



**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Adem İSPİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MONTAJ HATTI Dengeleme Algoritmalarının
Karşılaştırılması**

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 1999

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MONTAJ HATTI DENGELEME
ALGORİTMALARININ KARŞILAŞTIRILMASI

ADEM İSPİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 18/11/1999 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği /
Oyçokluğu İle Kabul Edilmiştir.

İmza
DANIŞMAN

Yrd.Doç.Dr.
Funda YILDIRIM

İmza
ÜYE

Yrd.Doç.Dr.
Rızzvan EROL

İmza
ÜYE

Öğr.Gör.Dr.
Sami ARICA

Bu tez Enstitümüz Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No: 1673



Prof.Dr. Melih BORAL
Enstitü Müdürü
İmza ve Mühür

Not : Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ.....	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
ÇİZELGELER DİZİNİ	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ	V
1. GİRİŞ	1
1.1. Problemin Tanımı	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2
1.3. Montaj Hatlarının Dengelenmesinde Temel Kavramlar	4
1.3.1. Genel Olarak Üretim Hatları	4
1.3.2. Akış Hatlarının Ürünün Özelliklerine Göre Sınıflandırılması	7
1.3.3. Montaj Hattı Dengeleme Kısıtları	9
1.3.4. Temel Kavramlar	10
1.4. Çalışmanın Adımları	21
1.5. Tezin Organizasyonu	22
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	23
2.1. Johnson Tarafından Geliştirilen Yöntem	23
2.2. Aşamalı Sıralamayla Çözüm (Jackson Yöntemi)	24
2.3. Konum Ağırlıklı Dengeleme Yöntemi	25
2.4. M. Kilbridge ve L. Wester Tarafından Geliştirilen Yöntem	26
2.5. Öncelik Diyagramı ile Çözüm (Hoffman Yöntemi)	35
2.6. M. Klein Tarafından Geliştirilen Yöntem	36
2.7. E.M. Mansoor Tarafından Geliştirilen Yöntem	37
2.8. C.L.Moodie ve H.H. Young Tarafından Geliştirilen Yöntem	42
2.9. Farklı Bir Açıdan Montaj Hatlarının Dengelenmesi	48
2.9.1. Adımsal Olarak İlerleyen ve İlerlemeyen Hatlar.....	50
2.9.2. Karma Modeller	51
2.9.3. Adımsal Olarak İlerleyen Hat için Tamsayılı Programlama Modeli	51
2.9.4. Adımsal Olarak İlerleyen Hat için Heuristik	57
2.9.5. Comsoal	60
2.10. Tree Generation (Ağaçlanma Metodu)	62
2.11. Çok Kapaklı Silindir Başlıkları için İlk Otomatik Montaj Hattı ...	66
3. MATERYAL VE METOD	67
3.1. Materyal	67
3.1.1. Araştırmanın Yapıldığı yer hakkında genel bilgiler	67
3.1.2. Metot Etüdü ve İş Ölçümü Verileri	69
3.2. Metot	72
3.2.1. Bulgusal Yöntem	72
3.2.2. Bilgisayar Programlama Yöntemi	75

4. ARAŞTIRMA BULGULARI	81
4.1. Bulgusal Yöntemlerin Sonuçları.....	81
4.1.1. Öncelik Diyagramı ile Çözüm (Hoffman) Yönteminin Uygulama sonuçları	81
4.1.2. Pozisyon Ağırlığı Derecesi Yönteminin Uygulama Sonuçları	85
4.1.3. Model – 1 için Bulgusal Yöntem Sonuçları	90
4.1.4. Model – 2 için Bulgusal Yöntem Sonuçları	92
4.2. Model – 2 için Fable Metodunun Sonuçları	95
4.3. Bilgisayar Programlama Sonuçları	98
4.4. Tartışma	99
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	100
5.1. Çalışmanın Özeti	100
5.2. Sonuçlar	101
5.3. Öneriler	102
5.4. Sonraki Çalışmalar	103
KAYNAKLAR	104
ÖZGEÇMİŞ	106
EK 1.	107
EK 2.	109
EK 3.	117
EK 4.	118

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MONTAJ HATTI Dengeleme
ALGORİTMALARININ KARŞILAŞTIRILMASI

ADEM İSPİR

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ FEN
BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Yrd.Doç.Dr. Funda YILDIRIM

Yıl : 1999 , Sayfa : 123

Jüri : Yrd.Doç.Dr. Funda YILDIRIM

Yrd. Doç.Dr. Rızvan EROL

Öğr. Gör. Dr. Sami ARICA

Montaj hattı dengeleme algoritmalarının karşılaştırılması konusu araştırılırken, geçmişte yapılan bazı çalışmalara ve günümüzde kullanılan yöntemlere deyinilerek, duş kabinleri üreten bir fabrikada bu konu ile ilgili araştırmalar yapılmıştır. Buradaki amaç optimum seviyede seri üretimi sağlamak için etkin bir yerleşim planı ile dengelenmiş bir montaj hattının kurulmasıdır. Bunlar için en önemli faktörler, iş elemanları arasındaki öncelik ilişkileri ve çevrim süresidir.

Yapılan araştırmalarda montaj hattındaki iş elemanlarının tarif ve tanımları Metot Etüdü teknikleri kullanılarak yapılmıştır. Aynı zamanda İş Ölçümü teknikleri kullanılarak montaj hattındaki her bir iş elemanının gerekli standart zamanları ölçülmüştür. Fabrikada üretilen çeşitli modeller için montaj hattının ön şemaları çizilip, çeşitli çevrim sürelerindeki denge kayıpları bulunarak hattın verimliliği ölçülmüştür.

Gelecekte en önemli faktörün zaman ve insan olabileceğinden dolayı geliştirilen stratejilerin bu doğrultuda olması gerekmektedir. Ayrıca yapılan çalışmaların teoriden ziyade fiili olarak uygulanabilirliği düşünülerek yapılması, uygulanabilirlik açısından önem arz etmektedir.

Anahtar Kelimeler : Çevrim Süresi, Öncelik ilişkileri, Hat dengeleme, Pozisyon Ağırlığı.

ABSTRACT

MSc THESIS

COMPARISON OF THE ASSEMBLY LINE BALANCING ALGORITHMS

ADEM İSPİR

DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING

INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF ÇUKUROVA

Supervisor : Yrd.Doç.Dr. Funda YILDIRIM

Year : 1999 Pages : 123

Jury : Yrd.Doç.Dr. Funda YILDIRIM

: Yrd. Doç.Dr. Rızvan EROL

: Öğr. Gör. Dr. Sami ARICA

We realized that some works which we done in past and methods which we used nowadays, while the subject of comparison of the assembly line balancing algorithms were searching. The researches are made about this subject in factory which produces shower cabins. To settle a balanced assembly line with an active settlement plan for supplying the series production in optimum level is the aim of this subject for these the precedence relations and cycle time between the work element are the most important factors.

The description and definition of work element on the assembly line are made by using the method study technics. Each work element in assembly line is measured by using the work measure technics. The front schemes of assmby line has been drawn for each model which were produced in factory. The productivity of assembly line has been measured by finding the losses of balance in each cycle time.

In the future time and person could be come the most important factors. Because of this research improving strategies should be in this direction. The works about this subject should be done in real practice.

Key Words : Cycle Time, Precedence Relations, Line Balancing,
Positional Weight.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimimde ve tez çalışmamda bana hiçbir yardımı esirgemeyen değerli hocam, danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Funda YILDIRIM' a teşekkürü bir borç bilirim.

Bölüm Başkanımız Sayın Yrd. Doç. Dr. Rızvan EROL' a Yüksek Lisans eğitimimde göstermiş olduğu değerli yardımlarından dolayı çok teşekkür ederim.

Ayrıca, Sayın Öğr. Gör. Dr. Sami ARICA' ya çok teşekkür ederim.

Bana bu çalışmalarında anlayış gösteren ve yardımlarını esirgemeyen eşim ve aileme ve Foltran Bilgisayar Programında bana yardım eden arkadaşım Emin KOCABEY'e çok teşekkür ederim.

ÇİZELGELER DİZİNİ**SAYFA**

Tablo 1.1. Çeşitli Paralel Hatların Avantaj ve Dezavantajları	2
Tablo 1.2. Akış Hatlarının Sınıflandırılması	8
Tablo 1.3. Onbir Ögeli Bir Öncelik Matrisi	13
Tablo 2.1.(a,b,c,d). Kilbridge ve Wester Tarafından Geliştirilen Çözüm Tabloları	31
Tablo 2.2. Onbir Ögeli Bir Öncelik Matris Örneği.....	43
Tablo 2.3. Onbir Ögeli Bir Öncelik Dual Matrisi	44
Tablo 2.4. İşlerin Öncelik Tablosu	52
Tablo 3.1. İş Ölçüm Sonuç Tablosu ve İş Elemanları.....	69
Tablo 3.2. Öncül İşler, Ardıl İşler, İş Süreleri ve Pozisyon Ağırlıkları .	72
Tablo 4.1. Hoffman Yöntemi için İş Öğeleri ve Faaliyetler	81
Tablo 4.5. Hoffman Yöntemi için Sonuç tablosu	85
Tablo 4.6. İşlerin Pozisyon Ağırlıkları	87
Tablo 4.7. Pozisyon Ağırlığı Derecesi Yöntemi için Sonuç Tablosu-1 :	88
Tablo 4.8. İşlerin Pozisyon Ağırlıkları	88
Tablo 4.9. Pozisyon Ağırlığı Derecesi Yöntemi için Sonuç Tablosu-2 ..	89
Tablo 4.10. Model – 1 için Bulgusal Çözüm Tablosu	90
Tablo 4.11. Model – 1 için Alternatif Durum Tablosu	91
Tablo 4.12. Model – 2 için Öncül İşler, İş süreleri Ardıl İşler ve Pozisyon Ağırlıkları	93
Tablo 4.13. Model – 2 de $C = 600$ sn. için Çözüm Tablosu	93
Tablo 4.14. Model – 2 de $C = 540$ sn. için Çözüm Tablosu	94
Tablo 4.15. Model – 2 de $C = 480$ sn. için Çözüm Tablosu	94

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1. Akış Hatlarını Sınıflandırılması	4
Şekil 1.2. Olası Bir Montaj Hattı Yerleşimi	6
Şekil 1.3. Genel Montaj Sistemi	7
Şekil 1.4. n İstasyonu Bir Montaj Hattında Tam Denge, Tam Kurulumamış Denge	12
Şekil 1.5. Onbir Öğeli Bir Teknolojik Öncelik Diyagramı	13
Şekil 1.6. Tek Modelli Bir Montaj Hattı	16
Şekil 1.7. Çok Modelli Bir Montaj Hattı	17
Şekil 1.8. Karışık Modelli Bir Montaj Hattı	18
Şekil 1.9. Fiziksel Montaj Hattı Tipleri	19
Şekil 1.10. İşlevsel Montaj Hattı Tipleri	20
Şekil 2.1. Yöntem – 2 için Öncelik Şeması.....	29
Şekil 2.2. Mansoor Yönteminde E,C ve n arasındaki ilişkinin T Eğrisi ile verilmesi	38
Şekil 2.3. Bir Öncelik Şeması.....	42
Şekil 2.4.(a,b). Seri ve Paralel İstasyonlu Montaj Hattı	50
Şekil 2.5. Öncelik Şeması	52
Şekil 2.6. Birleştirilmiş İşler	57
Şekil 2.7. Ağaçlanma Metodu için Akış Şeması	64
Şekil 3.1. Bir İmalathanenin Yerleşimi	68
Şekil 3.2. I. Tip Modeller için Öncelik Şeması	70
Şekil 3.3. II. Tip Modeller için Öncelik Şeması	71
Şekil 4.1. Hoffman Yöntemi için Öncelik Şeması.....	82
Şekil 4.2. Pozisyon Ağırlığı Derecesi Yöntemi için Öncelik Şeması....	86
Şekil 4.3. Model – 2 için Öncelik Şeması.....	92
Şekil 4.4. Optimizasyon Düğümlerinin Oluşturulması	96
Şekil 4.5. Optimizasyon Düğümlerinin Oluşturulması	97

1. GİRİŞ**1.1. Problemin Tanımı**

Malzemelerin akış hattı boyunca iş gücü veya donanımdan faydalanılarak transfer edildiği ve parça üzerindeki işlemlerin, aralarındaki öncelik ilişkileri ve çevrim süresi gibi kısıtlar göz önüne alınarak birleştirilmesiyle oluşturdukları istasyonların, yine bir hat boyunca sıralanmalarıyla oluşan sisteme, Montaj Hattı adı verilir. Hat üzerinde iş istasyonlarında bulunan işçiler, mamul durumuna getirilecek yarı mamul önlerinden geçerken, kendilerine ait iş öğeleriyle ilgili bir veya birkaç işlemi yaparlar. Bu işlem sonucunda, hatta giren parça ve yarı mamuller, gereken tüm işlemler yapılmış olarak, hattın sonundan mamul olarak çıkarlar.

Bir veya birkaç mamul için yapılacak montaj hattı üretimi tasarlandığında; üretim hattındaki iş istasyonlarına ilişkin işlem sürelerinin dengelenmesi sorunu ortaya çıkar. Bundaki amaç; kurulan montaj hattının verimli olarak çalışabilmesi için, üretim süresi içinde her bir montajcıya, montaj hattında çok az bir süre bırakılacak veya hiç boş süre bırakılmayacak şekilde işlerin istasyonlara dağıtılması, yani varolan kısıtlar altında, işlem sayısının çok ve üretim hızının yüksek olması nedeniyle iş istasyonları arasındaki işlem süresi farkları toplamının en küçük olmasıdır.

Mamulün oluşumu sırasında yapılması gereken işlerin, montaj istasyonlarına, kayıp süreleri minimum yapacak şekilde atanması olayına, Montaj Hattı Dengeleme denir.

Bir montaj hattındaki yerleştirme planının temel problemi iş istasyonlarının sayısını bulmak ve her iş istasyonundaki faaliyetleri istenen üretim seviyesine ulaşmasını sağlamaktır. Bütün bunların yapılabilmesi için baş vurulacak yol girdilerin minimize edilmesine bağlıdır.

YATIRIM VE ÜRETİM
İSTASYONLARI

Montaj hattı temelde birbiri ardına dizilmiş iş istasyonlarından oluşur. Hammadde ve yarı mamul parçalar, hat içine, hattın başlangıcından veya ara istasyonlardan girerler. Giren parçalar, bir iş istasyonundan diğerine geçerek, en son istasyondan, hattı ürün olarak terk ederler.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bir montaj hattının kurulmasında ulaşılmak istenen amaçlar şu şekilde sıralanabilir:

- Düzenli bir malzeme akışını sağlamak
- İnsan gücü kullanımını maximum seviyeye çıkarmak
- İş elemanları için en az süreyi kullanmak
- Makine kapasitelerini optimum seviyede kullanmak
- Boş süreleri veya dengeleme kayıplarını minimum yapmak
- İş istasyonu sayısını minimum yapmak
- Hat dengeleme maliyetini minimum yapmak.

Gerçekte asıl amaç; bütün amaçların çelişmelerine rağmen, bütün hepsini en üst seviyeye ulaştırmaya çalışıp fizibil çözüme ulaşmaktır.

Ayrıca paralel hatların avantaj ve dezavantajlarını Tablo 1.1. de (ASKIN, R.G. & STANDRIDGE, C.R.,1993) şu şekilde gösterebiliriz.

Tablo 1.1. Çeşitli Paralel Hatların Avantaj ve Dezavantajları

AVANTAJLAR	DEZAVANTAJLAR
İstasyonlar arasında iş yükü kolay dengelenir	Düzen maliyeti yüksektir
Programların esnekliği fazladır	Tecizat maliyeti yüksektir
İş zenginleştirir	Yüksek ustalığa ihtiyaç vardır
Hattın bağımsız işçi bulunabilirliği yüksektir	Yavaş öğrenilir
Sorumluluğu fazladır.	Denetim karışıklığı daha fazladır.

İş gücü yükünün dengelenmesinde başvurulabilecek çareler şunlardır:

- 1- İki veya daha fazla tezgahta bir işçi çalıştırılabilir (otomatik işlem süresi uzun olan iki veya daha fazla tezgah için).
- 2- İki kısa işlem süresi, diğerleri kadar veya daha az ise bunlar, bir işçiye verilebilir.
- 3- İşçinin yükü arttırılabilir. İşçiler çalışma hızlarına göre dizilebilir.

Bu konunun araştırılmasındaki amaç; günümüz teknolojinde çok önemli bir faktör olan zamanı optimum olarak kullanılmasıdır. Dolayısıyla montaj hatlarının dengelenmesi, zamanı bir bakıma optimum olarak kullanmak demektir. Günümüzde imalat yapan işletmelerin karşılarındaki en önemli problem zamanın verimli kullanılmamasıdır.

Biz burada, ilk olarak kurulu bir montaj hattının verimliliğini ve bu hattın oluşturulduğu yerleşim planını inceleyip, mevcut durum hakkında bilgi vermeyi amaçlamaktayız. Ayrıca kurulmuş olan montaj hattının denge durumunu ortaya koyacağız.

İkinci olarak, kurulmuş olup hala üretim yapılan montaj hattının, daha etkin bir yerleşim planının ortaya koyulması ve çeşitli çevrim sürelerinde hattın denge kayıplarının ölçülmesini amaçlamaktayız.

Ayrıca, Metot Etüdü ve İş Ölçüm Tekniklerinden faydalanılarak, iş elemanlarını tanımlanması yapıp ve bu iş elemanlarının ne kadar bir sürede gerçekleştirildiklerini ölçümler yaparak tespit edilmesini amaçlamaktayız.

Son olarak, yapılan çalışmalarla etkin bir montaj hattı kurularak, maliyeti düşürücü, iş gücünü azaltıcı ve bunların neticesi olarak da işletmenin verimliliğini arttırıcı optimum modelin oluşturulması yönünde çalışmaların yapılması amaçlanacaktır.

1.3. Montaj Hatlarının Dengelenmesinde Temel Kavramlar

1.3.1. Genel Olarak Üretim Hatları:

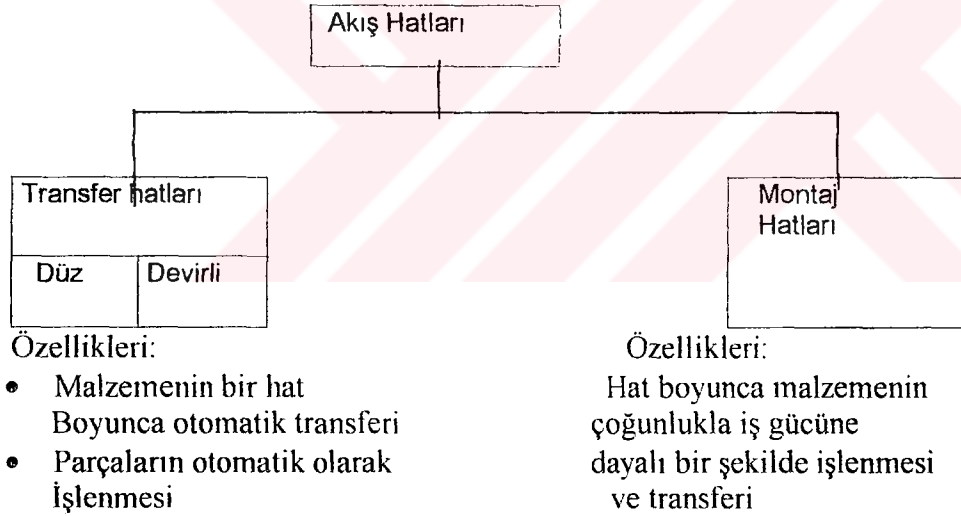
Akış tipi üretim (seri üretim) olarak adlandırılan üretim tipi kendi içinde;

- a) sürekli seri üretim akış hatları,
- b) kesikli seri üretim akış hatları

olmak üzere ikiye ayrılır. Kesikli seri üretim akış hattı ise kendi içinde

- a) transfer hattı,
- b) montaj hattı

olmak üzere ikiye ayrılır. Bu sınıflama Şekil 1.1. de verilmiştir. (ASLAN,D.H.,1985)



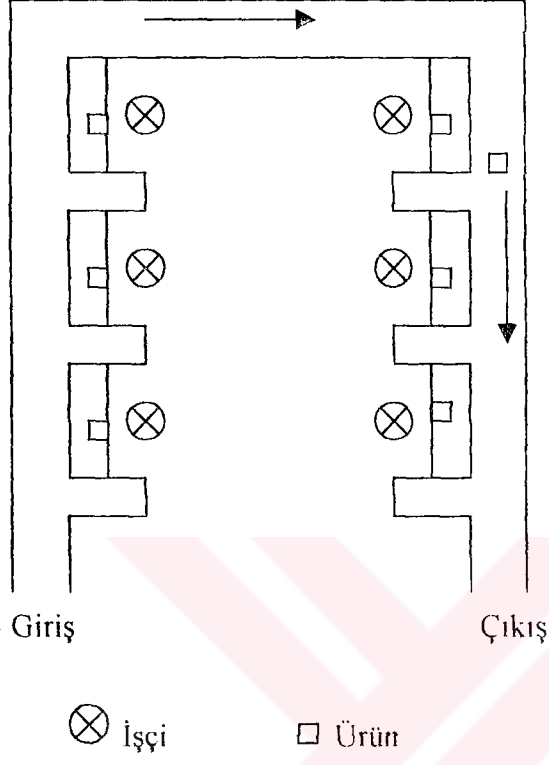
Şekil 1.1. Akış hatlarının sınıflandırılması

Transfer Hatları:

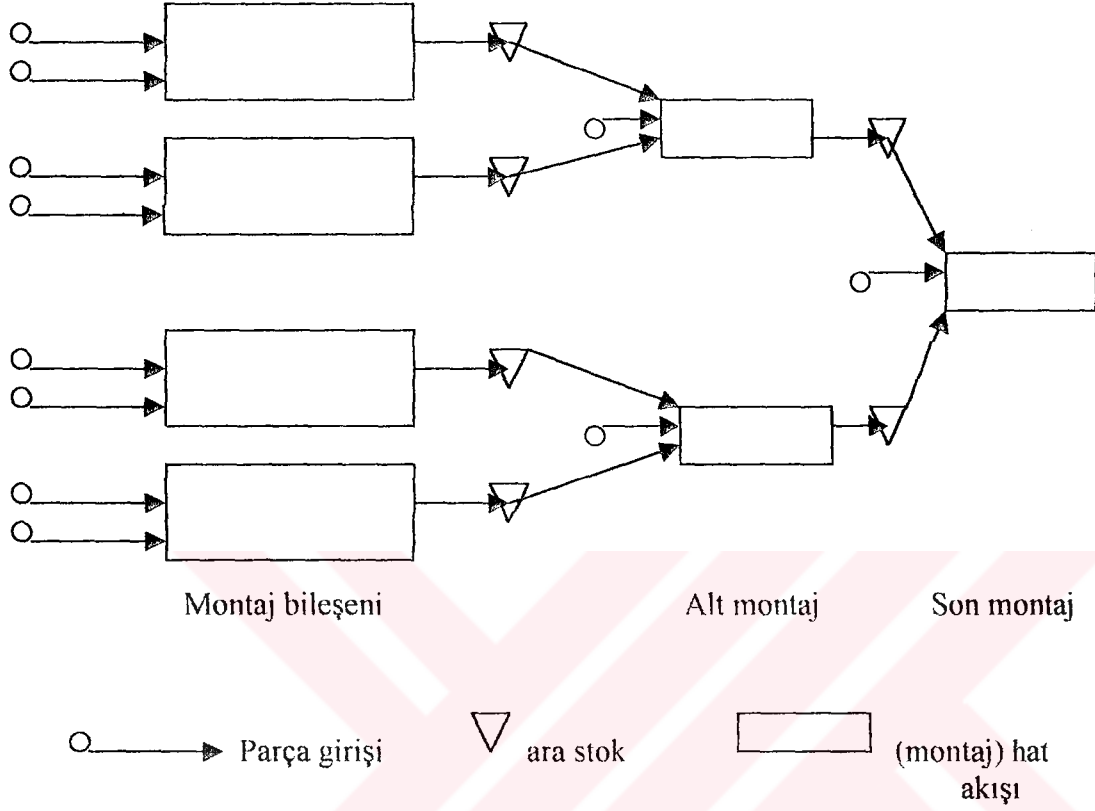
Transfer makineleri olarak da bilinirler. Büyük ve karmaşık makinelerden oluşan üretim sistemleridir. Bu hatlar düz (in-line) veya devirli (rotary) tiplerde olabilir. Transfer hatları, transfer donanımı ile birbirine bağlanmış otomatik imalat makine serilerinin oluşturduğu üretim hatlarıdır. Son zamanlarda montaj tipi transfer hatları da geliştirilmiştir. Eski transfer hatlarında ürün veya malzemelerin bir yerden bir yere geçirilmesi, iş gücü ile sağlanmaktaydı. Bu gün ise otomatik hareket ve transfer yöntemleri kullanılmaktadır (ASLAN, D.H., 1985).

Montaj Hatları:

Bu hatların en belirgin özelliği, malzemelerin hat boyunca iş gücünden yararlanılarak transfer edilmeleri ve parça üzerindeki işlemlerin de yine bir hat boyunca sıralanmalarıdır. Bu tip bir hattın şekli aşağıda verilen Şekil 1.2. de (ASKIN, R.G.,1993) görülmektedir. Ayrıca genel bir montaj sistemi de Şekil 1.3. de (ASKIN, R.G.,1993) verilmiştir.



Şekil 1.2. Olası bir montaj hattı yerleşimi



Şekil 1.3. Genel Montaj Sistemi

1.3.2. Akış Hatlarının Ürünün Özelliklerine Göre Sınıflandırılması:

Transfer hatları ve montaj hatları kendi içinde de alt gruplara ayrılırlar. Alt gruplar ise değişik üretim hattı tiplerini içerirler. Üretim hatlarının tüm gruplarında, bir veya daha çok tip ürün üretmek olasıdır. Tek tip ürünün söz konusu olduğu durumlarda tezgah bir defa hazırlanır. Birden ok ürün tipinin üretildiği hatlarda ise değişik sorunlarla karşılaşılır. Eğer hat üzerinde birden çok ürün üretiliyor ise, bu ürünlerin iş yüklerinin benzer olması zorunludur. Bu benzerlik ne kadar büyük olursa, çok ürünlü ve karışık ürün sistemlerinin kurulması da o kadar kolay olacaktır.

Montaj hatlarında genellikle daha büyük bir esneklik söz konusudur. Örneğin bir çok otomobil montaj hattı, karışık model kuralına göre çalışır ve aynı otomobilin değişik modelleri veya farklı taşıt araçlarının art arda aynı hat üzerinde üretilmeleri söz konusu olur. Genellikle transfer hatlarında tek modellenli veya büyük parti- çok modellenli üretim sistemleri görülür. Akış hatları için yapılan bir sınıflandırma Tablo 1.2 de verilmiştir. (ASLAN,D.H.,1985)

Tablo 1.2. Akış hatlarının sınıflandırılması

Akış Hattı Tanımı		Ürün Sayısı	Ürün Değişimi	Birimlerin Akışı	Tezgah hazırlama ve iş dağıtımı
Grup	Alt Grup				
Transfer Hattı	Tek ürün	1	Yok	Düzenli	Değişiklik gerekmez
	Çok ürün	> 1	Parti değişimi	Yığınlarda düzenli	Tezgah hazırlama ve/veya parti değişimin-de, yeni iş dağıtımı gereklidir
Montaj Hattı	Tek ürün	1	Yok	Düzensiz	Değişiklik gerekmez
	Çok ürün	>1	Parti değişimi	Düzensiz	Tezgah hazırlama ve/veya parti değişimin-de, yeni iş dağıtımı gereklidir
	Karışık ürün	>1	Sürekli	Düzensiz	Tezgah hazırlama ve/veya yeniden iş dağıtımı gereklidir

1.3.3. Montaj Hattı Dengeleme Kısıtları**Temel Kısıtlar:**

1) **Çevrim süresi:** Verilmiş net üretim hedefi, brüt çalışma süresi ve tolerans yüzdesi birlikte çevrim süresini belirlerler. Bir istasyona atanan etkinliklerin süreleri toplamı, çevrim süresini aşamaz.

2) **Öncelik ilişkileri:** Montajın içerdiği etkinliklerin kendi aralarındaki söz konusu durumudur. Yani bir etkinliğin başlayabilmesi için, diğer etkinlik veya etkinliklerin kesinlikle bitirilmiş olması gibi.

Yan Kısıtlar

1) **Konum Kısıtı:** Konumsal kısıtlamalar, montajı yapılan nesnenin konumu ile, işlemcilerin banttaki konumu arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir.

2) **Sabit Donanım Kısıtı:** Makineler, test araçları gibi sabit donanımlar, montaj hatlarının bütünleşik parçalarıdır ve değiştirilemez istasyonları oluştururlar.

3) **İstasyon Yüğü:** Montaj hattında bazı istasyonların yüklerinin, çevrim süresinin %100 den az olması yeğlenebilir. Özellikle bu, hattın başında olabilecek aksaklıkların azaltılabilmesi için.

4) **Aynı İstasyona Atanması İstenen İşler:** Bu özelliğe sahip işlerin, aynı veya birbirini izleyen istasyonlara atanması gereklidir. Böyle durumda bir etkinlik alt grubu, tek bir etkinlik gibi düşünülebilir.

5) **Aynı İstasyona Atanmaması İstenen İşler:** Örneğin, aşırı fiziksel güç uygulaması gerektiren iki etkinliğin, iş yükü açısından ayrı istasyonlara atanması gerekebilir.

1.3.4. Temel Kavramlar

İş Ögesi: İşler, temel hareketlerden veya iş parçacıklarından oluşur. İş öğeleri; toplam işin uygun ve pratik en küçük alt parçasıdır ve bu iş parçacıklarının bir veya bir kaç tarafından oluşturulurlar. İş ögesi, üretim süreci içinde, toplam iş içeriğinin, mantıksal olarak bölünmüş bir parçasıdır.

İş İstasyonu: Montaj hattı üzerinde verilen bir işin, işçiler tarafından yapıldığı alandır. Her istasyonda, bir işçinin, bir işlem için gerekli araçlarla çalıştığı varsayılır.

Toplam İş Süresi: Montaj hattı üzerinde üretilecek bir ürünün montajı için gerekli olan süre veya işi oluşturan tüm iş öğelerinin standart süreleri toplamıdır.

İş İstasyonu Süresi: Bir iş istasyonunda tamamlanması gerekli olan iş öğelerinin standart süreleri toplamıdır.

Çevrim Süresi: Montaj hattında, ürünün bir istasyonda kalabileceği en büyük süre veya bir iş istasyonundaki işçinin, o istasyonda yapılması gerekli işleri tamamlaması için gerekli süredir. Çevrim süresi üretimin hızını belirler. Çevrim süresi, iş istasyonu süresine eşit veya daha büyük olmalıdır. Çevrim süresi, üç alt süreye ayrılabilir, bunlar; üretken iş süresi, üretken olmayan iş süresi, atıl (boş) süre. Çevrim süresi şu şekilde hesaplanabilir:

$$C = \frac{T}{N} \quad (1.1)$$

T: Eldeki toplam süre.

N: Yapılması istenen ürün sayısı.

C: Çevrim süre

Gerekli En Az İş İstasyonu Sayısı: Montaj hattındaki işlemleri, her istasyona çevrim süresini tümüyle veya en az bir tanesi hariç tümüyle dolduracak şekilde atadığımızı düşünecek olursak gerekli iş istasyonu sayısı (n_{enaz}) şu şekilde bulunacaktır:

$$n_{enaz} = \frac{\sum t_i}{C} \quad (1.2)$$

Ortalama İş İstasyonu Süresi:

C^* : Ortalama iş istasyonu süresi

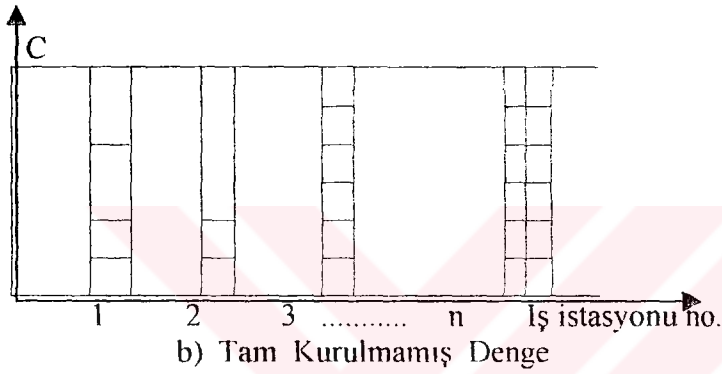
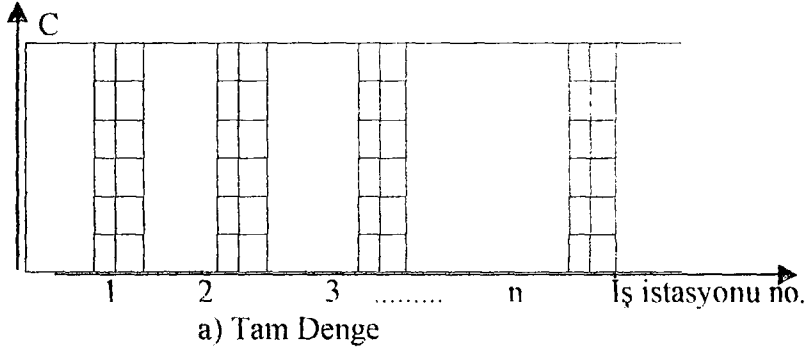
n : Dengeleme sonunda bulunan iş istasyonu sayısı

$$C^* = \frac{\sum t_i}{n} \quad (n \geq n_{enaz} \quad C \geq C^*) \quad (1.3)$$

Denge Kaybı: İşlerin, işlemciler veya istasyonlara dengesiz dağıtımını gösteren bir ölçektir. Şu şekilde hesaplanır:

$$D = \frac{C - C^*}{C} = \frac{n.C - \sum t_i}{n.C} \quad (1.4)$$

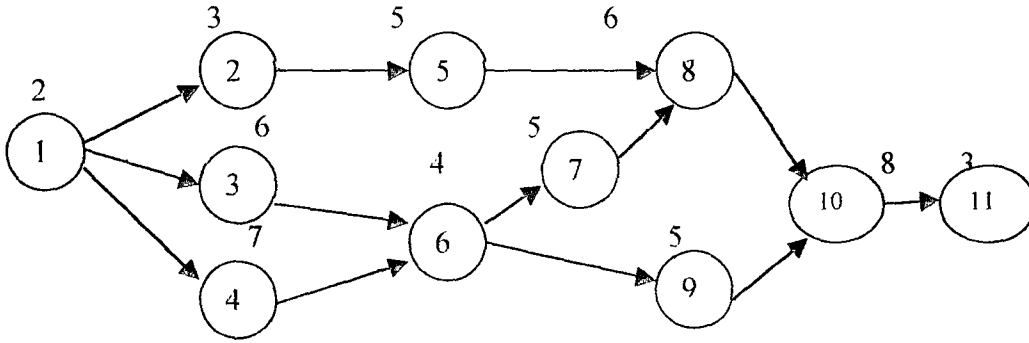
Bu değer in sıfır olması ideal durumdur. Şekil 1.4 de tam dengelenmiş ve dengelenmemiş hat durumları gösterilmektedir. (TESİS PLANLAMA, 1992)



Şekil 1.4. n istasyonlu bir montaj hattında
 a) Tam Denge
 b) Tam kurulmamış denge

Teknolojik Öncelik Diyagramı: Montajın teknik özelliklerinden dolayı, bazı iş öğelerinin zorunlu olarak birbirini izlemesi gerekir. Bu özelliklerin tümü öncelikli ilişkiler adı altında toplanır. Bu ilişkiler genellikle bir grafik ile gösterilir. Bu grafiğe çok yaygın olarak kullanılan öncelik diyagramı denir.

Bu diyagram, bir okla birbirine bağlanmış iki iş öğesinden okun çıktığı yönde bulunanın, okun ucunda bulunan iş öğesinden daha önce işleme alınacağını gösterir. Çemberin içindeki numaralar iş öğesi numaralarını, çemberin sağ üstündeki sayılar ise, iş öğesi sürelerini gösterir. Şekil 1.5 de bir montaj hattına ilişkin teknolojik öncelik diyagramı görülmektedir.



Şekil 1.5. 11 Öğeli bir teknolojik öncelik diyagramı

Öncelik Matrisi: Öncelik diyagramının matris durumuna dönüştürülmüş şeklidir. Bu matriste aralarında doğrudan doğruya öncelik ilişkisi bulunan iş öğeleri için matriste önde gelen öğe numaralı satırla; izleyen öğe numaralı sütunun kesiştiği noktaya "1", Diğer noktalara "0" değeri konur. Tablo 1.3 de , Şekil 1.5 de verilen öncelik diyagramı için öncelik matrisi verilmiştir. (TESİS PLANLAMA, 1992)

Tablo 1.3. 11 öğeli bir öncelik matrisi

Ö N C Ü L Ö Ğ E L E R	ARTÇIL ÖĞELER											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
5	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Düzensünlük İndeksi: Montaj hattındaki iş istasyonlarının işlem sürelerinin düzensünlüğünü gösterir. Bir bakıma, işlerin istasyonlar arasında düzensünlük, orantılı dağıtım dağıtılmadığını kontrol eder. Düzensünlük indeksinin küçük olması, hat üzerinde iyi bir dengenin sağlanmış olduğunu gösterir. Dİ düzensünlük indeksi şu formülle hesaplanabilir.

$$Dİ (\%) = \frac{\sqrt{\sum (t_{enb} - t_i)^2}}{n.C} \cdot 100 \quad (i=1,2,3,\dots,n) \quad (1.5)$$

Burada;

t_{enb} : En büyük istasyon süresi

t_i : i. İş istasyonu süresi

n : Dengeleme sonundaki iş istasyonu sayısı.

Hat Etkinliği : İstasyonlardaki toplam etkin sürenin, montaj süresine oranıdır.

$$HE (\%) = \frac{\sum E_{si}}{n \cdot C} \cdot 100 \quad (i=1,2,3,\dots,n) \quad (1.6)$$

Burada;

HE: Hat etkinliği.

E_{si} : i. İş istasyonunun etkin süresi.

Bu ölçek, montaj hatlarındaki toplam iş gücünün ne kadarlık bir yüzdesinin kullanıldığını gösterir.

Kurumsal Etkinlik: Hattın, belirli bir çevrim süresinden hareketle, en az istasyon sayısı ile kurulması durumundaki etkinliğidir. KE kurumsal etkinliği şu şekilde hesaplanabilir.

$$KE (\%) = (\sum E_{si} / n_{enaz} \cdot C) \cdot 100 \quad (i=1,2,3,\dots,n) \quad (1.7)$$

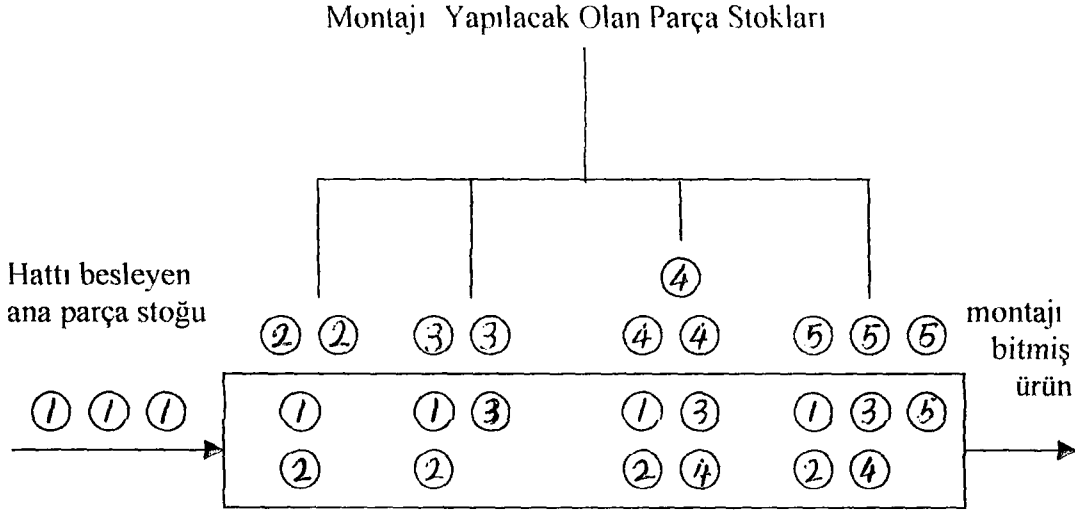
Model Değişiklikleri

Hem mekanik olmayan hatlarda, hem de bant hatlarında, işlerin istasyonlara atanması istenir; öyle ki amaç, iş istasyonlarındaki işlem veya montaj sürelerini eşitlemektir.

Akış hatları üzerindeki üç üretim durumu, hat üzerinde yapılması gereken ürün veya ürünlere göre tanımlanır. Akış hattı, belirli bir ürünün geniş anlamda üretilmesi için mi kullanılacaktır? Yoksa bir çok farklı modeli üretmek için mi kullanılacaktır, eğer öyleyse bunlar hat üzerinde nasıl tasarlanacaktır? Bu soruları yanıtlamak için tanımlanabilecek üç durum vardır. Tek modelli, Çok modelli ve Karışık modelli hatlar.

Tek Modelli Hatlar:

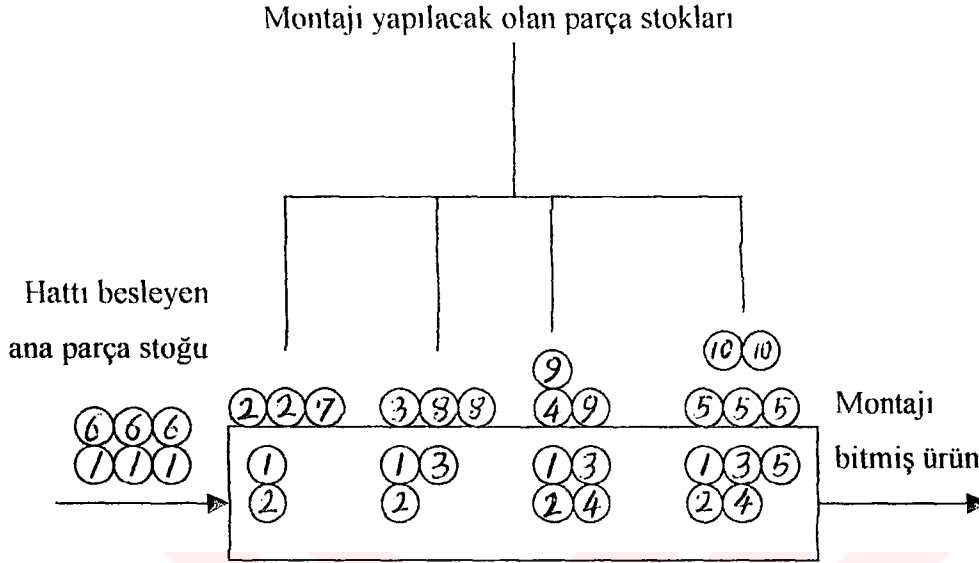
Bunlar, tek bir model veya ürünün üretimine ayrılmış özel hatlardır. Bu tip hatların tasarımı oldukça basittir. Ürün için istem oranı: o ürünün üretimine ayrılmış sürenin %100 ü için yeterince büyüktür (Şekil 1.6). (ERKUT,H. Ve BAŞKÖK, M.,1996)



Şekil 1.6. Tek modelli bir montaj hattı.

Çok Modelli Hatlar

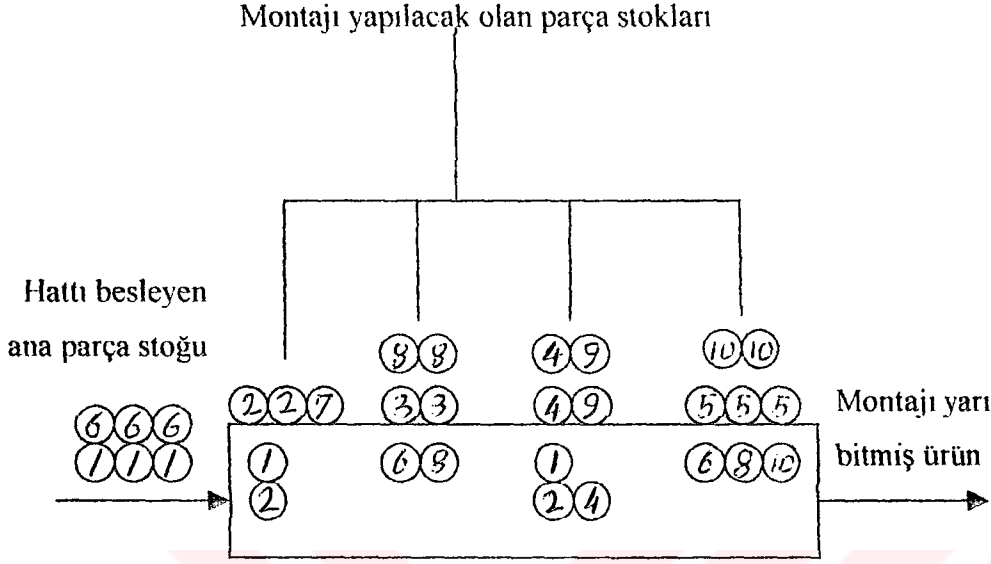
Bu tür hatlarda farklı ürünler veya aynı ürünün iki veya daha çok benzer tipi, ayrı yığınlar şeklinde üretilir. Her model, bu hat üzerinde ayrı bir yığın oluşturur. Çok modelli montaj hatları, eğer yığınlar büyük ise tek modelli montaj hatlarına, küçük ise karışık modelli montaj hatlarına benzerlik gösterirler (Şekil 1.7.). (ERKUT,H. Ve BAŞKÖK, M.,1996)



Şekil 1.7. Çok modelli bir montaj hattı

Karışık Modelli Hatlar

İki veya daha fazla benzer ürünün veya bir ürünün değişik modellerinin, aynı anda veya karışık olarak üretildiği montaj hatlarıdır. Karışık modelli hatlarda görülen temel olumsuzluk, modellerin özelliğinden kaynaklanan, ayrı iş parçalarının; eşit olmayan iş akışlarına, boş istasyon sürelerine ve montajı ayrı bitmiş ürün stoklarına neden olmasıdır (Şekil 1.8.). (ERKUT,H. Ve BAŞKÖK, M.,1996)



Şekil 1.8. Karışık modelli bir montaj hattı

Model Değişikliklerinin Karşılaştırılması:

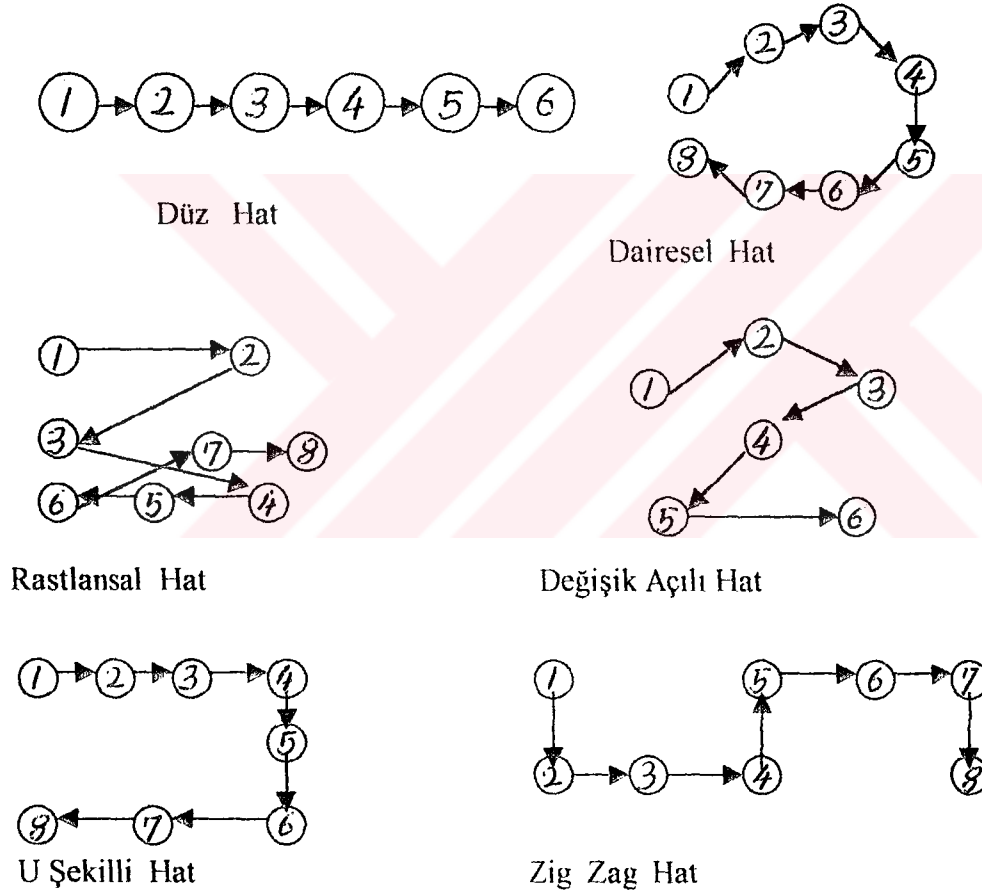
Genelde bu üç durum, hem insanlı akış hatlarında, hem de otomatik akış hatlarında uygulanabilir. Bununla birlikte uygulamada, insan işlemcilerinin esnekliği, son iki durumu, insanlı montaj hattında daha uygunlaştırır.

Geleceğin otomatik montaj hatlarının; yığın modeline ve bunun sonunda karışık modele izin vermek için onların tasarımları arasında çabuk devralma ve programlama yeteneklerini birleştireceği umulmaktadır.

Hattın istasyonları arasında iş yükünün dengeli bir şekilde aranmasının başarılması, her üç durum için de sorundur. Bunun zorunluluk derecesi sırasıyla tek modelli, çok modelli ve karışık modelli hatlar için gittikçe artar.

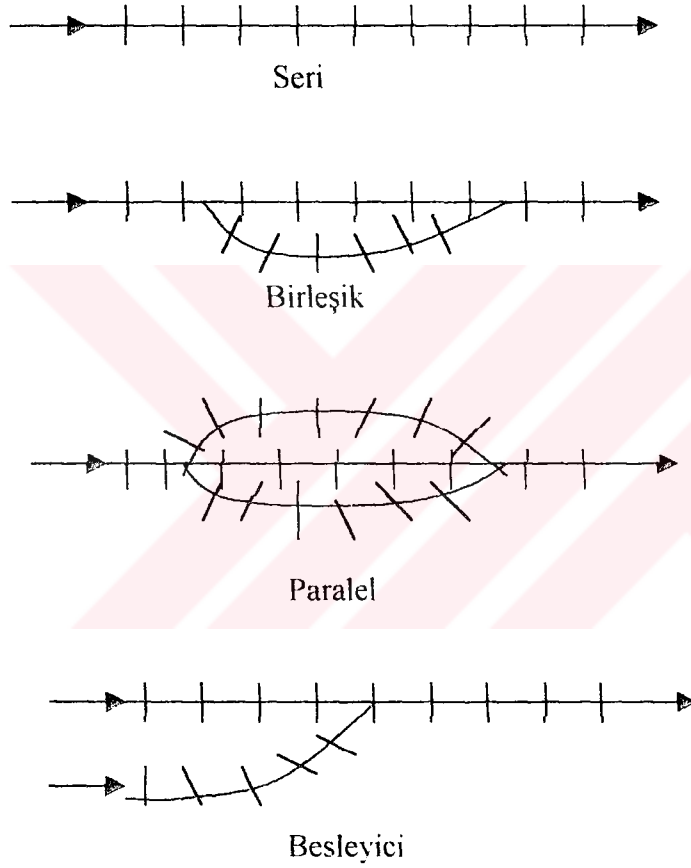
Montaj Hatlarının Yerleşimi

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; düz, dairesel, rastlansal, değişik açılı, U şekilli ve zig-zag gibi değişik biçimlerde tasarlanabilir (Şekil 1.9). (ERKUT,H. Ve BAŞKÖK, M.,1996)



Şekil 1.9. Fiziksel montaj hattı tipleri

Fiziksel montaj hatlarından başka ayrıca işlevsel montaj hatları vardır. Bunlarda 4 değişik biçimde olabilir; seri, birleşik, paralel ve besleyici montaj hattı tipleridir (Şekil 1.10). (ERKUT,H. Ve BAŞKÖK, M.,1996)



Şekil 1.10. İşlevsel montaj hattı tipleri

1.4. Çalışmanın Adımları

Montaj Hatlarının Dengelenmesi Yoluyla İşyeri Düzenleme konusu incelenirken izlenen adımlar şunlardır:

- I. **Önceki Çalışmaların İncelenmesi** : Literatür taraması yapılarak, mevcut çalışmalar incelenecek ve eksikleri ortaya konulacaktır.
- II. **Problem Formülasyonu** : Amaç fonksiyonunun tespit edilip buna bağlı değişkenlerin tanımlanması yapılacak ve ayrıca amaç fonksiyonunu etkileyen kısıtlar belirlenip yerleşim probleminin formülasyonu ve modellemesi yapılacak.
- III. **Yerleşim Planının Gerçekleştirilmesi** : Kurulabilecek en etkin yerleşim planının gerçekleşmesi için iş elemanları arasındaki öncelik ilişkileri dikkate alınarak bir yerleşim planının gerçekleşmesi öngörülmektedir.
- IV. **Montaj Hattı Modelinin Kurulması** : Yerleşim planı gözönüne alınarak montaj hattının ön şeması çizilip, farklı çevrim sürelerinde modelin etkinliği incelenecektir.
- V. **Sonuçların Değerlendirilmesi** : Kurulan montaj hattı modelinin farklı çevrim sürelerindeki denge kayıplarının değerlendirilmesi yapıp, ortaya çıkan sonuçların sebepleri araştırılacaktır.
- VI. **Sonraki Yapılacak Çalışmalara Öneriler** : Yapılan bu çalışmada, kurulacak olan montaj hatlarında insan faktörü ile Ergonomik şartların çok önem arzettiği ve bu araştırmada, ileride bu faktörler üzerinde durulması gerektiği önerilmiştir.

1.5. Tezin Organizasyonu

Bu çalışmanın ilerideki bölümlerinde; bu konu ile ilgili geçmişte yapılan bazı çalışmalardan ve günümüzde kullanılan yöntemlerden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde, konu ile ilgili bir işletmeden uygulama örneği sunularak sonuçları değerlendirilmiştir. Sonuç olarak modelin değerlendirilmesi yapıp sonraki çalışmalara bu konu ile ilgili öneriler sunulmuştur.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR**2.1. Johnson Tarafından Geliştirilen Yöntem**

Bu yöntemle n tane işin 2 veya 3 makinede yapılması incelenmekte ve minimum boş zamanlı dağıtım yolları aranmaktadır.

Bu yöntem ayrıca başlama ve bitiş gecikmeli problemlerde de uygulanır.

Yukarıda belirtilen durumlar incelenirken şu varsayımlar göz önüne alınmaktadır.

1- n tane işin her biri, önce 1. Sonra 2. Makinede işlem görecektir.

2- Her işlem ancak bir ürün için yapılacaktır (BOWMANN, B.,1954).

Algoritma : 1- $u = j / t_{j1} < t_{j2}$

$$v = j / t_{j1} \geq t_{j2}$$

kümelerini oluşturur.

2- u 'yu t_{j1} in artan sırasına,

v 'yi t_{j2} nin azalan sırasına koy.

3- Optimum sıra $s = u + v$ yi oluşturur.

Başlama ve Bitiş Gecikmeli Problem için Johnson Yöntemi:

Algoritma : 1- $u = j / t_{j1} < t_{j2}$

$$v = j / t_{j1} \geq t_{j2}$$

tanımla,

$$2- y_i = \max |a_i - t_{j1}, b_i - t_{j2}| \text{ tanımla,}$$

u kümesini $t_{j1} + y_i$ nin artan sırasına

v kümesini $t_{j2} + y_i$ nin azalan sırasına koy.

3- Önce u gelmek üzere v ile birleştirerek optimum sırayı bul .

Johnson yönteminin eksik yönü, fazla sayıda makine için çalışmamasıdır. Yöntemin elle izlenebilmesi kullanıcı için bir kolaylıktır.

Fakat daha etkin bulgusal yöntemleri de önermek mümkündür.

2.2. Aşamalı Sıralamayla Çözüm (Jackson Yöntemi)

Bu yöntemin hat dengelenmesi sorununa getirdiği yaklaşım, çözüm ilerledikçe, küçük değerli seçeneklerin sistemli bir şekilde yok edilmesi temeline dayanır.

Yöntemin temel ilkesi, çevrim süresini aşmamak, öncelik koşullarına uymak ve tüm işlemlerin olası tüm karışımlarını aşamalı olarak belirlemektir.

- 1- Aynı işlemleri, ayrı diziliş sırasıyla içeren birden çok küme var ise, bunlardan biri tutulup diğerleri atılır.
- 2- Çok ögeli kümeler arasında, yalnız birer ögeleri ayrı olanlar varsa ve bu ayrı ögeler, hemen ilerideki aynı komşu noktaya bağlanıyorsa, bu ayrı ögelerden, daha küçük süreliisini içeren küme atılır.
- 3- Aynı aşamada bir küme, diğer bir kümenin içerdiği tüm işleri ve bunun yanında, daha çok sayıda işlemi içeriyor ise, az sayıda işlemli küme atılır. Bu şekilde işlemler sürdürülür. Aşamalar ilerledikçe, kümelerin öge sayıları artar. Bir aşamada, tüm işlemleri içeren ilk karışıma rastlandığında, en iyi çözüme ulaşılmış demektir. Ama bu aşamada, birden çok en iyi çözüm bulunabilir (JACKSON, J.R.,1956).

2.3. Konum Ağırlıklı Dengeleme Yöntemi:

Bu yöntemde şu adımlar izlenir:

- 1- Her iş ögesi için konum ağırlıklarının ölçümü.(Bir iş ögesinin konum ağırlığı, o işlemi yapmak için gerekli süre ve seri olarak ondan sonra gelen işleri yapmak için gerekli sürelerin toplamıdır.)
- 2- Azalan konum ağırlıklarına göre iş ögelerinin sıralanması.
- 3- İş ögelerinin iş istasyonlarına atanması (bu atama işlemi sırasında, en yüksek konum ağırlıklı iş ögelerine öncelik verilir).
 - a) En büyük konum ağırlıklı iş ögesini ilk istasyona ata.
 - b) İş istasyonunun kullanılmamış süresini; çevrim süresinden, atanmış süreler toplamını çıkararak bul.
 - c) Kalan iş ögeleri için en büyük konum ağırlıklısını seç ve aşağıdaki kontrollerden sonra, ögeyi istasyona atamaya çalış.
 - 1- Ayrılmış işler listesini kontrol et. Eğer öncelenmeyen iş ögeleri atanmış ise öncelik koşulu bozulmayacaktır. Bu durumda adım c-2 ye , aksi durumda adım d ye git.
 - 2- İş ögelerinin işlem süresini, istasyonun kullanılmamış süresi ile karşılaştır. Eğer işlem süresi, atanmamış süreden küçük ise, işi istasyona ata ve kullanılmamış istasyon süresini yeniden hesapla, adım c ye dön. Eğer işlem süresi, kullanılmamış süreden büyük ise adım d ye geç.
 - d) Seçim, kontrol ve olası ise atamayı, aşağıdaki iki koşuldan biri sağlanıncaya kadar sürdür.
 - 1- Tüm iş ögeleri atanmışsa.
 - 2- Hem öncelik koşullarını, hem de atanmamış süre koşullarını sağlayan iş ögesi kalmamışsa.

- e) Atanmamış en yüksek ağırlıklı iş ögesini ikinci istasyona atayıp, yukarıdaki dört adımı aynen uygula.
- f) İş ögelerini istasyonlara atama işlemini; atanmamış iş ögesi kalmayıncaya kadar sürdür.

Elde edilen çözümün kontrolü için bir seçenek çözüm tekniği uygulanabilir. Bu teknikte; hattın sonundan başlanarak ve kurallar tersine uygulanarak "ters konum ağırlıkları" ölçülür. Benzer adımların yenilenmesiyle elde edilen seçenek çözüm, ilk çözümle karşılaştırılarak, daha yakın olan çözüm kullanılır (HELGESON, W.B. and BIRNIE, D.P., 1961).

2.4. M.Kilbridge ve L.Wester Tarafından Geliştirilen Yöntem

Bu yöntemi iki boyutta inceleyeceğiz. Birincisi, Helgeson ve Birnie yöntemi gibi bilgisayar bulunmayan fabrikalarda büyük oranda uygulanır. İkincisi ise bilgisayar kullanılarak uygulanan yöntemdir.

Yöntem – 1 :

Bu yöntemde Kilbridge ve Wester verilen durumlarda en az denge gecikmesini sağlamaya çalışmışlardır. Yani yöntemin amacı denge gecikmesini en aza indirmeye çalışmak ve bu ölçütü sağlayacak hat dengesini seçmektir.

En iyi dengeyi bulmak için aşağıdaki durum sağlanmalıdır:

$$n.C - \sum_i t_i = 0 \quad \text{ve} \quad n = \frac{\sum_i t_i}{C} \quad (2.1)$$

Burada;

$$C = \text{Çevrim süresi} \quad t_{\max} < C \cdot \sum_i t_i$$

n = İstasyon sayısı

$t_{\max}$ = Maximum eleman süresi

t_i = Eleman süresi

Yöntemin aşamaları şöyledir:

- 1- C'nin ve n'nin belirlenmesi,

Tamsayı olan çevrim zamanını belirlemek için $\sum t_i$ asal sayıların çarpımı sonucu bir sayı olarak yazılır ve çevrim zaman değerleri olası aralık göz önüne alınarak hesaplanır. Yukarıda seçilmiş çevrim zamanlarına bağlı olarak en iyi dengede istasyon sayısı şu formül kullanılarak hesaplanır :

$$n = (\sum t_i) / C$$

- 2- Ön şemanın art arda sıralanmış sütunlarından alınmış çalışma elemanları ile ilgili ayrıntılı bilgi veren bir tablo hazırlanır.
- 3- Çalışma elemanlarının istasyonlara tahsisi yukarıda anlatılan tablo kullanılarak bulunan toplama eşit olacak şekilde çevrim zamanı seçilerek çalışma elemanlarının istasyonlarda uygun bir sırada düzenlenmesi yapılarak elde edilir. Boşa geçen zamanı önlemek için sütunlar arasındaki çalışma elemanlarının yerleri değiştirilir. Belli bir C için, eğer çalışma elemanlarının tümü n sayıdaki çalışma istasyonuna uyuyorsa en iyi denge elde edilmiş demektir. Yoksa dengeyi sağlamak için çalışma istasyonlarının sayısı en küçük tamsayı ile arttırılır. Bu durumda en iyi denge kurulamaz (KILBRIDGE,M.D. and WESTER, L.,1962).

Kilbridge ve Wester olası en az denge gecikmesini bulmaya çalışırken çok önemli bir faktörü ihmal etmişlerdir. “Maliyet Fiyatı”, çevrim zamanı kullanılarak minimum denge gecikmesi ya da optimum veya optimuma yakın hat dengesi bulunabilir. Ama çevrim zamanının uygulanması daha önce Moodie ve Young’ın yöntemlerinin değerlendirilmesinde gösterildiği gibi işlem maliyetinin artmasına yol açabilir.

Bundan dolayı çevrim zamanı, maximum eleman zamanında belirtilen aralıkta seçilmeli ve çevrim zamanı ürün oranına göre kabul edilmelidir.

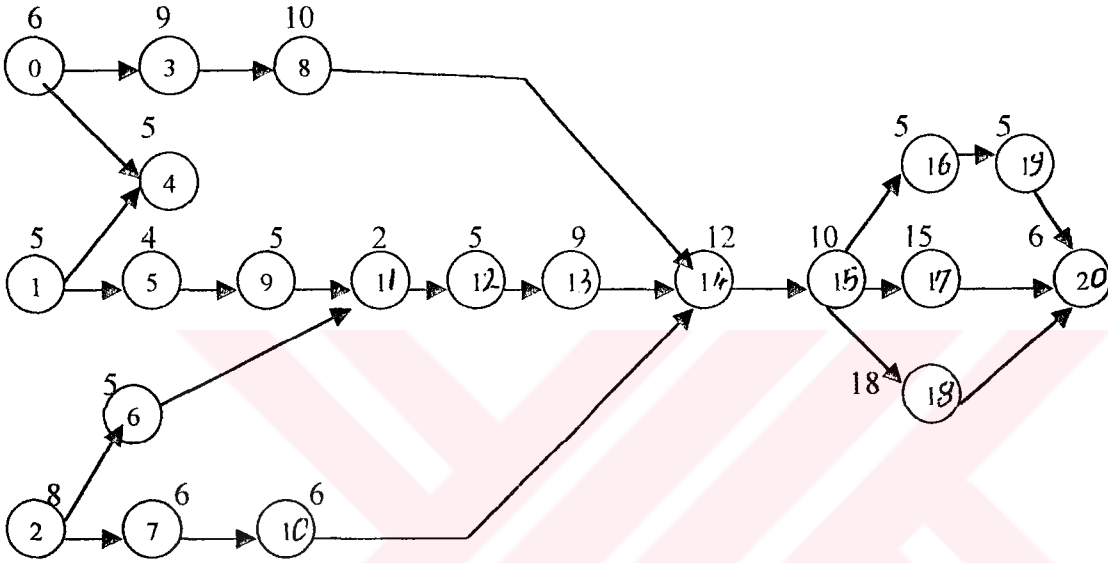
Yöntem – 2 :

Kilbridge ve Wester tarafından geliştirilen bu yöntem basit olmasına rağmen bilgisayarlar yardımı ile, büyük boyutlu problemlerin çözümünde oldukça iyi sonuçlar vermektedir.

Şekil 2.1. de görülen montaj işlemini ele alarak, yöntemi açıklayalım. Daire biçimindeki numaralar iş elemanlarının sayısını belirtmektedir, ve bu iş 2. elemanlarının belli olan öncelik sıraları bulunmaktadır. Dairelerin üstündeki sayılar işin süresini, en üstteki sütun numaraları ise işlem sırasını belirtmektedir. (II. Sütundaki işler, I. Sütundaki işlerden sonra yapılmalıdır gibi ...). Tabloda bu bilgilere dayanarak problemin verileri sınıflandırılmış olur (KILBRIDGE,M.D. and WESTER, L.,1961).

Aşağıda verilen örnek çözüm ile birlikte yöntemin adımları sıralanmaktadır.

I II III IV V VI VII VIII IX X XI



Şekil 2.1. Yöntem – 2 için Öncelik Şeması

Örnekte amaç, montaj hattı çevrim süresini 36 zaman ünitesi (ZÜ) yapmak olsun. Bunu gerçekleştirmek üzere gerekli iş istasyonları sayısı ve bu istasyonlarda yapılması gereken işlerin sırasını bulmak problemin çözümü olacaktır. Bu amaçla yapılacak arama işleminin akışını şöyle sıralayabiliriz:

- 1- f de 36 ya eşit zaman ünitesi (ZÜ) var mı ? (Hayır),
- 2- f de, 36 dan küçük en büyük süreyi seç (I. Sütuna ait 19 değeri),
- 3- 36 dan bunu çıkar ($36 - 19 = 17$),
- 4- II. Sütunda 17 ye eşit veya yakın bir veya birden fazla eleman var mı ?
(eşit yok, en yakını 16 değerini veren iş elemanları var, bunlar alınırsa iş süresi toplamı 35 olacaktır.),

- 5- f sütununda 36 dan büyük en küçük süreyi seç (48 dir ve I ve II nin toplamıdır.),
- 6- I. ve II. sütundaki elemanlardan bir veya bir kaç, süreyi 36 ya düşürmek üzere II den öteye yer değiştirilebilir mi ? (Hayır, fakat 3. Eleman (8) ile 6. Eleman yer değiştirebilir ve böylece 34 C.Ü. lık bir süre elde edilir.),
- 7- f sütunundan arkadan gelen en büyük süreyi seç (69 , I – II – III için),
- 8- I,II,III sütunları içindeki elemanlardan biri veya birkaçı süreyi 36 ya düşürmek üzere III den öteye yer değiştirilebilir mi ? (Hayır, en yakın değeri veren elemanlar 3,8,7,10 dur. Bu da $69 - 31 = 38$ değerini verir ki, oda çok büyüktür.),
- 9- f sütunundaki büyük bir süreyi ele alarak I. istasyon için daha geliştirilmiş bir eleman tahsisi elde edilebilecek mi ? (Hayır.),
- 10- Daha önce bulunan en iyi tahsisi I. istasyon süresi olarak al (Adım 4; 35 ZÜ lik iş istasyonu),
- 11- Tabloyu yeniden yaz ve kümülatif toplamlarının yeni değerlerini f ye yerleştir.
- 12- f sütununda, toplamı 36 ya eşit bir süre var mı ? (Evet, III ve IV sütunların toplamı.),
- 13- Bu elemanları 2. istasyon olarak tahsis et ve 3. Tablonun çizimine geç.
- 14- Yeni tablonun f sütununda 36 ya eşit değeri var mı ? (Hayır),
- 15- f deki sürelerden 36 dan küçük en büyük süreyi seç,(31 ; V,VI,VII,VIII),
- 16- Bunu 36 dan çıkar ($36 - 31 = 5$),
- 17- IV sütununda 5 e eşit eleman var mı ? (Evet , 16. eleman),

18- Bu elemanı yukarıdakilere ilave et ve yeni bir tablo yap (Tablo 6.3

- a,b,c,d),

19- Yeni tabloda f sütununda 36 ya eşit süre var mı ? (Evet; IX,X ve XI),

20- Bu elemanları yeni iş istasyonlarına tahsis et.

Böylece Şekil 2.1. de görülen 21 iş elemanı 4 iş istasyonuna tahsis edilmiş oldu.

Tablo 2.1.(a)

Öncelik diyagramındaki süt.no.	İş eleman Nosu	Yer değiştirilebi- len eleman	Eleman Süresi t_i	Sütun Süresi	Birikimli Süre
a	b	c	d	e	f
I	0 1 2		6 5 8	9	19
II	3 4 5 6 7	III – V (8 ile) III III – V(10ile)	9 5 4 5 6	29	48
III	8 9 10	IV – VI IV – VI	10 5 6	21	69
IV	11		2	2	71
V	12		5	5	76
VI	13		4	4	80
VII	14		12	12	92
VIII	15		10	10	102
IX	16 17 18		5 15 10	30	132
X	19		5	5	137
XI	20		6	6	143

Tablo 2.1. (b)

Öncelik diyagramındaki süt.no.	İş eleman Nosu	Yer değiştirilebi- len eleman	Eleman Süresi t_i	Sütun Süresi	Birikimli Süre
a	b	c	d	e	f
I	0		6		
	1		5		
	2		8		
	4		5		
II	6		5		35
	7		6		
III	3	IV – X (8ile)	9		
	9		5		
	5	IV – VI	4		
	10		6	24	24
IV	8	V – VI	10		
	11		2	12	36
V	12		5	5	41
VI	13		4	4	45
VII	14		12	12	57
VIII	15		10	10	67
IX	16		5		
	17		15		
	18		10	30	97
X	19		5	5	102
XI	20		6	6	108

Tablo 2.1. (c)

Öncelik diyagramındaki süt.no.	İş eleman Nosu	Yer değıştirilebi- len eleman	Eleman Süresi t _i	Sütun Süresi	Birikimli Süre
a	b	C	d	e	f
I	0				
	1				
	2				
	4				
II	6				
	7			35	(35)
III	3		9		
	9		5		
	5		4		
	10		6		
IV	8		10		
	11		2	36	(36)
V	12		5	5	5
VI	13		4	4	9
VII	14		12	12	21
VIII	15		10	10	31
IX	16		5		
	17	X	15		
	18	X	10	30	61
X	19		5	5	66
XI	20		6	6	72

Tablo 2.1. (d) Son durum

Öncelik diyagramındaki süt.no.	İş eleman Nosu	Yer değiştirilebi- len eleman	Eleman Süresi t_i	Sütun Süresi	Birikimli Süre
a	b	c	d	e	f
	0 1 2 4 6 7			35	(35)
	3 9 5 10 8 11			36	(36)
V VI VII VIII IX	12 13 14 15 16		5 4 12 10 5	36	(36)
IX	17 18		15 10	25	25
X	19		5	5	30
XI	20		6	6	36

Bu yöntem ile birden fazla çözüm bulmak mümkündür. Fakat uzunluğu aynı olan iş elemanlarının seçiminde, kullanılması önerilen bir kriter konmamıştır. Bu yüzden birden fazla çözüm bulunabilir. Bu yöntemin kurucuları, Bu yöntemi kullananlara aşağıdaki önerilerde bulunmaktadır.

- 1- Genel olarak çözümler tek değildir. Bir sütun içinde bulunan iş elemanları kolaylıkla aralarında yer değiştirebilirler. Bu bir bakıma optimum dengeyi bozmadan yapılabilecek bir planlama kolaylığıdır.
- 2- Eğer mümkün ise uzun süreli işler önce tahsis edilmelidir.

2.5. Öncelik Diyagramı ile Çözüm (Hoffman Yöntemi)

Ana çözüm aracı olarak öncelik diyagramının kullanıldığı ve genellikle en uygun çözümü veren bir hat dengeleme yöntemidir. Yöntemin uygulanabilmesi için önce öncelik matrisi kurulur. Öncelik ögesinin, olası tüm iş ögesi permütasyonlarını üretmekte kullanılabilmesi için , matrisin her sütunu, kendi aralarında toplanarak, "kot numaraları" adı verilen bir satır matrisi elde edilir. İlk başta elde edilen kot numarası dizisinin, iş ögesi sayısı kadar ögesi vardır. Bunlardan en az bir tanesi sıfırdır. Bundan sonra, aşağıdaki yaklaşımın kullanılması ile çözüm elde edilir:

- 1- Kot numaraları dizisi içinde soldan sağa doğru sıfır (0) olan ilk ögeyi ara.
- 2- İlk sıfırın bulunduğu noktaya karşı gelen iş ögesi numarasını seç.
- 3- Bu iş ögesinin işlem süresini, kalan istasyon süresinden çıkar.
- 4- Sonuç ≥ 0 ise adım-5 e , sonuç < 0 ise adım-6 ya git.
- 5- İş ögesini öncelik matrisinden karşı gelen satırı ve sütunu bu matristen çıkar ve elde edilen satır matrisini, yeni kot numarası dizisi olarak kullan.
- 6- 4. Adımda bulunan sonuç < 0 ise atama yapma, aksi durumda bu işi o istasyona ata, adım-5 i icra et, adım-1 e geri dön ve yeni bir iş ögesi seç. Adım 1-6 arasını yenile ve adım-7 ye git.
- 7- Kalan istasyon süresi sıfıra eşit ise adım-8 e aksi durumda adım-9 git.
- 8- İlgili istasyona atama tamamlanmıştır. Bir sonraki istasyon işlemleri için adım-1 e git.
- 9- Kot numarası dizisi içinde sıfır değerine sahip olan öge veya ögelerde, kalan istasyon süresinden küçük veya eşit işlem süresine sahip olan yoksa, yeni istasyon atamaları için adım-1 e git.

Bu yaklaşım, tüm iş ögelerinin istasyonlara atanması bitene kadar sürdürülür (HOFFMANN, T.R.,1963).

2.6. M. Klein Tarafından Geliştirilen Yöntem

Morton Klein kullanılması çok basit bir yöntem geliştirmiştir. Bu yöntemde de amaç diğer montaj hatlarındaki denge işlemlerinde olduğu gibi boşa geçen zamanı minimum yapmaya çalışmaktır. Bunu sağlamak için olası tüm dağılımlar göz önüne alınmış, birbirine bağlı boşa geçen süreler hesaplanmış ve en iyi denge olarak, zorunlu ortaya çıkan en az boş zaman seçilmiştir.

Daha önce verilen standart terminolojiye ek olarak iki yeni terim daha kullanılmıştır. Bunlar ;

$\bar{C}$ = Amaç çevrim süresi (çevrim süresi verim oranına göre hesaplanır).

C = Olası en küçük çevrim süresi.

$\underline{C} = \max (t_i)$

Yöntem:

Klein $C \leq \underline{C} \leq \bar{C}$ aralığında boşa geçen zamanı indirgeyen bir çevrim süresi bulmaya çalışmıştır. Bunu yapmak için sıralama aracını kullanan çok basit bir yöntem geliştirmiştir. Yöntemin aşamaları şu şekildedir:

- 1- İşlemlerin tüm olası gereklilik kümesinin sıralanması,
 - 2- Her olası gereklilik $C \leq \underline{C} \leq \bar{C}$ aralığında her olası çevrim süresi için optimal dengenin hesaplanması,
 - 3- En az gecikmeyi verenler arasında dengeyi en iyi verenin seçimi,
- İşlemlerin istasyonlara dağılımında aşağıdaki kurallar uygulanır:
- a) İlk S işlemlerinin ilk istasyona ayrımı şöyledir;

$$\sum_{i=1}^{i=s} t_i \leq C < \sum_{i=1}^{i=s+1} t_i \quad (2.2)$$

Burada t_i i. ci işlem için gerekli süre.

- b) Her işlem ayrılincaya kadar yukarıda verilen sınırlama çerçevesinde istasyonlara ayırma yapılır (KLEIN, M.,1963).

Değerlendirme:

Klein'in yöntemi, olası tüm ayrımları göz önüne alındığından tüm gerekliliklerin sıralanmasını, her durum için denge gecikmelerinin hesaplanmasını gerektirir. İşlem sayısı arttıkça çok fazla hesaplama gerektiren bir iş haline gelir.

Yukarıda verilen 9 elemanlı problem 5 farklı C (Çevrim süresi) değeri için 12 gereklilik gerektirir.

İşlemlerin sayısı arttıkça olası gerekliliklerin sıralanması ve gecikmelerin hesaplanması yorucu olur.

2.7. E.M. Mansoor Tarafından Geliştirilen Yöntem

Geliştirilmesine Helgeson ve Birnie tarafından başlanan bu yöntem Mansoor farklı bir çözüm getirmiştir. Yöntemin amacı, verilmiş bir iş istasyon sayısı için işlem çevrim süresini küçültmek veya verilmiş bir minimum çevrim zamanı için, minimum istasyon sayısını tayin etme esasına dayanır.

Mansoor standart yapıya iki yeni terim ilave etmiştir. "Hat Verimliliği" ve "Durgun Bölüm".

Hat Verimliliğini (E) , toplam çalışma süresince verimli iş için harcanan zaman oranı olarak tanımlar, ve

$$E = \frac{T}{n \cdot C} \cdot 100 \quad (2.3)$$

şeklinde ifade edilir.

Burada;

T = Toplam çalışma süresi,

n = İstasyon sayısı,

C = Çevrim Süresi,

n ve T verildiğinde, hat verimliliği, $1/C$ ile orantılıdır.

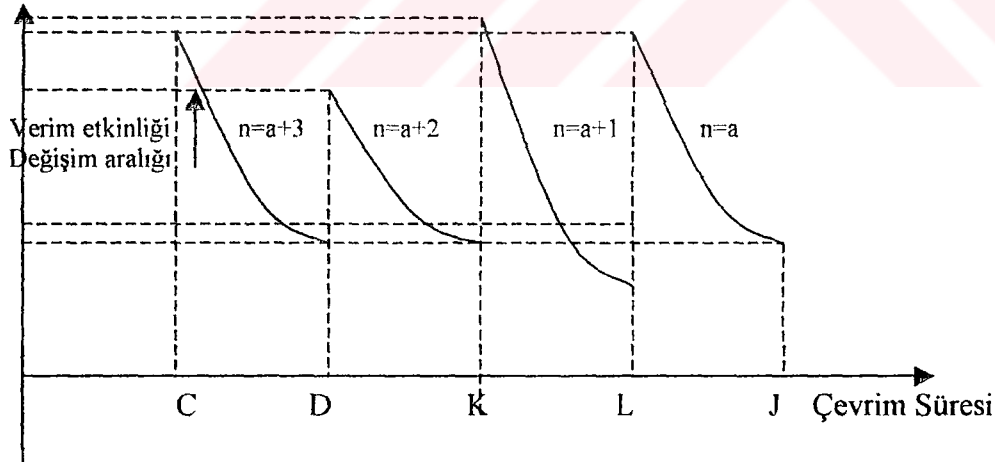
Durgun Bölüm, ekstra bir zaman bölümüdür. Bu istasyonlara eklenebilir.

Gerçek dengeyi kapsamı mümkün değildir.

Genel bir değerlendirme yapılacak olursa:

1- E, C ve n arasındaki ilişki T eğri ailesiyle verilir (Şekil 2.2).

(SALVESON, M.E., 1955)



Şekil 2.2. E, C ve n arasındaki ilişkiyi veren T eğrisi

Şekildeki ilişki şöyle açıklanabilir:

Örneğin, $n=a+3$ durumunu inceleyelim. Bu değere uygun olarak verilmiş iş istasyonuna ait çevrim zamanının alabileceği değerler $C-D$ aralığındaki değerlerdir.

Bu değerlere göre verim etkinliğinin alabileceği değerlerde E-F aralığındaki değerlerdir. Çevrim zamanının, verilen bu istasyon sayısına göre alabileceği en büyük değer D olup, buna karşı, hat verimliliğinin alabileceği değer en küçük değer olan F dir. Bu durum arzu edilmeyen durumdur. Amaç, verilen iş istasyonuna bağlı olarak çevrim zamanını küçültmek, buna karşılıklıta verim etkinliğini yükseltmektir. Bu konumda $n=a+3$ istasyon sayısı için C ve F değerlerine tekabül eden konumdur. Benzer şekilde diğer istasyonlar yorumlanabilir.

2- Maximum istasyon sayısı Mansoor tarafından şöyle belirlenmiştir:

$$n_{\max} = \frac{T}{t_{\max}} \quad (2.4)$$

$n_{\max}$ = Maximum iş istasyonu sayısı,

$t_{\max}$ = Maximum iş elemanı süresi,

T = Toplam çalışma süresi.

3- Çevrim zamanını şu bağıntı verir:

$$C_1 = \frac{T}{n} = P + \frac{S}{n} \quad (2.5)$$

Burada :

S = kalan

Eğer $S = 0$ ise gerçek denge mümkündür.

Eğer $S \neq 0$ ise gerçek denge mümkün değildir. Bu halde C bir üst sayıya yuvarlatılmalıdır. Bu durumda problemde $(n - S)$ ekstre zamanı, yani gevşeme zamanı oluşur (MANACOR, E.M., 1964).



Yöntemin algoritmasını şu şekilde sıralayabiliriz;

- 1- Mümkün olan iş istasyonlarının sayısına göre uygun en düşük zamanlı çevrim zamanı seçilir. Elde edilen gevşeme zamanı kaydedilir.
- 2- En yüksek derecelenmiş konumsal ağırlıkları iş üniteleri seçilir ve ilk istasyona tahsis edilir.
- 3- İstasyona tahsis edilmiş elemanların toplam zamanları bulunur ve toplamı çevrim zamanından çıkartılarak tahsis edilmemiş zaman bulunur.
- 4- Geriye kalan en yüksek derecelenmiş konumsal ağırlıklı iş ünitesi seçilir ve aşağıdaki kontrol yapıldıktan sonra iş istasyonuna tahsis edilir.
 - a) Halihazırda tahsis edilmiş iş ünitelerinin listesi kontrol edilir. Eğer öncelik sırası bozulmayacak şekilde tahsis yapılmışsa 4-b adımına geçilir. Eğer öncelik sırası bozulacak şekilde tahsis yapılmış ise 5 adımına geçilir.
 - b) İş ünite zamanı çevrim zamanından çıkartılır. Geriye kalan zaman iş ünite zamanından daha fazla ise iş ünitesine o iş de tahsis edilir. Eğer kalan zaman iş ünitesinin zamanından büyük ise adım – 5 geçilir.
- 5- Aşağıdaki iki şarttan biri mümkün ise bu koşullar sağlanıncaya kadar seçmeye, tahsis etmeye ve kontrol etmeye devam edilir.
 - a) Geri kalan tahsis edilmemiş zamanın mevcut gevşeme değerine eşit veya bundan daha az olduğu yerde bir kombinezon elde edilmiş olur ve adım – 8 e geçilir.
 - b) Tahsis edilmemiş eleman kalmayıncaya kadar öncelik hakkını da sağlayan bütün iş üniteleri tahsis edilmiştir ve adım – 8 e geçilir.

- 6- En düşük seviyedeki derecelenmiş konumsal ağırlığa sahip olanlardan biriyle başlayarak sırayla her tahsis edilmiş iş ünitesi silinir ve aşağıdakilerden biri meydana gelinceye kadar adım – 4 ve adım – 5 e gidilir.
 - a) Geri kalan tahsis edilmemiş zamanın elde edilmiş gevşeme birimlerine eşit veya o zamandan küçük olduğu yerde bir kombinezon meydana gelir ve adım – 8 e gidilir.
 - b) Mamulün kombinezonları mevcut gevşeme biriminin büyüklüğü için tahsis edilmemişlerse bu durumda hiçbir çözüm mevcut değildir.
- 7- Çevrim süresi bir birim arttırılır ve tekrar aynı işlemleri, yani çevrim zamanı ile yapılmak üzere 2. Adıma geçilir.
- 8- Bu halde 2. iş istasyonuna en yüksek mevkisel ağırlıklı tahsis edilmemiş iş birimi tahsis edilir ve aynı şekilde diğer aşamalar yerine getirilir.
- 9- Bütün iş üniteleri tahsis edilinceye kadar iş istasyonlarına, iş birimlerinin tahsisine devam edilir. O zaman montaj hattı dengeleme probleminde bir çözüm bulunmuş olacaktır (ERKUT, H. ve BAŞKÖK, M.,1996).

Değerlendirme :

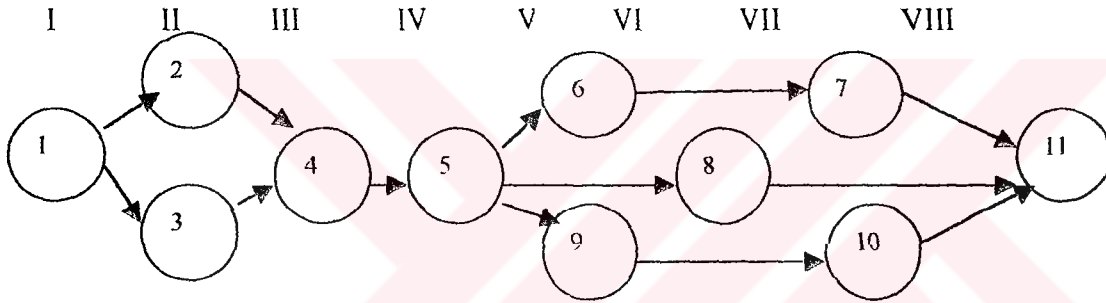
Bu yöntem, verilmiş olan verilerden istasyonların ve çevrim sürelerinin olası sayılarını veriyorsa da verim oranı gerekliliklerini göz önüne alamaz. Böyle durumlarda üretim oranı tarafından, gereksinene en yakın (eşit ya da daha az) çevrim süresi kullanılmalıdır.

Her ürün için verim randımanının çevrim süresinin ve istasyon sayılarının birbiriyle ilişkisini gösteren eğriler çizilebilir. Bu eğriler, üretim düzeyindeki ve işlem düzenleme durumlarındaki değişkenleri basite indirgerler.

2.8. C.L. Moodie ve H.H. Young Tarafından Geliştirilen Yöntem

Öncelik Şeması :

Öncelik şeması, montaj dengelemede kullanılan bir araçtır. Temel amacı çalışma elemanlarını ve iş görme sıralarını tümüyle belirterek montaj hattını göstermektedir.



Şekil 2.3. Bir Öncelik Şeması

Öncelik Matrisi – Öncelik Kare Matrisi:

Öncelik matrisi Tablo 2.2. de (MOODIE,C.L.,1964) gösterildiği gibi öncelik şemasındaki ön ilişkileri belirleyen $n \times n$ matrisidir. Aşağıda 11 x 11 boyutlarında verilen matris Şekil 2.3 deki öncelik şeması için hazırlanmıştır. Bu matriste yukarıda 11 tane eleman dizilmiştir. Sola dayalı olanlarda yine eleman sayısını belirtmektedir. Matriste “1” ; “i” elemanının “j” elemanından önce geldiğini, “-1” ; “i” elemanının “j” elemanını izleyeceği, “0” da ; “i” ve “j” elemanları arasında hiçbir ilişki olmadığını belirtmektedir. Fakat matris “0” ve “1” lerden de oluşabilir.

Tablo 2.2. 11 öğeli bir öncelik matrisi örneği

		ELEMENLER										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
E L E M A N L A R	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	-1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
	3	-1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
	4	-1	-1	-1	0	1	1	1	1	1	1	1
	5	-1	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	1	1
	6	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	1
	7	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	1	1	1	1
	8	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	1	1	1
	9	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	1
	10	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	1
	11	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0

Dual Öncelik Matrisleri :

Bunlar öncelik kare matrisle aynı amacı taşımaktadırlar. Dual öncelik matrisler iki matristen oluşmaktadırlar (Tablo 2.3.). P matrisinde önde gelenler, F matrisinde ise o elemanı izleyen elemanlar girilir. Hücrelerin içindeki elemanlar kimlik numarası olarak adlandırılır. Matrisin boyutları, eleman sayısı, her elemanın önde gelen ve onu izleyen elemanların maximum sayısına göre belirlenir.

Birleşmiş dual öncelik matrislerin hücre sayısı kare matristen daha azdır ve matris işlemi daha basittir. Tablo 2.3. de verilen matrisler Şekil 2.3. deki öncelik şemasından verilen için hazırlanmıştır (MOODIE, C.L.,1964).

Tablo 2.3. 11 öğeli bir öncelik dual matris

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

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

Bu P ve F tipi matrisler Moodie ve Young'ın araştırmasında geniş ölçüde kullanılmıştır.

Yukarıdaki terminoloji montaj hattı dengelemede yapılan araştırmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat her araştırmacı aynı terimleri kullanmayabilir. Örneğin bu çalışmada Mansoor ve Helgeson – Birnie yöntemi için oluşturulan öncelik matrisin elemanları “0” ve “1” lerden oluşmaktadır. “0” ; “i” ve “j” arasında hiçbir ilişkinin olmadığını belirtir. “1” ise “i” elemanının “j” elemanından önce geldiğini belirtir.

Montaj hatlarını dengelemek için C.L. Moodie ve H.H. Young tarafından geliştirilen bulgusal yöntem, ya sürekli yada değişken eleman zamanlarında çalıştırılabilecek iki aşamalı bir yöntemdir. Süreklilik durumunda yöntemin ana hatları aşağıda özetlenmiştir.

Sürekli Çalışma Zamanı Bulunan Yöntem:

Moodie ve Young montaj hattı dengelemesinin standart adlandırılmasına iki yeni ad ilave ettiler: “Çift Öncelik Matrisleri”, burada önde ve arkada gelen elemanlar matris formunda belirtilerek bir “Düzensizlik İndeksi (SI)” kavramı

kullanılmaktadır. (SI); problemin çözümünde denge derecesini belirtmektedir. (SI) değerinin küçüklüğü denge çözümünün iyi olduğunu, SI=0 durumu iyi bir dengelemenin olduğunu gösterir.

Yöntem :

1- **Birinci aşama:** Yöntemin birinci aşamasında P ve F matrisleri geliştirilmiş ve aşağıdaki kısıtlamalar kullanılarak çalışma istasyonlarına çalışma elemanları atanmıştır.

- P matrisinde tüm sıfırlamaları ihtiva eden sıra seçilir. İhtiyacın üstünde varolan sıralardan zaman değeri en yüksek olan alınır.
- F matrisi ele alınarak daha önceden en uygun seçilen hücreye girilir. Tespit edilen elemanların numaraları sıraya not edilir. Tekrar P matrisine dönülür. Sırada gösterilen elemanların numaraları sıfırlanarak değiştirilir.
- Yukarıda özetlenen biçimde elemanların istasyonlara dağıtılmasına devam edilir.

$$E_i < S_k < C$$

E_i = i'ci elemanın çalışma süresi

S_k = k'inci istasyon süresi

C = Çevrim süresi

P matrisi sıfırlandığında problem çözülmüş olur. Eğer sonuçta minimum dengede bir gecikme olursa, o da şu şekilde bulunabilir.

$$\sum_{k=1}^k (C - S_k) < C \quad (2.6)$$

Eğer bu mümkün olmazsa çevrim süresi (C) bir defa artırılır. Minimum istasyon dengesi elde edilinceye kadar yukarıda özetlenen yöntem tekrar edilir.

2- **İkinci aşama** : İş elemanları birinci aşamanın sonucu olarak istasyonlara dağıtılır. Toplam zaman boşluğu istasyonlar arasında eşit olarak dağıtılmaz. Bu nedenle Moodie ve Young toplam zaman boşluğu dağıtım işlemini geliştirmişlerdir. Bu işlemin kademeleri aşağıda belirtilmiştir.

- Minimum ve maximum zaman noktaları belirlenir.

- $$\frac{S_{\max} - S_{\min}}{2}$$

formülü ile amaç tanımlanır. İşlem bu amaca dayanmaktadır.

- Maximum ($S_{\max}$) zamanlı olan istasyondaki elemanlar belirlenir. Bunlar amaç değerinden iki defa daha küçüktürler ve istasyon zamanı minimum olan istasyona transfer edilebilirler.
- ($S_{\max}$) dan ($S_{\min}$) e transfer edilen elemanlar o şekilde seçilmelidir ki $S_{\max}$ daki azalma ve $S_{\min}$ deki kazanç amacın değerinden iki defa daha az olsun.
- Transferine devam edilen aday elemanlar kesin olarak en küçük değerlerdir.
- ($S_{\max}$) ve ($S_{\min}$) arasında işlem ve transfer mümkün olmazsa sıradaki istasyonlara transferleri art arda ve sıra ile yapılır.
- Eğer işlem ve transfer hala mümkün değilse, bu kısıntı amaç değeri tarafından empoze edilir. Amaç değeri düşürülür. Yeni transfer yapılırken çevrim süresi kısıntısına özen gösterilir (MOODIE,C.L. and YOUNG, H.H.,1965).

Değişken İş Elemanlarını Birleştirme Yöntemi :

Moodie ve Young iş elemanlarının değişkenliği konusunda da çalışmışlardır. Önerdikleri yöntemi Walker araştırmalarında esas almıştır.

Moodie ve Young iş elemanları zamanlarının rastgele değişkenliklerini aşağı yukarı normal dağılıma almışlar ve iş elemanlarını bağımsız düşünmüşlerdir.

İş elemanları zamanlarının Varyansı yukarıda verilen işlem dahilindedir ve olayın kritiği aşağıdaki şekilde formüle edilebilir.

$$\text{Min} = \sum_{k=1}^k \left[C - \sum_i E_i - r \sqrt{\sum_i V_i} \right] \quad (2.7)$$

E_i = Eleman Süresi

C = Çevrim Süresi

r = Standart değişkenlik hesaplamasının standart çarpanı.

V_i = i. ci elemanın değişkenliği

Böylece istasyon zamanı S_k aşağıdaki şekli almaktadır.

$$S_k = \sum E_i(k) + r \sqrt{\sum V_i(k)} \quad (2.8)$$

Güven sınırları tayininden sonra aşağıda formüle edilen şekilde elemanlar iş istasyonlarına ayrılır.

$$\sum E_i(k) \leq C - r \sqrt{\sum V_i(k)} \quad (2.9)$$

varyans hesabında saat kesme aygıtı dataları veya önceden belirtilen zaman sistemleri kullanılır.

Değerlendirme :

Moodie ve Young tarafından geliştirilen bu yöntem, elemanların zaman değişkenliğini içeren ilk yöntemdir. Mamafih Kovach ele alınan elemanların zaman dağılımının daima doğru olmadığını ve bazen pozitif sonuç verebileceğini iddia etmektedir.

2.9. Farklı Bir Açıdan Montaj Hatlarının Dengelenmesi

Günümüz şartlarında kullanılan yöntemlerden, iki tanesi bu bölümde incelenecektir. Bu yöntemlerden Pozisyon Ağırlığı Derecesi yönteminin uygulama alanları çok geniştir. İster insan ağırlıklı imalat sistemlerinde, isterse de otomasyonun ağırlıkta olduğu imalat sistemlerinde kolaylıkla uygulanabilmektedir. (Bu bilgiler internet aracılığı ile sağlanmıştır. OP – RESEARCH, 1994).

Montaj Hattı iş istasyonlarının art arda sıralandığı, malzeme idare sistemi ile montaj elemanlarının son ürünü oluşturmak için birlikte bağlandığı bir sistemdir.

Montaj prosesini, art arda sıralanan işler veya iş elemanları meydana getirir. Bazı temel operasyonlara iş denir. İşler aralıksız birbirleriyle bağlantılıdır. Çünkü, alet, delme cihazı veya teçhizatın ortak olarak kullanılabilmesi gerekmektedir. Bundan dolayı işleri kısımlara ayıramayız ve onlar iş istasyonuna bir bütün olarak atanmalıdır. Bir montaj prosesindeki işler, tertiplenmiş semboller halinde, ihtiyaç sırasına göre yapılmalıdır. Montaj Hattı Dengeleme problemi, işlerin iş istasyonlarına atanması problemidir. Çünkü işlerin ihtiyaç duydukları geniş ve farklı süreler, iş istasyonuna atanacak iş süresi ile nadiren eşit olabilmektedir. İş istasyonundaki boş süreler öncelik teşkil etmektedir. Montaj hattı dengeleme problemlerinde ilk amaç, bu boş süreleri minimize etmektir. İkinci amaç ise, iş istasyonları içinde

iş yükünün dengelenmesidir. Böylece iş istasyonlarına aşırı yüksek veya düşük iş yükü yüklenmemiş olur.

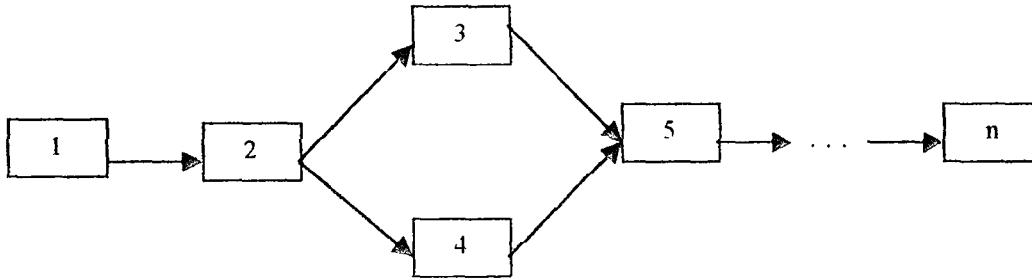
İşlerin iş istasyonlarına atanmalarında, montaj hattının uygun talep ölçüsü temin edilmelidir. Bu nedenle her iş istasyonunda sabit miktarda süre olacağından dolayı, bütün işler ona göre verilmelidir. Güvenilir talep ölçüsü ve iş süreleri için eş veya çok sayıda istasyon bazen gerekli olabilir.

Aşağıdaki şematik şekilde verilen, paralel iş istasyonundan oluşmuş basit bir seri sistem görülmektedir (Şekil 2.4.). Talep yeteri kadar yüksek olduğunda, bütün montaj hattı ortak olmayan eşlerden oluşmaz. Bu montaj hattının kısaltılmasında bir avantaj sağlar. Fakat malzeme ve teçhizata çok ihtiyaç olabilir. Paralel montaj hattının diğer avantajları da çok iyidir. Çünkü her iş istasyonunun süreleri çok uzundur. Bütün işler için iş memnuniyetini zenginleştirmek suretiyle çok sayıda işler iş istasyonuna atanabilir. Ayrıca, eğer iş istasyonunda malzeme problemi varsa, diğer hatlar sürekli hale getirilebilir. Tek bir seri hatta işin durmuş olması her an iş istasyonu iflas edebilir demektir.

Montaj hattı dengeleme problemini sembolik olarak çözümlerken, montaj prosesinin yapılan dizaynında, onu tekrar ziyaretinde iyi bir uygulama ile montaj prosesinde işlerin yeniden dizaynı ile bölgesel problemler kaldırılmış olur. Bu nedenle, bir darboğaz iş istasyonunda bazı işlerin ve onları birleştirmiş aletlerin yeniden dizaynı ile durgunluk sağlanmış olabilir.



Şekil 2.4.(a) Seri Montaj Hattı



Şekil 2.4.(b) Paralel İstasyonlu Montaj Hattı

2.9.1. Adımsal Olarak İlerleyen ve İlerlemeyen Hatlar

Önce bir iş istasyonuna ayrılmış iş süreleri eşit olmayabilir. Partiler hatta farklı hızlarda üretilirler. Bu da, iş sürelerinin değişkenliğinin uygun olmasındandır. Buna binaen, istasyonların boş kalmaları veya istasyon önünde bir kuyruğun oluşmasını meydana getirir.

Partilerin montaj hattında akışını düzenlemek çoğu kez ilerleme hızıyla olmaktadır. Bir adımsal olarak ilerlemeli hattaki, her iş istasyonu ölçüsüne Çevrim Zamanı (C), sabit bir zaman miktarı olarak verilir. Bu malzeme saplı sistemde tasarlanmıştır. Böylece, her C ünite çevrim süresi, malzeme saplı sistemde gelecek istasyonda partinin ilerlemesini gösterir. Eğer bir iş istasyonunun bitimi değilse, C ünite zamanı onun kalan periyottaki boş zamanıdır. Diğer taraftan, eğer iş istasyonu yetersiz ise, C ünite zamanında bütün atanmış işler partinin ilerdeki işarete durabileceği şeklindedir. Kusurlu partinin bir kısmı işaret sayesinde iş istasyonunda kalacak veya istasyonlarda yapılmış olmayacaktır. Bunun meydana gelmemesini temin etmek için, o her istasyonda sağlanan durgun zaman olacaktır.

Böylece kusurlu iş ihtimali minimize edilmiş olur. Eski aşamalarda onun durgun zaman yönünden temiz olması çok önemlidir. Eğer montaj hattında bir parti kalmamış ise o tamir edilmek üzere bitiş için hat tekrar işe kapatılır. Beslenme hattında işçiyi muhafaza etmek, tamirâtı yapılacak parti yığınları için bu nadir bir durum değildir. Hatta geliştirilmiş boş delikler sayesinde işlemler sağlanmış olur.

Eğer iş zamanlarında çok fazla değişkenlik varsa, adımsal olarak ilerlemeyen hatlar tercih edilir. Hattaki her iş istasyonuna işler, kendinden ilerleyen ve partinin bir sonraki istasyona götürülmesi atanmış işlerin bitimine kadar devam eder.

2.9.2. Karma Modeller

Tek bir ürün için talep edilecek, düz olarak ayarlanmış montaj hattı yeterli değildir. Bu durumda karma modellenli montaj hatlarının tasarımı daha genel olmaktadır. Ürünlerin yapılmak üzere yönelmiş olduğu montaj hattında çok benzer işlerin ve öncelik diyagramlarının olması gerekir. Bu nedenle bazı farklılıklara olanak veren bir ürünün montajı için tek bir hat tasarlanmalıdır. Hatların tasarımında dikkatli olunmalıdır. Tasarımda iş elbisesinin optimum sonucu ve hattın işletilmesi gerekir. Böylece hatta düzgün bir iş akışını sağlamak için farklı modelleri art arda sıralamak gerekir.

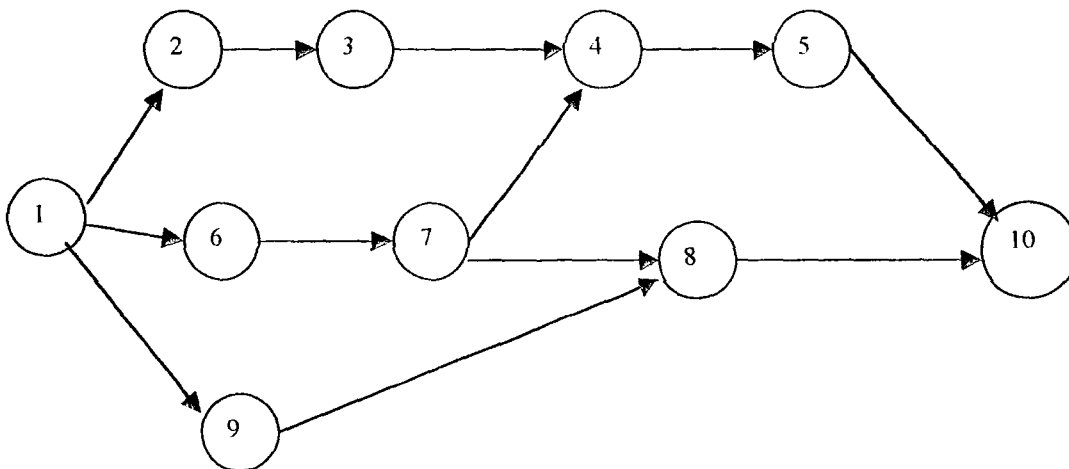
2.9.3. Adımsal Olarak İlerleyen Hat için Tamsayılı Programlama Modeli

- Kısıtlar
- Amaç Fonksiyonu
- Tartışma
- İş Kısıtlamaları

Şimdi adımsal olarak ilerleyen bir montaj hattı tasarım problemi dikkate alınacaktır. İş süreleri biliniyor olarak belirlensin. Farz edelim ki montaj prosesinde N tane iş bulunsun ve C çevrim süresine sahip montaj hattını bir ürün talebi olsun. Daha sonra, j işi için ihtiyaç olan zaman t_j ile gösterilsin. Öncelik diyagramı, direkt bir grafik olarak $G = (V, E)$ ile gösterilmiş olsun. V ile gösterilen zirve işleri, E ise, işler arasındaki en yakın öncelik ilişkisini gösterebilir. P_j, j işinde en yakın öncelik olarak tanımlansın. P_j, G grafiğinden elde edilebilir. Örneğin, her iş için yakınlık önceliği ile ilgili bir liste, bir montaj operasyonu için grafik aşağıda Tablo 2.4. ve Şekil 2.5. ile gösterilmiştir. (OP – RESEARCH, 1994)

Tablo 2.4. İşlerin öncelik tablosu

İŞ	P_j	İŞ	P_j
1	--	6	1
2	1	7	6
3	2	8	7,9
4	3,7	9	1
5	4	10	5,8



Şekil 2.5. Öncelik şeması

Mantıklı bir sonuçta, her j işi için hat dengeleme problemi $t_j \leq C$ olacaktır. Bu ayrıca, en kötü durumu belirtmek içindir. Montaj hattında her iş için bir, yani N tane iş istasyonuna ihtiyaç olunmayacağı şeklindedir. Problem modelinde üstlenilecek, N tane istasyon ile bir montaj hattının kurulması ve istasyonlara işlerin atanmasıdır. Burada amaç N tane istasyonun mümkün olan en az sayıda olmasıdır. Bundan dolayı aşağıdaki değişkenler tanımlanacaktır:

1 Eğer j işi k istasyonuna atanmış ise

$$X_{jk} = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } j \text{ işi } k \text{ istasyonuna atanmış ise} \\ 0 & \text{Aksi halde} \end{cases}$$

Kısıtlar :

Şimdi kısıtlar yazılırken, değişkenlerin atanması yapılmalıdır. Böylece yapılan atama montaj hattı probleminde geçerli bir sonuç olacaktır.

- 1- N tane istasyona, her işin atanmasını sağlamak için aşağıdaki kısıtlama kullanılmalıdır.

$$\sum_{k=1}^N X_{jk} = 1 \quad \text{her iş için } j = 1, \dots, N \text{ dır.} \quad (2.10)$$

- 2- Her istasyondaki değişkenin zamanı, çevrim süresinden (C) çok olmamalıdır. Bundan dolayı bir istasyona atanmış süre aşağıdaki gibi sınırlandırılmış olmalıdır.

$$\sum_{j=1}^N t_j X_{jk} \leq C \text{ her istasyon için } k = 1, \dots, N \text{ dir.} \quad (2.11)$$

3- Grafik G de verilen öncelik sınırlamalarının olması için zorlanmalıdır.

Bu küçük bir düzeni tamamlamış olur.

Not: İlk olarak eğer j_2 işi j_1 işinden önce alınırsa ($j_2 \in P_{j_1}$) ve eğer j_2 işi k_1 istasyonuna atanırsa, j_1 işi k_1 istasyonuna atanmış olmalıdır veya bazı istasyon $k < k_1$ şeklinde olmalıdır.

Bu ifade, şu kısıtlar ile gösterilebilir.

$$X_{j_2 k_1} \leq \sum_{k=1}^{k_1} X_{j_1 k} \quad \text{her istasyon için } k_1 = 1, \dots, N \text{ ve her } j_1 \in P_{j_2} \text{ ve } j_2 = 1, \dots, N \text{ olmak üzere;} \quad (2.12)$$

4- Son olarak, her zamanki gibi tamsayı kısıtlaması uygulanır, yani;

$$X_{jk} \in \{0,1\} \text{ bütün } j, k = 1, \dots, N \text{ için.}$$

Amaç Fonksiyonu :

Montaj hattı dengeleme probleminin amacı, ihtiyaç olan iş istasyonu sayısını minimum yapmaktır. Bununla beraber problemleri N tane iş istasyonu sayısına bağlı olarak formüle edilecektir. İhtiyaç olan minimum sayıya ulaşmak için mümkün olduğu kadar az sayıda istasyon kullanma denenmelidir. Bir yol bulabilmek için, daha az sayıda iş istasyonu ilk olarak kullanılmalı ve denenmelidir. Bir iş istasyonuna bir işin tahsis edilmesi için hayali maliyetler tayin

edilecektir. Verilen iş istasyonu için, maliyet iş istasyonu sayısı ile değişir, fakat bu işler için bir dikkatsizlik meydana getirir. Daha az sayıda iş istasyonlarında kullanılan güç, yapı maliyetinin tasarımında gelişmenin artmasıyla, istasyon sayısı da arttırılmak durumunda kalınır. Olası bir maliyet kullanımı aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} C_{jk} &= C_k && \text{bütün } j \text{ işi için;} \\ N \cdot C_k &\leq C_{k+1} \end{aligned} \quad (2.13)$$

Bunu temin etmek için, fazla sayıda istasyon kullanmadan önce, bütün işlerin tahsis edildiği az sayıda istasyon kullanmak maliyeti azaltmış olur.

Yapı maliyetini tanımlamanın üstünde, amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\text{Min } \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N C_{jk} X_{jk} \quad \text{dir.} \quad (2.14)$$

Tartışma :

Matematiksel formülasyonu bir tamsayılı programlamadır. Biliniyordur ki tamsayılı programlamanın çözümleri çok zordur. Problemin formülasyonunda bu yeterli değildir. Bir tamsayılı programlamada iddia edilen problemin zorluğudur. Montaj hattı dengeleme problemini kurmak için hesaplamalar oldukça zordur. Burada dikkate alınan problemde, özel bir durumdur. Bu özel durum, bu üstlenilmiş öncelikli olanlardan değildir. İşlerin en az sayıdaki iş istasyonlara atanması problemin sonucunu hızlandırır. Bu iyi hazırlanmış “Kutu paketleme problemi” dir. Kutu paketleme problemine ait olan problemler sınıfında en zor hesaplamaları olarak bilinirler (NP – zor problemler).

Bu problemlerin çözümünün kolay metotlarla olduğunu iddia edemezken, ona fazlaca güvenmek gerçekten doğru olabilir.(Çok şekilsel, çok ölçekli). Bu güven için sebep, Kutu – Paketleme problemlerine ait olan, problemler içerisinde bir kategoridir (100 çeşitli).

Bununla ilgili diğer başka yollarla, bu problemin hiç birisinde kolay olarak gösterilmiş ise şayet, bu problemde kolay olarak gösterilebilir. Bu problemlerde, dışarıdan sunulan kolay bir metot, on ayrı yıl için konu hazırlama olarak geçer. Buna fazlaca güvenmek, bulunan böyle bir metot için değildir. Kutu – Paketleme problemi zor bir problemidir. Montaj hattı dengeleme problemlerinin en zor olanıdır. Bilinir ki problemlerde hesaplama zordur. Şimdi tamsayı programlama modeli kullanılarak bu zorluk aşılmış olacaktır. Tamsayı programların çözümüne sembolik yaklaşım olarak, Dal ve Sınır metodu gibi sıralama metodu kullanılır. Çeşitli optimizasyon paket yazılımları (IBM /OSL, CPLEX, MPSIII gibi) ile tamsayı programların çözümleri yapılabilir. Burada son olarak GAMS ve OSL i kullanılabilir. Zaman miktarı, geniş olan problemler için tamamıyla sınırsız olabilir.

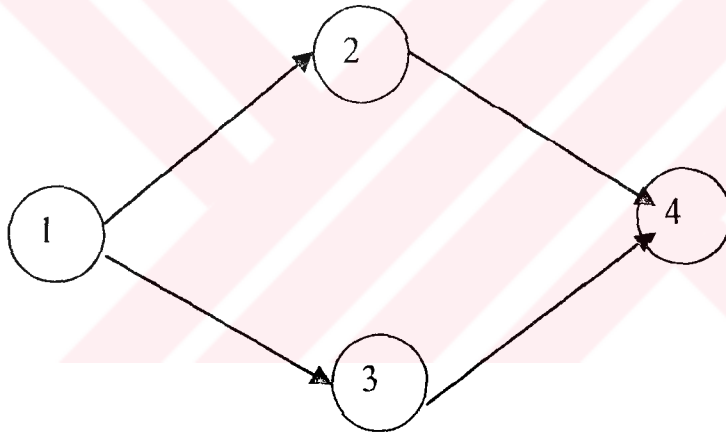
Formülasyonda tamsayı değişkenlerin sayısı büyük ölçüde azaltılabilir. Şayet modeldeki istasyon sayısı azaltılabilirse. Gösterilen her iş için başlangıçta N tane iş istasyonu tanımlanmış olacaktır. Problem sonucunu yaklaşık olarak kullanılan küçük sayılarla ifade edilebilir.

İş Kısıtları :

Modelde dikkate alınan diğer faktörlerde arttırılabilir. Bazı durumlarda aynı iş istasyonlarında yapılmayan işler için bir ayrıntılı çift olarak bu gereklidir. İhtiyaç duyulan böyle kısıtlar, sallanma problemlerinde tehlike arzederler. Böyle durumlarda modele ek kısıtlar ilave edilmelidir. İşlerin j_1 ve j_2 olarak ayrıldığı farzedilirse; Ek olarak tahsis edilecek kısıt :

$$X_{j1k} + X_{j2k} \leq 1 \quad \text{bütün } k = 1, \dots, N \text{ için, şeklinde olacaktır.}$$

Benzer şekilde, aynı iş istasyonunda olan iki tane iş gücü istenmelidir. Bu sık sık yapılan bir durumdur. Çünkü pahalı aletler ve tehlikeli kimyasal maddeler kullanılır. Matematiksel modelde böyle kısıtlar mümkün iken, o, birleşik işler için tek bir iş olarak tercih edilir. Böyle durumlarda, birleştirilmiş en iyi iş, birleştirilmiş diğer işlerin arasına girdirilmiş olabilir. Bir örnek olarak aşağıdaki şekilde gösterilen (Şekil 2.6.), 1 ve 4 işleri aynı iş istasyonunda olabilirler. Her nasılsa, 2 ve 3 işleri bu işlerin arasına girmektedir. Burada bütün 4 tane iş de birleştirilebilir.



Şekil 2.6 : Birleştirilmiş işler

2.9.4. Adımsal Olarak İlerleyen Hatlar için Heuristik

Problemlerden önce hesaplamanın zor olduğu bilinmekte fakat, geniş kapsamlı problemler için doğru sonuç sık sık düzensiz zaman miktarları gerekmektedir. Böyle durumlarda, Heuristik veya yaklaşık bir metot kullanılmaya problem tahsis edilebilir. Eğer problem çok kapsamlı değil ise, iyi bir heuristik sonuç için tamsayılı değişkenlerin sayısı azaltılarak kullanılabilen tamsayılı programlama formülasyonu ve dal ve sınır metodu için bir önceki zorunlu sonucu

vermektedir. Çeşitli sonuçlar elde edilebilen heuristik, alt sınır sonucunu karşılaştırarak belirlenebilir. İstasyon sayısında basit olarak daha aşağı sınırdaki bir montaj hattı dengeleme problemi için çevrim zamanı toplam proses zamanının ayrılması ile hesaplanır.

$$LB = \frac{\sum_{j=1}^N t_j}{C} \quad (2.15)$$

Problem çözümü için bilinen en iyi iki Heuristik dikkate alınacaktır.

Pozisyon Ağırlığı Derecesi :

Heuristik RPW (Pozisyon Ağırlığı Derecesi) nin arkasında kalan ve ideal olarak atanan ilk işleri izleyen işler olarak uzun zincirler halinde olmasıdır. Zincir mesafesi ardıl işlerin iş zamanı toplamı veya ardıl işlerin sayısı ile ölçülebilir. RPW metodunda işin pozisyon ağırlığındaki ardıl işlerin toplam iş zamanları olarak açıklanacaktır. İşler, keyfice kırık bağlantılar ile pozisyon ağırlıklarındaki sıra derecelerini küçültmektir. İşlerin sıra dereceleri ve iş istasyonlarına atanmaları için de seçilmiş olacaktır. Eğer bütün öncel işlerin, iş istasyonuna artı kalan zamana uygun iş varsa atanmış olur. Eğer bir iş, iş istasyonunun artı kalan zamanına uygun değil ise, o iş atlanır ve bir sonraki iş derece sırası olarak seçilmiş olur.

Eğer iş istasyonuna uygun iş yoksa, iş istasyonu kapatılır ve yeni bir iş istasyonu açılır. Listedeki işler başlangıç için bir deneme olarak incelenir. Yeni iş istasyonuna atanmamış işlerin ataması yapılır. Proses de, bütün işler iş istasyonlarına atanana kadar bu işlem tekrarlanır (ASKIN,R.G. & STANDRIDGE, C.R.,1993).

Hesaplama Algoritması:

Biçimsel olarak, S_j yi bütün işlerin, ardıl j işi için tanzim edildiği şeklinde tanımlanabilir.

$$PW_j = t_j + \sum_{j \in S_j} t_j \quad (2.16)$$

j nin pozisyon ağırlığı, işlerde sıra küçültme derecesi olarak ta verilebilir. Öncel bir iş, işin kendi içerisinde yüksek olarak derecelenmiş olacaktır. Bunun manası, pozisyon ağırlığını korumak öncelik diyagramı ile kısmi olarak sıra düzenlemek şeklindedir. Uygunluk için, yüklenilecek iş sayısının derecesi hep aynıdır (Eğer işlerin daima yeniden sayılabilmesi şeklinde değilse). İlave olarak aşağıdaki gibi tanımlanabilir;

A = Yerleştirilen atanmış işler.

W_j = İş istasyonuna hangi j işinin atanmış olduğu.

C_k = k istasyonunun atanmamış kapasitesi.

Algoritmanın gelişimi aşağıdaki gibidir:

Başla:

$k = 1$; $C_k = C$; $j = 1$

Tekrar :

Eğer,

1- $j \notin A$ ve (Eğer iş atanmamış ise)

2- Bütün $i \in P_j$, $i \in A$ için ve (Eğer bütün öncel işler atanmış ise)

3- $t_j \leq C_k$ ise (Eğer istasyon için uygun bir iş ise)

$W_j = k$; $A = A + \{ j \}$; $C_k = C_k - t_j$, (işi, iş istasyonuna ata.)

Değilse:

$$j = j + 1 \quad (\text{ bir sonraki işe geç })$$

Son ise:

Eğer $j > N$ ise

$k = k + 1; C_k = C ; j = 1$ (Eğer mümkün iş yoksa, yeni iş istasyonu aç.)

Son ise :

Git tekrar et.

2.9.5. Comsoal

RPW Heuristik, oldukça iyi sonuçlar verirken, bu sadece tek bir sonuç vermektedir. Çoğu kez kriter bir durum olarak minimum sayıda istasyona sahip olma şeklinde dikkate alınmıştır. Bundan dolayı çeşitli önemli sonuçlar elde etmektedir. Elde edilen bir yol olarak bunda rastgele algoritmalar kullanılır. Böyle bir algoritma, çeşitli mümkün sonuçları meydana getirebilir. Bazı kriterler olarak işe göre “en iyi” işlerin değişkeni yerine seçilmesinden, mümkün olan işlerin rastgele seçilmesindendir. (The Computerized Method for Sequencing Operations on Assembly Lines) Montaj hatlarında art arda gelen operasyonlar için bilgisayarlı metot. (COMSOAL) yönteminde bazı stratejiler kullanılır. Algoritmanın her aşamasında işlerin mümkün olan atamaları gerçekleştirilir ve hazırdaki iş istasyonunun geriye kalan süresine hangi iş uygun ise o belirlenmiş olur. Atanmış olan iş, aynı seçilme olasılıklarına sahip her iş içinden rastgele olarak seçim yapılır.

Hesaplama Algoritması :

Algoritmanın takip ettiği her iterasyon aşağıda tanımlanmıştır:

P_i = Atanmış bütün işlerin öncelleri olarak yerleştirilen işler;

F_i = İstasyonun geriye kalan zamanına uygun P_i den yerleştirilen işler;

$|F_i| = F_i$ e yerleştirilen eleman sayısı.

Algoritmanın gelişimi aşağıdaki gibi olmaktadır:

Başla :

$k = 1$; $C_k = C$; $i = 1$

Tekrar:

P_i , F_i yi sapta.

Eğer $F_i = \emptyset$

F_i deki işlerden eşit olasılıkla olanlardan bir tane seç.

$j \in F_i$ işi seçilir.

$W_j = k$; $C_k = C_k - t_j$; $i = i + 1$ (iş istasyonuna iş atanır.)

Değilse :

$k = k + 1$; $C_k = C$; $i = i + 1$ (eğer iş mümkün değilse, yeni istasyon aç.)

Son ise:

Eğer bütün işler atanmış ise DUR.

Değil ise git tekrar et.

Sonra yeni bir istasyon kurulur, o da önceki sonuçlara karşı mukayese edilir. Tipiksel en iyi birkaç sonuç benimsenir. Sonuçların sayısı kullanıma bağlı olarak benimsenmiş olur. Aynı sonuç birkaç kez daha elde edilebilir.

Geliştirme :

Eşit olasılıktaki rastgele atamalar yerine, üstün olanlar tanımlanır. İyi sonuçları araştırmaya doğru eğilim olasıdır. Örneğin, biliyordur ki, RPW metodu genellikle iyi sonuçlar vermektedir. Bu durumda, onun bulunma nedeni, iş seçiminde yüksek bir olasılığa sahip olması nedeniyle F_i ye yerleştirilen PW (pozisyon ağırlığı) yüksek olandır. Alternatif olarak, kutu paketleme problemlerinde bilinen, genellikle ilk olarak geniş işlerin seçilmesi iyi bir stratejidir. COMSOAL prosesinde değiştirilen ve kullanılan rastgele seçim ideal olarak kullanılabilir (OP – RESEARCH, 1994).

2.10. Ağaçlanma metodu

Ağaçlanmanın sistematik incelemesinde, metot olarak ihtiyaç duyulan şeyler; yerleşim için etkin depolama ve araştırma esnasındaki tarihsel seyirdir. Geriye dönüş, ağaçlanma yaklaşımında çok sık kullanılan bir tekniktir. Araştırmacı, tekrar geri dönüşü emniyet için örtülü bir yol olarak ifade eder.

Geriye dönüşün amacı, birinci – derinlik olarak tarif edilir. Kabul edilen bu yaklaşım, hızlı biten makul bir çözümdür. Gerçi, bu art arda gelen acil üretimin optimal olması beklenemez. Bu durum bilinen ilk olarak tek çıkış yeridir. Her iki çözüm art arda gelen durumun mevcut fizibil bir çözümdür ve üst sınırdır.

Geri dönüş planında genel olarak uygulanan, N tane art arda gelen işin elde edilmiş durumları için karar verme sürecidir. Bu metodun akış diyagramı Şekil 2.7 de verilmiştir.(ASKIN, R. G. & STANDRIDGE, C.R.,1993.)

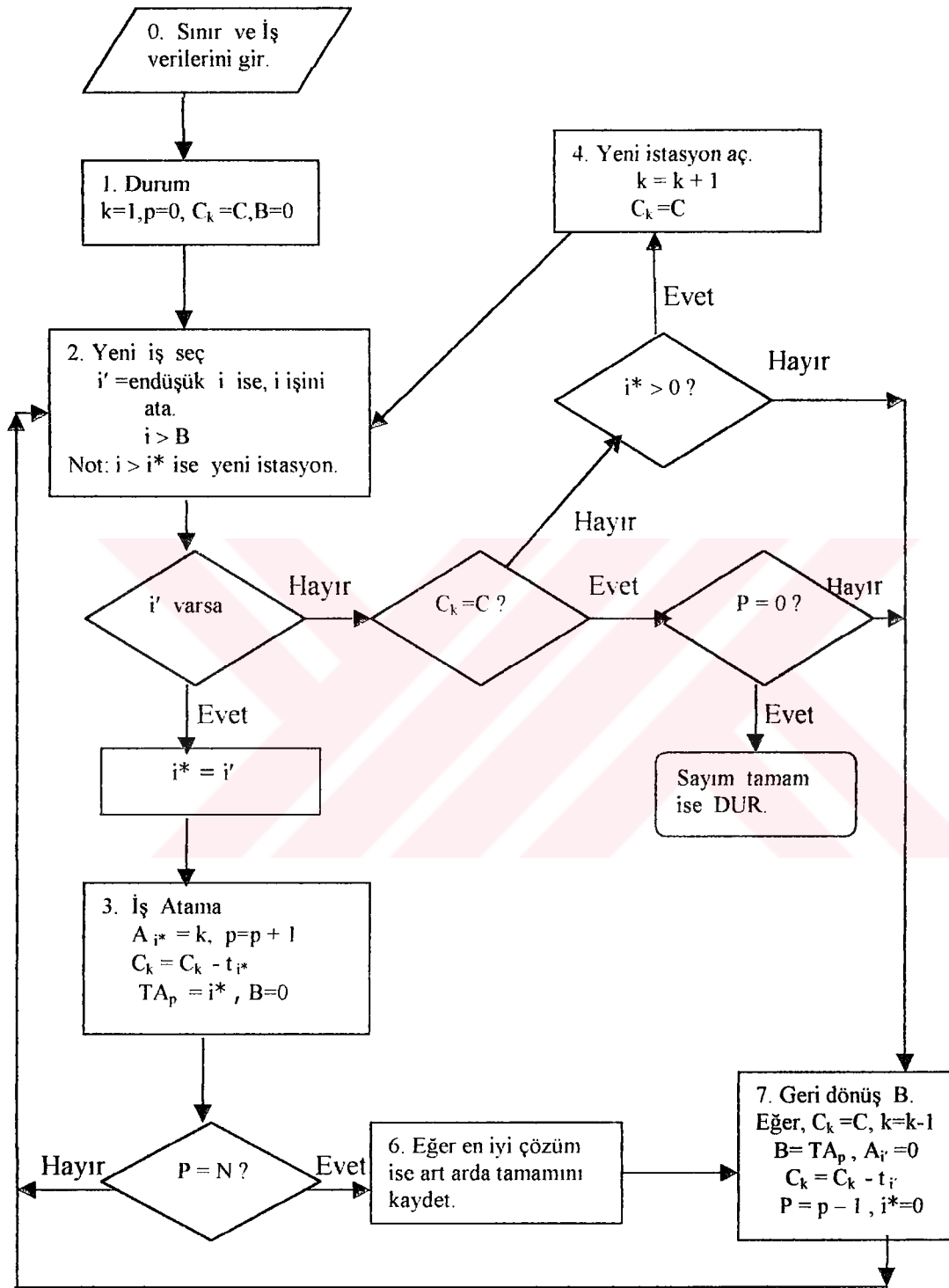
Metot, FABLE prosedürü ile aşağıda verilmiştir;

FABLE Prosedür (Johnson, 1988):

Etkili bir montaj hattı dengeleme için hızlı bir algoritmadır. 1988 yılında Johnson tarafından geliştirilmiştir.

Algoritmanın gelişimi şu şekilde olmaktadır:

- 1- Birinci çözümü oluştur. Gerekli en iyi çözüm için iş istasyonu sayısı K olsun.
 - 2- Veri girme, artan t_i değerinin kontrolü, her iş için üst iş istasyonu sınırını hesapla, mümkün olan üstün iş çiftleri için kontrol et.
 - 3- Ağaçlanmada birinci – derinliği her zaman en düşük sayıyı ekleyip sırala, atanmamış müsait iş ve;
 - a) İstasyon tamamlandığında, metotları kavramayı kontrol et eğer sınır geçilmiş ise geri dönüş yerine yeni bir istasyon aç.
 - b) İş üst sınırları eşit ise her zaman daha iyi bir çözüm kurulabilir, ve;
 - c) Eğer çözüm tamamlanıp hat sınırı denk ise, DUR (K^*).
- (ASKIN, R. G. & STANDRIDGE, C.R.,1993.)



Şekil 2.7. Ağaçlanma Metodu için Akış Şeması

İstasyon sayısının alt sınırı;

$$K^o = \lceil T / C \rceil \quad (2.17)$$

İstasyon sayısının üst sınırı;

$$U_i = K - \lceil (t_i + \sum_{j \in S(i)} t_j) / C \rceil \quad (2.18)$$

Toplam boş zaman, bütün istasyonlardaki;

$$(K - 1).C - (\sum_i t_i) \quad (2.19)$$

U_i = i. işin istasyon sayısı üst sınırı.

K = İstasyon sayısı.

TA_p = p. Atanmış iş.

p = Atanmış iş sayısı.

C_k = k. İstasyondaki boş zaman.

A_i = İstasyona atanmış i işleri kümesi.

i^* = Atanmak için seçilmiş iş.

B = Geriye dönülecek iş.

k = İstasyon sayısı.

t_i = i. işin süresi.

C = Çevrim süresi.

$S(i)$ = i. işinin ardıl iş elemanları kümesi.

T = İş süreleri toplamı.

2.11. Çok Kapaklı Silindir Başlıkları için İlk Otomatik Montaj Hattı

Endüstriyel montaj operasyonlarının motorlu araçlardaki otomasyonda diğer yeni gelişmeleri içerir. Bu yeni gelişmeler, makineli taşıtların montajı için birleştirilmiş güç robotlarının faaliyetleri hakkındadır. Avrupa'nın ilk otomatik montaj hattı için çok kapaklı silindir yapılmasını kabul etmişlerdir. (SIMONIS, G., 1996).



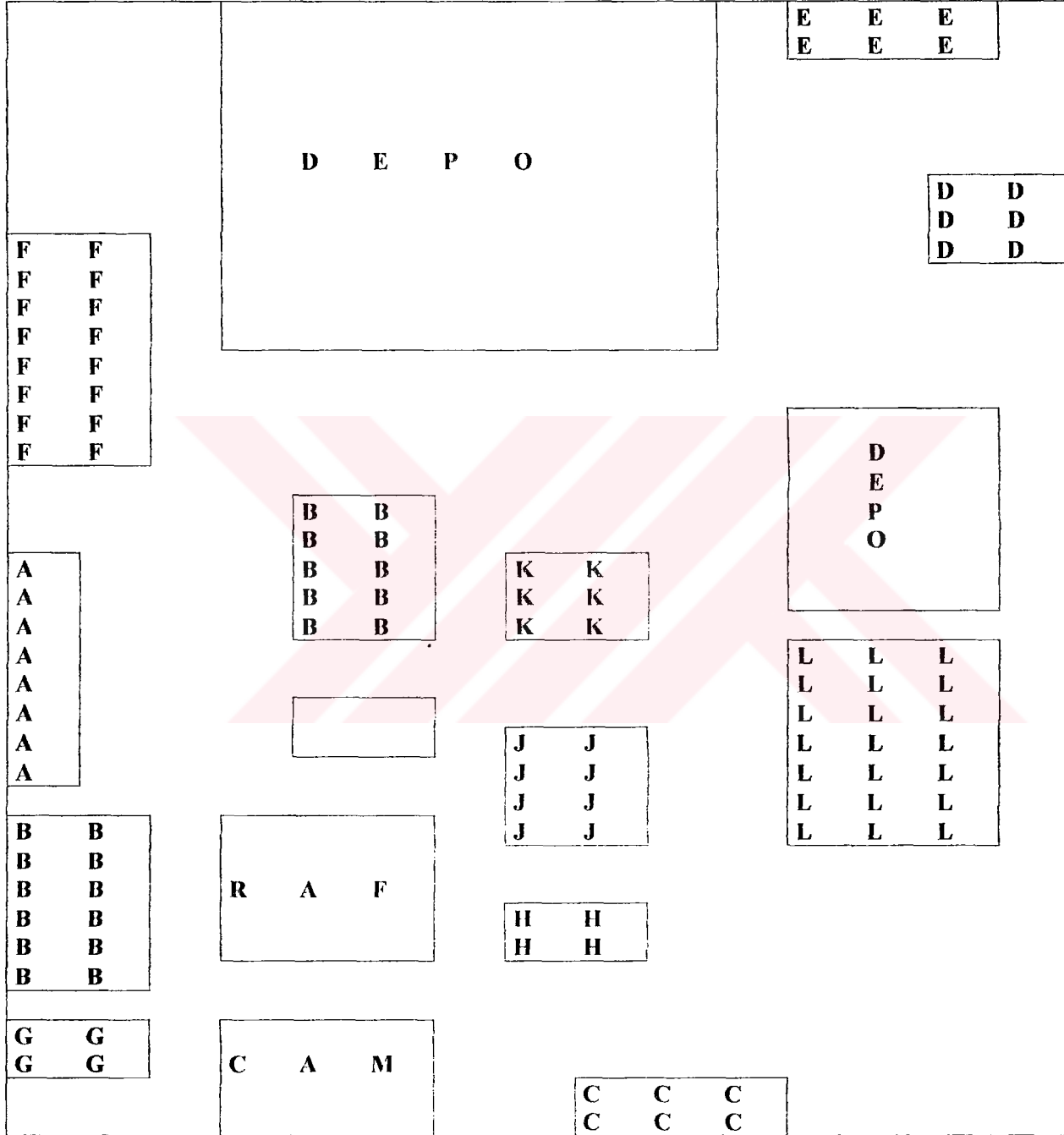
3. MATERYAL VE METOT**3.1. Materyal****3.1.1. Araştırmanın Yapıldığı Yer Hakkında Genel Bilgiler**

Gold Duş firması 1997 yılında kurulmuş, Adana merkez olmak üzere Türkiye genelinde dört bölge müdürlüğü; bunlar, Ankara, İzmir, Antalya ve Samsun bölge müdürlükleri olan, duş kabinleri üreten bir firmadır. Günlük, değişik ölçülerde 120 adet duş ve küvet kabini üretme kapasitesine sahip. Üretimi siparişe göre olan bu firma ortalama ayda 2500 adet kabin üretmektedir. Bu mamulün hammaddesi; Alüminyum Profil, Polyestren cam, Silikon, Çeşitli Plastik Aksamlar, Çeşitli çaplarda vidalar ve 20 mm çapında bilyeli rulmanlar kullanılmaktadır. Bütün bu malzemeler özel tasarımlar olup sadece Gold Duş firması tarafından kullanılmaktadır.

Bu fabrikada yapılan işler; gelen bu hammaddeleri çeşitli işlemlerden geçirerek, sadece bu firmaya ait olan 30 çeşit ve her ölçüde imal edilebilen duş kabinleri üretilmektedir.

Bu firmanın üretmiş olduğu duş ve küvet kabinlerinin imalatının yapıldığı atölyede kurulması düşünülen ideal montaj hattı incelenecektir. Bunun için, ilk önce metot etüdü yapılarak bütün işler elemanter iş elemanlarına ayrılacak sonrada iş ölçümü yapıp çevrim zamanı (C) hesaplanacaktır. Daha sonra, en az sayıda iş istasyonu ile minimum iş gücü ve minimum maliyet sağlanmaya çalışılacaktır.

Bu montaj hattının dengelenmesinden önce, bir montaj hattının yerleşim planının çıkartılması gerekmektedir. Bunun için de işlerin birbiriyle olan ilişkilerine dayanarak bir yerleşim planı geliştirilmiştir. Bu yerleşim planı Şekil 3.1 de verilmiştir.



Şekil 3.1. İmalathanenin Yerleşimi

3.1.2. Metot Etüdü ve İş Ölçümü Verileri

Yapılmış olan metot etüdü ve iş ölçümü ile iş elemanlarının tanımları yapıp, standart süreleri hesaplanmıştır. Bunun için her bir iş elemanına, yerleşim planı için harfler, akış şemaları için rakamlar verilmiştir.

Bu montaj hattında bulunan iş elemanlarının tanımları ile işlem süreleri, Tablo 3.1. de görülmektedir.

Tablo 3.1. İş Ölçüm Sonuç Tablosu ve İş elemanları (iş öğeleri)

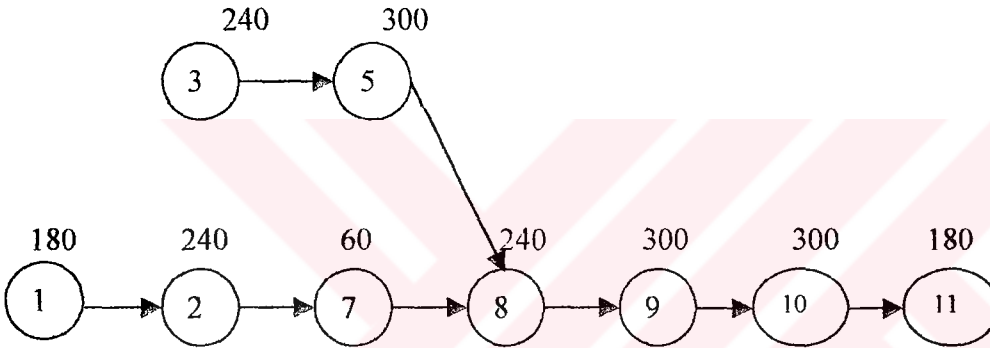
İŞİN TANIMI	SEMB.	AÇIKLAMALAR	İŞ SÜR.(t _i) (saniye)
Profil kesme	A - 1	Siparişin ölçülerine göre profilleri kesilir.	180
Hazırlama	B - 2	Kesilen profillere vida açma, presleme işlemleri yapılır ve vidalar takılır.	240
Cam Kesme	C - 3	Siparişin ölçüsüne göre camlar kesilir.	240
Cam Bükme	D - 4	Bazı modeller için kazanda camlar bükülür	600
Cam Boyama	E - 5	Bazı modeller için istenen renklerde camları boyama işlemi yapılır.	300
Profil Bükme	F - 6	Burada bazı modeller için profiller kesilir ve modele göre bükme işlemi yapılır.	2700
Silikon Çekme	G - 7	Hazırlanan profillere bu bölümde silikon çekilir ve montaja verilir.	60
Montaj	H - 8	Burada silikon çekilen profillere camlar takılarak vidaları sıkılır.	240
Tem.-Kontrol	J - 9	Montajdan gelen parçalar temizlenip rulmanlar, mıknatıs ve plastik aksamalar takılır. Ayrıca paneller birbirine bağlanır.	300
Ambalajlama	K - 10	Ambalaj kutusu hazırlanıp içerisine kabini panelleri ve montaj için gerekli vida ve plastik aksamalar yerleştirilip kutu kapatılır	300
Depo – sevk	L - 11	Ambalajlanmış ürünlerin depolanması ve sevki sağlanır.	180

Bu montaj hattında aslında 4 tip ana ürün için üretim hatları oluşturulmaktadır.

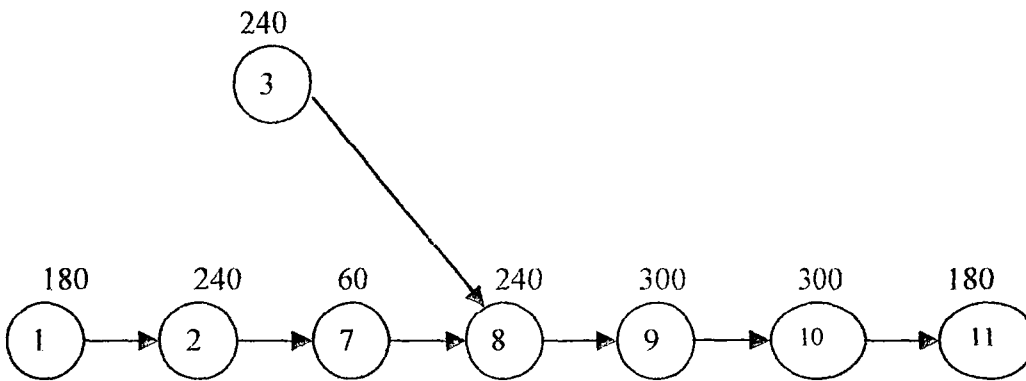
Burada bir tip model için montaj hattı oluşturup dengeleme işlemleri yapılacaktır. Bu modellerin öncelik şemaları Şekil 3.2 de ve Şekil 3.3 de verilmiştir.

1. TİP MODELLER İÇİN

MODEL – 1 : Cam Renkli Olursa ;



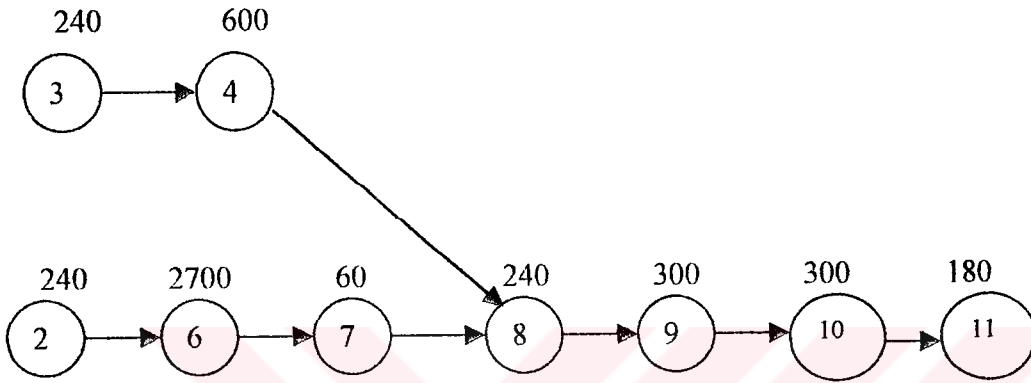
MODEL – 2 : Cam Renksiz olursa;



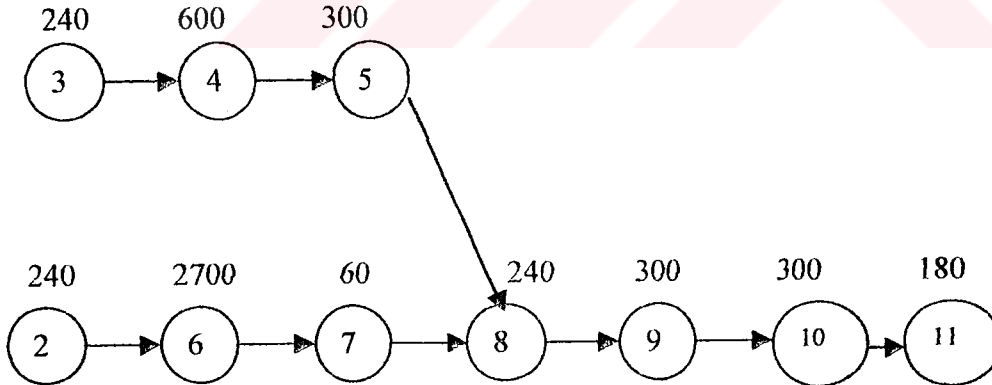
Şekil 3.2. I. Tip Modeller için Öncelik Şeması

II. TİP MODELLER İÇİN;

a) Cam Renksiz olursa;



b) Cam Renkli Olursa;



Şekil 3.3. II. Tip Modeller için Öncelik Şeması

3.2. Metot

3.2.1. Bulgusal Yöntem

Modelin Formülasyonu :

Burada I. Tip modeller de, montaj hattı dengeleme işlemleri için bir çözüm modeli uygulanacaktır.

I. tip modellerde kabinlerin camları renkli olanlar için aşağıdaki Tablo 3.2. de öncül işler, iş süreleri, ardıl işler ve pozisyon ağırlıkları verilmiştir.

Tablo 3.2. Öncül işler, ardıl işler, iş süreleri ve pozisyon ağırlıkları

Eski iş no.	Yeni iş no. (j)	İş süresi (t_i) sn.	Öncül işler P_j	Ardıl işler S_j	Pozisyon ağırlığı (PW)
1	1	180	----	2,5,6,7,8,9	1500
2	2	240	1	5,6,7,8,9	1320
3	3	240	----	4,6,7,8,9	1560
5	4	300	3	6,7,8,9	1320
7	5	60	1,2	6,7,8,9	1080
8	6	240	1,2,3,4,5	7,8,9	1020
9	7	300	1,2,3,4,5,6	8,9	780
10	8	300	1,2,3,4,5,6,7	9	480
11	9	180	1,2,3,4,5,6,7,8	----	180

S_j = j işinden sonra art arda gelen işlerin kümesi,

PW_j = j işinin pozisyon ağırlığı (S_j kümesine ait işlerin iş süreleri toplamı),

A = Yerleştirilmek için atanmış işler,

W_j = İş istasyonuna atanmış olan j işleri,

C_k = k istasyonuna atanmamış kapasite miktarı,

P_j = Öncül işlerin (önce gelen işlerin) kümesi,

k = İstasyon numarası,

j = İş numarası,
 N = İstasyon sayısı,
 i = İterasyon sayısı
 C = Çevrim süresi.

$$PW_j = t_j + \sum_{j \in S_j} t_j \quad \text{şeklinde hesaplanır.}$$

$C = 600$ sn. / ün. Çevrim zamanına göre bu uygulamaya tatbik edilecek metodun algoritması şu şekilde olabilir:

Algoritmanın Gelişimi :

Başla:

$k = 1$; $C_k = C$; $j = 1$

Tekrar:

Eğer:

1- $j \notin A$ ve (j işi atanmamış ise)

2- Bütün $i \in P_j$ ve $i \in A$ için : ve (Şayet bütün önce gelen işler atanmış ise)

3- $t_j \leq C_k$ ise (Eğer j işi k istasyonu için uygun bir iş ise)

$W_j = k$; $A = A + \{j\}$; $C_k = C_k - t_j$ (j işini k istasyonuna ata.)

Değilse :

$j = j + 1$ (bir sonraki işe geç)

Son ise :

Eğer $j > N$ ise

$k = k + 1$; $C_k = C$; $j = 1$ (atanması mümkün bir iş yoksa, yeni istasyon aç.)

Son ise :

Başa giderek bütün bunları tekrar et.

Şimdi bu uygulamanın çözümü adımlar halinde takip edilirse:

- 1- 1. istasyon : 1. İstasyona 1 nolu işi ata. İş istasyonunda geriye kalan süre 420 sn. dir. 2 nolu işin atanması uygun ve mümkündür. Dolayısıyla 2 nolu iş 1. İstasyona atanır. Geriye kalan süre 180 sn. dir. 3 ve 4 nolu işlerin atanması mümkün değildir. 5 nolu işin atanması mümkündür ve atanır. Geriye kalan süre 120 sn. dir. Diğer işlerin hiç birisinin atanması uygun ve mümkün değildir. Dolayısıyla yeni bir istasyon açılır
- 2- 2. İstasyon : 1 ve 2 nolu işler atanmıştır. 3 nolu iş 2. İstasyona atanır. Geriye kalan süre 360 sn. dir. 4 nolu işin atanması uygun ve mümkündür. Dolayısıyla 2. İstasyona atanır. Geriye kalan süre 60 sn. dir. 5 nolu iş atanmıştır. Dolayısıyla diğer işlerin atanması mümkün değildir. Yeni bir istasyon açılır.
- 3- 3. İstasyon : 1 den 5' e kadar olan işlerin hepsi atanmıştır. Dolayısıyla 6 nolu iş bu istasyona atanır. Geriye kalan süre 360 sn. dir. 7 nolu işin istasyona atanması uygun ve mümkündür. Dolayısıyla 7 nolu iş istasyona atanır. Geriye kalan süre 60 sn. dir. Bu durumda diğer işlerin bu istasyona atanması mümkün değildir. Dolayısıyla yeni bir istasyon açılır.
- 4- 4. İstasyon : 1' den 7' ye kadar olan işler istasyonlara atanmıştır. Dolayısıyla 8 nolu işi bu istasyona ata. Geriye kalan süre 300 sn. dir. Son iş olarak 9 nolu iş de bu istasyona atanır. Bu durumda atanmamış iş kalmamıştır.

3.2.2. Bilgisayar Programlama Yöntemi**Yapılan Uygulamanın Programının Tanıtılması :**

Burada yapılan araştırma ile ilgili bilgisayar programı açıklanacaktır. Yapılan bilgisayar programının ilk önce içeriği hakkında bilgiler verilerek, kullanılan değişkenlerin tanımları yapılacak. Sonra bilgisayar programının akış şeması çizilecek. Daha sonra program ve elde edilen sonuçlar ortaya konulacaktır.

Program, FORTRAN dilinde yazılmıştır. Alt programlarca ortak kullanılan bilgiler COMMON deyimi ile taşınmaktadır. Giriş bilgileri, yöntemlere ait alt programlar içinde okutulmaktadır.

Programda, Yöntem – I ve Yöntem – II olmak üzere iki çeşit montaj hattı dengeleme yöntemine yer verilmiştir. Bu yöntemler de Mansoor ve Helgeson – Birnie yöntemlerinden faydalanılarak ortaya konmuştur. Yapılan bu program ile büyük boyutlu montaj hatları dengeleme problemleri rahatlıkla çözülebilir.

Yöntem – 1 : Bu yöntemin algoritması aşağıda verilmiştir.

Maximum istasyon sayısı şöyle belirlenmiştir:

$$n_{\max} = \frac{T}{t_{\max}}$$

$n_{\max}$ = Maximum iş istasyonu sayısı,

$t_{\max}$ = Maximim iş elemanı süresi,

T = Toplam çalışma süresi.

4- Çevrim zamanını şu bağıntı verir;

$$C_1 = \frac{T}{n} = P + \frac{S}{n}$$

Burada ;

S = kalan

Eğer $S = 0$ ise gerçek denge mümkündür.

Eğer $S \neq 0$ ise gerçek denge mümkün değildir. Bu halde C bir üst sayıya yuvarlatılmalıdır. Bu durumda problemde $(n - S)$ ekstre zamanı yani gevşeme zamanı oluşur.

Yöntemin algoritması şu şekilde sıralanabilir;

- 1- Mümkün olan iş istasyonlarının sayısına göre uygun en düşük zamanlı çevrim süresi seçilir. Elde edilen gevşeme zamanı kaydedilir.
- 2- En yüksek derecelenmiş konumsal ağırlıkları iş üniteleri seçilir ve ilk istasyona tahsis edilir.
- 3- İstasyona tahsis edilmiş elemanların toplam zamanları bulunur ve toplamı çevrim zamanından çıkartılarak tahsis edilmemiş zaman bulunur.
- 4- Geriye kalan en yüksek derecelenmiş konumsal ağırlıklı iş ünitesi seçilir ve aşağıdaki kontrol yapıldıktan sonra iş istasyonuna tahsis edilir.
 - c) Halihazırda tahsis edilmiş iş ünitelerinin listesi kontrol edilir. Eğer öncelik sırası bozulmayacak şekilde tahsis yapılmışsa 4-b adımına geçilir. Eğer öncelik sırası bozulacak şekilde tahsis yapılmış ise 5 adımına geçilir.
 - d) İş ünite zamanı çevrim zamanından çıkartılır. Geriye kalan zaman iş ünite zamanından daha fazla ise iş ünitesine o iş de tahsis edilir. Eğer kalan zaman iş ünitesinin zamanından büyük ise adım – 5 geçilir.

- 5- Aşağıdaki iki şarttan biri mümkün ise bu koşullar sağlanıncaya kadar seçmeye, tahsis etmeye ve kontrol etmeye devam edilir.
- c) Geri kalan tahsis edilmemiş zamanın mevcut gevşeme değerine eşit veya bundan daha az olduğu yerde bir kombinezon elde edilmiş olur ve adım – 8 e geçilir.
 - d) Tahsis edilmemiş eleman kalmayıncaya kadar öncelik hakkını da sağlayan bütün iş üniteleri tahsis edilmiştir ve adım – 8 e geçilir.
- 6- En düşük seviyedeki derecelenmiş konumsal ağırlığa sahip olanlardan biriyle başlayarak sırayla her tahsis edilmiş iş ünitesi silinir ve aşağıdakilerden biri meydana gelinceye kadar adım – 4 ve adım – 5 e gidilir.
- c) Geri kalan tahsis edilmemiş zamanın elde edilmiş gevşeme birimlerine eşit veya o zamandan küçük olduğu yerde bir kombinezon meydana gelir ve adım – 8 e gidilir.
 - d) Mamulün kombinezonları mevcut gevşeme biriminin büyüklüğü içine tahsis edilmemişlerse bu durumda hiçbir çözüm mevcut değildir.
- 7- Çevrim zamanı bir birim arttırılır ve tekrar aynı işlemleri, yani çevrim zamanı ile yapılmak üzere 2. Adıma geçilir.
- 8- Bu halde 2. İş istasyonuna en yüksek mevkisel ağırlıklı tahsis edilmemiş iş birimi tahsis edilir ve aynı şekilde diğer aşamalar yerine getirilir.
- 9- Bütün iş üniteleri tahsis edilinceye kadar iş istasyonlarına, iş birimlerinin tahsisine devam edilir. O zaman montaj hattı dengeleme probleminde bir çözüm bulunmuş olacaktır.

Yöntem – 2 : Bu yöntemin işleyiş mantığı; pozisyon ağırlığı hesaplanacak bir iş elemanı için, o iş elemanının kendi ağırlığına onu izleyen iş elemanların süreleri eklenir. Bu yöntemin işleyiş algoritması aşağıdaki gibidir:

Algoritmanın gelişimi;

- 1- Öncelik matrisi oluşturulur ve her iş elemanının pozisyon ağırlıkları hesaplanır.
- 2- İlk gelen ve pozisyon ağırlığı en büyük olan iş elemanı seçilir ve iş istasyonuna atanır.
- 3- İkinci bir aşamaya geçiş aşağıdaki sıra ile yapılır:

Eğer işlem sürelerinin toplamı çevrim süresinden fazla veya bir önceki işlem gerekli oluyorsa o iş istasyonuna yapılacak olan atamalar tamamlanmış olur. Dolayısıyla yeni bir istasyon açılır. Bu işleme atanacak iş elemanı kalmıyınca kadar devam edilir.

Alt Programların Tanıtılması :

- SUBROUTINE PWHEŞAP : Bu alt program iş elemanlarının pozisyon ağırlıklarını hesaplar.
- SUBROUTINE PWS : Bu alt program iş elemanlarını pozisyon ağırlıklarına göre sıralar.
- SUBROUTINE TOP : Toplam çalışma süresini hesaplar.
- SUBROUTINE MAXIS : Bu alt program verilen problemin maximum iş istasyonu sayısını hesaplar ve yazar. Ayrıca başlangıçta mevcut olan gevşeme süresini hesaplar ve IACV isimli SUBROUTINE alt programını çağırır.
- SUBROUTINE IACV : Mevcut gevşeme süresini kullanarak; istasyon, istasyonlara atanan iş elemanları ve çıkış verimliliğini hesaplar ve yazar. Optimum istasyon sayısı için gerekirse yeni bir Çevrim Süresi ve buna bağlı olarak yeni gevşeme süresi hesaplar.

- SUBROUTINE ITH : Bu alt program Yöntem – II ye göre SUBROUTINE PWS alt programı tarafından pozisyon ağırlıklarına göre sıralanmış olan iş elemanlarını istasyonlara atar. Mevcut istasyon sayısı, her istasyona atanan eleman sayısı ve iş elemanlarına ait toplam süreyi hesaplar ve yazar.
- SUBROUTINE BOSZ : Bu alt program, SUBROUTINE ITH alt programı tarafından hesaplanan her istasyona ait birikimli süreyi Çevrim süresinden çıkararak her istasyona ait boş zamanı ve probleme ait toplam boş zamanı hesaplar ve yazar.

Programda Kullanılan Değişkenler :

- SEC : Yöntem – I ve Yöntem – II yi seçme kodu.
- N : Eleman sayısı.
- TOPCS : Problemin toplam çalışma süresini tanımlar.
- MAXIE : Probleme ait iş elemanlarından maximum süreye sahip olan iş elemanı süresini tanımlar.
- CV : Çıkış verimliliğini tanımlar.
- NMAX : Probleme ait maximum iş istasyonu sayısını tanımlar.
- CT : Çevrim süresini tanımlar.
- IDTOP : Yöntem – II ye göre toplam boş zamanı tanımlar.
- L : Başlangıç ve bitiş gecikmeli problemi çalıştırmak için kullanılan lojik ifade.
- ED (I) : İş elemanlarının tanımlandığı dizi.
- SS (I) : İş elemanlarını sürelerinin tanımlandığı dizi.
- PW (I) : İş elemanlarına ait pozisyon ağırlıklarının tanımlandığı dizi.
- GS (I) : Gevşeme süresinin tanımlandığı dizi.
- TSI (I) : Bir istasyona ait toplam sürenin tanımlandığı dizi.

- ISS (I) : IEM matrisinin sütun sayısının tanımlandığı dizi.
- ISGS (I) : Her istasyona tahsis edilen gevşeme süresinin tanımlandığı dizi.
- BOSI (I) : Yöntem – II ye göre her istasyona ait boş zamanların tanımlandığı dizi.
- IM (I,J) : Probleme giriş bilgisi olarak verilen iş elemanlarının öncelik ilişkilerinin tanımlandığı iki boyutlu dizi.
- IEM (I,J) : Her istasyona tahsis edilen iş elemanlarının tanımlandığı iki boyutlu çıkış dizisi.

Tanıtılan bu programla yapılan araştırmalar sonucunda elde edilen veriler kullanılarak, montaj hattı dengeleme problemi için bir örnek çıktı elde edilecektir. Elde edilen çıktılar, akış diyagramları ve program eklerde verilmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Bulgusal Yöntemlerin Sonuçları

4.1.1. Öncelik Diyagramı İle Çözüm (Hoffman) Yönteminin Uygulama Sonuçları

Alüminyum çerçeve imal eden bir fabrikada 8 iş ögesi ve bunların tarifleri aşağıdaki tabloda verilmiştir. Yöneticiler etkin bir montaj hattının kurulup, istasyon sayısını minimum yapacak olan verimli bir hattın kurulmasını istemektedirler. Alüminyum çerçevenin montaj dizaynında günlük kapasitenin 320 adet olması istenmektedir. Günlük çalışma süresi 8 saattir (TESİS PLANLAMA, 1992).

Bütün bu verilere göre:

- Çevrim süresini,
- Teknolojik öncelik diyagramını,
- En az kaç istasyon gerekli olduğunu,
- Hoffman yöntemiyle bu problemin çözümü.

Tablo 4.1. İş ögeleri ve faaliyetler

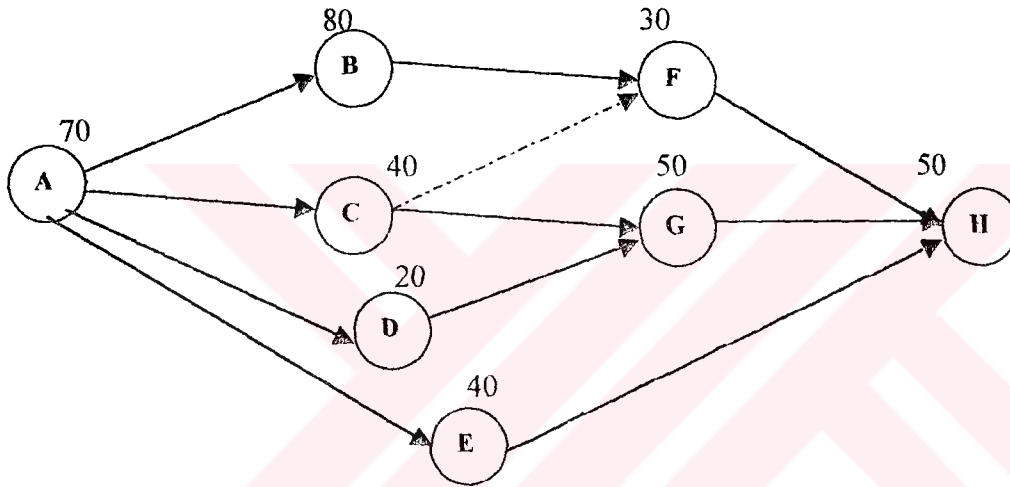
İş ögeleri	Daha önceki iş ögeleri	Faaliyetlerin Tanımı	Süre (sn)
A	—	Çerçeveleri birleştirme	70
B	A	Lastik bantların konması	80
C	A	Çerçeve vidasının konması	40
D	A	Çerçeve mandalının konması	20
E	A	Çerçeve kolunun konması	40
F	B,C	Camın takılması	30
G	C	Çerçeve vidalarının montajının yapıl.	50
H	F,D,E,G	Kontrol ve Ambalaj	50
		Toplam	380

Çözüm:

Eşitlik (1.1) den;

a) $C = T/N = 8.60.60 / 320 = 90$ sn/çerçeve

b) Teknolojik öncelik diyagramı,



Şekil 4.1. Öncelik şeması

Eşitlik (1.2) den;

c) $n_{\text{enaz}} = \sum t_i / C = 380 / 90 = 4.22$ istasyon olmalı.

d) İlk önce, öncelik matrisini oluşturalım.

Tablo 4.2. İlk durum tablosu

	A	B	C	D	E	F	G	H
A	0	1	1	1	1	0	0	0
B	0	0	0	0	0	1	0	0
C	0	0	0	0	0	1	1	0
D	0	0	0	0	0	0	0	1
E	0	0	0	0	0	0	0	1
F	0	0	0	0	0	0	0	1
G	0	0	0	0	0	0	0	1
H	0	0	0	0	0	0	0	0
Kod no. Dizisi	0	1	1	1	1	2	1	4

Kod numarası dizisi içinde sıfır (0) değerine sahip tek iş ögesi bulunmaktadır.

O da A iş ögesidir. Bu ögeyi 1. İstasyona atanır. Kalan istasyon süresi $C-t_A = 90-70 = 20$ olur. Şimdi A satır ve sütununu öncelik matrisinden çıkartıp yeni kod numarası dizisini elde edilecektir.

Tablo 4.3. Ara Çözüm

	B	C	D	E	F	G	H
B	0	0	0	0	1	0	0
C	0	0	0	0	1	1	0
D	0	0	0	0	0	0	1
E	0	0	0	0	0	0	1
F	0	0	0	0	0	0	1
G	0	0	0	0	0	0	1
H	0	0	0	0	0	0	0
Kod no. Dizisi	0	0	0	0	2	1	4

Kod numarası dizisi içinde soldan sağa doğru ilk sıfır (0) değerine B iş ögesinde rastlanmaktadır. Bu ögenin süresi 1.İstasyonun kalan süresinden daha büyük olduğundan dolayı bir sonraki iş ögesi C de, 1.İstasyonun kalan süresinden daha fazla olduğu için bir sonraki D iş ögesinin süresi 1. İstasyonun kalan süresine eşit

olduğu için yani; $20 - t_{1j} = 20 - 20 = 0$ olduğundan 1. İstasyona D iş ögesi de atanmış olur ve böylelikle 1. İstasyona atama tamamlanmıştır.

Şimdi sıra 2. İstasyon atamalarıdır. Öncelikle D ögesinin bulunduğu satır ve sütun çıkartıldıktan sonra yeni kod numarası dizisini elde edilir.

Tablo 4.4. Ara Çözüm

	B	C	E	F	G	H
B	0	0	0	1	0	0
C	0	0	0	1	1	0
E	0	0	0	0	0	1
F	0	0	0	0	0	1
G	0	0	0	0	0	1
H	0	0	0	0	0	0
Kod no. Dizisi	0	0	0	2	1	3

Yeni kod numarası dizisinde sıfır (0) değerli B,C ve E iş öğeleri bulunmaktadır. Soldan sağa doğru ilk sıfır (0) değerine B iş ögesi sahiptir. Dolayısıyla 2. İstasyona B iş ögesi ilk olarak atanır. Kalan istasyon süresi, $C - t_B = 90 - 80 = 10$ olur. Daha sonra sıfır (0) değerine sahip C ve E iş öğelerini bu istasyona atanıp, atamama durumuna bakılır. İkisinin süresi de 40 sn olduğundan 2. İstasyona başka bir iş ögesi atanmalıdır.

B iş ögesini matristen satır ve sütun olarak çıkardıktan sonra, bu atama işlemlerine bu şekilde devam edilir.

Sonuçta, 3. İstasyona C ve G iş öğeleri, 4. İstasyona E ve F iş öğeleri ve 5. İstasyona ise sadece H iş ögesi atanmış olur. Bu durumda şu sonuç tablosu elde edilebilir:

Tablo 4.5. Sonuç tablosu

İstasyon	İş Ögesi	Süre (sn)	Birikimli süre	Boş süre
1	A	70	70	20
	D	20	90	0
2	B	80	80	10
3	C	40	40	50
	G	50	90	0
4	E	40	40	50
	F	30	70	20
5	H	50	50	40

Bu durumda Denge Kaybı: Eşitlik (1.4) den;

$$D = \frac{n.C - \sum t_i}{n.C} = \frac{5 \cdot 90 - 380}{5 \cdot 90} = 0,1555$$

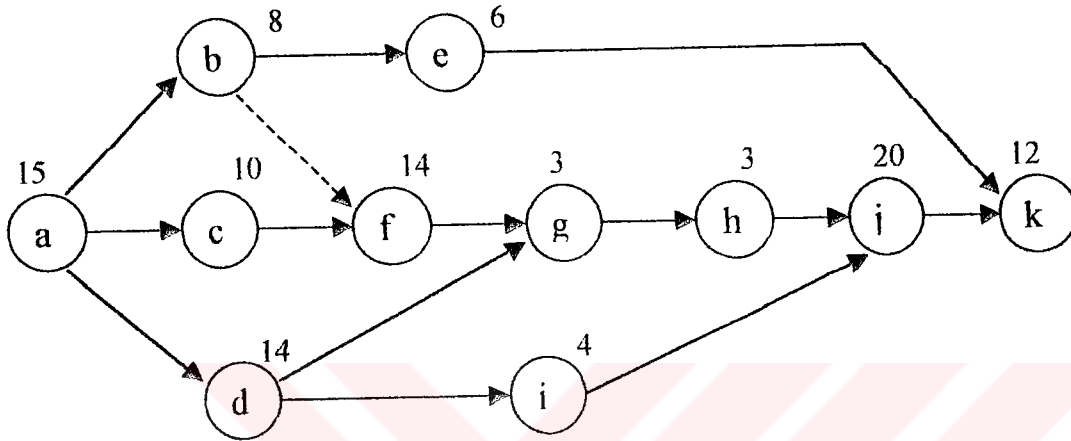
$$= \% 15,55$$

olur.

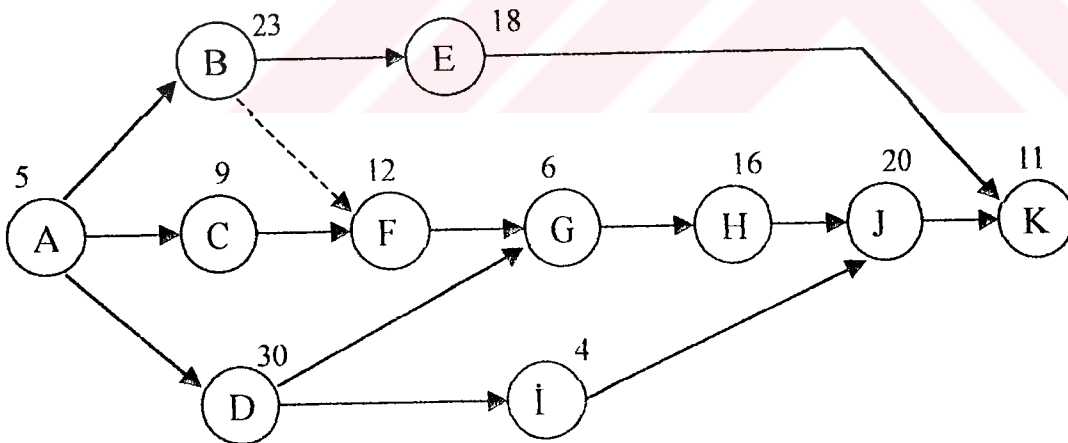
4.1.2. Pozisyon Ağırlığı Derecesi Yönteminin Uygulama Sonuçları

(ASKIN, R.G.,1993); Aşağıda ön şemaları verilen (Şekil 4.2.) iki farklı durum için çevrim süreleri verilmiştir. Her iki durum içinde talep ölçüleri aynıdır. İşlerin istasyonlara en uygun şekilde, gerekli istasyon sayısını minimize ederek tahsis edilip, bu iki durum karşılaştırılacaktır.

I. durum : $C = 40$ ve $\Sigma t_i = 109$



II. durum : $C = 40$ ve $\Sigma t_i = 154$



Şekil 4.2. Öncelik şeması

Çözüm : I. Durum için $C = 40$ ve $\Sigma t_i = 109$ eşitlik (1.2) den

$$n_{\text{enaz}} = \frac{\sum t_i}{C} = \frac{109}{40} = [2,725] = 3 \text{ minimum}$$

istasyon sayısı

Tablo 4.6. İşlerin Pozisyon Ağırlıkları

İŞ	POZİSYON AĞIRLIĞI	P.A. SIRASI
a	109	1
b	66	2
c	62	3
d	56	4
e	18	10
f	52	5
g	38	6
h	35	8
i	36	7
j	32	9
k	12	11

Pozisyon ağırlığı en yüksek olan a işidir. Dolayısıyla 1. İstasyona a işi atanırsa geriye $C - t_a = 40 - 15 = 25$ süre kalır. İkinci olarak atanacak iş pozisyon ağırlığına göre b işi olacaktır. Dolayısıyla 1. İstasyona b işi atanırsa geriye kalan süre $25 - t_b = 17$ süre kalır. Geriye kalan süreye ancak e işi atanabilir.

2. istasyona d işi atanırsa, $C - t_d = 40 - 14 = 26$ süresi kalır. Sonra 2. İstasyona ağırlık pozisyonuna göre f işi atanabilir. $26 - 14 = 12$ süre kalır. Geri kalan süreye göre 2. İstasyona g, i ve h işleri atanabilir.

3. istasyona ise j ve k işleri atanır.

Yapılan atamalar sonucunda elde edilen sonuç tablosu Tablo 4.7. de verilmiştir.

Tablo 4.7. Sonuç tablosu – 1

İSTASYON	İŞ	SÜRE	BİRK. SÜRE	BOŞ SÜRE
1	a	15	15	25
	b	8	23	17
	c	10	33	7
	e	6	39	1
2	d	14	14	26
	f	14	28	12
	g	3	31	9
	i	4	35	5
	h	3	38	2
3	j	20	20	20
	k	12	32	8

Denge kaybı: Eşitlik (1.4) den;

$$D = \frac{n \cdot C - \sum_{i=1}^N t_i}{n \cdot C} = \frac{3 \cdot 40 - 109}{3 \cdot 40} = 0,091$$

$$= \% 9,1$$

2. Durum için : C = 40 ve $\sum t_i = 154$ eşitlik (1.2) den;

$$n_{\text{enaz}} = \frac{\sum t_i}{C} = \frac{154}{40} = [3,85] = 4 \text{ minimum istasyon sayısı}$$

Tablo 4.8. İşlerin Pozisyon Ağırlıkları

İŞ	POZİSYON AĞIRLIĞI	P.A. SIRASI
A	154	1
B	106	2
C	74	4
D	87	3
E	29	10
F	65	5
G	53	6
H	47	7
I	35	8
J	31	9
K	11	11

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

ADEM İSPİR

Burada pozisyon ağırlığı en yüksek olan iş A dır. Dolayısıyla 1. İstasyona A işi atanır. $C - t_A = 40 - 5 = 35$ süre kalır. Sonra B işi atanabilir ve B işi atanırsa $35 - t_B = 12$ süre kalır. Sonra 1.İstasyona kalan süreye göre C işi atanır. $12 - t_C = 3$

2. istasyona ilk olarak D işi atanır. $C - t_D = 10$ olur. Geri kalan süreye göre 2. İstasyona bir de İ işi atanabilir. $10 - t_I = 6$ olur.

3. istasyona F işi atanırsa $C - t_F = 28$, 2. İş olarak G ve 3. İş olarak H işleri atanabilir. Geriye 6 süresi kalır.

4. istasyona J işi ve sonra E işi atanabilir.

5. istasyona ise tek başına K işi atanır.

Bu atamaların yapılmış olduğu son durum Tablo 4.9. da verilmiştir.

Tablo 4.9. Sonuç tablosu – 2

İSTASYON	İŞ	SÜRE	BİRK. SÜRE	BOŞ SÜRE
1	A	5	5	35
	B	23	28	12
	C	9	37	3
2	D	30	30	10
	I	4	34	6
3	F	12	12	28
	G	6	18	22
	H	16	34	6
4	J	20	20	20
	E	18	38	2
5	K	11	11	29

Denge kaybı: Eşitlik (1.4) den

$$D = \frac{n \cdot C - \sum_{i=1}^N t_i}{n \cdot C} = \frac{5 \cdot 40 - 154}{5 \cdot 40} = 0,23$$

= % 23

Bu iki durumdan görüldüğü gibi 1. Durumun denge kaybı daha düşük ve dolayısıyla daha verimli çalışacaktır. İkinci durum da ise denge kaybı çok yüksektir. Dolayısıyla dengelenen hat verimli ve ekonomik değildir.

4.1.3. Model – 1 için Bulgusal Yöntem Sonuçları

Kabinlerin camları renkli olduğu modeller için kurulacak bir montaj hattında, karşımıza şu sonuçlar çıkmaktadır. Elde edilen bu sonuçlar Tablo 4.10. de verilmiştir.

Tablo 4.10. Model – 1 in bulgusal çözüm tablosu

İstasyon	İş Ögesi	İş Süresi (sn.)	Birikimli süre	Boş süre
1	1	180	180	420
	2	240	420	180
	5	60	480	120
2	3	240	240	360
	4	300	540	60
3	6	240	240	360
	7	300	540	60
4	8	300	300	300
	9	180	480	120

Bu durumda denge kaybı: Eşitlik (1.4) den;

$$D = \frac{n.C - \sum t_j}{n.C} = \frac{4 . 600 - 2040}{4 . 600} = 0,15 = \% 15$$

olur.

Şayet Çevrim Süresini $C = 540$ sn. olsaydı bu durumda çözüm; yine aynı adımlar tekrarlanarak şu sonuca varılmış olunacaktır. Bu durum Tablo 4.11 de verilmiştir.

Tablo 4.11. Model – 1 için Alternatif durum tablosu

Istasyon	İş Ögesi	İş Süresi (sn.)	Birikimli süre	Boş süre
1	1	180	180	360
	2	240	420	120
	5	60	480	60
2	3	240	240	300
	4	300	540	0
3	6	240	240	300
	7	300	540	0
4	8	300	300	240
	9	180	480	60

Bu alternatif durum için denge kaybı ise şu şekilde olmaktadır: Eşitlik (1.4) den;

$$D = \frac{n.C - \sum t_j}{n.C} = \frac{4 \cdot 540 - 2040}{4 \cdot 540} = 0,055 = \% 5,55$$

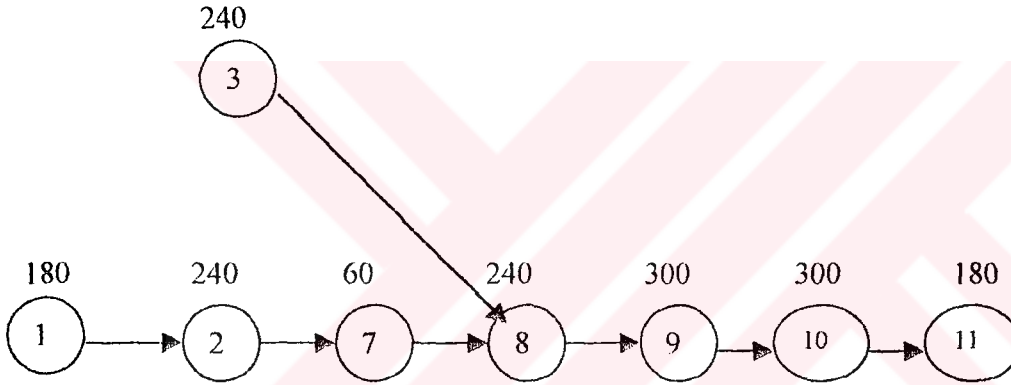
olmaktadır.

Burada dikkat çeken durum; atanan işler ve istasyon sayısı değişmemesine rağmen denge kaybı % 5 lere düşmüş oldu. Buda iyi bir dengelemedir. Dolayısıyla bu uygulama için çevrim süresi $C = 540$ sn. olması daha uygun olmaktadır. Çünkü verimlilik % 95 lere çıkmış olmaktadır.

4.1.4. Model – 2 için Bulgusal Yöntem Sonuçları

Bu uygulamanın bir başka versiyonu olarak; İmalatı yapılan mamulün camının renksiz olması durumu için nasıl bir montaj hattı dengeleme olabileceğini araştırılırsa, karşımıza Model – 2 olarak adlandırılan ikinci bir problem modeli ortaya çıkacaktır.

Aşağıda Şekil 4.3 de verilen II. Tipin renksiz modelleri için öncelik şemasıdır.



Şekil 4.3 Renksiz camlı modeller (Model – 2) için öncelik şeması

Yukarıdaki şeklin uygulaması için Tablo 4.12 de öncül işler, iş süreleri, ardıl işler ve pozisyon ağırlıkları verilmiştir.

Tablo 4.12. Model-2 için Öncül işler, iş süreleri, ardıl işler ve pozisyon ağırlıkları

Eski iş no.	Yeni iş no. (j)	İş süresi (t _i) sn.	Öncül işler P _j	Ardıl işler S _j	Pozisyon ağırlığı (PW)
1	1	180	---	2,4,5,6,7,8	1500
2	2	240	1	4,5,6,7,8	1320
3	3	240	---	5,6,7,8	1260
7	4	60	1,2	5,6,7,8	1080
8	5	240	1,2,3,4	6,7,8	1020
9	6	300	1,2,3,4,5	7,8	780
10	7	300	1,2,3,4,5,6	8	480
11	8	180	1,2,3,4,5,6,7	---	180

Şimdi bu uygulama da farklı çevrim süreleri için dengenin nasıl bir durum arz ettiği görülecektir. Burada çevrim sürelerinin şu değerleri için bu uygulama incelenecektir; (C = 600 sn. , C = 540 sn. , C = 480 sn.).

Buradaki C = 600 sn. için ortaya çıkan durum Tablo 4.13 de verilmiştir. C = 540 sn. için ortaya çıkan durum Tablo 4.14 da verilmiştir. Son olarak C = 480 sn. için ortaya çıkan durum Tablo 4.15 de verilmiştir.

Tablo 4.13. Model – 2 de C = 600 sn için Çözüm tablosu

İstasyon	İş Ögesi	İş Süresi (sn.)	Birikimli süre	Boş süre
1	1	180	180	420
	2	240	420	180
	4	60	480	120
2	3	240	240	360
	5	240	480	120
3	6	300	300	300
	7	300	600	0
4	8	180	180	420

Bu durumda denge kaybı: Eşitlik (1.4) den:

$$D = \frac{n.C - \sum t_i}{n.C} = \frac{4 \cdot 600 - 1740}{4 \cdot 600} = 0,275 = \% 27,5$$

olur.

Tablo 4.14. Model – 2 de C = 540 sn için Çözüm tablosu

İstasyon	İş Ögesi	İş Süresi (sn.)	Birikimli süre	Boş süre
1	1	180	180	360
	2	240	420	120
	4	60	480	60
2	3	240	240	300
	5	240	480	60
3	6	300	300	240
4	7	300	300	240
	8	180	480	60

Bu durumda denge kaybı: Eşitlik (1.4) den:

$$D = \frac{n.C - \sum t_i}{n.C} = \frac{4 \cdot 540 - 1740}{4 \cdot 540} = 0,194$$

$$= \% 19,4$$

olur.

Tablo 4.15. Model – 2 de C = 480 sn için Çözüm tablosu

İstasyon	İş Ögesi	İş Süresi (sn.)	Birikimli süre	Boş süre
1	1	180	180	300
	2	240	420	60
	4	60	480	0
2	3	240	240	240
	5	240	480	0
3	6	300	300	180
4	7	300	300	180
	8	180	480	0

Bu durumda denge kaybı: Eşitlik (1.4) den:

$$D = \frac{n.C - \sum t_j}{n.C} = \frac{4 \cdot 480 - 1740}{4 \cdot 480} = 0,0937$$

$$= \% 9,37$$

olur.

4.2. Model – 2 için Fable Metodunun Sonuçları

Şekil 4.3. de öncelik şeması verilen Model – 2 probleminin çözümü için ilk önce günlük üretim miktarına göre çevrim süresi tespit edilecektir. Günlük üretimin 100 adet olması durumunda, çevrim süresi (C) :

$$C = \frac{1 \text{ hafta}}{500 \text{ adet}} \cdot \frac{5 \text{ gün}}{\text{hafta}} \cdot \frac{1 \text{ vardiyeye}}{\text{gün}} \cdot \frac{510 \text{ dakika}}{\text{vardiyeye}} = 5,1 \frac{\text{dakika}}{\text{adet}}$$

C = 300 olur.

İş	süre(t _j)	Pozisyon Ağırlığı (PW _j)
1	180	1500
2	240	1320
3	60	1080
4	240	1260
5	240	1020
6	300	780
7	300	480
8	180	180

iş atanır, 5. İstasyona 6 nolu iş atanır, 6. İstasyona 7 nolu iş atanır ve 7. İstasyona da 8 nolu iş atanır.

Burada karşımıza optimum olan 4 alternatif çözüm çıkmaktadır. Optimum çözümdeki istasyon sayısı 7 olmaktadır.

İstasyondaki toplam boş süre 360 dır.

Dolayısıyla hattın etkinliği; eşitlik (1.6) dan; % 82,86 dır.

Alternatif bir durum için şayet çevrim süresi; $C = 480$ olursa:

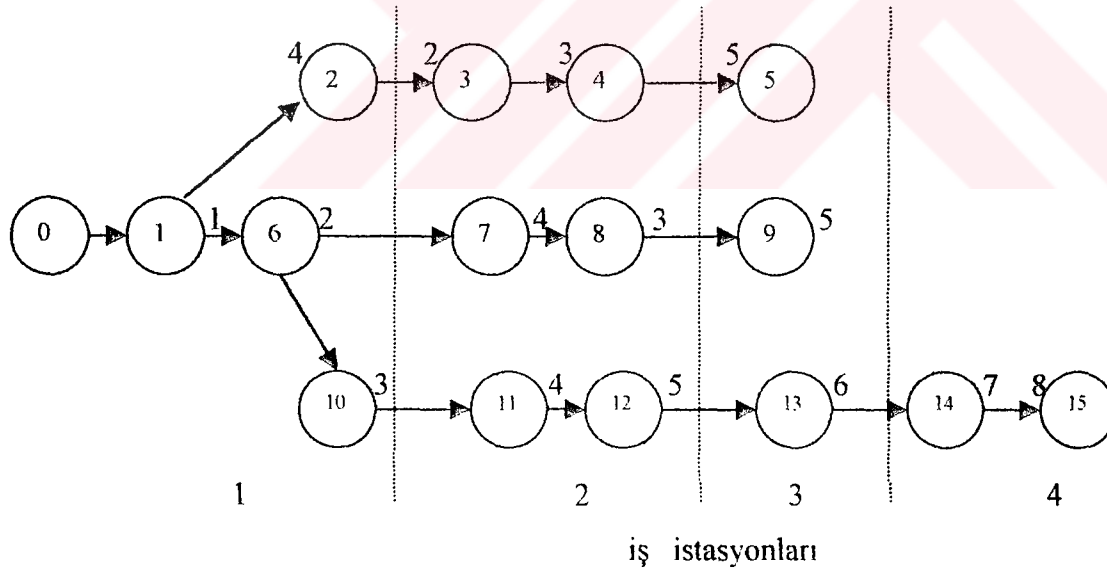
İstasyon sayısının alt sınırı; eşitlik (2.17) den;

$$K^o = \lceil 1740/480 \rceil = 4$$

Her iş için istasyon sayısının üst sınırı, eşitlik (2.18) den;

$U_1 = 0, U_2 = 1, U_3 = 1, U_4 = 1, U_5 = 1, U_6 = 2, U_7 = 3, U_8 = 3$ olur.

Bu durumda işlerin istasyonlara dağıtılması Şekil 4.5 de verilen optimizasyon düğümlerinin oluşturulması ile sağlanmaktadır.



Şekil 4.5. Optimizasyon Düğümlerinin Oluşturulması

Optimum sonucu veren istasyon sayısı 4 ve işlerin istasyonlara art arda atanma sırası (1,2,3),(4,5),(6),(7,8) dir.

İstasyonlardaki toplam boş süre; 180 dir.

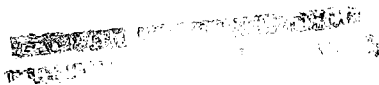
Hattın etkinliği, eşitlik (1.6) dan; % 90,625 dir.

4.3. Bilgisayar Programlama Sonuçları

Bilgisayar Programlama Yöntemi ile elde edilen sonuçlar tablolar halinde ve bilgisayar program çıktısı olarak EK 4. de verilmiştir. Biz burada bu çıktının bir özetini verecek olursak, karşımıza şu durum ortaya çıkmaktadır.

Bilgisayar programlama yöntemi yani Yöntem – 1 olarak adlandırılan yöntem ile Model –2 probleminin çözüm sonuçları şu şekilde olmaktadır. Çevrim süresi C= 960 sn. olduğunda 2 adet iş istasyonu kurulmakta verim etkinliği % 90,62 olmaktadır. Çevrim süresi C= 660 sn. olduğunda 3 adet iş istasyonu kurulmakta ve verim etkinliği % 87,87 olmaktadır. Çevrim süresi C= 480 sn. olduğunda, 4 tane iş istasyonu kurulmakta ve verim etkinliği % 90,62 olmaktadır. Çevrim süresi C= 420 sn. olduğunda ise, 6 tane iş istasyonu kurulmakta ve verim etkinliği % 69,04 e düşmektedir. Bulunan bu değerler neticesinde optimum sonucu veren çevrim süresi C= 480 sn. dir.

Model – 1 probleminin bilgisayar programı yöntemi ile elde edilen çözüm sonuçları ise; bilgisayar programında Yöntem – 2 olarak adlandırılan bu yönteme göre elde edilen sonuç; C = 540 sn. çevrim süresinde, ortaya çıkan optimum sonuç, 4 tane iş istasyonu kurularak istasyonlarda oluşan toplam boş süre 120 sn. olmaktadır. Bu da denge kaybının yaklaşık % 6,25 ve hat etkinliğinin de % 93,75 civarında olduğunu göstermektedir.



4.4. Tartışma

Bu uygulamanın alternatif çözümlerine bakılırsa en uygununun çevrim süresi $C = 480$ sn. olanıdır. Çünkü bu çözümde verimlilik oranı % 90 civarındadır. Bu da iyi bir durumdur.

Yapılan bu araştırmaya göre bu firma, standart olarak günde bu tespit edilen şartlarda 90 ile 110 adet arasında standart olmayan ölçülerde kabin üretebilmektedir. Bu sonuçta, insan ağırlıklı bir montaj hattında doğal bir sonuçtur.

Sonuç olarak Gold Duş firmasının imalatını yapmış olduğu duş kabinlerinin daha fazla imal edilebilmesi için montaj hattının dengelenmesi şarttır. Bu firma yeni bir kuruluş olmakla birlikte, kaliteyi ve ürün sayısını artırma yönünde çeşitli çalışmalar yapmaktadır. Firmanın yeni kurulan binasında iyi bir montaj hattının sağlanması için iyi bir yerleşim planı hazırlanmaktadır. Günümüz de artık zamanla yarışılmakta ve bu zaman faktörünü en verimli şekilde kullanmak için alternatif çözümler aranmaktadır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER**5.1. Çalışmanın Özeti**

Kurulmuş olan Model – 1 probleminin, Bulgusal yöntemle ve Bilgisayar Programı ile çözüm yönteminin (Yöntem – 2) çözüm sonuçlarının karşılaştırılması şu şekilde olmaktadır:

Bulgusal yöntemde; $C = 600$ sn. , $C = 540$ sn. , $C = 480$ sn. lik Çevrim sürelerindeki sonuçları şu şekildedir; $C = 600$ sn. lik çevrim süresinde 4 tane iş istasyonu kurulmakta ve denge kaybı % 27,50 yani hattın etkinliği % 72,50 olmaktadır. $C = 540$ sn. lik çevrim süresinde 4 tane iş istasyonu kurulmakta ve denge kaybı % 19,40 yani hat etkinliği % 80,60 olmaktadır. $C = 480$ sn. lik çevrim süresinde ise, yine 4 adet iş istasyonu kurulmakta ve denge kaybı % 9,37 lere düşmekte, yani hat etkinliği % 90,63 lere yükselmektedir. Bu yöntemde bulunan optimum çevrim süresi $C = 480$ sn. dir.

Model – 1 probleminin bilgisayar programı yöntemi ile elde edilen çözüm sonuçları ise; bilgisayar programında Yöntem – 2 olarak adlandırılan bu yönteme göre elde edilen sonuç; $C = 540$ sn. çevrim süresinde, ortaya çıkan optimum sonuç, 4 tane iş istasyonu kurularak istasyonlarda oluşan toplam boş süre 120 sn. olmaktadır. Bu da denge kaybının yaklaşık % 6,25 ve hat etkinliğinin de % 93,75 civarında olduğunu göstermektedir.

Model – 2 probleminin, bulgusal ve bilgisayar programı yöntemleriyle çözüm sonuçları şu şekilde olmaktadır:

Bulgusal yöntemde, çevrim süresi $C = 600$ sn. alındığında bu problem için elde edilen iş istasyonu sayısı 4 adet olmakta ve denge kaybı % 15 yani, hat etkinliği % 85 olmaktadır. Alternatif bir durum için, şayet çevrim süresi $C = 540$ sn. alınırsa elde edilen iş istasyonu sayısı 4 adet olmakta ve denge kaybı % 5,55 yani, hat etkinliği % 94,45 olmaktadır.

Bilgisayar programı yöntemi ile Model – 2 probleminin çözüm sonuçları ise şu şekilde olmaktadır. Çevrim süresi $C=960$ sn. olduğunda 2 adet iş istasyonu kurulmakta verim etkinliği % 90,62 olmaktadır. Çevrim süresi $C=660$ sn. olduğunda 3 adet iş istasyonu kurulmakta ve verim etkinliği % 87,87 olmaktadır. Çevrim süresi $C=480$ sn. olduğunda, 4 tane iş istasyonu kurulmakta ve verim etkinliği % 90,62 olmaktadır. Çevrim süresi $C=420$ sn. olduğunda ise, 6 tane iş istasyonu kurulmakta ve verim etkinliği % 69,04 e düşmektedir. Bulunan bu değerler neticesinde optimum sonucu veren çevrim süresi $C=480$ sn. dir.

Model – 2 probleminin Fable metoduyla $C=300$ deki çözümünde; 7 tane iş istasyonu ve % 82,86 lik hat etkinliği elde edilmektedir. $C=480$ deki çözümünde ise, 4 adet iş istasyonu ve % 90,625 lik hat etkinliği elde edilmektedir. Dolayısıyla diğer yöntemlerle elde edilen sonuçlara yakın değerler elde edilmiş olmaktadır.

Buradan ortaya çıkan sonuç; uygulanmış olan yöntemlerde yaklaşık olarak benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bununla beraber iş elemanlarının çok olduğu problem modellerinde bilgisayar programı yöntemini kullanmak daha mantıklı gelmektedir. İş elemanlarını az olduğu problem modellerinde Bulgusal yöntemler daha hızlı ve pratik sonuçlar vermektedir.

5.2. Sonuçlar

Montaj hatlarını dengelemenin temel amacı dengeleme kaybını minimum yapmak, iş istasyonları sayısını minimuma indirmek, dengeleme kaybını istasyonlar arasında dağıtmak ve her hangi bir kısıtlayıcının bozucu etkisini önlemek üzere iş elemanlarını, iş istasyonlarına tahsis etmektir.

Fakat değerlendirilen Bulgusal yöntemler arasında Moodie ve Young' ın ki dışında hiçbir yöntem çalışma elemanı sürelerinin çeşitliliğini dikkate almamıştır. Gerçekte işlemlerin oluşu değişkenlik gösterebilmekte bu da montaj hattı işlemlerini etkilemektedir. Montaj hattının en başındaki istasyonda ürün

üzerine uygulanan çalışma önceden belirlenen zamanda tamamlanamazsa, eğer istasyonlara ayrılan görev kendinden önceki işlemlere doğrudan bağlıysa, bir sonraki istasyon ürünü almayacak yani o istasyonda her hangi bir işlem yapılamayacaktır. Eğer tamamlanmamış işlemler, iş hacmini oluşturan diğer işlemlerden bağımsız çalışsalar bile ürün montaj hattını tamamlamadan bitirecektir. Bu da fazladan harcamaya neden olur. Diğer yandan; birinci istasyon, ürünü kendine ayrılan devir zamanından fazla tutarsa işlemleri tamamlamak için, bir sonraki istasyon kaybedilen zamanı kazanmak için hızlı çalışacağından dolayı baskı altında olacaktır. Eğer işini zamanında tamamlamayan istasyon montaj hattının sonuna doğru yer alıyorsa, onu izleyen az sayıda istasyon olduğu için fazla önem taşımayacaktır.

Moodie ve Young tarafından geliştirilen bulgusal yöntem, eleman çeşitliliği ile ilgilenen ilk yöntemdir. Yakın zaman da Ramsing ve Downing tarafından yapılan çalışma da, eleman çeşitliliği üzerine yapılmıştır. Helgeson ve Birnie'nin yöntemi, "sıra pozisyonlu ağırlık tekniği" nin temeli üzerine kurulmuş olup, Moodie ve Young' ın geliştirmiş olduğu yönteme çok benzemektedir.

5.3. Öneriler

Değerlendirilen yöntemlerde eleman çeşitliliğinin yanında gözardı edilmiş teknisyen eğitimi, maliyet, sabit donanımın getirdiği sınırlamalar gibi faktörler de vardır. Hattı dengeleyen modeller özellikle maliyet fiyatları üzerinde durmaları gerekmektedir. En iyi denge yani hiç gecikmesi olmayan bir denge bazen hiç karlı olmayabilir. Bu nedenle maliyet günümüz şartlarında minimum yapılması gereken çok önemli bir faktördür.

Bu konu ile ilgili günümüzde çok geniş ölçüde uygulama alanları meydana gelmiştir. Genel olarak verilen yöntemlerin dışında bilgisayar programlarına dayalı yöntemlerin geliştirilmesi, günümüz şartlarında ihtiyaç duyulan

bir durumdur. Kurulan montaj hatlarında ürün çeşitliliğini arttırıcı ve dönem zamanının değişken kabul eden yöntemlerin geliştirilmesi sağlanmalıdır. Bunun içinde bilgisayar maximum derecede kullanılabilecek programlar geliştirilmelidir.

5.4. Sonraki Çalışmalar

Montaj hattı dengeleme konusunu daha başka değişik açılardan da incelenebilir. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

- Analitik Yöntemler ; bura bu kısma pek değinilmemiştir. Aslında en gerçekçi çözümü bu yöntem vermektedir. Dolayısıyla bu yöntem üzerinde çalışmalar yapılabilir. Bu yöntemin zorluk nedeni matematiksel formülasyonunun fazla olmasındandır.
- Simülasyon Yöntemleri de, bu konu üzerinde etkili bir yöntem olabilir. Çünkü, simülasyon yönteminde problem çözülmeden önce model kurulur ve bazı deneme olanaklarından sonra gerçek model kurularak çözüme geçirilir. Dolayısıyla bu yöntemde matematiksel dağılımların kullanılmasından dolayı gerçeğe biraz daha fazla yaklaşmış olur. Bu modelin ise dezavantaj yönü pahalı ve uzun zaman gerektirmesidir.
- Probabilistik Yöntemlerle montaj hatlarını dengeleme konusun da ise, montaj hattında bazı etkenler olasılığa dayanabilir. Örneğin; işlem süreleri değişebilir, çevrim süreleri değişebilir, istasyon sayısı değişken olabilir v.s. Dolayısıyla montaj hatlarında da bir çok faktörün olasılık dağılımı göstermesi olası bir durumdur. Bu konuda da geniş kapsamlı çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- ASLAN, D. H., 1985. Montaj Hattı Dengeleme Yoluyla Üretim Planlama.
- ASKIN, R. G. & STANDRIDGE, C.R., 1993. Modeling and Analysis of Manufacturing Systems, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY.
- BOWMANN, E. H., 1960. Assembly Line Balancing by Linear Programming. Operations Research, Volume 8, No.3.
- ERKUT, H. ve BAŞKÖK, M., 1996. Montaj Hatlarının Dengelenmesiyle İşyeri Düzenleme.
- HELGESON, W.B. and BIRNIE, D.P., 1961. Assembly Line Balancing Using The Danked Positional Weight Technique. Journal of Industrial Engineering, Volume 12, No.6.
- HOFFMANN, T.R., 1963. Assembly Line Balancing With a Precedence Matrix. Management Science, Volume 9, No.4.
- JACKSON, J.R., 1956. A Computing Procedure for a Line Balancing Problem. Management Science, Volume 2, No.3.
- KILBRIDGE, M.D. and WESTER, L., 1961. A Heuristic Method of Assembly Line Balancing. Journal of Industrial Engineering, Volume 12, No.4.
- KILBRIDGE, M.D. and WESTER, L., 1962. Heuristic Line Balancing A Case. Journal of Industrial Engineering, Volume 13, No.3.
- KILBRIDGE, M.D. and WESTER, L., 1962. Areview of Analytical Systems of Line Balancing. Operation Research, Volume 10, No.5.
- KILBRIDGE, M.D. and WESTER, L., 1961. The Balance Delay Problem. Management Science.
- KLEIN, M., 1963. On Assembly Line Balancing. Operation Research, Volume 2.
- MANACOR, E. M. , 1964. Assembly Line Balancing – An Improvement on the Ranked Positional Weight Technique. Journal of Industrial Engineering, Volume 15, No.2.

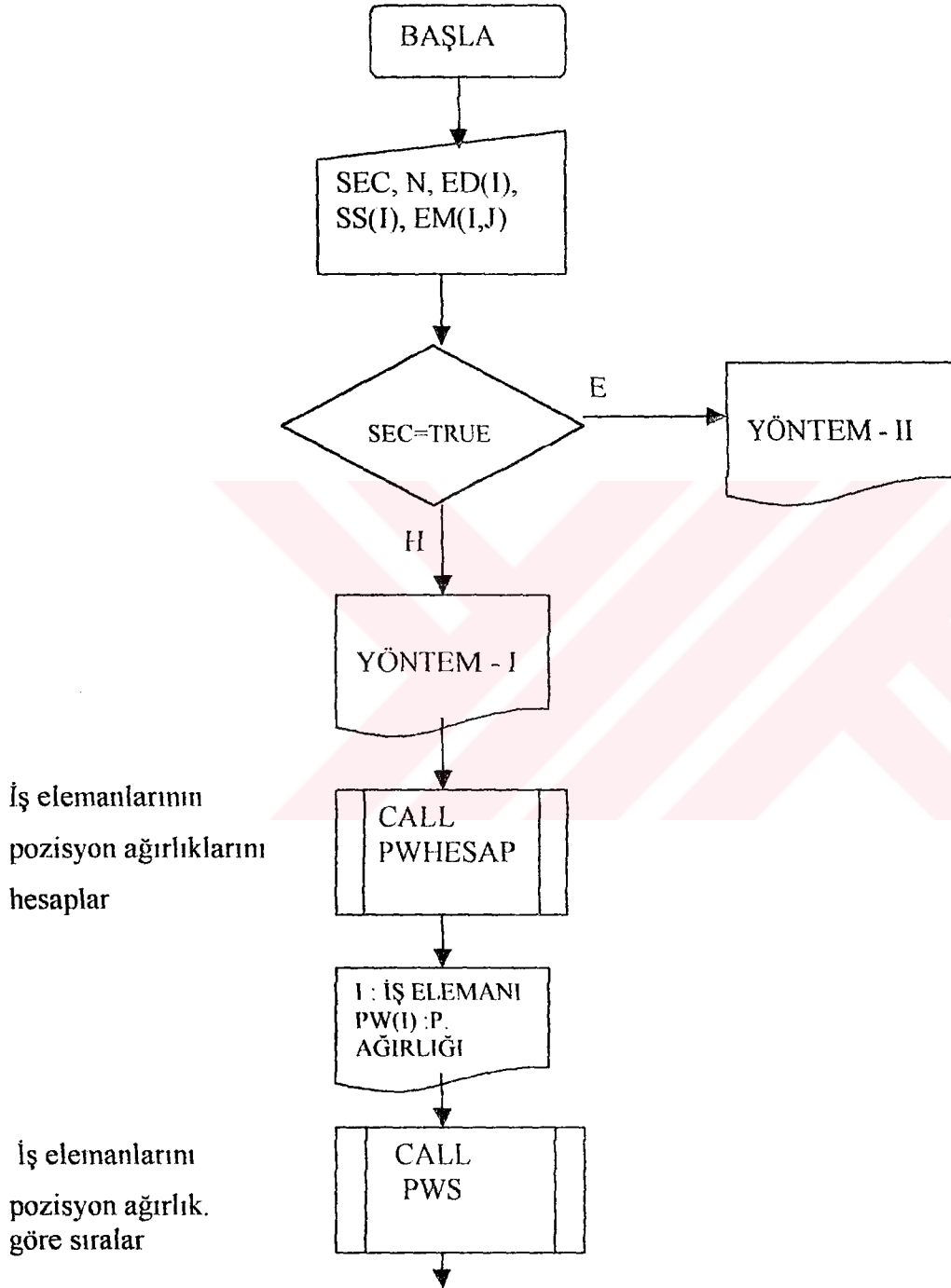
- MOODIE, C.L., 1964. A Heuristic Method of Assmbly Line Balancing for Assumptions of Constant of Variable Work Element Times. Unpublished Ph. D. Thesis, Purdue University.
- MOODIE, C.L. and YOUNG, H.H., 1965. A Heuristic Method of Assmbly Line Balancing for Assumptions of Constant of Variable Work Element Times. Journal of Industrial Engineering, Volume 16, No.1.
- SALVESON, M.E., 1955. The Assembly Line Balancing Problem. Journal of Industrial Engineering, Volume 6, No.3.
- TESİS PLANLAMA Ders notları., 1992. Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, TP notları, İstanbul.
- OP-RESEARCH, 1994., Assembly Line Balancing Problem Rangaswamy Balasubramanian (rangaswa @ ucsu. Colarado. EDU) Tue, 21 Jun 1994
- SIMONIS, G., 1996., First robotised assembly line for multivalve cylinder heads in Europe, (ABB – Review).
- JOHNSON, 1988., Modeling and Analysis of Manufacturing Systems, John Wiley & Sons, Tree Generation, Inc., New York, NY.

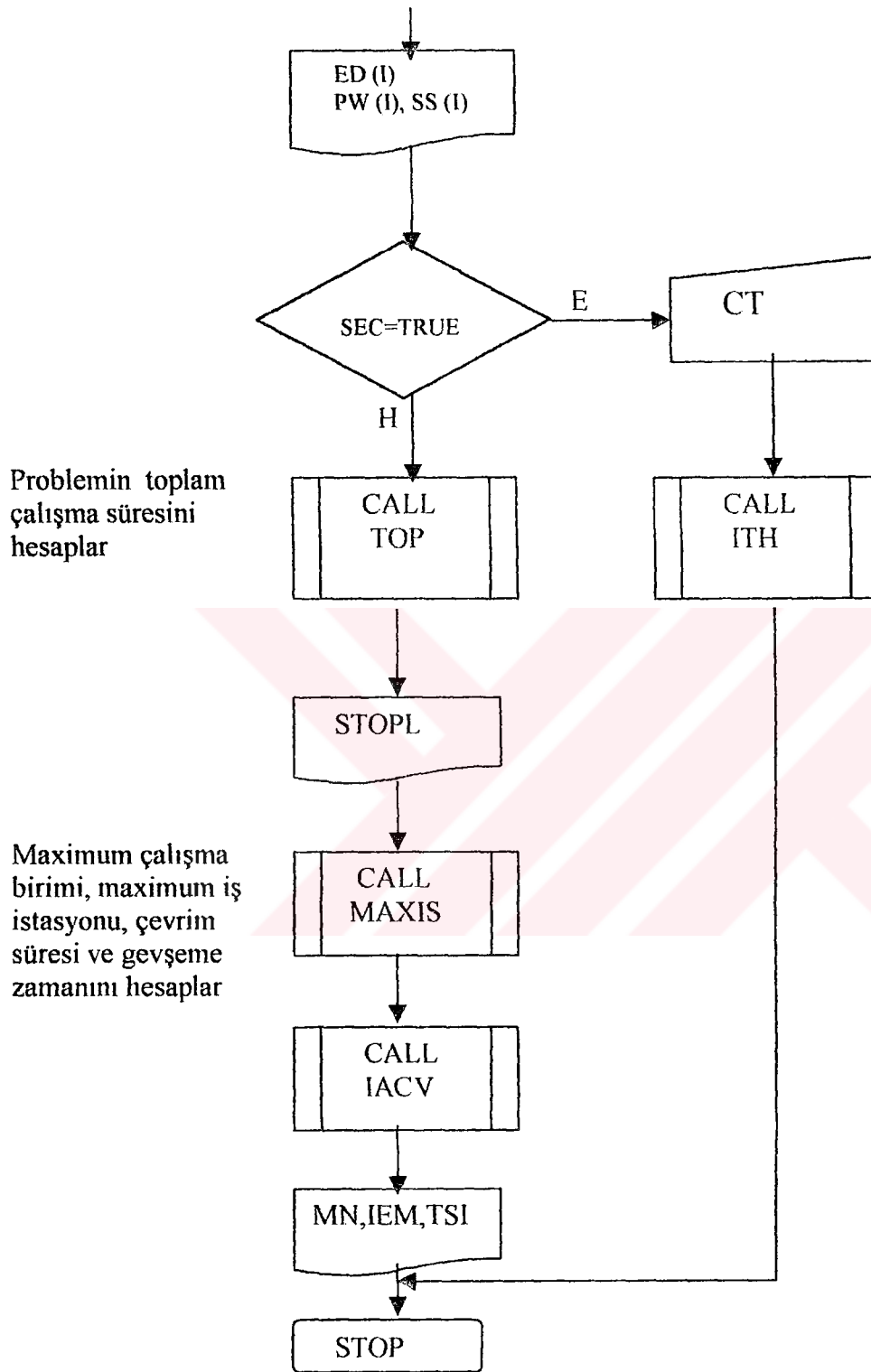
ÖZGEÇMİŞ

1970 yılında K. Maraş' ın, Andırın ilçesinin Kabağaç köyünde doğdu. İlköğretimini Kadirli' de, liseyi Kadirli Lisesi'nde tamamladıktan sonra Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi Endüstri Mühendisliği bölümünden 1993 yılında mezun oldu. İki yıl eğitim alanında çalışmalarda bulunduktan sonra 1995 yılında Ankara' da Askerlik görevini yerine getirdi. 1997 yılında Çukurova Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Ana Bilim dalında Yüksek Lisans programına başladı. 1998 yılından itibaren bir özel firmada Üretim ve Satış Planlama Bölümünde çalışmaktadır.



EK 1. : Montaj Hattı Dengeleme Yöntemi ile ilgili Bilgisayar Programının Akış Diyagramı.





EK 2. : Montaj Hatlarının Dengelenmesi İle İlgili Bilgisayar Programı.

```
C *****
C *   MONTAJ HATLARININ DENGELENMESİ *
C *           YÖNTEMLERİ           *
C *****
C
C -----
C   KULLANILAN YÖNTEMLER
C       A) YÖNTEM – I ( E.M. MANSOOR YÖN. )
C       B) YÖNTEM – II (HELGESON, W.B. VE BIRNIE, D.P.)
C -----
C
C   PROGRAMDA KULLANILAN ÖNEMLİ DEĞİŞKENLER
C -----
C       ED           : ELEMEN DİZİSİ
C       SS           : ELEMEN SÜRESİ DİZİSİ
C       EM           : ÖNCELİK MATRİSİ
C       CT           : ÇEVİRİM SÜRESİ
C       IEM          : İŞ ELEMENLARI MATRİSİ
C       PW           : POZİSYON AĞIRLIĞI
C       TSI          : İSTASYONA AİT TOPLAM SÜRE DİZİSİ
C       GS           : GEVŞEME SÜRESİ DİZİSİ
C -----
C PROGRAM
C
C   CHARACTER ITAN*80, NTAN*80
C   LOGICAL SEC
C   COMMON / BLK1/ EM(30,30)
C   COMMON / BLK2/ SS(30),N
C   COMMON / BLK3/ ED(30)
C   COMMON / BLK4/ PW(30)
C   COMMON / BLK5/ TOPCS
C   READ (5,*) SEC
C   READ (5,' (A80) ' ) ITAN
C   READ (5,' (A80) ' ) NTAN
C   READ (5,*) N
C   READ (5,*) (ED(I), I=1,N)
C   READ (5,*) (SS(I), I=1,N)
C   READ (5,*) (( EM(I,J), J=1, N), I=1, N)
C   IF (SEC) THEN
C       WRITE (6,10)
C       ELSE
C       WRITE (6,20)
C   END IF
C   CALL PWHESAP
C   WRITE (6,25) ITAN
C   WRITE (6, ' (3X,A80) ' ) NTAN
C   WRITE (6,50)
C   PRINT *, '           ELEMEN           AĞIRLIK '
C   WRITE (6,50)
```

```

DO 30 I=1, N
30 WRITE (6,40) I,PW(I)
CALL PWS
    WRITE (6,100)
    WRITE (6,110)
    WRITE (6,80)
    WRITE (6,110)
    DO 70 I=1, N
70    WRITE (6,90) ED(I), PW(I), SS(I)
    WRITE (6,110)
    IF (SEC) THEN
        READ (5,*) CT
        CALL ITH (CT)
        RETURN
    END IF
    CALL TOP
    WRITE (6,120)
    WRITE (6,130) TOPCS
    CALL MAXIS
10    FORMAT (///,6X, ' Y Ö N T E M - II ' , ' M I ' . / 4X, 48 ( ' - ' ) , // )
20    FORMAT (///, 6X, ' Y Ö N T E M - I ' / 4X, 32 ( ' - ' ) , // )
25    FORMAT ( //, 3X, A80 )
40    FORMAT ( 11X, 12, 12X, 13 )
50    FORMAT ( /, 8X, 25 ( ' * ' ) )
80    FORMAT ( 10X, 'ELEMEN' , 8X, 'AĞIRLIK' , 8X, 'SÜRE' )
90    FORMAT ( /, 7X, 1 ( ' * ' ) , 2X, 13, 6X, 1 ( ' * ' ) , 6X, 13, 5X, 1 ( ' * ' ) , 5X, 13, 2X, ( ' * ' ) )
100    FORMAT ( /, 6X, 'ELEMEN İŞLEM SIRASI' )
110    FORMAT ( 6X, 41 ( ' * ' ) )
120    FORMAT ( //, 8X, ' VERİLEN PROBLEMİN ' / 6X, 21 ( ' = ' ) )
130    FORMAT ( 15X, ' TOPLAM ÇALIŞMA HACMİ =.....' , 13 )
RETURN
END
C *****
C * AĞIRLIKLARI HESAPLAYAN ALTPROGRAM *
C *****
SUBROUTINE PWHESAP
COMMON / BLK1 / EM(30,30)
COMMON / BLK2 / SS(30), N
COMMON / BLK3 / PW(30)
DO 2 I=1, N
PW(I)=0
DO 1 I=1, N
IF ( I.EQ.J.OR. EM(I,J). NE.0 ) THEN
    PW(I) = PW(I) + SS(J)
END IF
1 CONTINUE
2 CONTINUE
RETURN
END
C *****
C * AĞIRLIKLARA GÖRE ELEMENLERİ SIRALAYAN PROGRAM *
C *****
SUBROUTINE PWS
COMMON / BLK1 / EM(30,30)

```

```

COMMON / BLK2 / SS(30), N
COMMON / BLK3 / ED(30)
COMMON / BLK4 / PW(30)
COMMON / BLK5 / TOPCS
1 FLAG = 0
NN = N - 1
DO 2 J=1, NN
IF (PW(J) .LT. PW(J+1)) THEN
    KK = PW(J)
    MM = SS(J)
    KM = ED(J)
    PW(J) = PW(J+1)
    SS(J) = SS(J+1)
    ED(J) = ED(J+1)
    PW(J+1) = KK
    SS(J+1) = MM
    ED(J+1) = KM
    FLAG = 1
END IF
2 CONTINUE
IF (FLAG.EQ.1) GO TO 1
RETURN
END
C *****
C *          TOPLAM SÜREYİ HESAPLAYAN ALTPROGRAM          *
C *****
SUBROUTINE TOP
COMMON / BLK1 / EM(30,30)
COMMON / BLK2 / SS(30), N
COMMON / BLK3 / ED(30)
COMMON / BLK4 / PW(30)
COMMON / BLK5 / TOPCS
TOPCS = 0
DO 1 I=1, N
TOPCS = TOPCS + SS(I)
1 CONTINUE
RETURN
END
C *****
C * MAX. ÇALIŞMA BİRİMİ VE MAX. İŞ İSTASYONU SAYISINI HESAPLAYAN *
C * ALTPROGRAM *
C *****
SUBROUTINE MAXIS
COMMON / BLK1 / EM(30,30)
COMMON / BLK2 / SS(30), N
COMMON / BLK3 / ED(30)
COMMON / BLK4 / PW(30)
COMMON / BLK5 / TOPCS
DIMENSION C(100), GS(30)
MAXIE = 0
DO 1 I=1, N
IF (SS(I).GT.MAXIE) THEN
    MAXIE = SS(I)
END IF

```

```

1 CONTINUE
WRITE (6,2) MAXIE
BMAX = MAXIE
BOLUM = TOPCS / BMAX
NMAX = BOLUM
WRITE (6,3) NMAX
L = 1
DO 4 K=L+1, NMAX
IK = K
I=K - 1
CBOL=K
C(I)=TOPCS / CBOL
CT = C(I)
AK=C(I) - CT
IF (AK.EQ.0) THEN
    GS(I) = 0
ELSE
    CT = CT + 1
    NN= CT*K
    GS(I) = NN - TOPCS
END IF
CALL IACV (I,GS,CT,IK)
4 CONTINUE
2 FORMAT ( 15X, 'MAX. ÇALIŞMA BİRİMİ = .....', 13 )
3 FORMAT ( 15X, 'MAX. İŞ İST. SAYISI=.....', 13 )
RETURN
END
C *****
C * MEVCUT GEVŞEME SÜRESİNİ KULLANARAK İSTASYONLARI VE ÇIKIŞ *
C * VERİMLİLİĞİNİ HESAPLAYAN ALTPROGRAM *
C *****
SUBROUTINE IACV (IL, GS, CT, K)
COMMON /BLK1 / EM(30,30)
COMMON /BLK2 / SS(30), N
COMMON /BLK3 / ED(30)
COMMON /BLK4 / PW(30)
COMMON /BLK5 / TOPCS
DIMENSION GS(30), IEM(30,30), TSI(30), ISS(30), ISGS(30)
1 NS=GS(IL)
NST=NS
INTOP=0
IS=0
DO 2 ISAT=1, N
DO 2 JSUT=1, N
2 IEM(ISAT,JSUT)=0
3 IS=IS + 1
IF (IS. EQ.1) THEN
    M=1
    I= ED(M)
ELSE
    IRKM = 0
4    IRKM = IRKM + 1
    DO 5 ISAT=1, IS - 1
    DO 5 JSUT=1, N

```

```

5          IF ( ED(IRKM). EQ. IEM(ISAT,JSUT)) GO TO 4
          CONTINUE
          I=ED(IRKM)
          M=IRKM
          GO TO 6
ENDIF
6  IN=1
   IEM(IS,IN) = 1
   INTOP = INTOP + 1
   TSI(IS) = SS(M)
   ISS(IS) = IN
   ISAK = 0
   DO 9 J=M+1, N
   IF ( IS. NE. 1) THEN
       DO 7 ISAT=1, IS - 1
       DO 7 JSUT=1, N
       IF ( ED(J). EQ. IEM(ISAT,JSUT)) GO TO 9
7      CONTINUE
   ENDIF
   IF (ISAK. NE. 0. AND. EM(ISAK,J). NE. 0) GO TO 10
   IF (TSI(IS) + SS(J). GT. CT) GO TO 8
   TSI(IS) = TSI(IS) + SS(J)
   IN = IN + 1
   ISS(IS) = IN
   IEM(IS,IN) = ED(J)
   INTOP = INTOP + 1
   IF (TSI(IS). LT. CT) GO TO 9
   GO TO 10
8  IF (EM(M,J). EQ. 0) GO TO 9
   ISAK = J
9  CONTINUE
10 FARK = CT - TSI(IS)
   IF (FARK. LE. NS) THEN
       ISGS(IS) = CT - TSI(IS)
       GS(IS+1) = NS - ISGS(IS)
       NS = GS(IS+1)
       GO TO 11
   ENDIF
   CT = CT + 1
   GS(II) = K*CT - TOPCS
   GO TO 1
11 IF (INTOP. LT. N) GO TO 3
   BOLUM = TOPCS
   CV = (BOLUM / (K*CT))*100
   WRITE (6,12) K
   WRITE (6,48)
   WRITE (6,14) CT, NST, CV
   WRITE (6,20)
   WRITE (6,16)
   WRITE (6,18)
   WRITE (6,20)
   WRITE (6,26)
   WRITE (6,28)
   DO 24 NN=1, IS

```

```

WRITE(6,30) NN
DO 22 KK=1, MAK
22 WRITE(6,32) IEM(NN, KK)
WRITE(6,34) TSI(NN)
24 CONTINUE
WRITE(6,20)
WRITE(6,36)
WRITE(6,38)
WRITE(6,20)
WRITE(6,40)
WRITE(6,42)
DO 44 NS=1, IS
44 WRITE(6,46) NS, ISGS(NS)
WRITE(6,48)
12 FORMAT (//, 5X, 13, ' NOLU İŞ İSTASYONU' )
14 FORMAT (2X, 1 ( '*' ), 12X, ' ÇEVİRİM SÜRESİ = .....', 13, 22X, 1 ( '*' ) / 2X, 1 ( '*' )
&, 12X, ' GEVŞEME SÜRESİ = .....', 13, 22X, 1 ( '*' ) / 2X, 1 ( '*' ), 12X,
& ' VERİM ETKİNLİĞİ = % ', F6.2, 19X, 1 ( '*' ) )
16 FORMAT ( 2X, 1 ( '*' ), 4X, ' İŞLERİN İSTASYONLARA DAĞILIMI', 22X, 1 ( '*' )
18 FORMAT ( 2X, 1 ( '*' ), 2X, 33 ( '=' ), 20X, 1 ( '*' ) )
20 FORMAT ( 2X, 1 ( '*' ), 55X, 1 ( '*' ) )
26 FORMAT ( 2X, 1 ( '*' ), 5X, 'İSTASYONLAR', 7X, 'ELEMENLAR', 7X,
& ' TOPLAM SÜRE', 5X, 1 ( '*' ) )
28 FORMAT ( 2X, 1 ( '*' ), 4X, 13 ( 1H - ), 5X, 11 ( 1H - ), 5X, 13 ( 1H - ), 4X, 1 ( '*' ) )
30 FORMAT ( 2X, 1 ( '*' ), 6X, 14, 7X, 1 ( '*' ), 37X, 1 ( '*' ) )
32 FORMAT ( 2X, 1 ( '*' ), 23X, 14, 7X, 1 ( '*' ), 20X, 1 ( '*' ) )
34 FORMAT ( 2X, 1 ( '*' ), 41X, 14, 10X, 1 ( '*' ) )
36 FORMAT ( 2X, 1 ( '*' ), 4X, ' GEVŞEME SÜRESİNİN İSTASYONA TAHSİSİ', 13X
&, 1 ( '*' ) )
38 FORMAT ( 2X, 1 ( '*' ), 2X, 42 ( '=' ), 11X, 1 ( '*' ) )
40 FORMAT ( 2X, 1 ( '*' ), 5X, 'İSTASYON', 5X, 'TAHSİS EDİLEN BİRİM', 18X,
& 1 ( '*' ) )
42 FORMAT ( 2X, 1 ( '*' ), 3X, 12 ( 1H - ), 1X, 23 ( 1H - ), 16X, 1 ( '*' ) )
46 FORMAT ( 2X, 1 ( '*' ), 7X, 13, 5X, 1 ( '*' ), 5X, 14, 30X, 1 ( '*' ) )
48 FORMAT ( 2X, 57 ( '*' ) )
RETURN
END
C *****
C * YÖNTEM - II YE GÖRE İSTASYONLARI TESPİT EDER *
C *****
SUBROUTINE ITH ( CT )
COMMON / BLK1 / EM(30,30)
COMMON / BLK2 / SS(30), N
COMMON / BLK3 / ED(30)
COMMON / BLK4 / PW(30)
COMMON / B2 / TOPCS
DIMENSION IEM(30,30), TSI(30), ISS(30)
INTOP = 0
IS = 0
3 IS = IS + 1
IF (IS.EQ.1) THEN
M = 1
I = ED(M)
ELSE

```

```

4          IRKM = 0
          IRKM = IRKM + 1
          DO 5 ISAT = 1, IS - 1
          DO 5 JSUT = 1, N
          IF (ED(IRKM).EQ. IEM(ISAT,JSUT)) GO TO 4
5          CONTINUE
          I = ED(IRKM)
          M = IRKM
          GO TO 6

        ENDIF
6        IN = 1
          IEM(IS,IN) = I
          INTOP = INTOP + 1
          TSI(IS) = SS(M)
          ISS(IS) = IN
          ISAK = 0
          DO 9 J=M+1, N
          IF (IS. NE. 1) THEN
              DO 7 ISAT=1, IS - 1
              DO 7 JSUT=1, N
              IF (ED(J).EQ. IEM(ISAT,JSUT)) GO TO 9
7          CONTINUE
          ENDIF
          IF (ISAK. NE. 0. AND. EM(ISAK,J). NE. 0) GO TO 11
          IF (TSI(IS) + SS(J). GT. CT) GO TO 8
          TSI(IS) = TSI(IS) + SS(J)
          IN = IN + 1
          ISS(IS) = IN
          IEM(IS,IN) = ED(J)
          INTOP = INTOP + 1
          IF (TSI(IS). LT. CT) GO TO 9
          GO TO 11
8          IF (EM(M,J). EQ. 0) GO TO 9
          ISAK = J
9          CONTINUE
11         IF (INTOP. LT. N) GO TO 3
          WRITE (6,13)
          WRITE (6,29)
          WRITE (6,31)
          WRITE (6,19)
          WRITE (6,21)
          DO 17 NN=1, IS
          MAK=ISS(NN)
          WRITE (6,23) NN
          DO 15 KK=1, MAK
15          WRITE (6,25) IEM(NN,KK)
          WRITE (6,27) TSI(NN)
17          CONTINUE
          WRITE (6,29)
          CALL BOSZ (CT, TSI, IS)
13          FORMAT (/,6X, ' İŞLERİN İSTASYONLARA DAĞILIMI' )
19          FORMAT (2X,1 ( '*' ),5X,'İSTASYONLAR',7X,'ELEMENLAR',7X,'TOPLAM SÜRE'
&,3X,1 ( '*' ))
21          FORMAT (2Z,1 ( '*' ),4X,13 (1H-),5X,11 (1H-),5X,13 (1H-), 4X,1 ( '*' ))

```

```

23  FORMAT (2X,1 ( '*' ),6X,14,7X,1 ( '*' ),37X,1 ( '*' ))
25  FORMAT (2X,1 ( '*' ),23X,14,7X,1 ( '*' ),20X,1 ( '*' ))
27  FORMAT (2X,1 ( '*' ),41X,14,10X,1 ( '*' ))
29  FORMAT (2X,57 ( '*' ))
31  FORMAT (2X,1 ( '*' ),55X,1 ( '*' ))
END
C  *****
C  *      TOPLAM BOŞ ZAMANI HESAPLAYAN ALTPROGRAM      *
C  *****
SUBROUTINE  BOSZ (CT, TSI, IS)
DIMENSION  BOSI(30), TSI(IS)
IDTOP= 0
DO 1  I=1, IS
BOSI(I)= CT - TSI(I)
IDTOP=IDTOP + BOSI(I)
1  CONTINUE
WRITE (6,3)
WRITE (6,5)
DO 7  I=1, IS
7  WRITE (6, '(14X,12,3X,1H*,3X,12)' ) I,  BOSI(I)
WRITE (6, '(26X,1H*,3X,13)' ) IDTOP
WRITE (6,9)
3  FORMAT (/,9X, ' BOŞ ZAMAN:', /9X,27 ( '=' ))
5  FORMAT (11X, ' İSTASYON', 3X, ' SÜRE', 4X, ' TOSÜRE', /10X,10(1H -),1X,6 (1H -)
&,1X, 8 (1H -))
9  FORMAT (9X,27 ( '=' ))
STOP
END

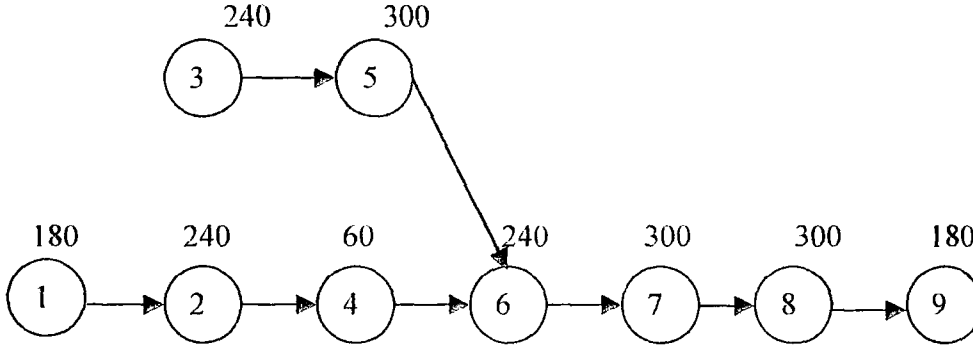
```

EK 3. : Bilgisayar Programı için Uygulamanın Öncelik Şemaları.

MODEL – 1

Problem – 1 :

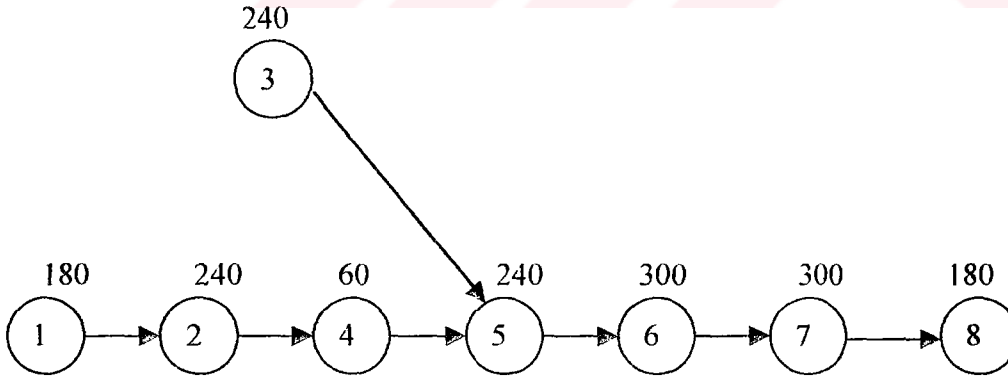
1) Cam Renkli Olursa ;



MODEL – 2

Problem – 2 :

2) Cam Renksiz olursa;



EK 4. : Yapılan Uygulamanın Bilgisayar Programının Çıktısı.

YÖNTEM - 2

=====

PROBLEM =1
ELEMEN SAYISI = ...9

ELEMEN	AĞIRLIK
--------	---------

1	1500
2	1320
3	1560
4	1080
5	1320
6	1020
7	780
8	480
9	180

ELEMEN İŞLEM SIRASI

ELEMEN	AĞIRLIK	SÜRE
--------	---------	------

*	3	*	1560	*	240	*
*	1	*	1500	*	180	*
*	2	*	1320	*	240	*
*	5	*	1320	*	300	*
*	4	*	1080	*	60	*
*	6	*	1020	*	240	*
*	7	*	780	*	300	*
*	8	*	480	*	300	*
*	9	*	180	*	180	*

İŞLERİN İSTASYONLARA DAĞILIMI

İSTASYONLAR	ELEMANLAR	TOPLAM SÜRE
1	1	480
	2	
	4	
2	3	540
	5	
3	6	540
	7	
4	8	480
	9	

BOŞ SÜRE	İSTASYON	SÜRE	TOSÜRE
1	*	60	
2	*	0	
3	*	0	
4	*	60	
			* 120

YÖNTEM - 1

=====

PROBLEM =2
ELEMEN SAYISI = ...8

ELEMEN	AĞIRLIK

1	1500
2	1320
3	1260
4	1080
5	1020
6	780
7	480
8	180

ELEMEN İŞLEM SIRASI

ELEMEN		AĞIRLIK		SÜRE	

* 1	*	1500	*	180	*
* 2	*	1320	*	240	*
* 3	*	1260	*	240	*
* 4	*	1080	*	60	*
* 5	*	1020	*	240	*
* 6	*	780	*	300	*
* 7	*	480	*	300	*
* 8	*	180	*	180	*

VERİLEN PROBLEMİN

=====

TOPLAM ÇALIŞMA HACMİ = 1740
MAX. ÇALIŞMA BİRİMİ = 300
MAX. İŞ İST. SAYISI = 6

2 NOLU İŞ İSTASYONU

* ÇEVİRİM SÜRESİ =	960	*
* GEVŞEME SÜRESİ =	180	*
* VERİM ETKİNLİĞİ = .. %	90,62	*
* İŞLERİN İSTASYONLARA DAĞILIMI		*
=====		
* İSTASYONLAR	ELEMANLAR	TOPLAM SÜRE

* 1	* 1	*
	2	*
	3	*
	4	*
	5	*
* 2	*	960
	6	*
	7	*
	8	*
		780
* GEVŞEME SÜRESİNİN İSTASYONLARA TAHSİSİ		*
=====		
* İSTASYON	TAHSİS EDİLEN BİRİM	

* 1	* 0	*
* 2	* 180	*

3 NOLU İŞ İSTASYONU

* ÇEVİRİM SÜRESİ =	660	*
* GEVŞEME SÜRESİ =	240	*
* VERİM ETKİNLİĞİ = .. %	87,87	*
* İŞLERİN İSTASYONLARA DAĞILIMI		*
=====		
* İSTASYONLAR	ELEMANLAR	TOPLAM SÜRE

* 1	* 1	*
	2	*
	3	*
* 2	*	660
	4	*
	5	*
	6	*
* 3	*	600
	7	*
	8	*
		480
* GEVŞEME SÜRESİNİN İSTASYONLARA TAHSİSİ		*
=====		
* İSTASYON	TAHSİS EDİLEN BİRİM	

* 1	* 0	*
* 2	* 60	*
* 3	* 180	*

4 NOLU İŞ İSTASYONU

* ÇEVİRİM SÜRESİ = 480 *

* GEVŞEME SÜRESİ = 180 *

* VERİM ETKİNLİĞİ = .. % 90,62 *

* İŞLERİN İSTASYONLARA DAĞILIMI *

* ===== *

* İSTASYONLAR ELEMANLAR TOPLAM SÜRE *

* ----- *

* 1 * 1 * *

* 2 * *

* 4 * *

* 480 *

* 2 * *

* 3 * *

* 5 * *

* 480 *

* 3 * *

* 6 * *

* 300 *

* 4 * *

* 7 * *

* 8 * *

* 480 *

* GEVŞEME SÜRESİNİN İSTASYONLARA TAHSİSİ *

* ===== *

* İSTASYON TAHSİS EDİLEN BİRİM *

* ----- *

* 1 * 0 *

* 2 * 0 *

* 3 * 180 *

* 4 * 0 *

* ***** *

6 NOLU İŞ İSTASYONU

* ÇEVİRİM SÜRESİ = 420 *

* GEVŞEME SÜRESİ = 780 *

* VERİM ETKİNLİĞİ = .. % 69,04 *

* İŞLERİN İSTASYONLARA DAĞILIMI *

=====

İSTASYONLAR	ELEMANLAR	TOPLAM SÜRE
-------------	-----------	-------------

=====

1	*	
---	---	--

	1	*
--	---	---

	2	*
--	---	---

		420
--	--	-----

2	*	
---	---	--

	3	*
--	---	---

	4	*
--	---	---

		300
--	--	-----

3	*	
---	---	--

	5	*
--	---	---

		240
--	--	-----

4	*	
---	---	--

	6	*
--	---	---

		300
--	--	-----

5	*	
---	---	--

	7	*
--	---	---

		300
--	--	-----

6	*	
---	---	--

	8	*
--	---	---

		180
--	--	-----

GEVŞEME SÜRESİNİN İSTASYONLARA TAHSİSİ

=====

İSTASYON	TAHSİS EDİLEN BİRİM
----------	---------------------

=====

1	0
---	---

2	120
---	-----

3	180
---	-----

4	120
---	-----

5	120
---	-----

6	240
---	-----

123