrial Engineering*, Vol. 37, 211-214.
- Nakade, K. ve Ohno, K.,** (1997), Stochastic Analysis of a U-shaped Production Line with Multiple Workers, *Computers&Industrial Engineering*, Vol. 33, No. 3-4, 809-812.
- Nakade, K., Ohno, K. ve Shanthikumar, J.G.,** (1997), Bounds and approximations for cycle times of a U-shaped production line, *Operations Research Letters*, Vol. 21, 191-200.
- Nakade, K. ve Ohno, K.,** (1999), An optimal worker allocation problem for a U-shaped production line, *International Journal Of Production Economics*, Vol. 60-61, 353-358.

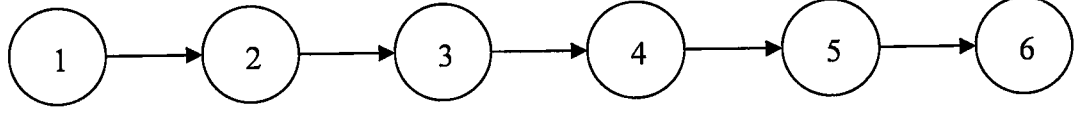
- Nakade, K. ve Ohno, K.,** (2003), Separate and carousel type allocations of workers in a U-shaped production line, *European Journal Of Operational Research*, Vol. 145, No. 2, 403-424.
- Nicosia, G., Pacciarelli, D. ve Pacifici, A.,** (2002), Optimally balancing assembly lines with different workstations, *Discrete Applied Mathematics*, Vol. 118, 99-113.
- Patterson, J.H. ve Albracht, J.J.,** (1975), Assembly-Line Balancing: Zero-One Programming with Fibonacci Search, *Operations Research*, Vol. 23, No. 1, 166-172.
- Sarin, S.C., Erel, E. ve Dar-El, E.M.,** (1999), A Methodology for solving single-model, stochastic assembly line balancing problem, *International Journal of Management Science-OMEGA*, Vol. 27, 525-535.
- Scholl, A.,** (1999), Balancing and Sequencing of Assembly Line, Physica-Verlag Heidelberg
- Scholl, A. ve Klein, R. ,** (1999), ULINO: Optimally balancing U-shaped JIT assembly lines, *International Journal of Production Research*, Vol. 37, No. 4, 721-736.
- So, K.C.,** (1989), On the efficiency of unbalancing production lines, *International Journal of Production Research*, Vol. 27, No. 4, 717-729.
- Sparling, D. ve Miltenburg, J.,** (1998), The mixed-model U-line balancing problem, *International Journal of Production Research*, Vol. 36, No. 2, 485-501.
- Talbot, F.B., Patterson, J.H. ve Gehrlein, W.V.,** (1986), A Comparative Evaluation of Heuristic Line Balancing Techniques, *Management Science*, Vol. 32, No. 4, 430-454.
- Tekin, M., Kara, Y. ve Özcan, U.,** (2004), Stokastik Görev Zamanlı Karışık Modelli U-Tipi Montaj Hatlarında Hat Dengelemesi Ve Model Sıralaması, IV. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu, 8-10 Ekim 2004, Konya.
- Urban, T.L.,** (1998), Note. Optimal Balancing of U-Shaped Assembly Lines, *Management Science*, Vol. 44, No. 5, 738-741.
- Zavadlav, E., McClain, J.O. ve Thomas, L.J.,** (1996), Self-buffering, Self-balancing, Self-flushing Production Lines, *Management Science*, Vol. 42, No. 8, 1151-1164.

EKLER

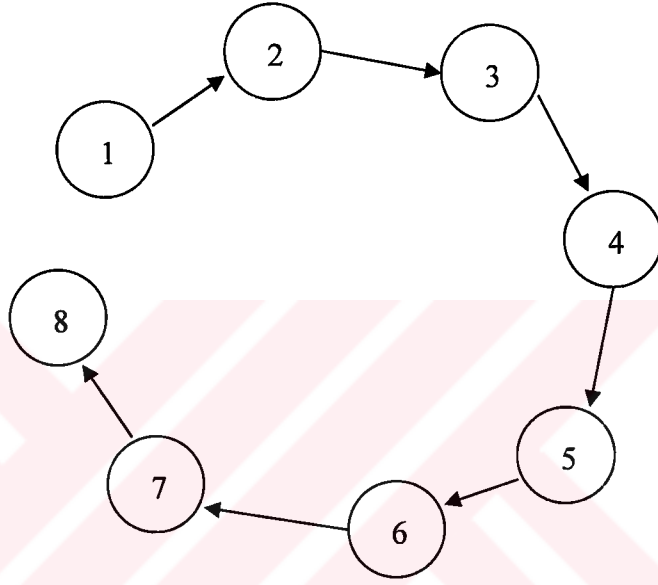
Ek-1: Fiziksel Montaj Hattı Tipleri	63
Ek- 2. Montaj Atölyesine Ait Yerleşim Planı	65
Ek- 3. A Ürünü İş Elemanlarının Öncelik İlişkileri	66
Ek- 4. B Ürünü İş Elemanlarının Öncelik İlişkileri.....	67
Ek- 5. C Ürünü İş Elemanlarının Öncelik İlişkileri.....	68
Ek- 6. A Ürünü İşlemlerine İlişkin Standart Süreler	69
Ek- 7. B Ürünü İşlemlerine İlişkin Standart Süreler	70
Ek- 8. C Ürünü İşlemlerine İlişkin Standart Süreler	71
Ek- 9. A Ürünü İçin ULINO Programı Sonuçları ve İstasyon Atamaları	72
Ek- 10. B Ürünü İçin ULINO Programı Sonuçları ve İstasyon Atamaları	73
Ek- 11. C Ürünü İçin ULINO Programı Sonuçları ve İstasyon Atamaları	74
Ek- 12. UDENGE Programına Ait Ekran Görüntüsü.....	75
Ek- 13. A Ürünü STORM Paket Programı Çözüm Sonuçları.....	76
Ek- 14. B Ürünü STORM Paket Programı Çözüm Sonuçları	78
Ek- 15. C Ürünü STORM Paket Programı Çözüm Sonuçları	79
Ek- 16. Enbüyük Pozisyon Ağırlıklandırma Yöntemiyle A Ürünü İçin U Tipi Hat Dengeleme Hesaplamaları.....	81
Ek- 17. Enbüyük Ardıl/Öncül Sayısı ve Enbüyük İşlem Süresi Bileşimi Yöntemiyle A Ürünü İçin U Tipi Hat Dengeleme Hesaplamaları	82

- Ek- 18. Enbüyük Pozisyon Ağırlıklandırma Yöntemiyle B Ürünü İçin U Tipi Hat Dengeleme Hesaplamaları..... 83
- Ek- 19. Enbüyük Ardıl/Öncül Sayısı ve Enbüyük İşlem Süresi Bileşimi Yöntemiyle B Ürünü İçin U Tipi Hat Dengeleme Hesaplamaları 84
- Ek- 20. Enbüyük Pozisyon Ağırlıklandırma Yöntemiyle C Ürünü İçin U Tipi Hat Dengeleme Hesaplamaları..... 85
- Ek- 21. Enbüyük Ardıl/Öncül Sayısı ve Enbüyük İşlem Süresi Bileşimi Yöntemiyle C Ürünü İçin U Tipi Hat Dengeleme Hesaplamaları 86
- Ek- 22. Düz ve U tipi hat üzerinde yapılan dengeleme çalışması sonucu A ürünü için çevrim süresi ve istasyon süreleri arasındaki ilişki ile istasyon boş sürelerinin grafikte gösterimi..... 87
- Ek- 23. Düz ve U tipi hat üzerinde yapılan dengeleme çalışması sonucu B ürünü için çevrim süresi ve istasyon süreleri arasındaki ilişki ile istasyon boş sürelerinin grafikte gösterimi..... 88
- Ek- 24. Düz ve U tipi hat üzerinde yapılan dengeleme çalışması sonucu C ürünü için çevrim süresi ve istasyon süreleri arasındaki ilişki ile istasyon boş sürelerinin grafikte gösterimi..... 89

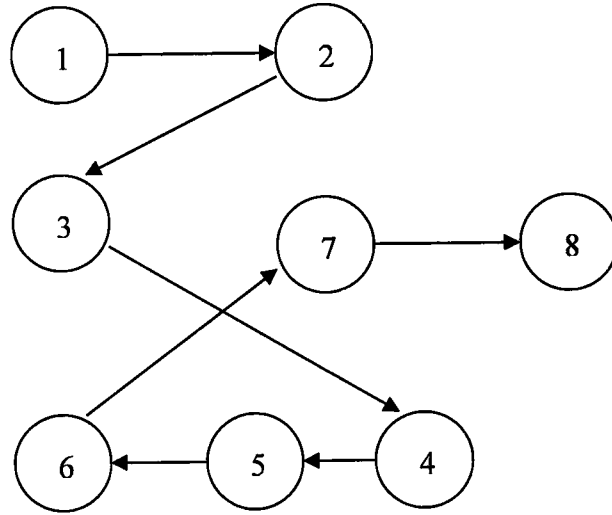
Ek-1: Fiziksel Montaj Hattı Tipleri



Düz Hat

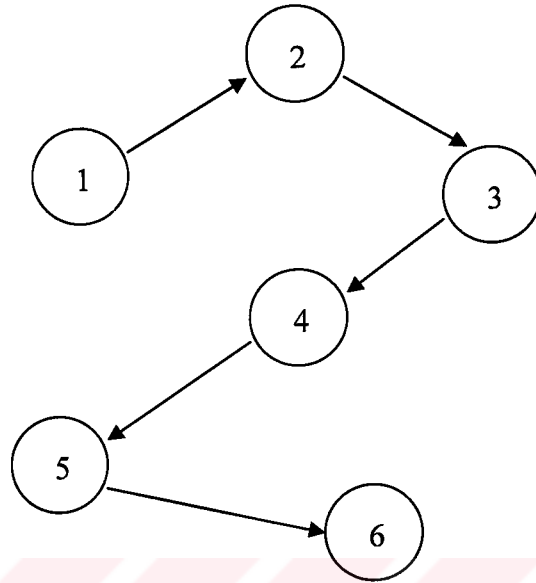


Dairesel Hat

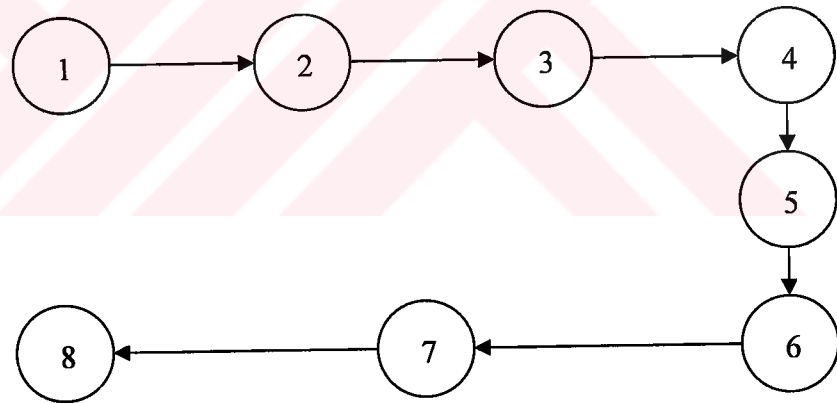


Rastlantısal Hatlar

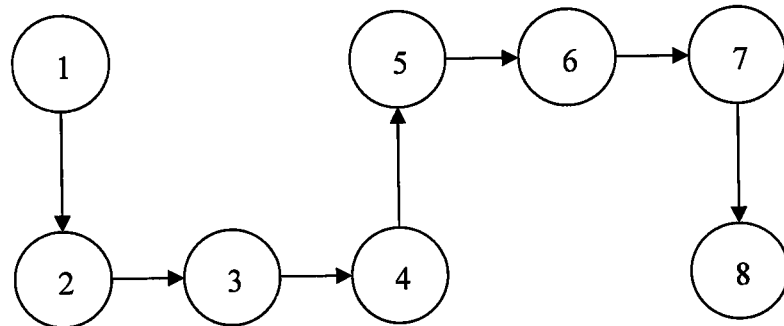
Ek- 1 Fiziksel Montaj Hattı Tipleri(Devam)



Değişik Açılı Hat

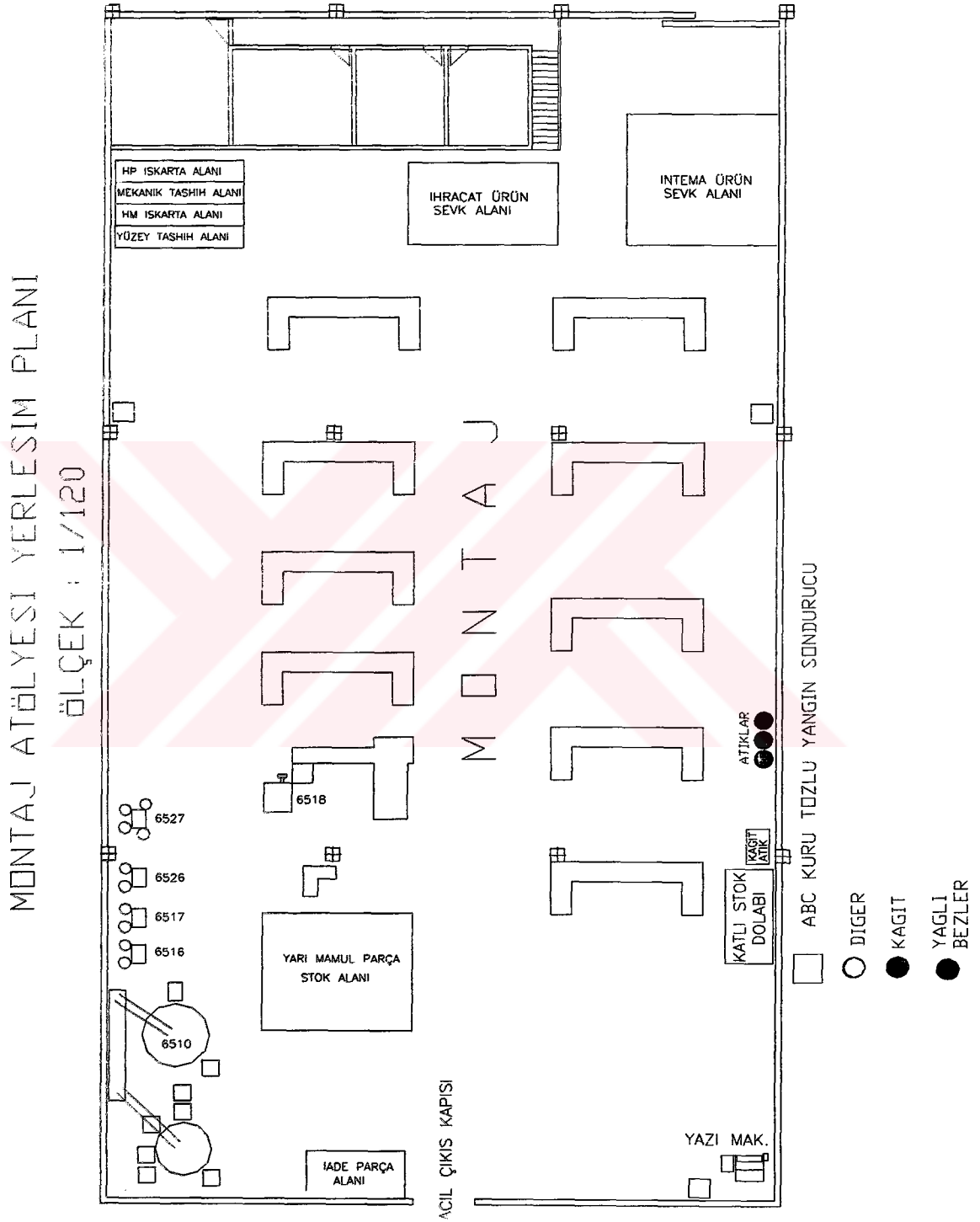


U-şekilli Hat

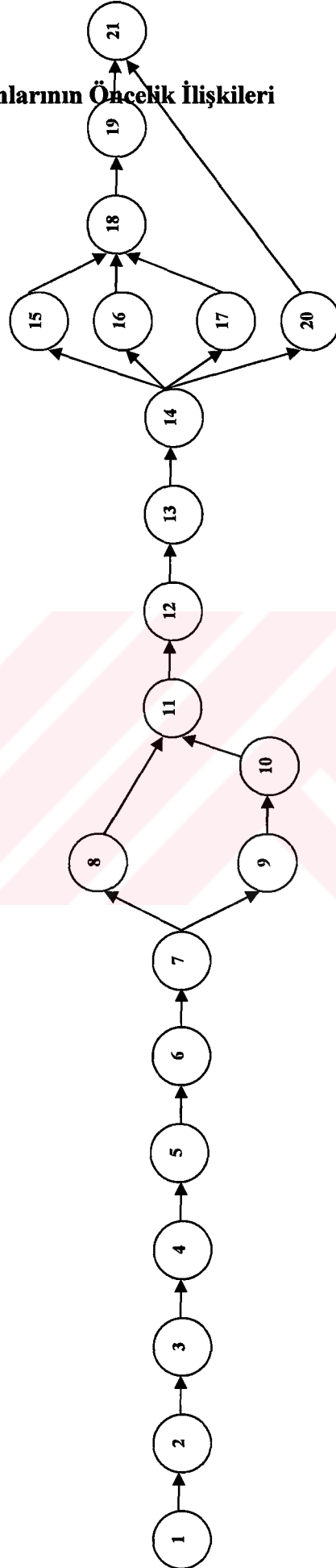


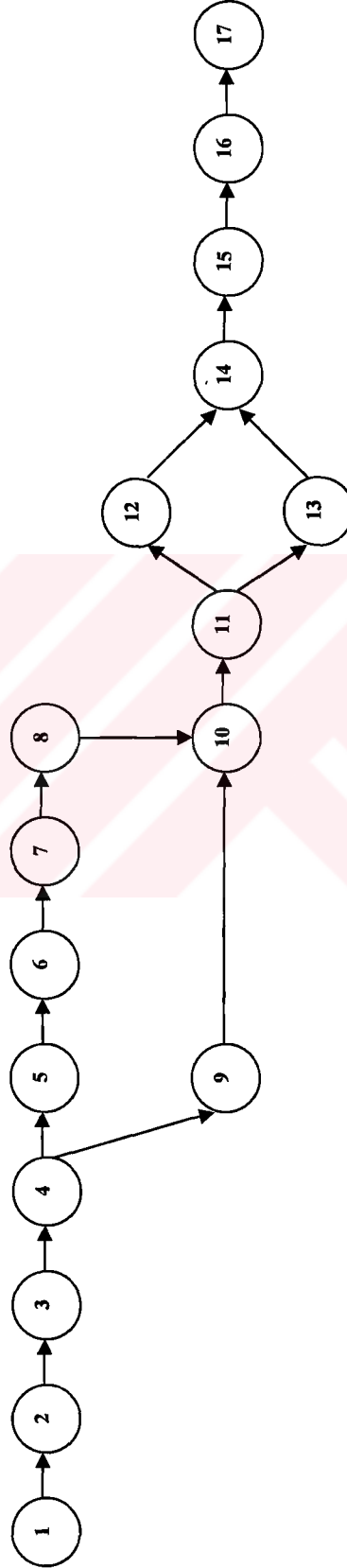
Zig Zag Hat

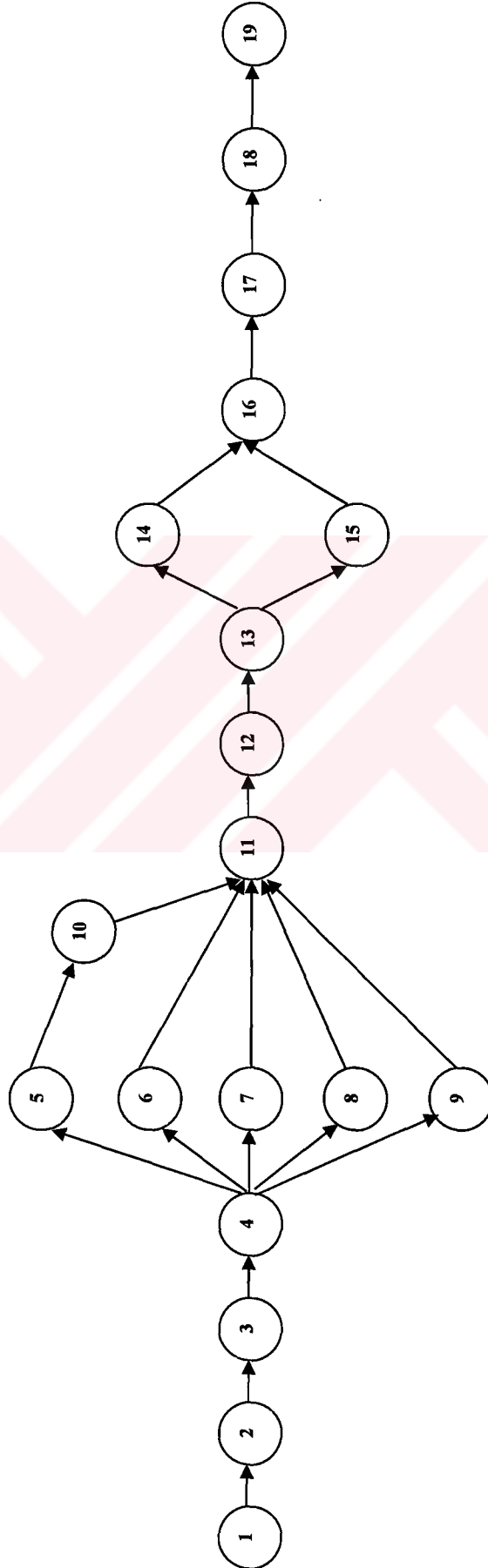
Ek-2. Montaj Atölyesine Ait Yerleşim Planı



Ek- 3. A Ürünü İş Elemanlarının Öncelik İlişkileri



Ek- 4. B Ürünü İş Elemanlarının Öncelik İlişkileri

Ek- 5. C Ürünü İş Elemanlarının Öncelik İlişkileri

Ek- 6. A Ürünü İşlemlerine İlişkin Standart Süreler

OPERASYONLAR			
NO	İŞ ELEMANI TANIMI	ÖNCELİK SIRASI	STANDART SÜRE (sn)
1	İç gövdeye loctite sürülmesi	-	7
2	İç gövdenin gövdeye yerleştirilmesi	1	14
3	Gövde borusunun takılması	2	11
4	Kartuşun yerleştirilmesi	3	6
5	Kartuş tesbit bileziğinin takılıp sıkılması	4	10
6	Test aparatına gövdenin yerleştirilmesi	5	10
7	Sızdırmazlık testi ve perlatör montajı	6	44
8	Bağlantı alt parçalarının montajı	7	35
9	Kartuş kapağı montajı	7	15
10	Kumanda kolu montajı	9	12
11	Temizlik	8, 10	63
12	İşaret contası montajı	11	6
13	Ürünün poşet içine yerleştirilmesi	12	25
14	Ambalaj kutusuna alma	13	5
15	Ürünün kutuya konması	14	12
16	Belgelerin konması (Garanti, kullanım, çevre)	14	16
17	Çelik örgülü hortumların konması	14	11
18	Ambalaj kutusunun katlaması	15,16,17	5
19	Ambalaj kutusunun bantlaması	18	5
20	Ambalaj kutusunun etiketlenmesi	14	14
21	Kutunun palete yerleştirilmesi	19,20	4

ne

Tej

Ek- 7. B Ürünü İşlemlerine İlişkin Standart Süreler

OPERASYONLAR			
NO	İŞ ELEMANI TANIMI	ÖNCELİK SIRASI	STANDART SÜRE (sn)
1	Gövdeyi al 2 adet salmastra al ve yerleştir	-	13
2	Salmastraları havalı tabanca ile sık	1	6
3	Test aparatına gövdeyi yerleştir	2	6
4	Test	3	18
5	2 adet volan rozetini yerleştir ve sık	4	13
6	2 adet grup volanı yerleştir	5	9
7	2 adet vida ile grup volanları sık (havalı tabanca)	6	8
8	2 adet volan kapağını tak (hot/cold)	7	10
9	Perlatör montajı	4	7
10	Temizlik	8,9	34
11	Ambalaj kutusunu alma	10	5
12	Belgeleri içine koyma (Garanti, kullanım, çevre)	11	6
13	Ürünü kutu içine yerleştirme	11	7
14	Muhafaza koyma	12,13	5
15	Ambalaj kutusunu katlama	14	5
16	Kutuyu bantlama	15	5
17	Kutuyu masaya yerleştirme	16	4

ne

Tej

Ek- 8. C Ürünü İşlemlerine İlişkin Standart Süreler

OPERASYONLAR			
NO	İŞ ELEMANI TANIMI	ÖNCELİK SIRASI	STANDART SÜRE (sn.)
1	Gövdeyi al kartuş yerleştir (loctite sür)	-	14
2	Tesbit bileziğini yerleştir sık (havalı tabanca)	1	6
3	Test aparatına gövdeyi yerleştir	2	6
4	Test	3	16
5	Grup gövdeye kartuş kapağını yerleştir	4	8
6	Perlatör montajı	4	8
7	Contalar,tespit plaka ve tespit somun montajı	4	20
8	Soğuk su hortum montajı	4	10
9	Sıcak su hortum montajı	4	10
10	Kumanda kolu montajı	5	10
11	Temizlik	6,7,8,9,10	19
12	İşaret contası montajı	11	7
13	Ambalaj kutusunu alma	12	3
14	Belgeleri içine koyma (Garanti, kullanım, çevre)	13	4
15	Ürünü kutu içine yerleştirme	13	5
16	Muhafaza koyma	14,15	5
17	Ambalaj kutusunu katlama	16	5
18	Kutuyu bantlama	17	4
19	Kutuyu masaya yerleştirme	18	3

ne

Tej

Ek- 9. A Ürünü İçin ULINO Programı Sonuçları ve İstasyon Atamaları

ULINO1: U-Line Optimizer Type 1

(C) by Armin Scholl und Robert Klein 1997
 TU Darmstadt, Hochschulstrasse 1, 64289 Darmstadt, Germany
 E-Mail: scholl@bwl.tu-darmstadt.de

Problem: c:\ulino-1\albdata\aurunu.in2
 Cycle time: 94
 # tasks: 21 OrderStrength: 0.95
 tsum: 330 tmax: 63 tmin: 4

Global Upper Bound: 7
 Global Lower Bound: 4
 Nodes: 3
 Elapsed: 0.00 sec

Minimal number of stations: 4
 Time in sec: 0.00
 B&B nodes: 3

c:\ulino-1\albdata\aurunu.in2 94 4 0,00 3 1 1 1 1
 1 1 2 2 2 3 3 4 4 4 4
 1 4 1 1 3 1

A ürünü için Ulino sonuçlarına göre istasyon ataması;

İstasyon	İşlem	Süre	Kalan Süre	Toplam
1	1	7	87	
	2	14	73	
	3	11	62	
	4	6	56	
	5	10	46	
	6	10	36	
	16	16	20	
	18	5	15	
	19	5	10	
	21	4	6	88
2	7	44	50	
	8	35	10	
	9	15	0	94
3	10	12	82	
	11	63	19	
	20	14	5	89
4	12	6	88	
	13	25	63	
	14	5	58	
	15	12	46	
	17	11	35	59

Ek- 10. B Ürünü İçin ULINO Programı Sonuçları ve İstasyon Atamaları

ULINO1: U-Line Optimizer Type 1

(C) by Armin Scholl und Robert Klein 1997
 TU Darmstadt, Hochschulstrasse 1, 64289 Darmstadt, Germany
 E-Mail: scholl@bwl.tu-darmstadt.de

Problem: c:\ulino-1\albdata\burunu.in2
 Cycle time: 45
 # tasks: 17 OrderStrength: 0.96
 tsum: 161 tmax: 34 tmin: 4

Global Upper Bound: 8
 Global Lower Bound: 4
 Nodes: 3
 Elapsed: 0.00 sec

Minimal number of stations: 4
 Time in sec: 0.00
 B&B nodes: 3

c:\ulino-1\albdata\burunu.in2 45 4 0,00 3 1 1 1 1
 2 2 2 2 3 3 4 4 4 4 4
 4 2

B ürünü için Ulino sonuçlarına göre istasyon ataması;

İstasyon	İşlem	Süre	Kalan Süre	Toplam
1	1	13	32	
	2	6	26	
	3	6	20	
	4	18	2	43
2	5	13	32	
	6	9	23	
	7	8	15	
	8	10	5	
	17	4	1	44
3	9	7	38	
	10	34	4	41
4	11	5	40	
	12	6	34	
	13	7	27	
	14	5	22	
	15	5	17	
	16	5	12	33

Ek- 11. C Ürünü İçin ULINO Programı Sonuçları ve İstasyon Atamaları

ULINO1: U-Line Optimizer Type 1

(C) by Armin Scholl und Robert Klein 1997
 TU Darmstadt, Hochschulstrasse 1, 64289 Darmstadt, Germany
 E-Mail: scholl@bwl.tu-darmstadt.de

Problem: c:\ulino-1\alldata\curunu.in2
 Cycle time: 35
 # tasks: 19 OrderStrength: 0.91
 tsum: 163 tmax: 20 tmin: 3

Global Upper Bound: 10
 Global Lower Bound: 5
 Nodes: 4
 Elapsed: 0.00 sec

Minimal number of stations: 5
 Time in sec: 0.00
 B&B nodes: 4

c:\ulino-1\alldata\curunu.in2 35 5 0,00 4 1 1 1 2
 2 4 3 4 3 2 5 5 4 4 4
 4 3 1 1

B ürünü için Ulino sonuçlarına göre istasyon ataması;

İstasyon	İşlem	Süre	Kalan Süre	Toplam
1	1	14	21	
	2	6	15	
	3	6	9	
	18	4	5	
	19	3	2	33
2	4	16	19	
	5	8	11	
	10	10	1	34
3	7	20	15	
	9	10	5	
	17	5	0	35
4	6	8	27	
	8	10	17	
	13	3	14	
	14	4	10	
	15	5	5	
5	16	5	0	35
	11	19	16	
5	12	7	9	26

Ek- 12. UDENGE Programına Ait Ekran Görüntüsü

Enbüyük pozisyon ağırlıklandırma yöntemi ile hat dengeleme programı

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2		2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3			2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4				2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5					2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6						2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7							2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8								2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9									2	1	1	1	1	1	1	1	1
10										2	1	1	1	1	1	1	1
11											2	1	1	1	1	1	1

Hesap
Çıkış

Dengeleme Geçikmesi :
%10,555555555

Düzensizlik indeksi :
81.3941029804

İleri Yönü	Gerii Yönü	Toplam Sıralama	İstenen Sıralama	İstasyonlar	Çevrim Süresi : 45
111 İleri 5	13 Gerii 1	161 İleri 1	161 İleri 1 → 13	1. istasyon	
136 İleri 4	19 Gerii 2	161 Gerii 17	161 Gerii 17 → 4	1.istem (İleri) Süre: 13 Kalan Süre:32	
14 İleri 15	25 Gerii 3	157 Gerii 16	157 Gerii 16 → 5	17.istem (Gerii) Süre: 4 Kalan Süre:28	
142 İleri 3	43 Gerii 4	152 Gerii 15	152 Gerii 15 → 5	16.istem (Gerii) Süre: 5 Kalan Süre:23	
148 İleri 2	56 Gerii 5	148 İleri 2	148 İleri 2 → 6	15.istem (Gerii) Süre: 5 Kalan Süre:18	
161 İleri 1	65 Gerii 6	147 Gerii 14	147 Gerii 14 → 5	2.istem (İleri) Süre: 6 Kalan Süre:12	
19 İleri 14	73 Gerii 7	142 İleri 3	142 İleri 3 → 6	14.istem (Gerii) Süre: 5 Kalan Süre:7	
25 İleri 12	83 Gerii 8	136 İleri 4	136 İleri 4 → 18	3.istem (İleri) Süre: 6 Kalan Süre:1	
26 İleri 13	50 Gerii 9	136 Gerii 13	136 Gerii 13 → 7		
37 İleri 11	124 Gerii 10	135 Gerii 12	135 Gerii 12 → 6		
4 İleri 17	129 Gerii 11	129 Gerii 11	129 Gerii 11 → 5		
71 İleri 10	135 Gerii 12	124 Gerii 10	124 Gerii 10 → 34		
78 İleri 9	136 Gerii 13	111 İleri 5	111 İleri 5 → 13	2. istasyon	
81 İleri 8	147 Gerii 14	98 İleri 6	98 İleri 6 → 9	4.istem (İleri) Süre: 18 Kalan Süre:27	
89 İleri 7	152 Gerii 15	89 İleri 7	89 İleri 7 → 8	13.istem (Gerii) Süre: 7 Kalan Süre:20	
9 İleri 16	157 Gerii 16	83 Gerii 8	83 Gerii 8 → 10	12.istem (Gerii) Süre: 6 Kalan Süre:14	
98 İleri 6	161 Gerii 17	81 İleri 8	81 İleri 8 → 7		

Ek- 13. A Ürünü STORM Paket Programı Çözüm Sonuçları

A URUNU
FINAL SOLUTION - NOT GUARANTEED OPTIMAL
Cycle Time = 94.0000

Work Station	Number of Operators	Tasks Assigned	Task Time	Idle Time	% Idle
1	1	TASK 1	7.0000	36.0000	38.30
		TASK 2	14.0000		
		TASK 3	11.0000		
		TASK 4	6.0000		
		TASK 5	10.0000		
		TASK 6	10.0000		
		Total Time:	58.0000		
2	1	TASK 7	44.0000	0.0000	0.00
		TASK 8	35.0000		
		TASK 9	15.0000		
		Total Time:	94.0000		
3	1	TASK 10	12.0000	13.0000	13.83
		TASK 11	63.0000		
		TASK 12	6.0000		
		Total Time:	81.0000		
4	1	TASK 13	25.0000	1.0000	1.06
		TASK 14	5.0000		
		TASK 16	16.0000		
		TASK 15	12.0000		
		TASK 17	11.0000		
		TASK 20	14.0000		
		TASK 18	5.0000		
		TASK 19	5.0000		
		Total Time:	93.0000		
5	1	TASK 21	4.0000	90.0000	95.74
		Total Time:	4.0000		

Ek- 13. A Ürünü STORM Paket Programı Çözüm Sonuçları (Devam)

A URUNU
FINAL SOLUTION - NOT GUARANTEED OPTIMAL
Cycle Time = 94.0000

Summary information for this balance

Total number of work stations	5
Total number of operators	5
Number of multiple operator stations	0
Balance delay (%)	29.79

Ek- 14. B Ürünü STORM Paket Programı Çözüm Sonuçları

B URUNU OPTIMAL SOLUTION Cycle Time = 45.0000					
Work Station	Number of Operators	Tasks Assigned	Task Time	Idle Time	% Idle
1	1	TASK 1	13.0000	2.0000	4.44
		TASK 2	6.0000		
		TASK 3	6.0000		
		TASK 4	18.0000		
		Total Time:			
2	1	TASK 5	13.0000	5.0000	11.11
		TASK 6	9.0000		
		TASK 7	8.0000		
		TASK 8	10.0000		
Total Time:		40.0000			
3	1	TASK 9	7.0000	4.0000	8.89
		TASK 10	34.0000		
Total Time:		41.0000			
4	1	TASK 11	5.0000	8.0000	17.78
		TASK 13	7.0000		
		TASK 12	6.0000		
		TASK 14	5.0000		
		TASK 15	5.0000		
		TASK 16	5.0000		
		TASK 17	4.0000		
Total Time:		37.0000			

Summary information for this balance

Total number of work stations	4
Total number of operators	4
Number of multiple operator stations	0
Balance delay (%)	10.56

Ek- 15. C Ürünü STORM Paket Programı Çözüm Sonuçları

C URUNU					
FINAL SOLUTION - NOT GUARANTEED OPTIMAL					
Cycle Time = 35.0000					
Work Station	Number of Operators	Tasks Assigned	Task Time	Idle Time	% Idle
1	1	TASK 1	14.0000	9.0000	25.71
		TASK 2	6.0000		
		TASK 3	6.0000		
		Total Time:	26.0000		
2	1	TASK 4	16.0000	1.0000	2.86
		TASK 5	8.0000		
		TASK 9	10.0000		
		Total Time:	34.0000		
3	1	TASK 7	20.0000	5.0000	14.29
		TASK 10	10.0000		
		Total Time:	30.0000		
4	1	TASK 8	10.0000	17.0000	48.57
		TASK 6	8.0000		
		Total Time:	18.0000		
5	1	TASK 11	19.0000	1.0000	2.86
		TASK 12	7.0000		
		TASK 13	3.0000		
		TASK 15	5.0000		
		Total Time:	34.0000		
6	1	TASK 14	4.0000	14.0000	40.00
		TASK 16	5.0000		
		TASK 17	5.0000		
		TASK 18	4.0000		
		TASK 19	3.0000		
		Total Time:	21.0000		

Ek- 15. C Ürünü STORM Paket Programı Çözüm Sonuçları (Devam)

C URUNU
FINAL SOLUTION - NOT GUARANTEED OPTIMAL
Cycle Time = 35.0000

Summary information for this balance

Total number of work stations	6
Total number of operators	6
Number of multiple operator stations	0
Balance delay (%)	22.38

Ek- 16. Enbüyük Pozisyon Ağırlıklandırma Yöntemiyle A Ürünü İçin U Tipi Hat Dengeleme Hesaplamaları

A Ürünü İçin Pozisyon Ağırlıkları ve Atama Tipleri

İşlem No	İleri Pozisyon Ağırlığı	Geri Pozisyon Ağırlığı	Sıralı İşlem No	Pozisyon Ağırlığı	Atama Tipi
1	330	7	1	330	İleri
2	323	21	21	330	Geri
3	309	32	2	323	İleri
4	298	38	19	312	Geri
5	292	48	3	309	İleri
6	282	58	18	307	Geri
7	272	102	4	298	İleri
8	201	137	5	292	İleri
9	193	117	6	282	İleri
10	178	129	16	279	Geri
11	166	227	20	277	Geri
12	103	233	15	275	Geri
13	97	258	17	274	Geri
14	72	263	7	272	İleri
15	26	275	14	263	Geri
16	30	279	13	258	Geri
17	25	274	12	233	Geri
18	14	307	11	227	Geri
19	9	312	8	201	İleri
20	18	277	9	193	İleri
21	4	330	10	178	İleri

A Ürünü İçin İstasyon Ataması

İstasyon	İşlem	Süre	Kalan Süre	Toplam
1	1	7	87	
	21	4	83	
	2	14	69	
	19	5	64	
	3	11	53	
	18	5	48	
	4	6	42	
	5	10	32	
	6	10	22	
	16	16	6	
	14	5	1	93
2	20	14	80	
	15	12	68	
	17	11	57	
	7	44	13	
	12	6	7	87
3	13	25	69	
	11	63	6	88
4	8	35	59	
	9	15	44	
	10	12	32	62

**Ek- 17. Enbüyük Ardıl/Öncül Sayısı ve Enbüyük İşlem Süresi Bileşimi Yöntemiyle
A Ürünü İçin U Tipi Hat Dengeleme Hesaplamaları**

A Ürünü İçin Ardıl-Öncül Sayıları ve Atama Tipleri

İşlem No	Ardıl Sayısı	Öncül Sayısı	İşlem Süresi
1	20	—	7
2	19	1	14
3	18	2	11
4	17	3	6
5	16	4	10
6	15	5	10
7	14	6	44
8	11	7	35
9	12	7	15
10	11	8	12
11	10	10	63
12	9	11	6
13	8	12	25
14	7	13	5
15	3	14	12
16	3	14	16
17	3	14	11
18	2	17	5
19	1	18	5
20	1	14	14
21	—	20	4

Sıralı İşlem No	Ardıl/Öncül Sayısı	İşlem Süresi	Atama Tipi
1	20	7	İleri
21	20	4	Geri
2	19	14	İleri
3	18	11	İleri
19	18	5	Geri
4	17	6	İleri
18	17	5	Geri
5	16	10	İleri
6	15	10	İleri
7	14	44	İleri
16	14	16	Geri
20	14	14	Geri
15	14	12	Geri
17	14	11	Geri
14	13	5	Geri
13	12	25	Geri
9	12	15	İleri
8	11	35	İleri
10	11	12	İleri
12	11	6	Geri
11	10	63	İleri

A Ürünü İçin İstasyon Ataması

İstasyon	İşlem	Süre	Kalan Süre	Toplam
1	1	7	87	
	21	4	83	
	2	14	69	
	3	11	58	
	19	5	53	
	4	6	47	
	18	5	42	
	5	10	32	
	6	10	22	
	16	16	6	
14	5	1	93	
2	7	44	50	
	20	14	36	
	15	12	24	
	17	11	13	
	10	12	1	93
3	13	25	69	
	9	15	54	
	8	35	19	
	12	6	13	81
4	11	63	31	63

Ek- 18. Enbüyük Pozisyon Ağırlıklandırma Yöntemiyle B Ürünü İçin U Tipi Hat Dengeleme Hesaplamaları

B Ürünü İçin Pozisyon Ağırlıkları ve Atama Tipleri

İşlem No	İleri Pozisyon Ağırlığı	Geri Pozisyon Ağırlığı	Sıralı İşlem No	Pozisyon Ağırlığı	Atama Tipi
1	161	13	1	161	İleri
2	148	19	17	161	Geri
3	142	25	16	157	Geri
4	136	43	15	152	Geri
5	111	56	2	148	İleri
6	98	65	14	147	Geri
7	89	73	3	142	İleri
8	81	83	4	136	Geri
9	78	50	13	136	İleri
10	71	124	12	135	Geri
11	37	129	11	129	Geri
12	25	135	10	124	Geri
13	26	136	5	111	İleri
14	19	147	6	98	İleri
15	14	152	7	89	İleri
16	9	157	8	83	Geri
17	4	161	9	78	İleri

B Ürünü İçin İstasyon Ataması

İstasyon	İşlem	Süre	Kalan Süre	Toplam
1	1	13	32	
	17	4	28	
	16	5	23	
	15	5	18	
	2	6	12	
	14	5	7	
	3	6	1	44
2	4	18	27	
	13	7	20	
	12	6	14	
	11	5	9	
	6	9	0	45
3	10	34	11	
	7	8	3	42
4	5	13	32	
	8	10	22	
	9	7	15	30

**Ek- 19. Enbüyük Ardıl/Öncül Sayısı ve Enbüyük İşlem Süresi Bileşimi Yöntemiyle
B Ürünü İçin U Tipi Hat Dengeleme Hesaplamaları**

B Ürünü İçin Ardıl Öncül Sayıları ve Atama Tipleri

İşlem No	Ardıl Sayısı	Öncül Sayısı	İşlem Süresi
1	16	—	13
2	15	1	6
3	14	2	6
4	13	3	18
5	11	4	13
6	10	5	9
7	9	6	8
8	8	7	10
9	8	4	7
10	7	9	34
11	6	10	5
12	4	11	6
13	4	11	7
14	3	13	5
15	2	14	5
16	1	15	5
17	—	16	4

Sıralı İşlem No	Ardıl/Öncül Sayısı	İşlem Süresi	Atama Tipi
1	16	13	İleri
17	16	4	Geri
2	15	6	İleri
16	15	5	Geri
3	14	6	İleri
15	14	5	Geri
4	13	18	İleri
14	13	5	Geri
5	11	13	İleri
13	11	7	Geri
12	11	6	Geri
6	10	9	İleri
11	10	5	Geri
10	9	34	Geri
7	9	8	İleri
8	8	10	İleri
9	8	7	İleri

B Ürünü İçin İstasyon Ataması

İstasyon	İşlem	Süre	Kalan Süre	Toplam
1	1	13	32	
	17	4	28	
	2	6	22	
	16	5	17	
	3	6	11	
	15	5	6	
	14	5	1	44
2	4	18	27	
	5	13	14	
	13	7	7	
	12	6	1	44
3	6	9	36	
	11	5	31	
	7	8	23	
	8	10	13	
	9	7	6	39
4	10	34	11	34

Ek- 20. Enbüyük Pozisyon Ağırlıklandırma Yöntemiyle C Ürünü İçin U Tipi Hat Dengeleme Hesaplamaları

C Ürünü İçin Pozisyon Ağırlıkları ve Atama Tipleri

İşlem No	İleri Pozisyon Ağırlığı	Geri Pozisyon Ağırlığı	Sıralı İşlem No	Pozisyon Ağırlığı	Atama Tipi
1	163	14	1	14	İleri
2	149	20	19	3	Geri
3	143	26	18	4	Geri
4	137	42	17	5	Geri
5	73	50	16	5	Geri
6	63	50	2	6	İleri
7	75	62	3	6	İleri
8	65	52	15	5	Geri
9	65	52	14	4	Geri
10	65	60	4	16	İleri
11	55	127	13	3	Geri
12	36	134	12	7	Geri
13	29	137	11	19	Geri
14	21	141	7	20	İleri
15	22	142	5	8	İleri
16	17	151	8	10	İleri
17	12	156	9	10	İleri
18	7	160	10	10	İleri
19	3	163	6	8	İleri

C Ürünü İçin İstasyon Ataması

İstasyon	İşlem	Süre	Kalan Süre	Toplam
1	1	14	21	35
	19	3	18	
	18	4	14	
	17	5	9	
	16	5	4	
	14	4	0	
2	2	6	29	33
	3	6	23	
	15	5	18	
	4	16	2	
3	13	3	32	29
	12	7	25	
	11	19	6	
4	7	20	15	28
	5	8	7	
5	8	10	25	30
	9	10	15	
	10	10	5	
6	6	8	27	8

Ek- 21. Enbüyük Ardıl/Öncül Sayısı ve Enbüyük İşlem Süresi Bileşimi Yöntemiyle C Ürünü İçin U Tipi Hat Dengeleme Hesaplamaları

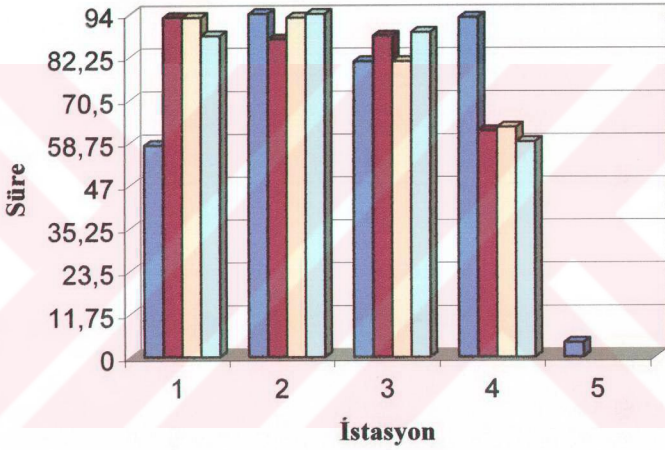
C Ürünü Ardıl-Öncül Sayıları ve Atama Tipleri

İşlem No	Ardıl Sayısı	Öncül Sayısı	İşlem Süresi	Sıralı İşlem No	Ardıl/Öncül Sayısı	İşlem Süresi	Atama Tipi
1	18	—	14	1	18	14	İleri
2	17	1	6	19	18	3	Geri
3	16	2	6	2	17	6	İleri
4	15	3	16	18	17	4	Geri
5	10	4	8	3	16	6	İleri
6	9	4	8	17	16	5	Geri
7	9	4	20	4	15	16	İleri
8	9	4	10	16	15	5	Geri
9	9	4	10	15	13	5	Geri
10	9	5	10	14	13	4	Geri
11	8	10	19	13	12	3	Geri
12	7	11	7	12	11	7	Geri
13	6	12	3	11	10	19	Geri
14	4	13	4	5	10	8	İleri
15	4	13	5	7	9	20	İleri
16	3	15	5	8	9	10	İleri
17	2	16	5	9	9	10	İleri
18	1	17	4	10	9	10	İleri
19	—	18	3	6	9	8	İleri

C Ürünü İçin İstasyon Ataması

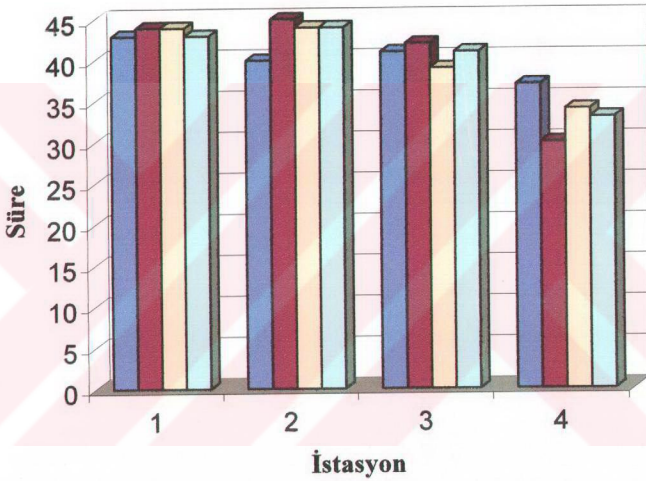
İstasyon	İşlem	Süre	Kalan Süre	Toplam
1	1	14	21	33
	19	3	18	
	2	6	12	
	18	4	8	
	3	6	2	
2	17	5	30	35
	4	16	14	
	16	5	9	
	15	5	4	
	14	4	0	
3	13	3	32	29
	12	7	25	
	11	19	6	
4	5	8	27	28
	7	20	7	
5	8	10	25	30
	9	10	15	
	10	10	5	
6	6	8	27	8

Ek- 22. Düz ve U tipi hat üzerinde yapılan dengeleme çalışması sonucu A ürünü için çevrim süresi ve istasyon süreleri arasındaki ilişki ile istasyon boş sürelerinin grafikte gösterimi



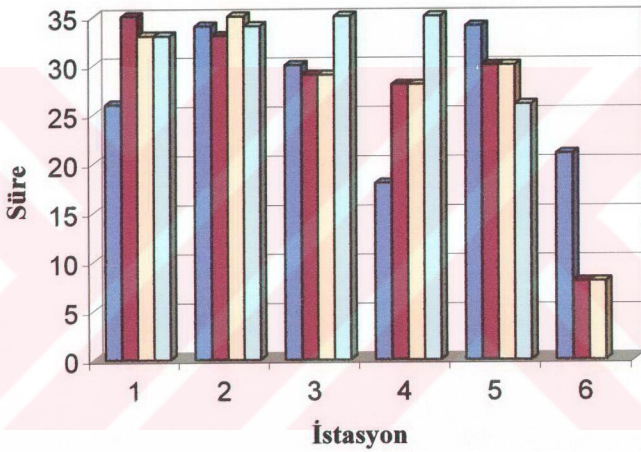
- Storm Programıyla Düz Hat Dengeleme
- Enbüyük Pozisyon Ağırlıklandırma Yöntemiyle U Tipi Hat Dengeleme
- Enbüyük Ardıl/Öncül Sayısı ve Enbüyük İşlem Süresi Bileşimi Yöntemiyle U Tipi Hat Dengeleme
- ULINO'yla U Tipi Hat Dengeleme

Ek- 23. Düz ve U tipi hat üzerinde yapılan dengeleme çalışması sonucu B ürünü için çevrim süresi ve istasyon süreleri arasındaki ilişki ile istasyon boş sürelerinin grafikte gösterimi



- Storm Programıyla Düz Hat Dengeleme
- Enbtyük Pozisyon Ağırlıklandırma Yöntemiyle U Tipi Hat Dengeleme
- Enbtyük Ardıl/Öncül Sayısı ve Enbtyük İşlem Süresi Bileşimi Yöntemiyle U Tipi Hat Dengeleme
- ULINO'yla U Tipi Hat Dengeleme

Ek- 24. Düz ve U tipi hat üzerinde yapılan dengeleme çalışması sonucu C ürünü için çevrim süresi ve istasyon süreleri arasındaki ilişki ile istasyon boş sürelerinin grafikte gösterimi



- Storm Programıyla Düz Hat Dengeleme
- Enbtyük Pozisyon Ağırlıklandırma Yöntemiyle U Tipi Hat Dengeleme
- Enbtyük Ardıl/Öncül Sayısı ve Enbtyük İşlem Süresi Bileşimi Yöntemiyle U Tipi Hat Dengeleme
- ULINO'yla U Tipi Hat Dengeleme